

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL
VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACIÓN DE AGUAS
RESIDUALES INDUSTRIALES**

**ANDRÉS FELIPE ROJAS RUEDA
OSCAR JAVIER ROJAS RUEDA
OSCAR MAURICIO VEGA NOVOA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2014**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL
VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACIÓN DE AGUAS
RESIDUALES INDUSTRIALES**

**ANDRÉS FELIPE ROJAS RUEDA
OSCAR JAVIER ROJAS RUEDA
OSCAR MAURICIO VEGA NOVOA**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2014**

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	22
3. OBJETIVOS	23
3.1 OBJETIVO GENERAL	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
4. AGUAS RESIDUALES	25
4.1 CONTROL DE LAS AGUAS RESIDUALES	25
4.2 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES	26
4.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	28
4.3.1 Aguas residuales domesticas	28
4.3.2 Aguas residuales industriales	28
4.3.3 Aguas residuales urbanas	30
4.4 CALIDAD DEL AGUA	30
4.4.1 Normatividad para la disposición de las aguas residuales	30
4.4.2 Normatividad vigente colombiana	31
5. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	32
5.1 TIPOS DE CONTAMINANTES	33
5.1.1 Contaminantes orgánicos	33
5.1.2 Contaminantes inorgánicos	34
5.1.3 Otros contaminantes	35

5.2 TIPO DE TRATAMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES	36
5.2.1 Según el grado de refinamiento	36
5.2.1.1 Tratamientos preliminares	37
5.2.1.2 Tratamientos primarios	38
5.2.1.3 Tratamientos secundarios	39
5.2.1.4 Tratamientos terciarios	40
5.2.2 Según el tipo de proceso	40
5.2.2.1 Procesos físicos	40
5.2.2.2 Procesos químicos	42
5.2.2.3 Procesos biológicos	44
5.3 TRATAMIENTO DE LOS FANGOS	45
5.4 DESTILACIÓN DE AGUAS RESIDUALES COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO	46
5.4.1 La destilación	46
5.4.2 Etapas de la destilación	47
5.4.3 La evapo-concentración	48
5.4.4 Propiedades coligativas de soluciones	50
5.4.5 Destilación en vacío	51
6. BOMBA DE CALOR	53
6.1 RESEÑA HISTÓRICA	54
6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN	56
6.2.1 Sistemas Termo-Eléctricos	57
6.2.2 Sistemas Termo-Acústicos	58
6.2.3 Sistemas Termo-Magnéticos	59
6.2.4 Sistemas Termo-Mecánicos	61
6.3 SISTEMAS TERMO-MECÁNICOS DE BOMBA DE CALOR	61
6.3.1 Sistemas cerrados	61
6.3.1.1 Bomba de calor por Compresión de vapor	62
6.3.1.2 Bomba de calor por absorción	63

6.3.2	Sistemas abiertos o de Recompresión Mecánica de Vapor	65
6.4	LEYES DE LA TERMODINAMICA	68
6.5	COEFICIENTE DE DESEMPEÑO DE UNA BOMBA DE CALOR	71
7.	TRANSFERENCIA DE CALOR	73
7.1	EBULLICIÓN	74
7.1.1	Ebullición nucleada	74
7.2	CONDENSACIÓN	76
7.2.1	Condensación por película	77
8.	DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO	79
8.1	DISEÑO	79
8.1.1	Consideraciones generales	79
8.1.2	Subsistemas del prototipo	79
8.1.3	Subsistema de bomba de calor	80
8.1.3.1	Parámetros de operación	80
8.1.4	Subsistema de ebullición y condensación	83
8.1.5	Subsistema de suministro y extracción de agua	87
8.2	MODELADO DEL SISTEMA PARA CAPACIDADES MAYORES	88
8.3	CONSTRUCCIÓN	88
8.3.1	Estructura	89
8.3.2	Tanque de condensación	90
8.3.3	Tanque de evaporación	91
8.3.4	Empaques	93
8.3.5	Tanque de destilado	93
8.3.6	Tanque se restitución	94
8.3.7	Montaje final del prototipo	95
9.	PRUEBAS	97
9.1	PUNTOS DE SENSADO	97

9.2 EQUIPOS UTILIZADOS	99
9.3 PRUEBAS AL PROTOTIPO	101
9.3.1 Prueba de vacío en los tanques de evaporación-condensación	101
9.3.2 Prueba de estanqueidad en el sistema de refrigeración	102
9.4 PRUEBAS DE OPERACIÓN	102
9.4.1 Prueba 1: Tratamiento de aguas residuales a temperatura de 40 [°C]	102
9.4.2 Prueba 2: Tratamiento de aguas residuales a temperatura ambiente de 24 [°C]	105
9.4.3 Prueba 3: Continuidad en el tratamiento de las aguas residuales	109
9.5 EXÁMENES DE LABORATORIO	114
10. COMPARACIÓN CONSUMO ENERGÉTICO	117
11. CONCLUSIONES	122
12. RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFIA	126
ANEXOS	127

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema de evaporación al vacío por bomba de calor	24
Figura 2. Aguas residuales domesticas	26
Figura 3. Aguas residuales industriales	27
Figura 4. Aguas residuales urbanas	27
Figura 5. Clasificación industrias según su agua residual	29
Figura 6. Rejilla	37
Figura 7. Calidad del agua	38
Figura 8. Planta de tratamiento biológico	39
Figura 9. Planta tratamiento de fangos	45
Figura 10. Dispositivo de destilación simple	47
Figura 11. Punto de ebullición según presión	52
Figura 12. Maquina térmica	53
Figura 13. Clasificación de los sistemas de refrigeración	56
Figura 14. Sistema de refrigeración termoeléctrica	57
Figura 15. Refrigerador termo acústico	59
Figura 16. Ciclo de refrigeración termo magnética	60
Figura 17. Bomba de calor por compresión de vapor	62
Figura 18. Niveles de presión y temperatura en ciclo de absorción	64
Figura 19. Sistema de recompresión mecánica de vapor	66
Figura 20. Sistema MVR por eyector	67

Figura 21. Sistema MVR por compresor	68
Figura 22. Segunda ley de la termodinámica	69
Figura 23. Representación enunciado de Kelvin - Plank	70
Figura 24. Fases de la ebullición	74
Figura 25. Formas de condensación	77
Figura 26. Subsistemas del prototipo	79
Figura 27. Esquema del prototipo	81
Figura 28. Esquema bomba de calor	83
Figura 29. Diseño CAD de tanques	86
Figura 30. Diseño CAD evaporador condensador	87
Figura 31. Estructura	89
Figura 32. Rueda	89
Figura 33. CAP soldado	90
Figura 34. Tanque condensador	91
Figura 35. Mirilla	92
Figura 36. Ingreso de agua	92
Figura 37. Empaque	93
Figura 38. Tanque de destilado	94
Figura 39. Tanque de restitución	95
Figura 40. Prototipo construido	96
Figura 41. Tomas de datos realizadas	97
Figura 42. Puntos de sensado	98
Figura 43. Esquema de la bomba de calor	98

Figura 44. Módulo de adquisición de datos	99
Figura 45. Pinza amperimétrica – Fluke 337	100
Figura 46. Medidor de energía eléctrica	100
Figura 47. Bomba de vacío QVP-800	101
Figura 48. Temperaturas prueba 1	103
Figura 49. Continuación temperaturas prueba 1	103
Figura 50. Presiones en los manómetros de alta y baja en la prueba 1	104
Figura 51. Presión de vacío en el tiempo en la prueba 1	105
Figura 52. Consumo de corriente del compresor en el tiempo en la prueba 1	105
Figura 53. Temperaturas prueba 2	106
Figura 54. Presión en los manómetros de alta y baja durante la prueba 2	107
Figura 55. Presión de vacío en el tiempo en la prueba 2	108
Figura 56. Consumo de corriente del compresor en el tiempo en la prueba 2	108
Figura 57. Primera hora de operación de la prueba 3	109
Figura 58. Segunda hora de operación de la prueba 3	110
Figura 59. Tercera hora de operación de la prueba 3	111
Figura 60. Cuarta hora de operación de la prueba 3	111
Figura 61. Presión en los manómetros de alta y baja durante la prueba 3	112
Figura 62. Presión de vacío durante la prueba 3	113
Figura 63. Volumen de destilado extraído en el tiempo	113
Figura 64. Consumo de corriente del compresor durante prueba 3	114
Figura 65. Antes y después del tratamiento	115
Figura 66. Esquema de sistema alternativo	117

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valores máximos permisibles de residuos líquidos provenientes de tintorerías.	21
Tabla 2. Calor ebullición nucleada	75
Tabla 3. Coeficientes fluido superficie.	76
Tabla 4. Calor de condensación.	78
Tabla 5. Compresor FFI12HBX	82
Tabla 6. Ecuaciones empleadas en cálculos.	84
Tabla 7. Longitud serpentines.	85
Tabla 8. Resultados parametrización	88
Tabla 9. Prueba 1 a temperatura de descarga de 40 [°C].	104
Tabla 10. Prueba 2 a temperatura ambiente de 24°C.	107
Tabla 11. Prueba 3 de continuidad en el tratamiento	112
Tabla 12. Resultados análisis de laboratorio.	116
Tabla 13. Comparación costos de operación.	120

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. NORMATIVA COLOMBIANA ACERCA DE VERTIMIENTOS	128
ANEXO B. CALCULOS BOMBA DE CALOR	139
ANEXO C. PLANOS DEL PROTOTIPO	148
ANEXO D. CATALOGO TUBOS DE COBRE	160
ANEXO E. COMPRESORES PARA APLICACIONES DE “ALTA”	164
ANEXO F. CATALOGO COMPRESOR EMBRACO FFI12HBX	171
ANEXO G. FICHA DE SEGURIDAD DEL REFRIGERANTE R134A	176
ANEXO H. MANUAL DE OPERACIÓN	185
ANEXO I: RESULTADOS EXAMENES DE LABORATORIO	199

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES*

AUTORES: ROJAS RUEDA, ANDRES FELIPE; ROJAS RUEDA, OSCAR JAVIER; VEGA NOVOA, OSCAR MAURICIO.**

PALABRAS CLAVE: AGUA, TRATAMIENTO, VACÍO, REFRIGERACIÓN, PROTOTIPO, DESTILACIÓN.

DESCRIPCIÓN:

Se diseñó y construyó un prototipo para el tratamiento de aguas residuales industriales, se enfocó al uso del mismo en la industria tintorera debido a que esta necesita agua para todos sus procesos y en grandes cantidades diarias. Se decidió usar el principio de la evaporación al vacío como principio de funcionamiento del prototipo debido a las numerosas ventajas que presentaba para la implementación en esta industria en específico, principalmente por el tipo de contaminantes a los que se ven sometidas estas aguas.

Las aguas residuales tratadas se sometieron a análisis físicos y químicos que permitieron determinar la calidad final de estas, y el grado de “limpieza” alcanzado, determinando así la viabilidad del uso del sistema para esta industria; tal que las industrias cumplen con la ley ambiental actual, contribuyen activamente con el cuidado del medio ambiente y obtienen un beneficio económico frente a otros sistemas. Se realizó un modelado del sistema en función de la capacidad del mismo en cantidad de agua a tratar diariamente, lo anterior con el fin de poder hacer una selección de los componentes a instalarse en el sistema. Se realizaron recomendaciones para la aplicación de sistema a escala industrial, con el fin de obtener una mayor eficiencia.

Debido a los excelentes resultados obtenidos al usar este prototipo para el tratamiento de aguas residuales de una tintorería, se abre la posibilidad en lo que respecta al estudio de la implementación de este sistema en otras industrias, al igual que estudios de mayor complejidad para determinar el número de veces para la reutilización de las aguas residuales.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE VACUUM EVAPORATOR FOR HEAT PUMP FOR INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT*

AUTHORS: ROJAS RUEDA, ANDRES FELIPE; ROJAS RUEDA, OSCAR JAVIER; VEGA NOVOA, OSCAR MAURICIO.**

KEYWORDS: WATER, TREATMENT, VACUUM, REFRIGERATION, PROTOTYPE, DISTILLATION.

DESCRIPTION:

The prototype was designed and built for the treatment of industrial wastewater, focused on its use in the dry-cleaner industry, due to the need of large quantity of water for their daily processes. It has been decided to use the principle of vacuum evaporation as a result of the numerous advantages presented its implementation offers in this specific industry, and mainly because of type of pollutants present in the water.

Treated wastewater underwent a stringent physico-chemical analysis to establish the final quality of water, and the reached degree of "cleanliness", determining the feasibility of using the system within the industry; there for these industries comply with the current environmental law, actively contribute to preserving the environment and get economic benefit over other systems. A system model was performed based on the hability to treat daily quantity of water and to be able to select the components to be installed on the system. Recommendations for implementation of an industrial scale system were performed, in order to achieve greater efficiency.

Because of the excellent results obtained by using this prototype for treating wastewater from the dry-cleaner industry, the opens possibility regarding the study of the implementation of this system in other industries, also more complicated exams to determine the number of times for reusing wastewater.

* Graduation Project

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso que a pesar de ser renovable es limitado. Es una realidad que poco a poco nos estamos acercando al fin de esta, expertos pronostican que en el futuro las guerras serán por este preciado recurso. Es por esto que las industrias, las cuales son responsables de buena parte de la contaminación del agua están obligadas a cumplir con una serie de requisitos en la calidad final de estas para poderlas verter a los cuerpos de aguas superficiales y/o alcantarillado público.

De lo anterior nace la necesidad de buscar sistemas eficientes, no solo desde el punto de vista económico, sino también desde el punto de vista de la calidad final de las aguas tratadas, ya que una alta calidad (incolora, baja en sólidos, libre de grasas, etc.) permitiría la reutilización de las mismas en procesos industriales.

El tratamiento de aguas residuales por evapo-concentración ha demostrado ser una excelente alternativa, debido a la calidad final que presentan las aguas tratadas, siendo uno de sus puntos débiles el gasto energético asociado a este, por esto se plantea el uso de bomba de calor como fuente de energía, con el fin de obtener bajos costes por litro de agua tratado.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Un gran número de industrias en Colombia contaminan agua indiscriminadamente y la vierten directamente en la red de alcantarillado o fuentes hídricas haciendo caso omiso a la reglamentación establecida por el estado colombiano en el decreto 1594 de 1984, decreto 3930 de 2010 y decreto 4728 de 2010 donde se establecen los límites máximos de contaminación permisibles para el vertimiento de aguas residuales industriales, ver Tabla 1.

Tabla 1. Valores máximos permisibles de residuos líquidos provenientes de tintorerías.

PARÁMETRO	UNIDADES	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
		CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL	ALCANTARILLADO PÚBLICO
Generales			
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	400,0	800,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	200,0	300,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	200,0	400,0
Material Flotante	mg/L	0,5	-
Grasas y Aceites	mg/L	20,0	50,0
Fenoles	mg/L	0,2	0,2
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	5,0	8,0

Fuente: Ministerio del ambiente y desarrollo sostenible de Colombia.

Adicionalmente el alto costo que conlleva el pre tratamiento de estas aguas residuales industriales en pequeñas y medianas empresas ya sea por los elevados costos de operación del proceso o la implementación de una planta de tratamiento para realizar el mismo se convierte en otro factor agravante de dicha situación que en parte se da por el desconocimiento de tecnologías alternativas en la materia.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La actual problemática ambiental que se vive en el país por el no cuidado de nuestra flora y fauna se ha intensificado por el aumento de los vertimientos tóxicos del sector industrial a las fuentes hídricas, donde es válido precisar que estos vertimientos también están provocando una gran cantidad de problemas en el alcantarillado de las ciudades tales como depósito de sedimentos que impide el flujo normal de agua y acumulación de gases tóxicos, por tal razón se hace necesario plantear un adecuado sistema de evacuación y tratamiento de dichas aguas, obteniendo ventajas:

Ambientales

- Disminuir el vertimiento de agentes tóxicos a las fuentes hídricas logrando reducir la tasa de mortalidad de nuestra flora y fauna.
- Aumentar los índices de salubridad de las comunidades en contacto con las fuentes hídricas receptoras al mejorar la calidad del agua.

Económicos

- Reducción en los costos de operación ya que se disminuye el costo en el consumo de agua debido a la posibilidad de reutilizar el agua tratada en sus procesos.
- Se disminuye el vertimiento de líquidos contaminados, lo que reduciría los costos de la gestión de estos residuos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

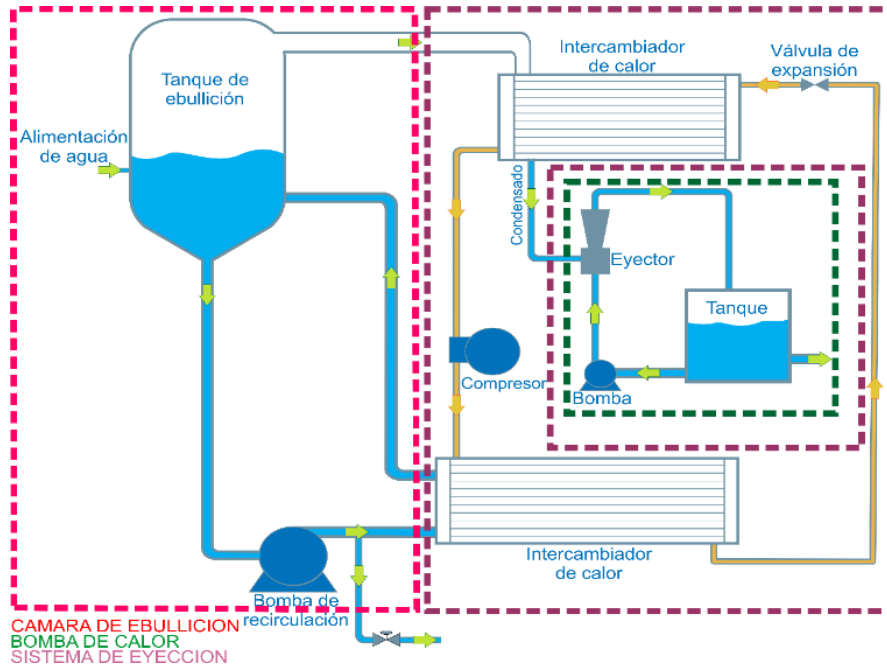
Contribuir en el cumplimiento de la misión de la Universidad Industrial de Santander que propende por la formación de personas de alta calidad ética y profesional en la generación y adecuación de conocimientos orientados al mejoramiento de procesos industriales con el diseño y construcción de un prototipo para la destilación de aguas residuales provenientes de una tintorería, mediante un sistema de evaporación al vacío por bomba de calor de tal forma que se logre una mejora en la eficiencia energética del proceso contribuyendo proactivamente a la sostenibilidad económica y la responsabilidad ambiental de la industria.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar y construir un sistema prototipo de evaporación al vacío por bomba de calor para la destilación de 1 [L/hora] de aguas residuales industriales provenientes de un proceso de tintorería, el cual estará compuesto de los siguientes sistemas:
 - Reactor que garantice la evaporación del agua a presiones inferiores de la presión atmosférica.
 - Bomba de calor que permita el aprovechamiento del calor tanto del evaporador como del condensador.
 - Sistema de eyección del destilado que garantice la continuidad en la extracción del destilado y a su vez el vacío al interior del reactor (ver Figura 1).
 - Operar el sistema con un sistema de control manual.
2. Realizar un estudio de la calidad del agua producto del proceso de tratamiento térmico comprobando sus requerimientos (ver Tabla 1).
3. Modelar el sistema para determinar el tamaño de los componentes del sistema como función de la capacidad de destilado a producir.

4. Determinar el consumo específico de energía por litro de agua destilado con el objeto de establecer su factibilidad económica.

Figura 1. Sistema de evaporación al vacío por bomba de calor



4. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son el resultado de la utilización del agua potable en las actividades del día a día, bien sean domésticas o industriales.

Las características físico-químicas de las aguas residuales de cada ciudad o asentamiento urbano varían de acuerdo con diversos factores tanto externos como internos, por ejemplo la localización geográfica, la temperatura, el origen del agua, la población, las industrias y la cultura ciudadana por el cuidado del agua entre otros.

Los vertimientos varían en su caudal como función de la hora del día y por lo general tienden a ser cíclicos. Los picos máximos de vertimientos domésticos se dan en las horas de las comidas y el aseo, mientras que los de vertimientos industriales se dan en los horarios de lavados y descargas de procesos de producción.

4.1 CONTROL DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales ha constituido siempre un gran problema para el ser humano.

Las fuentes hídricas receptoras de las aguas residuales como los ríos por ejemplo, tienen una capacidad limitada para asimilar contaminantes, antes de crear condiciones nocivas para la salud humana, animal y vegetal.

Lo anterior conlleva el desarrollo de diversos sistemas para el tratamiento de estas aguas ya que no siempre los cuerpos de agua tienen la capacidad de oxidar la materia orgánica, además de la aparición de agentes contaminantes no-orgánicos, debidos principalmente a los procesos industriales.

4.2 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

- **Aguas residuales domesticas:** Son aquellas aguas producidas por las actividades humanas relacionadas con el consumo y/o uso de agua potable en el hogar, como lo son la preparación de alimentos, las duchas, el lavado de platos y los servicios sanitarios entre otros.

Figura 2. Aguas residuales domesticas



Fuente: Disponible en internet: http://radio.rpp.com.pe/cuidaelagua/files/2009/04/bano_.jpg

- **Aguas residuales industriales:** Son aquellas aguas que han sido usadas en procesos industriales, recibiendo subproductos contaminantes como efecto de este uso. La calidad de estas es muy variable y dependerá principalmente del proceso en el cual fueron usadas y por ende contaminadas.

Figura 3. Aguas residuales industriales



Fuente: Disponible en internet: <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Toxicos/Contaminacion-de-nuestros-rios/>

- **Aguas residuales urbanas:** Pueden ser las aguas residuales domesticas o la mezcla de estas con las aguas residuales industriales y/o las aguas lluvia.

Figura 4. Aguas residuales urbanas



Fuente: Disponible en internet: <http://www.ecologiaverde.com/el-poder-de-las-aguas-residuales-urbanas/>

4.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

4.3.1 Aguas residuales domesticas

El principal contaminante de estas aguas son materias orgánicas, tanto en suspensión como en disolución, normalmente biodegradables, al igual que cantidades importantes de nitrógeno, fosforo y sales minerales. Los aportes que generan estas aguas son:

- Aguas negras o fecales.
- Aguas de lavado doméstico.
- Aguas de preparación de alimentos

Debido a que los aportes de éstas son siempre los mismos, estas aguas residuales presentan una cierta homogeneidad en composición y concentración de contaminantes. Sin embargo, las características de cada vertimiento urbano van a variar y dependerán de diversos factores internos como el número de habitantes, costumbres de los mismos, etc.

4.3.2 Aguas residuales industriales

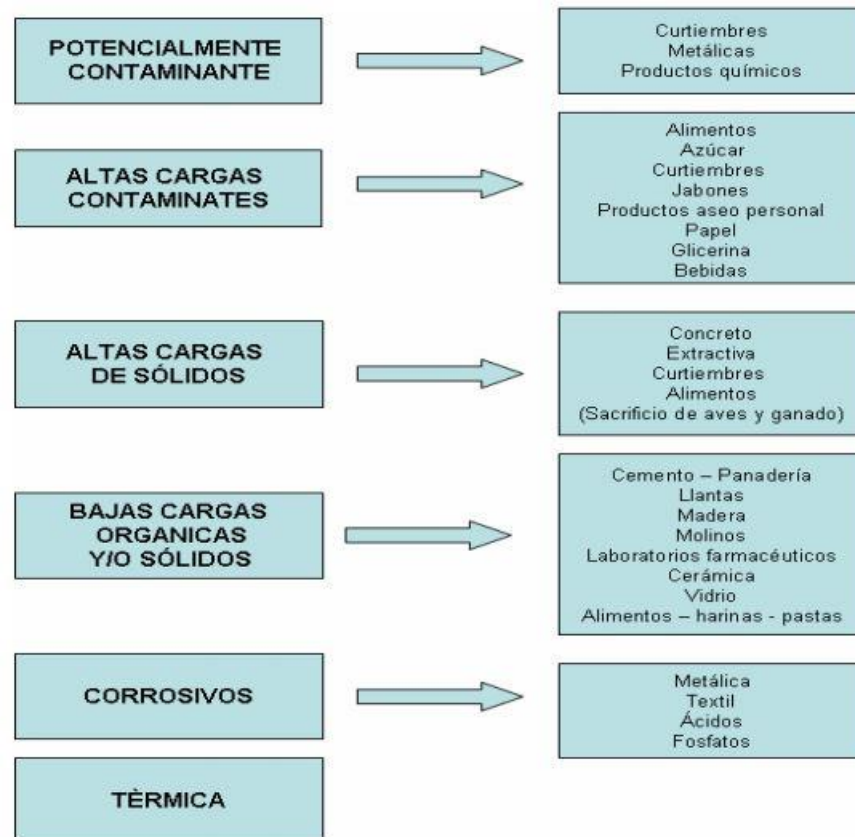
Los contaminantes de estas aguas son enormemente variables en función del proceso industrial en el cual se hayan utilizado, difiriendo las características de las mismas no solo de una industria a otra, sino también dentro de una misma industria.

En ocasiones, las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino en horarios pre-establecidos, esto en función del tipo de producción y del proceso industrial. Incluso llega a variar la concentración de los contaminantes en función del horario o el día.

Estas aguas tienen un grado de contaminación más alto y con una contaminación más difícil de eliminar. Por tanto, el tratamiento de estas aguas residuales es más complicado y en ocasiones es necesario tratamientos específicos dependiendo de

los contaminantes. A continuación se muestra una clasificación de las industrias según una cualidad de sus aguas residuales.

Figura 5. Clasificación industrias según su agua residual



Fuente: Disponible en internet:

http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/51/1/digital_15337.pdf

Las aguas residuales industriales suelen contener sustancias que no se eliminan con un tratamiento convencional como lo son la filtración y/o la sedimentación primaria. Bien sea por las elevadas concentraciones de los contaminantes, o bien por la naturaleza química de los mismos. Incluso muchos de los contaminantes presentes en estas aguas son objeto de regulación especial debido a su alta toxicidad o a sus efectos biológicos adversos a largo plazo.

4.3.3 Aguas residuales urbanas

Estas aguas presentan “cierta” homogeneidad en cuanto a su composición y su concentración de contaminantes, ya que sus contaminantes suelen ser siempre los mismos en un ciclo.

Sin embargo esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que los contaminantes de estas dependerán de diversos factores como lo son el núcleo poblacional, el tipo y la cantidad de industrias.

4.4 CALIDAD DEL AGUA

Se puede definir como la composición física, química y biológica que la caracteriza. Se considera que el agua tiene cierta calidad cuando sus características la hacen aceptable para un uso determinado.

Por ende, los criterios, estándares y objetivos de la calidad del agua varían en función del uso que se le dará a la misma, bien sea consumo humano (agua potable), uso agrícola, uso industrial, disposición final, entre otros.

Para medir la calidad del agua, se tienen en cuenta parámetros como:

- El oxígeno disuelto.
- La materia orgánica.
- Los sólidos suspendidos.
- La materia flotante.
- El ph.
- Los compuestos químicos.

4.4.1 Normatividad para la disposición de las aguas residuales

En la actualidad no existe una normatividad “estándar” que regule el vertimiento de aguas residuales industriales, esto debido a que cada país e incluso cada población

tienen diversos tipos de industrias y es imposible unificar estándares para la calidad del agua en los vertimientos de aguas residuales.

El sistema de control del estado colombiano para el vertimiento de las aguas residuales comúnmente se basa en establecer limitantes a la calidad mínima que deben tener los efluentes de aguas para su disposición final.

Generalmente la normatividad esta orienta a proteger y preservar los sistemas de alcantarillado mediante el control de las descargas de las aguas residuales industriales, que puedan producir interferencias con los sistemas de tratamientos de aguas, dar lugar al deterioro de la red de alcantarillado, a la formación de gases tóxicos y/o inflamables en las mismas.

4.4.2 Normatividad vigente colombiana

En Colombia, la reglamentación establecida por el estado colombiano se encuentra consignada en:

- Decreto 1594 de 1984
- Decreto 3930 de 2010
- Decreto 4728 de 2010

En los cuales se establecen los límites máximos de concentración de contaminantes permitidos para el vertimiento de aguas residuales industriales a la red de alcantarillado público.

Estos parámetros varían en función de la industria que está generando las aguas residuales, ya que cada una tiene contaminantes diferentes. Incluso en ciertos casos no se establecen límites máximos sino que se exige que las aguas residuales sean tratadas y se garantice un factor de remoción de carga contaminante (variación de algunos parámetros que permiten medir la calidad del agua residual sin tratar y el agua tratada) de al menos el 80%.

5. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento y/o depuración de las aguas residuales es necesario para evitar los efectos negativos de la contaminación de estas a los cauces receptores donde terminan finalmente. Los principales efectos negativos son:

- La disminución de la calidad del agua para el abastecimiento de la población, para uso industrial y/o para uso agrario.
- La disminución de los recursos hídricos disponibles, ya que es un recurso natural renovable pero limitado.
- La alteración de la capacidad de auto-depuración de los cauces receptores.
- Destrucción de la fauna y flora de los cauces receptores.
- Peligro para la salud pública.
- Contaminación atmosférica

El objetivo de tratar las aguas residuales es cumplir con las condiciones mínimas exigidas según la normativa vigente para su descarga, o antes de un tratamiento secundario.

El principio bajo el cual actualmente se realiza el tratamiento de las aguas residuales urbanas es tratar estas en una PTAR (Planta de tratamiento de aguas residuales) y dejar que la naturaleza finalice el proceso, ya que el agua tiene una capacidad de auto-depuración en los cuerpos de agua receptores.

Es importante distinguir el tratamiento de aguas residuales del proceso de potabilización del agua, ya que aunque pueden tener algunos puntos en común la calidad del agua debe cumplir con unos estándares muy superiores con el fin de que sea apta para el consumo humano.

Existen diversos tipos de tratamiento de aguas residuales, en el cual cada uno presenta una serie de ventajas y/o desventajas. Sin embargo se puede considerar

que todos los tratamientos comparten un paso común, el cual es la separación física de sólidos grandes de la masa de agua a tratar.

Los tratamientos de aguas residuales se pueden clasificar de diversas formas, entre las que se destacan:

- Según el grado de refinamiento.
- Según el tipo de proceso.

Antes de introducirnos en los diversos tratamientos de aguas residuales, es importante conocer cuáles son los tipos de contaminantes a los que se ven sometidas estas.

5.1 TIPOS DE CONTAMINANTES

Los agentes contaminantes presentes en las aguas residuales tanto residenciales como industriales se suelen clasificar en contaminantes orgánicos, inorgánicos y otros contaminantes; cada uno de estos con una serie de características que permite su fácil diferenciación.

5.1.1 Contaminantes orgánicos

Su estructura química está compuesta principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Estos son los contaminantes principales en las aguas residuales domésticas y de las industriales basadas en la industria agroalimenticia.

La principal característica de estos contaminantes es que mientras se encuentren en una concentración baja pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas (proceso en el cual hay consumo de oxígeno), sin embargo si la concentración es muy alta las bacterias terminan agotando el oxígeno del agua, volviendo esta no apta para que algunos seres del ecosistema vivan, es decir terminan contaminándola aún más.

Algunos índices que permiten medir la calidad del agua por este tipo de contaminantes son:

- Oxígeno disuelto (OD)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Los contaminantes orgánicos a su vez se pueden clasificar en:

- **Proteínas:** Proceden de heces humanas o desechos de productos alimenticios, son biodegradables y suelen producir malos olores durante su descomposición.
- **Carbohidratos:** También proceden de heces humanas o desechos de productos alimenticios, son biodegradables e incluyen azúcares y almidones.
- **Aceites y grasas:** Debido a su naturaleza no son miscibles con el agua, por ende permanecerán en la superficie de la misma ocasionando la aparición de espumas y/o natas. En su mayoría proceden de desperdicios alimenticios o de la industria (aceites minerales). Estas espumas y/o natas dificultan cualquier tratamiento físico o químico, por lo cual suelen eliminarse en los primeros pasos junto con la separación de sólidos grandes.

5.1.2 Contaminantes inorgánicos

Su procedencia generalmente es de origen mineral y su naturaleza es muy variada, por ejemplo ácidos, bases inorgánicas, metales, óxidos y sales. También gases tóxicos disueltos en el agua como el óxido de azufre, amoníaco, cloro, entre otros.

La mayor parte de estos contaminantes se presenta en forma soluble, aunque no todos. Sin embargo en esta forma son los más relevantes debido a su impacto, ya que en esta forma las sustancias son más móviles y su alcance tóxico es mayor.

- **Sustancias químicas inorgánicas:** Ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

- **Compuestos inorgánicos:** Muchas moléculas inorgánicas como plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. al ser producidos por el hombre suelen tener estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.
- **Nutrientes vegetales inorgánicos:** Nitratos y fosfatos, son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas (presencia excesiva de materia orgánica en el agua). Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua mal oliente e inutilizable.

5.1.3 Otros contaminantes

- **Arenas:** Son partículas de tamaño apreciable de origen mineral, que en ocasiones tienen materia orgánica adherida. Cuando se encuentran en movimiento enturbian el agua y pueden formar depósitos de lodos.
- **Residuos con requerimientos de oxígeno:** Son contaminantes orgánicos e inorgánicos que se tienden a oxidar fácilmente, consumiendo el oxígeno del agua.
- **Agentes patógenos:** Son micro-organismos capaces de transmitir y/o producir enfermedades en los seres vivos. Entre estos micro-organismos se encuentran bacterias, protozoos y otros organismos microscópicos. El índice usado para medir la contaminación del agua por estos agentes comúnmente es el número de bacterias coliformes presentes en el agua.
- **Sustancias radiactivas:** Algunos isótopos radioactivos que son solubles en agua, y por ende pueden estar presentes en la misma.

5.2 TIPO DE TRATAMIENTOS PARA AGUAS RESIDUALES

5.2.1 Según el grado de refinamiento

El grado de refinamiento hace referencia a la calidad final de las aguas tratadas, una vez se ha finalizado el o los tratamientos a los cuales se hayan sometido.

El número de tratamientos al cual se somete una masa de agua residual está directamente relacionada con la calidad final requerida en la misma; desde una calidad que tan solo cumpla con los requisitos mínimos para que sean aptas para verter a cauces receptores (p. ej: ríos), hasta requisitos muy altos para la potabilización del agua mediante tratamientos adicionales. Sin embargo, no siempre es posible la reutilización de las aguas residuales en procesos productivos, en estos casos basta con tratar las aguas residuales hasta alcanzar los parámetros mínimos establecidos por la ley para su vertimiento.

Según el grado de refinamiento que se desee obtener en las aguas a tratar; estas pueden ser sometidas desde tratamientos básicos (pre-eliminables y primarios) hasta tratamientos avanzados (tratamientos terciarios).

Cada uno de estos tratamientos tiene un menor o mayor alcance en el refinamiento de las aguas, en función de la contaminación inicial de las mismas. El alcance de cada uno de estos tratamientos se puede clasificar así:

- Tratamientos preliminares.
 - Remoción de sólidos grandes.
- Tratamientos primarios.
 - Remoción de sólidos suspendidos.
 - Remoción parcial de DBO¹.

¹ Parámetro que permite “medir” la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos.

- Tratamientos secundarios.
 - Remoción de sólidos disueltos.
 - Remoción de DBO soluble.
- Tratamientos terciarios.
 - Remoción de sustancias específicas (p. ej: fosforo, nitrógeno, minerales).
 - Remoción de patógenos.

5.2.1.1 Tratamientos preliminares

Se realizan como antecedentes a los demás tratamientos, principalmente cuando las aguas contienen sólidos en suspensión grandes y/o de volumen apreciable que son de fácil remoción. Por lo general se realizan a todas las aguas residuales en primera instancia a menos que carezcan de sólidos de fácil remoción, ya que esto aumenta la eficiencia de los demás tratamientos a los que se puedan llegar a someter las aguas. Los elementos que se suelen usar frecuentemente en estos tratamientos son:

- Las rejillas.
- Los tamices.
- Los micro-filtros.

Figura 6. Rejilla



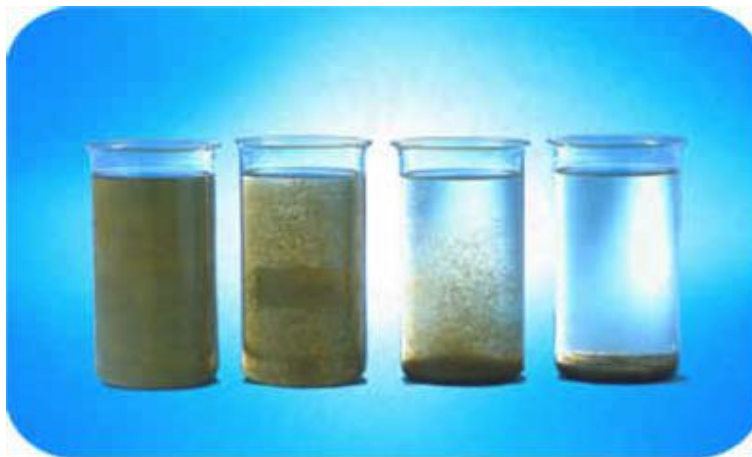
Fuente: Disponible en internet: http://www.clarvi.com/saneamiento_proyectos.php

5.2.1.2 Tratamientos primarios

El objetivo de estos tratamientos es remover materiales y/o partículas que se puedan sedimentar (Proceso que se realiza para retirar la materia sólida fina, orgánica o no, de las aguas residuales, el proceso de sedimentación puede reducir de un 20 a un 40% la DBO y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión). Estos tratamientos pueden darse mediante procesos físicos o físico-químicos.

En algunos casos basta con dejar en “reposo” las aguas residuales con el fin que estos materiales se depositen en el fondo de los tanques que contienen estas aguas; así se pueden retirar de un 60% a un 65% de los sólidos sedimentables y de un 30% a 35% de los sólidos suspendidos. En otros casos donde se buscan resultados de mayor refinamiento, se aplican sustancias químicas quelantes para lograr una “coagulación” (Proceso que permite incrementar la tendencia de las partículas de agregarse unas a otras para formar partículas mayores) y así facilitar la remoción de los sólidos.

Figura 7. Calidad del agua



Fuente: Disponible en internet: <http://pagines.uab.cat/enginy/content/mejora-de-la-calidad-ambiental-del-agua-con-tratamientos-fisicoqu%C3%ADmicos>

Otros tratamientos que se clasifican como tratamientos primarios son:

- Desaceitado
- Desengrase
- Filtración
- Neutralización
- Desorción

5.2.1.3 Tratamientos secundarios

En estos tratamientos se busca eliminar desechos y sustancias que no se logran eliminar en tratamientos primarios, remover las demandas bioquímicas de oxígeno – “DBO” (Parámetro que permite “medir” la materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión).

Los lodos activados son el tratamiento secundario más frecuente, en este tratamiento se facilita que las bacterias aerobias consuman la materia orgánica que contienen las aguas residuales, frecuentemente esto se hace mezclando el agua con lodos activos que contienen los micro-organismos para este proceso.

Figura 8. Planta de tratamiento biológico



Fuente: Disponible en internet:

<http://www.engineeringfundamentals.net/LodosActivados/fundamentos>

5.2.1.4 Tratamientos terciarios

Son tratamientos avanzados que tienen por objetivo eliminar ciertos contaminantes específicos como:

- Fosforo
- Nitrógeno
- Minerales
- Metales pesados
- Virus
- Compuestos orgánicos

Al ser tratamientos más especializados, son más costosos y suelen utilizarse solo en casos específicos donde los contaminantes presentes en el agua así lo exijan.

5.2.2 Según el tipo de proceso

Los procesos usados en el tratamiento de aguas residuales se clasifican en:

- **Procesos físicos:** Tienen como característica que no se generan sustancias nuevas en el proceso, sino que se concentran los contaminantes al evaporar el agua o filtrar los sólidos de cierto tamaño.
- **Procesos químicos:** En estos procesos se utilizan sustancias químicas durante el tratamiento y por ende se forman nuevas sustancias de residuo.
- **Procesos biológicos:** Tienen como característica el uso de micro-organismos vivos con el fin de provocar cambios biológicos y/o químicos en las aguas.

5.2.2.1 Procesos físicos

Estos procesos resultan útiles cuando las aguas residuales contienen elementos insolubles en suspensión; además evitan que contaminen o dificulten tratamientos posteriores.

Los procesos físicos más comunes son:

- **Desbaste:** Se retienen los sólidos grandes mediante rejillas. La separación entre barrotes de la rejilla varía según el uso, típicamente desde los 100 mm hasta los 3 mm entre barrotes. Las rejillas pueden poseer sistemas de limpieza automática o manual.
- **Dilaceración:** Tiene por objeto desintegrar o triturar los sólidos arrastrados. Los equipos clásicos son cilindros giratorios verticales con ranuras horizontales, en las cuales entran peines cortantes fijos. El agua entra al tambor y los sólidos son triturados entre las ranuras y los peines.
- **Desarenado:** Consiste en separar las arenas y otros materiales minerales de las aguas residuales. Se efectúa en instalaciones que rascan la arena del fondo empujándola a fosas laterales, o mediante equipos a presión.
- **Desaceitado:** Se utilizan equipos que mediante rasquetas en cintas transportadoras hacen un barrido de fondo y de superficie que permite a las gotas de aceite flotar y ser separadas.
- **Flotación:** Se mezcla el agua residual con agua a presión. Al salir ambas por un tubo se forman burbujas que arrastran a la superficie partículas de aceite o fibras que allí se separan fácilmente.
- **Decantación de lodos:** Se usa un equipo en el que el agua se introduce en una campana, por la diferencia de densidad, el agua sube y los lodos no, por lo que éstos se concentran en el fondo y son retirados mediante sifones. El agua clarificada queda en la superficie.
- **Filtración:** Es muy poco usual en el tratamiento de aguas residuales, y solo se efectúa en caso que normas muy estrictas la requieran. Se usan tanques con grava, arena u otros medios filtrantes.
- **Destilación:** Se eleva la temperatura del agua para producir su evaporación, paso seguido este vapor se condensa y se obtiene agua libre de contaminantes orgánicos e inorgánicos y de impurezas biológicas en cierto grado, esto debido a que la mayor parte de los contaminantes no se vaporizan.

El agua pasará al condensador y los contaminantes permanecerán en la cámara de evaporación.

- **Desgasificación:** Consiste en separar gases o materias volátiles disueltas en el agua. Se efectúa mediante flujo contracorriente con otro gas, con equipos de gran superficie de contacto mediante pulverización y a veces con uso de rellenos.

5.2.2.2 Procesos químicos

Cuando los contaminantes están disueltos en las aguas se suelen usar procesos químicos para producir la precipitación de estos, neutralizarlos, oxidarlos o reducirlos, según corresponda.

Los procesos químicos más comunes son:

- **Precipitación:** Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable, por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por algunos de los procesos físicos. Un reactivo de frecuente uso en este tipo de operaciones es el Ca^{2+} (Calcio), dada la gran cantidad de sales insolubles que forma, por ejemplo es el método utilizado para la eliminación de fosfatos (nutriente). Además posee cierta capacidad coagulante, lo que hace que sea de uso masivo en el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales. También se aplica a metales, tóxicos o no como Fe, Cu, Zn, Ni, Be, Ti, Al, Pb, Hg, Cr.
- **Oxidación - reducción:** Está basado en la utilización de técnicas electroquímicas, haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua (que necesariamente ha de contener un electrolito) provocando reacciones de oxidación-reducción tanto en el cátodo como en el ánodo. Por tanto se utiliza energía eléctrica como vector de descontaminación ambiental, siendo su coste una de las principales desventajas de este proceso. Sin embargo como ventajas cabe destacar la versatilidad de los equipos, la ausencia tanto de la utilización de reactivos como de la presencia de fangos y la selectividad, pues

controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada. La necesitan aguas contaminadas con cianuros, cromo hexavalente, sulfuros, cloro, y nitritos. Los reactivos más usados para oxidación son hipoclorito sódico, cloro gaseoso, y H₂SO₅ (Ácido peroxisulfúrico). Para reducción, los reactivos más usados son bisulfito sódico y sulfato ferroso.

- **Neutralización:** Es una reacción química que ocurre entre un ácido y una base produciendo una sal y agua. Se utilizan los ácidos clorhídrico, nítrico, sulfúrico, fluorhídrico, y diversas bases. A veces, en la industria de procesos se neutraliza un efluente ácido con un efluente básico, con posterior ajuste final de pH, esto permite economizar reactivos.
- **Intercambio iónico:** Es una operación en la que se utiliza un material habitualmente denominado resina de intercambio iónico, que es capaz de retener selectivamente sobre su superficie los iones disueltos en el agua, los mantiene temporalmente unidos a la superficie, y los cede frente a una disolución con un fuerte regenerante.

La aplicación habitual de estos tratamientos es por ejemplo, la eliminación de sales cuando se encuentran en bajas concentraciones, siendo típica la aplicación para la desmineralización y el ablandamiento de aguas, así como la retención de ciertos productos químicos y la desmineralización de jarabes de azúcar.

Siempre que es posible, se recuperan sustancias para su recirculación. Esto disminuye la contaminación y reduce las compras de reactivos o materias primas. Sin embargo los procesos son a veces demasiado costosos, y por lo tanto poco rentables, en estos casos los efluentes tratados se desechan. Los procesos pueden realizarse en reactores decantadores muy diferentes, tales como:

- Flotadores.
- Reactores especiales con eyectores, hélices, rascadores de precipitado, turbinas, etc.

- Clarificadores de fango.

Los tratamientos efectuados en estos equipos son fisicoquímicos, ya que se producen tanto reacciones químicas como separaciones físicas.

5.2.2.3 Procesos biológicos

Estos tratamientos se basan en el uso de micro-organismos que descomponen y asimilan gran parte de los contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales. Los dos tratamientos más importantes son lodos activados y sistemas de película fija.

El tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos se usan en mayor medida en aguas con alto contenido de contaminantes orgánicos. Sin embargo, hay micro-organismos capaces de asimilar metales pesados y/o fosfatos; de hecho casi cualquier residuo puede ser descompuesto mediante algas o micro-organismos adecuados.

- **Lodos activados:** Este tratamiento se realiza en estanques con una suspensión de micro-organismos que forman un barro o lodo activado. Se agregan las aguas residuales y los microorganismos van descomponiendo los contaminantes en sustancias simples, o asimilando otras sustancias en su interior. Luego se efectúa una decantación para separar los lodos del agua tratada. Es necesario que el sistema cuente con agitación y aireación para que funcione correctamente ya que es un proceso aerobio (proceso en el cual hay consumo de oxígeno).
- **Sistemas de película fija:** En este tratamiento las partículas activas forman una película que está adherida en paredes o en rellenos de distinto tipo. Al pasar el agua residual por estas paredes o rellenos, entra en contacto con las películas microbianas y se va depurando.

5.3 TRATAMIENTO DE LOS FANGOS

Durante el tratamiento de las aguas residuales, además del agua tratada también se obtienen una serie de fangos o lodos que requieren un tratamiento especial para su disposición final. La composición de estos lodos y por ende el tratamiento al que deben ser sometidos depende de los contaminantes que estaban presentes en las aguas residuales tratadas y de los tratamientos usados en las mismas.

Existen empresas especializadas en la gestión de estos residuos, estas son las encargadas del tratamiento y/o disposición final de estos. El costo de esta gestión suele estar asociado con el volumen de los residuos, en este caso "fangos", por ende se debe procurar que su volumen final sea mínimo para disminuir los costos de gestión.

Figura 9. Planta tratamiento de fangos



Fuente: Disponible en internet:

http://www.catedu.es/biogeo3/135_el_ciclo_integral_del_agua_urbana

5.4 DESTILACIÓN DE AGUAS RESIDUALES COMO ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO

5.4.1 La destilación

Proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación.

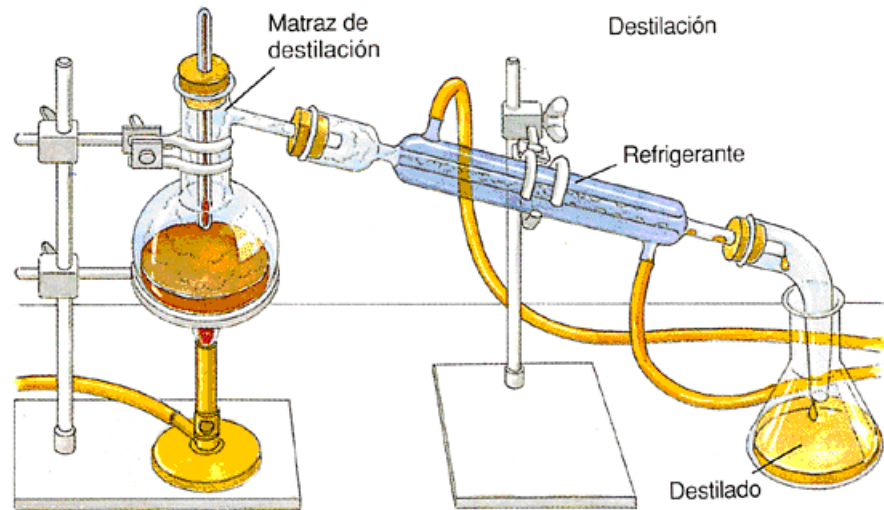
El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles. La finalidad principal de la destilación es obtener el componente más volátil en forma pura.

Si la diferencia en volatilidad (y por tanto en punto de ebullición) entre los dos componentes es grande, puede realizarse fácilmente la separación completa en una destilación individual. El agua del mar, por ejemplo, que contiene un 4% de sólidos disueltos (principalmente sal común), puede purificarse fácilmente evaporando el agua, y condensando después el vapor para recoger el producto: agua destilada. Para la mayoría de los propósitos, este producto es equivalente al agua pura, aunque en realidad contiene algunas impurezas en forma de gases disueltos, siendo la más importante el dióxido de carbono.

Si los puntos de ebullición de los componentes de una mezcla sólo difieren ligeramente, no se puede conseguir la separación total en una destilación individual. Un ejemplo importante es la separación de agua, que hierve a 100 °C, y alcohol, que hierve a 78,5 °C. Si se hierve una mezcla de estos dos líquidos, el vapor que sale es más rico en alcohol y más pobre en agua que el líquido del que procede, pero no es alcohol puro. Con el fin de concentrar una disolución que contenga un 10% de alcohol (como la que puede obtenerse por fermentación) para obtener una disolución que contenga un 50% de alcohol (frecuente en el whisky), el destilado ha

de hacerse una o dos veces más, y si se desea alcohol industrial (95% de alcohol) son necesarias varias destilaciones.

Figura 10. Dispositivo de destilación simple



Fuente: Disponible en internet:

<https://texperidis.wikispaces.com/Destilaci%C3%B3n+del+vino>

5.4.2 Etapas de la destilación

En la destilación se pueden diferenciar claramente 2 etapas, las cuales a su vez representan el comportamiento del líquido.

- **Evaporación:** Se aumenta la temperatura de la mezcla de líquidos con el fin de evaporar el componente más volátil, forzando así la separación de sus componentes dado que cada uno tiene diferentes puntos de ebullición.
- **Condensación:** El componente evaporado de la mezcla de líquidos se pone en contacto con una superficie de menor temperatura con el fin de disminuir la temperatura del vapor hasta que este se condense y se pueda recoger en fase líquida.

Si repetimos el proceso con el líquido recogido para mejorar la pureza del producto se llama doble destilación.

Teniendo en cuenta que la evaporación es un sistema de separación, se constata la presencia de tres fluidos diferenciados: Alimento, Destilado y Concentrado.

- **Alimento:** Es el líquido de entrada al evaporador. En este caso se trataría de agua contaminada con diversos productos inorgánicos u orgánicos, sólidos en suspensión, etc. Se precisa en algunos casos de un pre tratamiento que puede consistir en remoción de sólidos gruesos, decantación, neutralización o ajuste del pH cuando convenga, etc.
- **Destilado:** Es el fluido obtenido de la evaporación que ha pasado de vapor a líquido. Se trata de agua más o menos pura. Puede estar, no obstante, contaminada por la presencia de sustancias volátiles que se han evaporado junto con el agua.
- **Concentrado:** Es el producto residual final, es decir el balance entre destilado y alimento. Por lo general, se consiguen reducir los volúmenes de ingreso unas 10 o 15 veces; se puede llegar incluso a residuo seco con equipos especiales. Generalmente el tratamiento más recomendado es la incineración del residuo o su valorización como combustible en hornos de firmas cementeras. Existen gestores especializados en este tratamiento o cesión que resultan de bajo coste. En cualquier caso, la enorme reducción de volumen del residuo hace muy rentable la inversión por el ahorro que representa en gastos de cesión a los gestores tradicionales.

5.4.3 La evapo-concentración

El proceso de evaporación consiste en la eliminación de un líquido de una solución, suspensión o emulsión por tratamientos térmicos. Se dice entonces, que la solución, suspensión o emulsión se está concentrando, y para lograr dicho propósito debemos suministrar calor externo, el cual se pone en contacto con el producto a través de una superficie calefactora. Es una separación de componentes por efecto térmico, en donde se obtienen dos productos de distintas composiciones físico-químicas.

En la mayoría de los casos, el producto evaporado, (solvente volátil, que generalmente es agua) es un producto sin valor comercial, mientras que el líquido concentrado, (solute no volátil) es el que tiene importancia económica (cabe mencionar que puede suceder al revés, como en el tratamiento de aguas residuales). Debemos tener en cuenta que los productos a evaporar se comportan de diferentes formas de acuerdo a su características físico-químicas, las cuales pueden definir un comportamiento de termo sensibilidad, de producir reacciones de precipitación, de aglomeración o de polimerización, y un tratamiento inadecuado puede producir un deterioro parcial o total de distintos componentes químicos involucrados en el líquido y de esta forma modificar indeclinablemente las propiedades del mismo. ²

Las propiedades físicas que cambian en mayor medida durante la evaporación y que limitan el rango de operación son la viscosidad y la elevación del punto de ebullición. Otras variables importantes en las operaciones de transferencia de calor son la conductividad térmica, la capacidad calorífica y la densidad. Todas afectan la velocidad de transferencia de calor en menor o mayor grado, la viscosidad del producto influye directamente en el coeficiente de transferencia de calor, sobre todo al obtener altas concentraciones dificultando su flujo. A medida que el líquido se concentra su temperatura de ebullición aumenta, ya que es una propiedad coligativa (dependen del número de partículas disueltas en una cantidad fija de solvente), por lo que el ΔT disminuye reduciendo a su vez la velocidad de transferencia de calor, por lo tanto resulta vital que esta temperatura no exceda la temperatura del fluido empleado como medio calefactor.

Los requisitos para conseguir una evaporación óptima son:

² Tomado de <http://www.espaqfe.com.ar/evaporacion/evaporacion1.htm>

- Mayor transferencia de calor: La velocidad en la transferencia de calor determina el tiempo requerido para conseguir la evaporación. Esta depende del tipo de solución a concentrar (propiedades físicas), el tipo de evaporador utilizado (eficiencia del diseño) y el área de transferencia de calor.
- Eficiencia de la separación vapor-líquido: La separación del vapor en ebullición del líquido, es crucial para la eficiencia del diseño del evaporador.
- Uso eficiente de la energía: El evaporador debe hacer un perfecto uso del calor disponible y de las fuentes de energía. Esto se logra por medio de la recuperación del calor residual para precalentar el producto; usando evaporación multiefecto y/o recompresión térmica.

La operación de evaporación básicamente implica transferencia de energía (calor para la vaporización y la condensación), transferencia de masa (eliminación del disolvente) y flujo de fluidos (alimentación y flujo de vapor). El fluido caloportador se llama vapor primario, cede su calor latente al producto a evaporar. La superficie de contacto entre el vapor primario y el producto, separa el aparato en dos partes: un evaporador, donde se elimina el vapor secundario (producido en la evaporación) y un condensador del vapor primario. Por lo tanto, se trata de un intercambiador de calor latente.

5.4.4 Propiedades coligativas de soluciones³

Estudios teóricos y experimentales han permitido establecer, que los líquidos poseen propiedades físicas características. Entre ellas cabe mencionar: la densidad, la propiedad de ebullición, congelar y evaporar, la viscosidad y la capacidad de conducir la corriente eléctrica, etc.

Cada líquido presenta valores característicos para cada una de estas propiedades. Cuando un soluto y un solvente dan origen a una solución, la presencia del soluto

³ Tomado de: http://www.radiodent.cl/quimica/propiedades_coligativas_de_soluciones.pdf

determina una modificación de estas propiedades con relación a su estado normal en forma aislada, es decir, líquido puro. Estas modificaciones se conocen como propiedades de una solución.

Las propiedades de las soluciones se clasifican en dos grandes grupos:

- Propiedades constitutivas: Son aquellas que dependen de la naturaleza de las partículas disueltas. Ejemplo: viscosidad, densidad, conductividad eléctrica, etc.
- Propiedades coligativas o colectivas: Son aquellas que dependen del número de partículas (moléculas, átomos o iones) disueltas en una cantidad fija de solvente, las cuales son: Descenso en la presión de vapor del solvente, aumento del punto de ebullición, disminución del punto de congelación. Es decir, son propiedades de las soluciones que solo dependen del número de partículas de soluto presente en la solución y no de la naturaleza de estas partículas.

El uso de las propiedades coligativas permite:

- Separar los componentes de una solución por un método llamado destilación fraccionada.
- Formular y crear mezclas frigoríficas y anticongelantes.
- Determinar masas molares de solutos desconocidos.

5.4.5 Destilación en vacío

Consiste en reducir la presión del interior de la caldera del evaporador por debajo de la presión atmosférica. Esto permite reducir la temperatura de ebullición del líquido a evaporar, lo que reduce la cantidad de calor a aportar/eliminar en el proceso de ebullición y de condensación, además de otras ventajas técnicas como la de poder destilar líquidos con alto punto de ebullición, evitar la descomposición de sustancias sensibles a la temperatura, etc.

Figura 11. Punto de ebullición según presión



Fuente: Disponible en internet:

<http://www.controlgraf.com/evaporadores/evaporacion-al-vacio.htm>

La destilación en vacío es un proceso con una elevada eficiencia energética, es decir un bajo consumo y prácticamente sin mantenimiento. Normalmente para el tratamiento de grandes volúmenes de aguas residuales, la destilación está precedida de otras tecnologías de concentración como la osmosis inversa.

El rango de aplicación de estos equipos es prácticamente ilimitado. Algunas de las aplicaciones más comunes son:

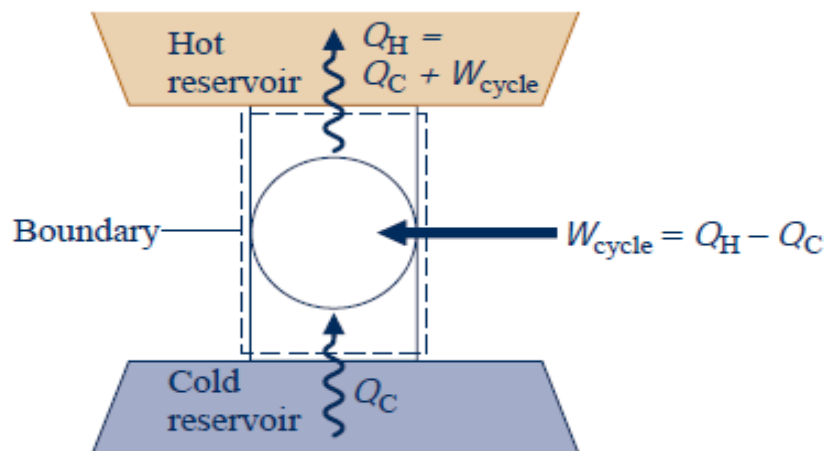
- Emulsiones aceitosas, desmoldeantes.
- Aguas de lavado de cisternas y reactores (Industria Química, Farmacéutica, Cosmética, Perfumería).
- Baños de trabajo y aguas de lavado en procesos galvánicos y tratamientos de superficies.
- Líquidos penetrantes.
- Residuos de artes gráficas (aguas limpieza, tintas, etc.).

6. BOMBA DE CALOR

El calor fluye naturalmente de una temperatura más alta a una temperatura más baja. Las bombas de calor, sin embargo, son máquinas térmicas capaces de forzar el flujo de calor en la otra dirección, usando una cantidad relativamente pequeña de energía de alta calidad de accionamiento (electricidad, combustible, o el calor residual de alta temperatura). Así, las bombas de calor pueden transferir calor de fuentes de calor naturales de los alrededores, como el aire, el suelo o el agua, o de fuentes de calor generadas por la acción del hombre tales como residuos industriales o domésticos, a un edificio o una aplicación industrial.

Las bombas de calor más comunes, son las operadas bajo ciclos de compresión de vapor, las cuales están formadas por un circuito frigorífico clásico (compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador) que permite al calor transportarse de un foco de baja temperatura a un foco de alta temperatura, invirtiendo el flujo natural del calor, a expensas de un aporte de trabajo exterior (Ver Figura 12).

Figura 12. Máquina térmica



Fuente: M.J.MORÁN y H.N. SHAPIRO. "Fundamentals of Engineering Thermodynamics". 7a ed. United States. Editorial Wiley. 2011

Las bombas de calor tienen muchas características similares a las de un sistema de refrigeración, pero a diferencia de este último que tiene por objetivo sustraer calor por el evaporador, la bomba de calor aprovecha el calor cedido por el condensador y no el absorbido por el evaporador. Al igual que los sistemas de refrigeración las bombas de calor de ciclo cerrado pueden ser de tipo compresión de vapor o por absorción.

Una de las ventajas de una bomba de calor es que se mueve el calor en lugar de generar calor, lo que le da una mayor eficiencia energética, permitiendo recuperar la energía que en muchos procesos es necesaria evacuar, sin posibilidad de ser aprovechada, debido a su baja temperatura y mediante un proceso térmico hacerla nuevamente útil.

A las bombas de calor se le pueden dar varios usos, como domésticos o industriales, en el sector doméstico se utilizan principalmente para calefacción, tanto enfriar como calentar el ambiente. En el sector industrial se encuentran, por nombrar algunos usos, el secado de productos, el calentamiento de aguas, la destilación y obtención de concentrados.

6.1 RESEÑA HISTÓRICA⁴

El principio de funcionamiento de las bombas de calor no es reciente. Sus orígenes provienen de lo establecido por Carnot en 1824, de los conceptos de ciclo y reversibilidad, y por la concepción teórica posterior de Lord Kelvin. Un gas evolucionaba cíclicamente, era comprimido y posteriormente expandido, obteniendo frío y calor.

⁴ Tomado de: Optimización del prototipo de refrigeración por absorción intermitente usando el par refrigerante bromuro de litio (Br-Li) agua, del laboratorio de plantas térmicas.

El desarrollo de los equipos de refrigeración tuvo un rápido progreso, en aplicaciones como la conservación de alimentos y el aire acondicionado. Sin embargo las posibilidades de utilizar la otra fuente térmica, es decir el calor y el frío simultáneamente no se aprovecharon.

Esto fue debido por una parte a las dificultades tecnológicas que presentaba la construcción de la bomba de calor y por otra al bajo precio de la energía, que hacía que ésta no fuera competitiva con los sistemas tradicionales de calefacción a base de carbón, fuel-oil o gas, que presentaban una clara ventaja en relación con sus costes. Por ejemplo, en 1965, en Estados Unidos, sólo las bombas de calor con un COP superior a 5 conseguían acercarse a los costes del combustible más caro, que en esos años era el gas.

A finales de los años cincuenta se inició la expansión de la bomba de calor en Estados Unidos y su producción en serie, con la siguiente evolución en el número de ventas: 1954 (2.000 unidades), 1957 (10.000 unidades), 1963 (76.000 unidades).

En Europa no se inicia su comercialización hasta 1970. Así, en 1973 se vendieron en Francia 600 bombas de calor de tipo doméstico y 7.000 unidades en 1977. En España en 1980, del orden de 2.500 unidades. En 1968 se realizó la primera instalación con bomba de calor a gas en Europa, en una pista polideportiva holandesa.

La crisis del petróleo y el alza de los precios de los combustibles a partir de 1973, impulsó las investigaciones en nuevos equipos de alta eficiencia, además de cambiar el posicionamiento de los costes de calefacción, situación que benefició el desarrollo de la bomba de calor.

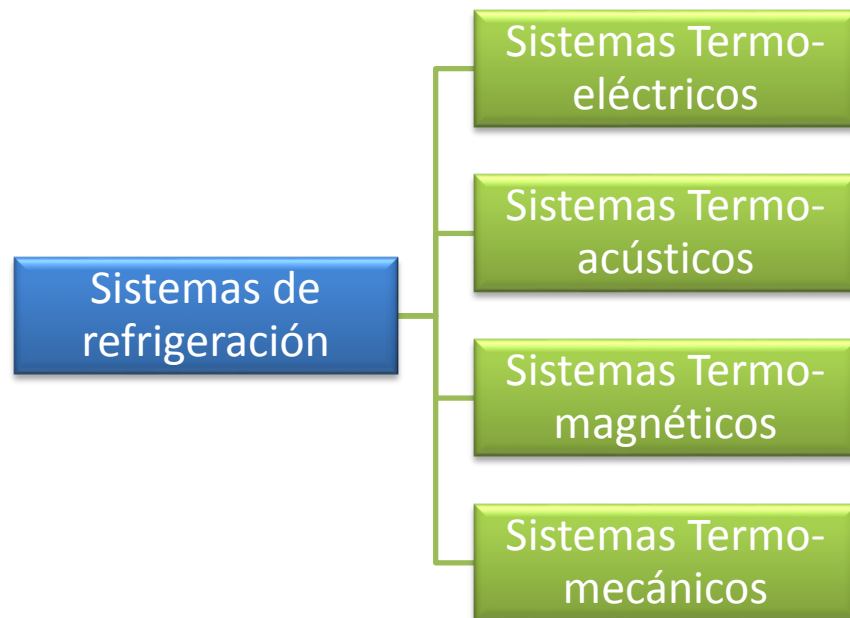
Actualmente la utilización de bombas de calor se justifica, además del ahorro energético que suponen, por su contribución a la reducción de las emisiones de

CO2. Las bombas de calor consumen menos energía primaria que los medios tradicionales de calefacción. Sin embargo, a nadie se le escapa que el efecto sobre el medio ambiente de las bombas de calor depende mucho de cómo se genere la energía eléctrica.

6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

La refrigeración es el proceso que permite llevar el calor de una zona de baja temperatura a una zona de alta temperatura, gracias al suministro de algún tipo de energía. En vista de esto, los sistemas de refrigeración pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de energía que deba ser suministrada para su funcionamiento, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Clasificación de los sistemas de refrigeración

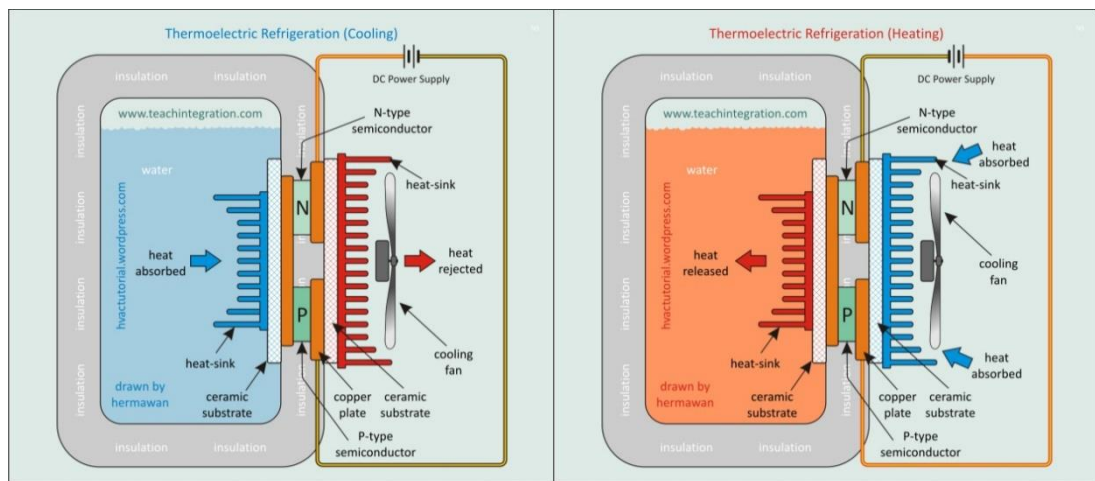


6.2.1 Sistemas Termo-Eléctricos

La refrigeración termo-eléctrica está basada en el efecto Peltier, y constituye un sistema de conversión directa de electricidad en transferencia de calor de un sitio de baja a uno de alta temperatura, sin pasar por energía mecánica ni térmica como ocurre con los sistemas de compresión o absorción. Al tratarse de un sistema completamente estático, sin partes móviles, alimentado únicamente por corriente continua, es muy útil en todas aquellas aplicaciones en donde la carga a refrigerar esté en movimiento, además, a ello se une la ausencia de ruido durante su funcionamiento. Su rango de aplicación se extiende desde cargas frigoríficas de unas décimas de vatio hasta valores del orden de 1 [kW].

En la figura 14 se puede observar el esquema de un sistema de refrigeración termo-eléctrico de enfriamiento y calefacción respectivamente.

Figura 14. Sistema de refrigeración termoeléctrica



Fuente: Disponible en internet: <http://hvactutorial.wordpress.com/refrigeration-system/special-refrigeration-system/thermoelectric-refrigeration-system/>

Los sistemas termo-eléctricos tienen generalmente un 5-10% de eficiencia. Dada su relativa poca eficiencia, la refrigeración termo-eléctrica suele utilizarse sólo en entornos en los que importa más la naturaleza de estado sólido (sin partes móviles) que la eficiencia, constituyendo la única solución viable en aplicaciones tales como

la refrigeración de equipos electrónicos móviles, refrigeradores clínicos portátiles, acondicionamiento de aire en submarinos y en general en todos aquellos sistemas en los que por diversas razones (movilidad, ruido, etc.) no son de aplicación los sistemas convencionales de compresión y absorción.⁵

6.2.2 Sistemas Termo-Acústicos

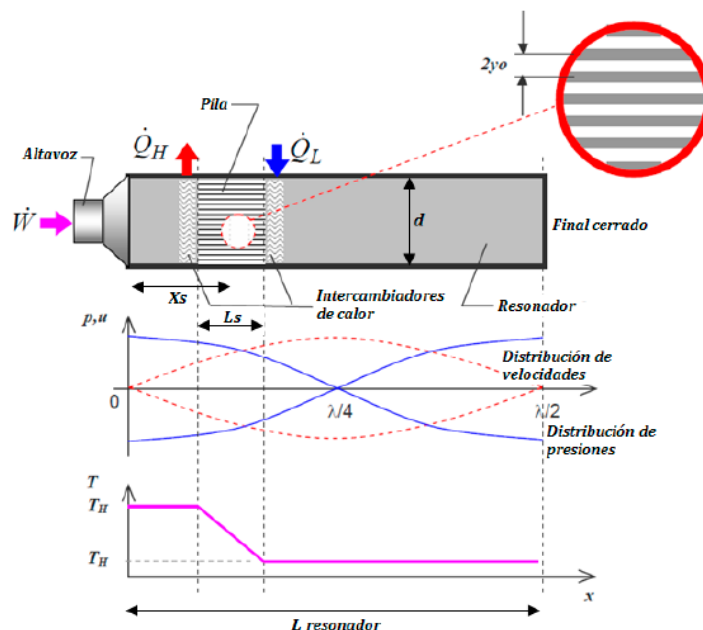
La refrigeración termo-acústica es una alternativa innovadora que se basa en dos principios termodinámicos importantes, en primer lugar la temperatura de un gas se eleva cuando se comprime y disminuye cuando este se expande, en segundo lugar cuando dos sustancias se colocan en contacto directo el calor fluirá de la mayor a la de menor temperatura.

Un sistema de refrigeración termo-acústico debe contar básicamente con un tubo resonante, un parlante acoplado a una de sus extremidades, una pila termo acústica, dos intercambiadores de calor y un gas de trabajo. Cuando el parlante es excitado por una señal eléctrica este genera una onda, la cual hace que el fluido de trabajo se mueva a través de la pila donde la presión, la temperatura y la velocidad varían a través del tiempo.

Como se muestra en la figura 15, el ciclo termo acústico se puede describir, considerando que una porción de gas se mueve hacia la izquierda. Su temperatura aumenta con el aumento de la presión y después pierde velocidad, en el momento de cambiar la dirección de su movimiento, el gas caliente libera calor dentro de la pila. Durante la próxima mitad del ciclo una porción de gas se mueve hacia la derecha y se expande quedando con la capacidad de absorber calor.

⁵ Tomado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=40704>

Figura 15. Refrigerador termo acústico



Fuente: “Diseño y construcción de un sistema de refrigeración termo acústica”.
[Santander, Colombia. En línea].

6.2.3 Sistemas Termo-Magnéticos

La refrigeración termo-magnética se basa en el efecto magneto calórico (MCE, por sus siglas en inglés), que es un fenómeno por el cual se causa un cambio en la temperatura de un material determinado por su exposición a un campo magnético cambiante. Actualmente el Gadolinio y sus aleaciones son los mejores materiales disponibles para la refrigeración termo-magnética ya que producen cambios de hasta 3 o 4 [K] por cada tesla de cambio en el campo magnético.

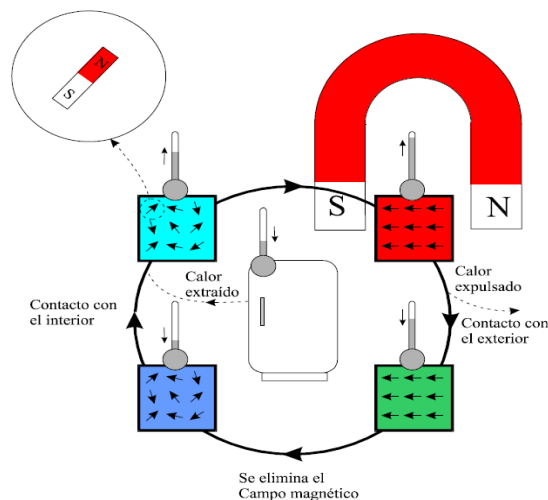
La refrigeración magnética aprovecha el efecto magneto calórico para remplazar los procesos de compresión y expansión de los sistemas convencionales por procesos de magnetización y desmagnetización de un material magneto calórico.

En estos sistemas, la transferencia de calor se produce cuando cambia el campo magnético aplicado sobre el material en un proceso en el que la presión permanece constante.

A diferencia del ciclo de vapor, en los sistemas de refrigeración magnética el refrigerante (material magneto calórico) es un sólido y no se puede bombear a través de intercambiadores de calor. Por tanto se emplea un fluido que transfiere la energía entre el refrigerante magnético y los depósitos.

Las etapas se esquematizan en la figura 16, comenzando en la parte superior izquierda en el cuadro de color celeste, donde los átomos se encuentran en una posición aleatoria a temperatura ambiente, al introducir un campo electromagnético los átomos se alinean en dirección de este y el material se calienta, representado por el cuadro rojo, colocándose en contacto con el medio exterior y manteniendo el campo donde la temperatura disminuye hasta la del ambiente. Luego se elimina el campo magnético produciendo el desalineamiento de los átomos disminuyendo su temperatura, simbolizado por el cuadro azul, colocándose en contacto con el ambiente o medio a refrigerar extrayendo el calor y de nuevo se repite el ciclo.

Figura 16. Ciclo de refrigeración termo magnética



Fuente: Disponible en internet:

<http://icma.unizar.es/depart/termomag/documents/REFRIGERACION%20MAGNETICA.pdf>

Este proceso se denomina desimanación adiabática y se emplea desde 1927 para conseguir temperaturas extremadamente bajas en los laboratorios, cercanas al cero absoluto.

6.2.4 Sistemas Termo-Mecánicos

Los ciclos de refrigeración termo-mecánicos se basan en el empleo de fluidos refrigerantes cuyo punto de ebullición disminuye considerablemente al ser sometidos a un descenso de presión. Estos se pueden clasificar de acuerdo al estado en el que se encuentra el fluido de trabajo que utilizan, es decir, los ciclos de compresión de vapor trabajan con vapor saturado o cercano a la saturación, los ciclos de compresión de gas con vapor sobrecalentado y por último los ciclos de compresión de líquido se refieren a los ciclos de refrigeración por absorción, que pueden utilizar diferentes pares de absorbente-refrigerante como se verá más adelante.

6.3 SISTEMAS TERMO-MECÁNICOS DE BOMBA DE CALOR

En aplicaciones industriales se pueden distinguir dos clases de sistemas de bombas de calor, los sistemas cerrados y los sistemas abiertos.

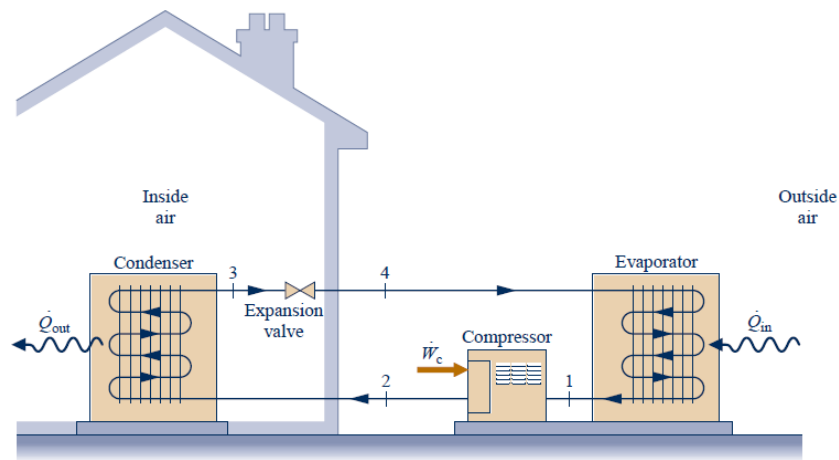
6.3.1 Sistemas cerrados

Los sistemas de bomba de calor de ciclo cerrado usan un fluido de trabajo, el cual generalmente es un refrigerante en un sistema sellado, igual a un sistema de refrigeración. Estos sistemas pueden emplear ya sea el principio de absorción o el de compresión de vapor, dependiendo de las temperaturas de trabajo y la economía del proceso. Durante su operación, el calor requerido es transferido hacia y desde el sistema por medio de intercambiadores de calor.

6.3.1.1 Bomba de calor por Compresión de vapor

Los sistemas de bomba de calor por compresión de vapor usan el mismo principio que los sistemas de refrigeración por compresión de vapor.

Figura 17. Bomba de calor por compresión de vapor



Fuente: M.J.MORÁN y H.N. SHAPIRO. "Fundamentals of Engineering Thermodynamics". 7a ed. United States. Editorial Wiley. 2011

El principio de funcionamiento es el siguiente: Primero, el refrigerante o fluido de trabajo de la bomba de calor, extrae calor de un medio que se encuentra a baja temperatura (foco frío) por medio de un intercambiador de calor llamado evaporador, ya que en este lugar el refrigerante se evapora al absorber el calor.

Luego el refrigerante a baja temperatura y en estado gaseoso ingresa al compresor. En este dispositivo su presión aumenta y por ende su temperatura, además de provocar el movimiento del fluido a través del ciclo y es en esta etapa donde se suministra el trabajo externo para el funcionamiento de la bomba de calor, el cual implica el único gasto energético de una bomba de calor.

Al aumentar la presión, la temperatura de saturación del refrigerante también aumenta. Por lo tanto éste será capaz de condensarse a una temperatura más alta,

aprovechando esta nueva temperatura de saturación, el fluido se lleva a otro intercambiador, donde se condensa cediendo el calor que había adquirido en el evaporador. Éste recibe el nombre de condensador, por el fenómeno que le ocurre al refrigerante en este componente. Teóricamente, el calor cedido es: el calor absorbido más el trabajo externo aportado.

Finalmente, se disminuye la presión del refrigerante por medio de un dispositivo de expansión (válvula de expansión o tubo capilar), para retornar nuevamente al evaporador y repetirse el ciclo.

6.3.1.2 Bomba de calor por absorción

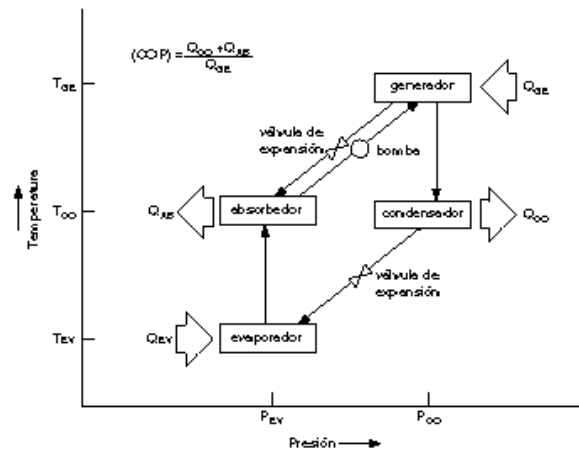
Esta bomba de calor tiene los mismos elementos que la bomba de calor por compresión de vapor a excepción del compresor que se sustituye por un circuito de generador-absorbedor. Este ciclo de refrigeración requiere poco consumo de energía mecánica para el bombeo entre el absorbedor y el generador, pero demanda gran cantidad de energía térmica para producir la destilación en el generador.

Debido a las grandes exigencias de energía térmica para la operación de este tipo de sistema solo se usan en el sector industrial, especialmente en procesos industriales donde se desechan a la atmósfera gases de escape a altas temperaturas.

En este sistema la producción de frío también se consigue mediante la evaporación de un fluido. Sin embargo, mientras que en el proceso de frío en sistemas por compresión de vapor se realizaba una compresión mecánica del vapor del refrigerante aspirado del evaporador, en un ciclo por absorción se produce una compresión térmica, en el que primero se absorbe y disuelve mediante un líquido apropiado como medio de absorción. Este sistema se basa en la afinidad fisicoquímica entre parejas de compuestos como el agua y el amoníaco, o el bromuro de litio y el agua.

Una importante ventaja es que los agentes utilizados en la solución son totalmente inocuos para el medio ambiente. Por ejemplo el ciclo aprovecha la gran afinidad del amoníaco con el agua, utilizado aquel como agente frigorífico dado que es fácilmente absorbido por esta. El amoníaco (NH₃) es el más tradicional de los refrigerantes inorgánicos conociéndose con la denominación de R-717.⁶

Figura 18. Niveles de presión y temperatura en ciclo de absorción



Fuente: Disponible en internet: <http://www.iie.org.mx/publica/bolso96/tecni2.htm>

La máquina térmica por absorción funciona de la siguiente manera:⁷ En el evaporador se produce la evaporación del agua (fluido refrigerante), a una temperatura T_{EV} permitiendo absorber el calor latente de evaporación Q_{EV} del sistema, refrigerando ésta hasta un mínimo de 4,5°C. Seguido a esto en el absorbedor se produce la absorción de vapor de agua por parte de la disolución de sal concentrada de Bromuro de Litio o amoníaco, la cual proviene del generador a una temperatura T_{AB} además de proporcionar una cantidad de calor Q_{AB} al receptor de calor.

⁶ Tomado de: <http://www.absorsistem.com/tecnologia/absorcion/funcionamiento-del-ciclo-de-absorcion-reversible-en-bombas-de-calor-con-solucion-de-amoniaco>

⁷ Tomado de: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Bombas-De-Calor/4277495.html>

Luego en el concentrador o generador se produce la evaporación mediante una aportación térmica suficiente Q_{GE} . Con esta evaporación se genera la separación del refrigerante (agua) de la solución diluida de Bromuro de Litio o amoniaco a una temperatura T_{GE} . Subsecuente a esto el refrigerante en forma de vapor pasa al condensador, mientras que la solución caliente y la solución de concentración débil es bombeada hasta los pulverizadores del absorbedor.

Después en el condensador se produce la condensación del fluido de trabajo procedente de la evaporación producida en el generador. Dicha condensación se da a una temperatura T_{CO} mientras proporciona una cantidad de calor Q_{CO} al receptor de calor de la bomba de calor.

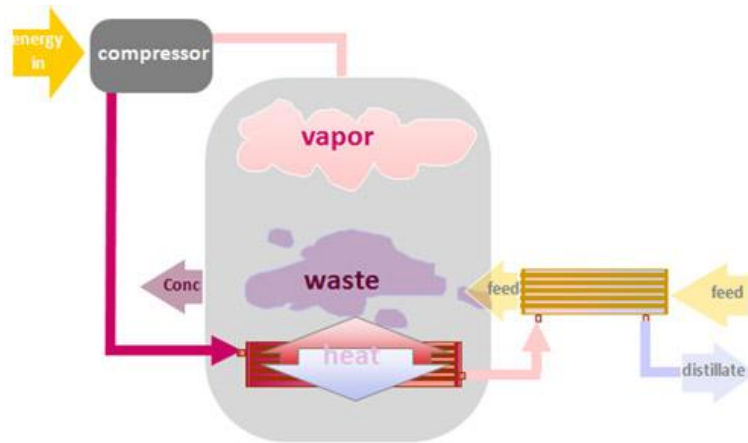
Finalmente, el fluido de trabajo pasa por la válvula de expansión antes de llegar al evaporador reiniciando nuevamente el ciclo.⁸

6.3.2 Sistemas abiertos o de Recompresión Mecánica de Vapor

Son sistemas de ciclo abierto en el que mediante la adición de un trabajo (trabajo de compresión), se eleva la temperatura del fluido de trabajo (vapor) y es posible transferirle la energía calorífica al mismo fluido, esta transferencia de calor se da en un proceso de condensación, ver figura 19.

⁸ Tomado de: <http://www.iie.org.mx/publica/bolso96/tecni2.htm>

Figura 19. Sistema de recompresión mecánica de vapor



Fuente: Disponible en internet:

<http://www.evaled.com/assets/graphs/evaporator05.jpg>

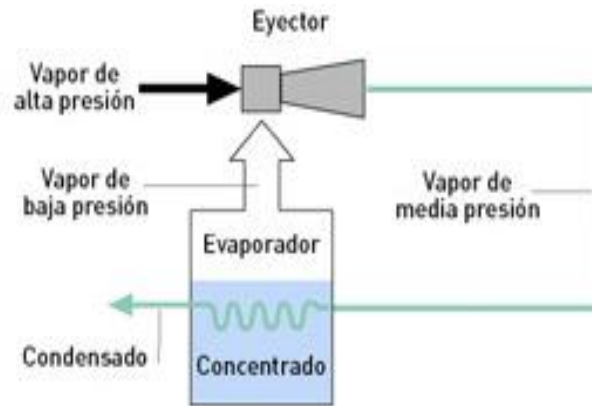
Las bombas de calor de sistema abierto o ciclo abierto, son sistemas en los que solo existe un fluido de trabajo, diferente a las bombas de calor de ciclo cerrado, donde existen dos fluidos, uno el fluido refrigerante y otro el fluido al que se le transfiere el calor. Aparte de lo anterior estos sistemas solo operan con un intercambiador de calor y no con dos (evaporador y condensador), como lo hacen las bombas de calor de ciclo cerrado. Estos sistemas trabajan con temperaturas de foco frío de 70°C a 80°C y ceden el calor a temperaturas entre 110°C y 150°C. Dado que la diferencia de temperaturas suele ser pequeño, su eficacia es elevada y se obtienen COP de 10 a 30⁹.

En la figura 20 se muestra un sistema de recompresión de vapor por eyector de termo-compresión. El vapor obtenido en el proceso de evaporación (vapor a baja presión) es comprimido mediante un eyector de termo compresión que opera con vapor a alta presión. Seguido a esto los vapores comprimidos a un presión media ceden su calor al ser condensados en un intercambiador de calor. La ventaja de

⁹ Tomado de: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/bomba-de-calor-industrial#ancla>

usar eyectores es que presentan bajo coste y larga vida de operación, prácticamente indefinida.

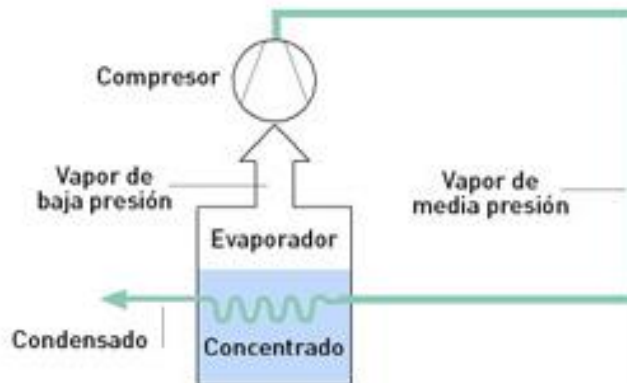
Figura 20. Sistema MVR por eyector



Fuente: Disponible en internet: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/bomba-de-calor-industrial#ancla>

En el esquema mostrado en la figura 21, el vapor generado en el evaporador es comprimido en un compresor mecánico, hasta una presión media y luego este vapor es condensado en un intercambiador de calor, en el que el vapor cede su calor al líquido concentrado.

Figura 21. Sistema MVR por compresor



Fuente: Disponible en internet: <http://www.empresaeiciente.com/es/catalogo-de-tecnologias/bomba-de-calor-industrial#ancla>

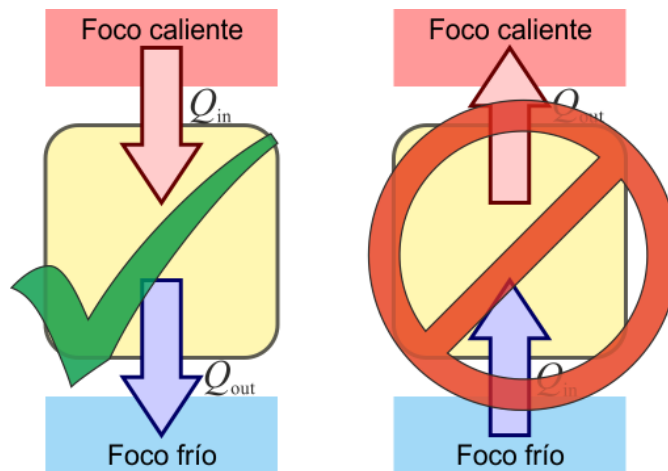
6.4 LEYES DE LA TERMODINAMICA

La primera ley de la termodinámica establece la conservación de la energía, generalizada para incluir el calor como una forma de transferencia de energía. Esta ley afirma que un aumento en alguna de las formas de energía debe estar acompañado por una disminución en alguna otra forma de la misma, pero no produce ninguna restricción sobre las conversiones de energía que pueden ocurrir. Por ejemplo, se establece que la energía interna de un sistema puede incrementarse ya sea agregando calor o realizando trabajo sobre el mismo, pero existe una gran diferencia entre el calor y el trabajo que no se evidencia en la primera ley.

La segunda ley de la termodinámica establece que procesos pueden ocurrir o no en la naturaleza. De todos los procesos permitidos por la primera ley, solo algunas conversiones de energía pueden ocurrir. Los siguientes son algunos procesos compatibles con la primera ley de la termodinámica, pero que se cumplen en un orden gobernado por la segunda ley.

- Se puede convertir todo el trabajo en calor, pero no se puede convertir el calor en trabajo sin modificar los alrededores.
- Cuando dos cuerpos de diferente temperatura se ponen en contacto, el calor fluye del cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura, pero es imposible lo contrario.
- La sal se disuelve en el agua, pero la separación de la mezcla requiere de una influencia externa.
- Cuando se deja caer una pelota en el suelo, esta rebota hasta detenerse, pero nunca ocurre lo contrario.

Figura 22. Segunda ley de la termodinámica



Fuente: Disponible en internet:

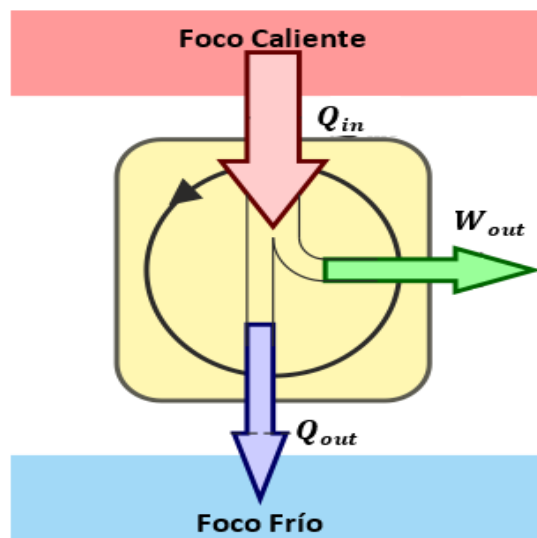
<http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Clausius-02.png>

Todos estos son ejemplos de procesos irreversibles, es decir, que solo ocurren en una dirección. La segunda ley de la termodinámica se puede enunciar desde diferentes puntos de vista, por lo que tiene varias aplicaciones prácticas. Desde el punto de vista de la ingeniería los dos enunciados de mayor importancia son el de Kelvin-Planck y el de Clausius.

El enunciado de Kelvin-Planck gobierna las máquinas térmicas y dice: “es imposible construir una máquina térmica que, operando en un ciclo, no tenga otro efecto que absorber la energía térmica de una fuente y realizar la misma cantidad de trabajo”.

En la práctica, tenemos que absolutamente todas las máquinas térmicas tan solo son capaces de convertir una pequeña fracción del calor absorbido de la fuente de alta temperatura en trabajo mecánico. Un buen ejemplo lo es el motor de gasolina, el cual tiene una eficiencia aproximada de 20% y los motores diésel que tienen una eficiencia en el rango de 35% a 40%.

Figura 23. Representación enunciado de Kelvin - Planck



Fuente: Disponible en internet:

<http://laplace.us.es/wiki/index.php/Archivo:Clausius-kelvin-planck.png>

El enunciado de Clausius gobierna las máquinas frigoríficas y las bombas de calor, y dice: “es imposible construir una máquina cíclica, que no tenga otro efecto que transferir calor continuamente de un cuerpo hacia otro que se encuentre a mayor temperatura”.

En términos sencillos, el calor no puede fluir espontáneamente de un objeto frío a otro cálido. Este enunciado de la segunda ley establece la dirección del flujo de calor entre dos objetos a diferentes temperaturas. El calor sólo fluirá del cuerpo más frío al más cálido si se hace trabajo sobre el sistema.

6.5 COEFICIENTE DE DESEMPEÑO DE UNA BOMBA DE CALOR

La cantidad de calor que se transfiere depende de la diferencia de temperatura entre los focos caliente y frío. Cuanto mayor sea ésta diferencia, menor será el rendimiento del proceso.

Las bombas de calor presentan un rendimiento, denominado COP (coefficient of performance, coeficiente de operación) que es adimensional y mayor que la unidad. Al igual que ocurría en las máquinas frigoríficas esto puede parecer una contradicción respecto a lo que hemos estudiado acerca del rendimiento, sin embargo no lo es. El hecho que el rendimiento sea mayor a la unidad es debido a que en realidad se está transfiriendo calor usando energía, en vez de producir calor como el que se obtiene por efecto Joule en las resistencias eléctricas.

En las bombas de calor se cumple que el calor transmitido al foco caliente es la suma del calor extraído del foco frío, más la energía que suministra el compresor durante el proceso.

$$Q_C = Q_F + W$$

Dependiendo de la función que desempeñe la bomba de calor, hay dos expresiones para calcular el COP. Como refrigerador para enfriar un ambiente, el efecto útil es el calor extraído del foco frío.

$$COP = \frac{Q_F}{W}$$

El objetivo de un refrigerador es extraer la mayor cantidad posible de calor de un foco frío empleando la menor cantidad de trabajo posible. Como calefactor, para calentar un ambiente, el efecto útil es el calor introducido en el foco caliente:¹⁰

$$COP = \frac{Q_C}{W} = \frac{Q_F + W}{W}$$

¹⁰ Tomado de: http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4931/html/4_bomba_de_calor.html

7. TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es la ciencia que trata de predecir el intercambio de energía que puede tener lugar entre cuerpos materiales, producto de una diferencia de temperatura entre ellos. Esta ciencia pretende no solo explicar cómo puede ser transferida la energía térmica, sino también predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas tendrá lugar esa transferencia. El hecho de tener presente la rapidez con la que se transfiere el calor de marca la diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica, puesto que la termodinámica trata sistemas en equilibrio, usándose para predecir la cantidad de energía requerida para llevar un sistema de un estado en equilibrio a otro.

La convección es uno de los modos de transferencia de calor por movimiento real de las moléculas de una sustancia. Este fenómeno sólo podrá producirse en fluidos en los que por movimiento natural (diferencia de densidades) o circulación forzada (con la ayuda de ventiladores, bombas, etc.) puedan las partículas desplazarse transportando el calor sin interrumpir la continuidad física del cuerpo, donde se usa la ley de Newton del enfriamiento para determinar su efecto global.

$$\dot{Q}_{conv} = h * A * \Delta T$$

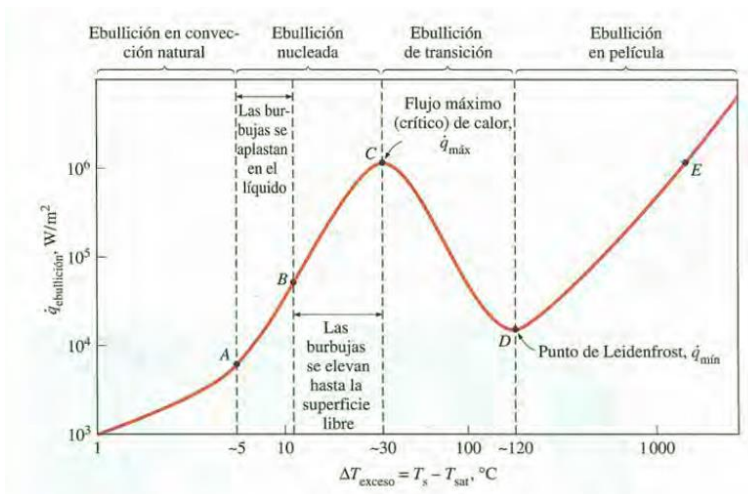
Siendo h el coeficiente de transferencia de calor por convección, que en ciertos sistemas puede determinarse analíticamente, para situaciones complejas es necesario que este se determine de manera experimental. Los fenómenos de ebullición y condensación se agrupan dentro de la transferencia de calor por convección.¹¹

¹¹ Tomado de: J. P Holman 8 ed

7.1 EBULLICIÓN

Es un proceso en el cual se presenta un cambio de fase formándose burbujas en la superficie de calentamiento y/o en una capa de líquido sobrecalentada próxima a la superficie calefactora. En el proceso de ebullición se distinguen varios regímenes como lo son: a) cuando el vapor se forma periódicamente a través de burbujas que crecen y se despegan de la superficie, se denomina ebullición nucleada; b) cuando se fusionan burbujas y se forma una capa de vapor que se rompe periódicamente el proceso se llama ebullición en película. En la siguiente figura se puede observar dichos regímenes en función de la temperatura de exceso entre la superficie calefactora y el líquido, en este caso agua.

Figura 24. Fases de la ebullición



Fuente: CENGEL A Yunus. "Transferencia de calor y masa". 3 ed. México. Editorial McGraw-Hill. 2007.

7.1.1 Ebullición nucleada

La razón de transferencia de calor depende en gran medida de la naturaleza de la nucleación (rapidez con la que se forman las burbujas, sitios activos en que se da la nucleación, el tipo y condición de la superficie calentada, etc). Por tal motivo se

hace complicado el desarrollo de relaciones teóricas que permitan determinar la transferencia de calor, en consecuencia se debe apoyar en correlaciones basadas en datos experimentales. La correlación más usada en la determinación del flujo de calor en ebullición nucleada fue presentada por Rohsenow en 1952.

$$\dot{q}_{nucleada} = \mu_{liq} * h_{fg} * \left[\frac{g * (\rho_{liq} - \rho_{vap})}{\sigma} \right]^{\frac{1}{2}} * \left[\frac{C_p * (T_s - T_{sat})}{C_{sf} * h_{fg} * Pr_{liq}^n} \right]^3$$

Tabla 2. Calor ebullición nucleada

$\dot{q}_{nucleada}$	flujo de calor en ebullición nucleada	$\frac{W}{m^2}$
μ_{liq}	viscosidad del líquido	$\frac{kg}{m * s}$
h_{fg}	entalpía de vaporización	$\frac{J}{kg}$
g	gravedad	$\frac{m}{s^2}$
ρ_{liq}	densidad del líquido	$\frac{kg}{m^3}$
ρ_{vap}	densidad del vapor	$\frac{kg}{m^3}$
σ	tensión superficial de la interfaz líquido – vapor	$\frac{N}{m}$
C_p	calor específico del líquido	$\frac{J}{kg * ^\circ C}$
T_s	temperatura superficial del calentador	$^\circ C$
T_{sat}	temperatura de saturación del fluido	$^\circ C$
C_{sf}	constante exp. dependiente de la superficie – fluido	adimensional
n	constante experimental que depende del fluido	adimensional
Pr_{liq}	número de Prandtl del líquido	adimensional

En la siguiente tabla se muestra el valor de la constante experimental dependiente de la combinación superficie fluido - C_{sf} .

Tabla 3. Coeficientes fluido superficie.

Valores del coeficiente C_{sf} y de n para varias combinaciones fluido-superficie

Combinación fluido-superficie de calentamiento	C_{sf}	n
Agua-cobre (pulido)	0.0130	1.0
Agua-cobre (rayado)	0.0068	1.0
Agua-acero inoxidable (pulido mecánicamente)	0.0130	1.0
Agua-acero inoxidable (rectificado y pulido)	0.0060	1.0
Agua-acero inoxidable (recubierto de Teflon picado)	0.0058	1.0
Agua-acero inoxidable (corroído químicamente)	0.0130	1.0
Agua-latón	0.0060	1.0
Agua-níquel	0.0060	1.0
Agua-platino	0.0130	1.0
<i>n</i> -Pentano-cobre (pulido)	0.0154	1.7
<i>n</i> -Pentano-cromo	0.0150	1.7
Benceno-cromo	0.1010	1.7
Alcohol etílico-cromo	0.0027	1.7
Tetracloruro de carbono-cobre	0.0130	1.7
Isopropanol-cobre	0.0025	1.7

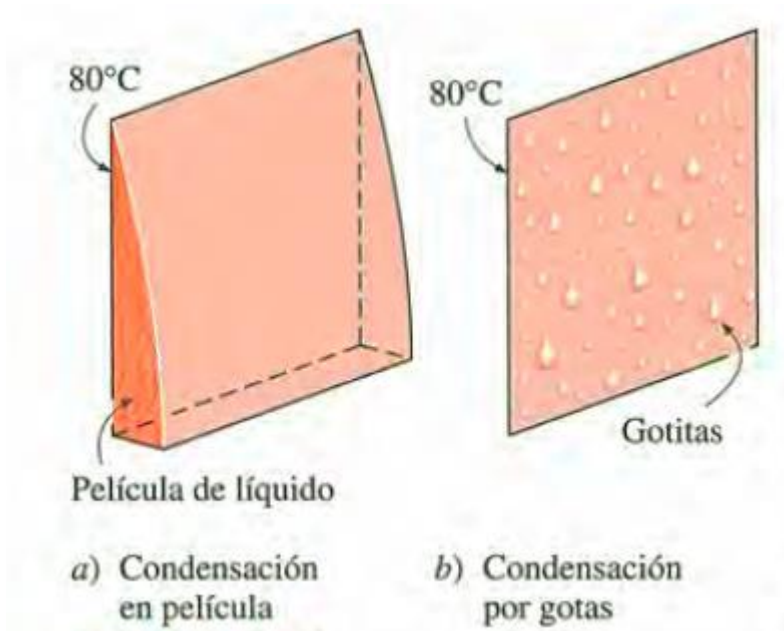
Fuente: CENGEL A Yunus. "Transferencia de calor y masa". 3 ed. México. Editorial McGraw-Hill. 2007.

7.2 CONDENSACIÓN

Suele presentarse cuando el vapor entra en contacto con una superficie sólida cuya temperatura es menor a la de saturación de dicho vapor, es de aclarar que la condensación también puede darse sobre la superficie libre de un gas o líquido.

Se conocen dos formas de condensación: por película y por gotas. En la condensación por película se presenta una capa de líquido entre el vapor y la superficie de enfriamiento, la cual desciende por efecto de la gravedad, el espesor de esta capa se incrementa en la dirección del flujo y en la medida que se aumenta la cantidad de vapor condensado. En la condensación por gotas el vapor empieza a formar gotas de diferentes diámetros sobre la superficie.

Figura 25. Formas de condensación



Fuente: CENGEL A Yunus. “Transferencia de calor y masa”. 3 ed. México. Editorial McGraw-Hill. 2007.

En la condensación por película la capa de líquido que se forma entre el vapor y la superficie se comporta como una resistencia al flujo de calor de vaporización (h_{fg}) del vapor hacia la superficie que posteriormente lo transferirá al medio de enfriamiento que se encuentra a una temperatura inferior. En la condensación por gotas, estas resbalan por efecto de la gravedad al aumentar su tamaño dejando la superficie expuesta al vapor eliminando la película de líquido que se opone al flujo de calor, razón por la cual la condensación por gotas presenta coeficientes de transferencia hasta 10 veces mayores que la condensación por película.

7.2.1 Condensación por película

Durante la condensación se libera calor latente de vaporización hacia la película de líquido la cual lo transfiere a una superficie con una temperatura inferior a la temperatura de saturación del vapor, necesaria para que se dé la condensación. En un proceso real de transferencia, el condensado es enfriado a una temperatura

promedio entre la temperatura superficial y la temperatura de saturación del vapor, siendo mayor la transferencia de calor. Es así como Rohsenow demuestra en 1956 que es posible tener en cuenta el enfriamiento del líquido planteando una corrección que adiciona una parte de calor sensible la cual llama calor latente de vaporización modificado.

$$h_{fg}^* = h_{fg} + 0.68 * Cp_{liq} * (T_{sat} - T_s)$$

Donde Cp_{liq} es el calor específico del líquido a la temperatura promedio T_{liq} .

De manera similar se puede tener presente el efecto de suministrar vapor sobrecalentado¹² al proceso de condensación. El vapor primero debe enfriarse desde una temperatura de vapor T_v hasta una temperatura de saturación T_{sat} antes de poder condensarse cediendo calor sensible a la superficie. Así se obtiene una nueva expresión para el calor latente de vaporización:

$$h_{fg}^* = h_{fg} + 0.68 * Cp_{liq} * (T_{sat} - T_s) + Cp_{vap} * (T_v - T_{sat})$$

Siendo Cp_{vap} el calor específico del vapor a una temperatura promedio $T_{vap} = \frac{T_v + T_{sat}}{2}$.

Con las consideraciones anteriores se puede determinar el flujo de calor como

$$\dot{Q}_{cond} = h_{cond} * A * (T_{sat} - T_s) = \dot{m} * h_{fg}^*$$

Tabla 4. Calor de condensación.

\dot{Q}_{cond}	<i>Flujo de calor</i>	<i>W</i>
h_{cond}	<i>Coficiente de conveccion por condensación</i>	$\frac{W}{m^2 * ^\circ C}$
A	<i>Area de transferencia de calor</i>	m^2

¹² Su temperatura es superior a la temperatura de saturación

8. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

8.1 DISEÑO

8.1.1 Consideraciones generales

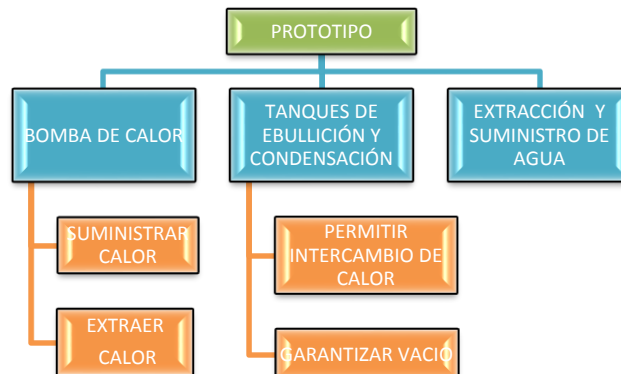
El tratamiento de aguas residuales mediante evapo - concentración en vacío se lleva a cabo evaporando la solución a tratar para la posterior condensación del agua, esto en niveles de presión inferior a los de la presión atmosférica permitiendo que el proceso se desarrolle a temperaturas inferiores a 50°C, con lo cual impide la degradación o reacción de partículas presentes en la solución de agua contaminada por efecto de altas temperaturas en el proceso.

Por lo tanto en el sistema se deben garantizar las siguientes funciones:

- Extracción de calor
- Suministro de calor
- Estanqueidad en los tanques de almacenamiento
- Suministro y extracción de fluido de trabajo

8.1.2 Subsistemas del prototipo

Figura 26. Subsistemas del prototipo



8.1.3 Subsistema de bomba de calor

Mediante el uso de un circuito frigorífico por compresión de vapor se logra suplir la necesidad de suministro y extracción de calor requerida, aprovechando el calor extraído en el evaporador para producir la condensación del vapor de agua y con el calor desechado en el condensador se consigue la evaporación del agua presente en la solución que se emplea como fluido de trabajo, la cual corresponde a las aguas residuales. Es necesario precisar que el uso que se le dará a la bomba de calor solo será posible si se garantiza que la temperatura de saturación del agua es menor o igual a 50°C, producto del vacío que se generará en el sistema de evaporación – condensación, dado que a temperaturas mayores el compresor presentaría fallas mecánicas.

8.1.3.1 Parámetros de operación

- El sistema se diseña para la destilación de 2 [lts/hora] de agua, con el objeto de garantizar lo propuesto en el inicio de este proyecto obteniendo un flujo másico de vapor y condensado de:

$$\dot{m}_{agua} = 0.554 * 10^{-3} \left[\frac{kg}{s} \right]$$

- El nivel de vacío mínimo requerido se determina a partir de la presión atmosférica de Bucaramanga, 680[mmHg] (90.66[kPa])¹³, para lograr una temperatura de saturación en el agua máxima de 48°C con el fin de proteger el compresor del sistema frigorífico de altas temperaturas que podrían afectar su funcionamiento.

$$T_{sat} = 48^{\circ}C \rightarrow P_{sat} = 11.18[kPa]$$

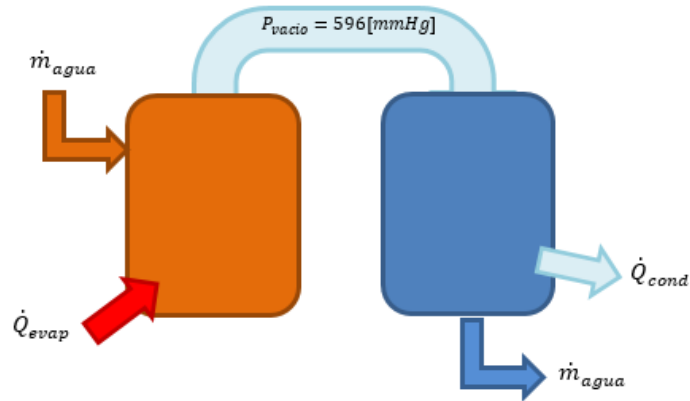
$$P_{vacio} = P_{atm} - P_{sat} = 90.66[kPa] - 11.18[kPa]$$

$$P_{vacio} = 79.48[kPa] = 596[mmHg]$$

¹³ Tomado de <http://efrainpuerto.wordpress.com/2011/02/26/f1-2/>

- El dimensionamiento del evaporador y condensador de la bomba de calor se da a partir del calor requerido para la condensación y evaporación del flujo másico de agua a la presión de vacío de operación.

Figura 27. Esquema del prototipo



$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{agua} * h_{fg,agua}^*$$

$$h_{fg,agua}^* = h_{fg,agua} + 0.68 * Cp_{agua} * (T_{sat} - T_s)$$

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{agua} * h_{fg,agua}$$

La temperatura de operación del evaporador de la bomba de calor se asume dentro del rango de operación de un compresor hermético de aplicaciones de alta temperatura recomendado por fabricantes, ver anexo E.

$$T_{evap} = 15^{\circ}\text{C}$$

Por tanto:

$$\dot{Q}_{evap} = 1323 [W]$$

$$\dot{Q}_{cond} = 1355 [W]$$

El fluido de trabajo a emplear en la bomba de calor se selecciona teniendo presente que se requiere una capacidad frigorífica de 1323 [W] y una temperatura de evaporación de 15°C.

A partir de consultas realizadas a comercializadores de equipos de refrigeración en la ciudad de Bucaramanga se concluye que para aplicaciones de alta temperatura solo comercializan compresores que trabajan con refrigerante R22 o R134A, se selecciona el refrigerante R134A ya que para capacidades inferiores a 2000 [W] solo se usa este, además el refrigerante R22 contiene cloro en su composición química, haciéndolo más contaminante que el R134A para la capa de ozono, en el anexo G se puede observar la ficha de seguridad para el refrigerante R134A.

Teniendo definido el tipo de refrigerante a usar y la temperatura de evaporación y capacidad frigorífica se procede a seleccionar un compresor que cumpla con dichos requerimientos, por tanto se adquiere el compresor hermético EMBRACO FFI12HBX.

Tabla 5. Compresor FFI12HBX

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz			ASHRAEHBP32 Forzada		Temperatura de evaporación	7.2°C (44.96°F)		
					(Temp. de condensación	54.4°C (129.92°F))		
Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%		
[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
5300	1336	1553	612	6.80		8.66	2.18	2.54

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz			ASHRAELBP32 Forzada		Temperatura de evaporación	-23.3°C (-9.94°F)		
					(Temp. de condensación	54.4°C (129.92°F))		
Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%		
[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
1190	300	349	292	4.65	6.76	4.08	1.03	1.20

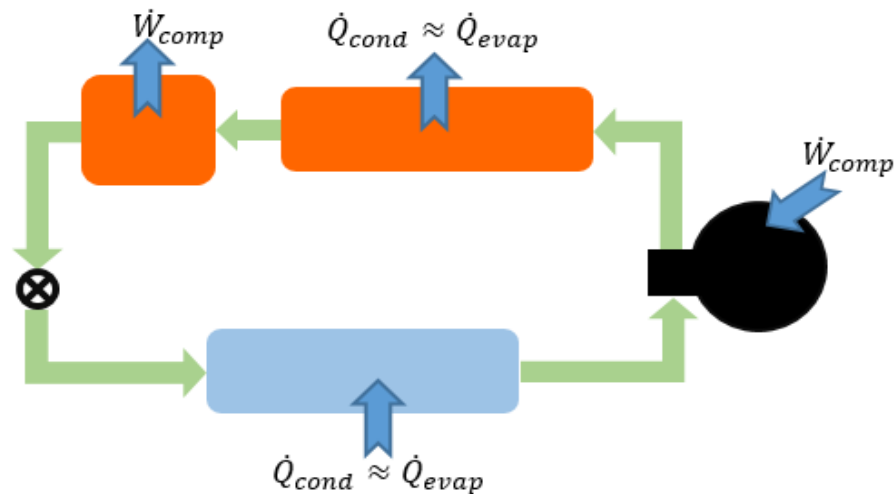
Fuente: Catalogo Compresor Hermético Embraco FFI12HBX¹⁴

- En un circuito frigorífico de compresión mecánica de vapor tanto la carga absorbida del foco de baja temperatura como la suministrada al compresor

¹⁴ Catalogo disponible en el Anexo F

son expulsadas al foco de alta temperatura a través del condensador, como se observa en la figura 12. Dada la aplicación particular que se hará de la bomba de calor (Temperatura de evaporación de 15 [°C] y condensación de 48 [°C]) se hace necesario que el sistema tenga un condensador de refrigerante auxiliar, el cual se encarga de extraer el calor producto de la energía suministrada al compresor puesto que los calores de condensación y evaporación requeridos son muy similares y es indispensable mantener un equilibrio entre el vapor producido y el vapor condensado para mantener una presión de vacío constante en los tanques de evaporación -condensación, ver figura 28, por tanto se adquiere un condensador de refrigerante R134A enfriado por aire capaz de disipar el calor producto de la energía suministrada al compresor (aproximadamente 600 [W]), enunciada por el fabricante en su catálogo.¹⁵

Figura 28. Esquema bomba de calor



8.1.4 Subsistema de ebullición y condensación

En el evaporador de agua, se tiene un intercambiador de calor de cambio de fase doble, a la vez que se evapora agua se condensa el fluido refrigerante (R134A); de

¹⁵ Ver anexo F

manera similar se da en el condensador de agua donde el refrigerante se evapora al absorber el calor cedido por el vapor de agua en el momento de su condensación. Dado que el calor a transferir es relativamente bajo (menor a 1500 [W]), no se comercializan en la ciudad de Bucaramanga intercambiadores de calor para transferir dicha carga térmica, por lo tanto se diseñan para su posterior fabricación. El diseño de estos intercambiadores se hace de tipo hélice - espiral fabricados en tubería de cobre de $\varnothing 1/4''$ ¹⁶, debido a su fácil maleabilidad y alta conductividad. A continuación se muestran las ecuaciones más relevantes empleadas en los cálculos para el dimensionamiento de dichos intercambiadores de calor.

Tabla 6. Ecuaciones empleadas en cálculos.

$\dot{Q} = U * A * \Delta T$	Flujo de calor
$\dot{q} = \mu_{liq} * h_{fg} * \left[\frac{g * (\rho_{liq} - \rho_{vap})}{\sigma} \right]^{\frac{1}{2}} * \left[\frac{C_p * (T_s - T_{sat})}{C_{sf} * h_{fg} * Pr_{liq}^n} \right]^3$	Flujo de calor en ebullición nucleada para el agua
$UA = \frac{1}{\frac{1}{A_{int} * h_{R134,c}} + R_{pared} + \frac{1}{A_{ext} * h_{agua,evap}}}$	Coefficiente global de transferencia
$R_{pared} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{(2 * \pi * L_{eva} * K_{eva})}$	Resistencia térmica pared del tubo
$h_{cond,agua} = 0,729 * \left(\frac{g * \rho_{agua} * (\rho_{agua} - \rho_{vapor}) * h_{fg}^* * k_{agua}^3}{(\mu_{agua} * (T_{sat} - T_{scon}) * d_{ext})} \right)^{0,25}$	Coefficiente transferencia de calor (condensación agua)
$h_{R134A,e} = \left(1,136 * \left(\frac{\rho_{R134A,liq}}{\rho_{R134A,gas}} \right)^{0,45} * x_{R134A}^{0,72} * ((1 - x_{R134A})^{0,08}) * f_2 + 667,2 * (Bo^{0,7}) * ((1 - x_{R134A})^{0,8}) * F_{fl} \right) * h_f$	Coefficiente transferencia de calor (evaporación R134A)

¹⁶ Catalogo disponible en el anexo D

$h_f = \frac{\left((Re_{R134A,liq} - 1000) * Pr_{R134A,liq} * \left(\frac{f}{2}\right) * \left(\frac{k_{R134A,liq}}{d_{int}}\right) \right)}{\left(1 + 12,7 * (Pr_{R134A,liq})^{\frac{2}{3}} - 1 \right) * \left(\frac{f}{2}\right)^{0,5}}$	Correlación experimental
---	--------------------------

Fuente: CENGEL A Yunus. "Transferencia de calor y masa". 2 ed. México. Editorial McGraw-Hill. 2007.

En la tabla 7 se observan los valores obtenidos en los cálculos, los cuales se requieren para la construcción de los intercambiadores de calor del prototipo, los cálculos que se desarrollaron con ayuda del software EES se pueden ver en la respectiva hoja de cálculos en el anexo B.

Tabla 7. Longitud serpentines.

<i>Intercambiadores</i>	Φ interno [mm]	Φ externo [mm]	Longitud [m]
<i>Evaporador agua</i>	4,83	6,35	9,05
<i>Condensador agua</i>	4,83	6,35	1,54

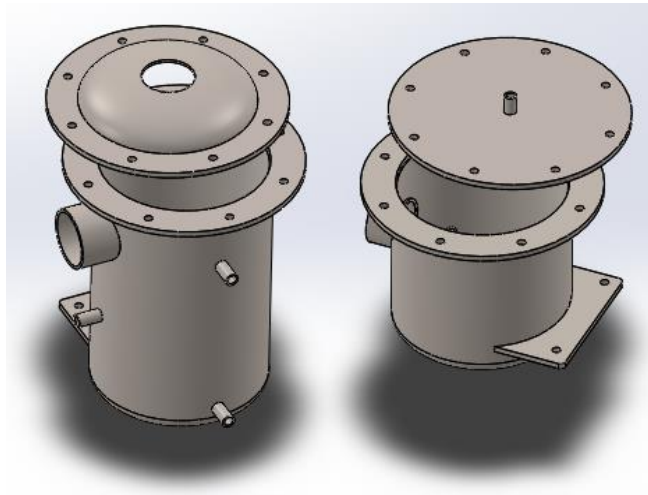
Con los valores obtenidos se procede al diseño de los serpentines y tanques que además de contener los serpentines, deben garantizar la estanqueidad en su interior para lograr trabajar a una presión de vacío superior a 600 [mmHg] y el flujo de vapor del tanque de evaporación al de condensación.

Las serpentines se diseñan de manera que se forme una espiral con tres semicírculos, las cuales tienen un diámetro de 60 [mm], 89 [mm] y 114 [mm] respectivamente, esta espiral posteriormente forma una hélice, permitiéndonos ocupar un volumen reducido con la longitud de tubo de cobre determinada anteriormente.

Los tanques se diseñan en acero inoxidable, con lo cual se garantiza que el agua no se contamine al entrar en contacto con la superficie de los tanques,

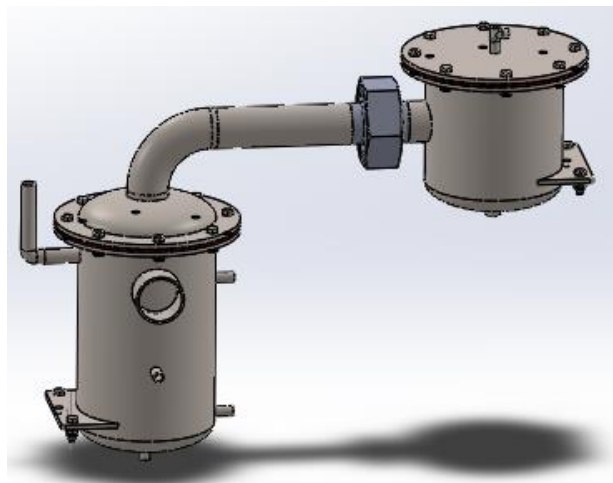
principalmente una vez el agua se ha condensado y por ende ya está tratada. El dimensionamiento de estos se da en base al tamaño de los serpentines de forma tal que se puedan almacenar en ellos, para ello se decide hacerlos en tubería de acero inoxidable de 168 [mm] de diámetro con lo que se facilitaría su construcción. El espesor de estos tubos es de 3 [mm], haciéndolos suficientemente robustos para soportar la presión de vacío a la cual operara.

Figura 29. Diseño CAD de tanques



Como se observa en la anterior figura los tanques se diseñan de tal forma que se puedan destapar para facilitar el mantenimiento en su interior, por lo que se hace necesario que estos en sus bridas tengan empaques que permitan mantener el vacío en su interior sin deteriorarse rápidamente al estar expuestos a temperaturas que oscilan en los 50 °C .

Figura 30. Diseño CAD evaporador condensador



8.1.5 Subsistema de suministro y extracción de agua

El sistema de extracción de agua se diseña con ayuda de un tanque adicional, el cual se aísla de los tanques de evaporación y condensación garantizando la continuidad en el tratamiento del agua al momento de la extracción de destilado. Este tanque a su vez sirve como depósito del destilado producido, lo que evita que el condensador se inunde de líquido perdiendo capacidad de condensación.

Para el suministro de agua se usa un pequeño recipiente el cual sirve de embudo, facilitando la inyección de agua contaminada al sistema para su posterior tratamiento. Las operaciones mencionadas anteriormente requieren que al momento de poner en marcha el sistema se garantice que la presión de vacío al interior se mantenga, por tal motivo se usan válvulas de globo operadas manualmente, las cuales fueron seleccionadas previamente al diseño de este prototipo, producto de ensayos realizados con diversos tipos de válvulas donde se buscaba una válvula capaz de mantener la estanqueidad en un recipiente por 36 horas.

8.2 MODELADO DEL SISTEMA PARA CAPACIDADES MAYORES

En base a los cálculos realizados para el dimensionamiento del evaporador y condensador del prototipo se parametrizan sus respectivas áreas junto al trabajo del compresor en función de mayores capacidades de destilado, siendo necesario aumentar el diámetro de los tubos de cobre empleados en los serpentines, ya que en la medida que se aumenta en flujo de agua a evaporar y condensar se incrementa el flujo de refrigerante para lograr dicha operación. A continuación se muestran los resultados de la parametrización. Los cálculos que soportan dichos resultados se encuentran en el anexo B.

Tabla 8. Resultados parametrización

#	LitrosHora [l/h]	$\dot{Q}_{condensador}$ [W]	$\dot{Q}_{evaporador}$ [W]	d_{ext} [in]	d_{int} [in]	L_{con} [m]	L_{eva} [m]	$W_{compresor}$ [W]
1	2	1355	1327	0,25	0,19	1,54	9,05	244,5
2	10	6814	6634	0,25	0,19	6,916	16,06	1229
3	20	13655	13267	0,25	0,19	5,543	21,6	2463
4	50	34175	33168	0,312	0,248	11,46	35,45	6165
5	75	51307	49752	0,312	0,248	16,87	43,42	9255
6	100	68395	66335	0,375	0,311	19,68	52,29	12337
7	200	136819	132671	0,5	0,436	31,58	78,56	24680
8	300	205384	199006	0,5	0,436	46,64	97,08	37048
9	400	273969	265342	0,5	0,436	61,63	114	49420
10	500	342343	331677	0,625	0,555	65,62	130,2	61754

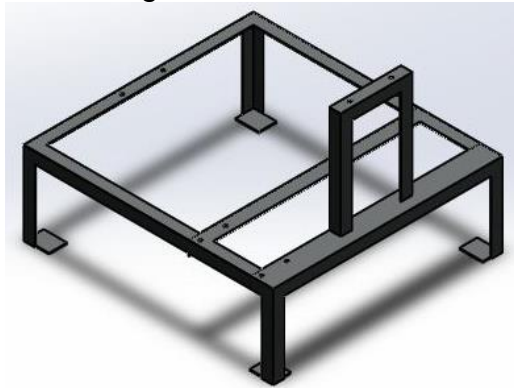
8.3 CONSTRUCCIÓN

A partir de los cálculos realizados se adquieren algunos componentes para la fabricación del prototipo como lo son: compresor y post condensador, los otros componentes se dimensionan para su posterior fabricación. En el anexo C podemos encontrar los planos del actual prototipo.

8.3.1 Estructura

En la siguiente figura se muestra la estructura encargada de soportar todos los componentes que hacen parte del prototipo.

Figura 31. Estructura



El diseño de esta se hace en ángulo HR de $1\frac{1}{4}'' \times \frac{1}{8}''$ con el fin de brindar robustez mecánica, capaz de soportar los tanques del proceso de destilado, tablero de control y los elementos de la bomba de calor como el post condensador y compresor hermético, además cuenta con dos pares de ruedas capaces de soportar el peso del prototipo (ver Figura 32), y que facilitan el transporte del mismo.

Figura 32. Rueda



8.3.2 Tanque de condensación

La fabricación del tanque de condensación se realiza en tubo de acero inoxidable A-304. El diámetro del tubo es de 168 [mm] y un espesor de 3 [mm], el cual nos da la robustez mecánica para soportar el vacío requerido. La longitud de tubo usada está determinada por la altura requerida por el evaporador de la bomba de calor. La parte inferior del tanque consta de un CAP soldado al tubo, ver Figura 33, donde está disposición abombada en la parte inferior nos permite evacuar por completo el líquido destilado en el recipiente. La parte superior de este tanque consta de un disco de acero A-304 de espesor 6[mm], el cual se halla bridado ajustado mediante 8 pernos de diámetro 5/16 pulgada.

Figura 33. CAP soldado



Además dicho tanque consta de dos perforaciones laterales por las cuales es posible comunicar el evaporador de la bomba de calor, y de un tercer agujero de $1 \frac{1}{2}$ [pulgada] por donde ingresa el vapor proveniente del tanque de evaporación, ver Figura 34.

Figura 34. Tanque condensador

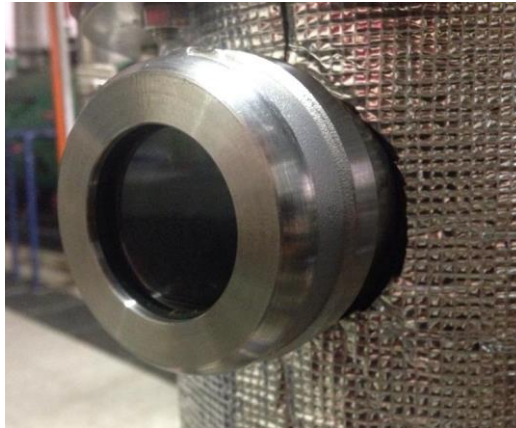


8.3.3 Tanque de evaporación

El tanque de evaporación está fabricado de manera similar al tanque de condensación, con unas leves modificaciones, las cuales son:

- La parte superior de este tanque es un CAP que se halla soldado a un anillo bridado. Dicho CAP consta de una perforación de $1\frac{1}{2}$ [pulgada] en su centro, en este agujero se soldó un tubo de 20 [cm] con un codo de $1\frac{1}{2}$ [pulgada] \times 90° , permitiendo que todo el vapor producido en este tanque se desplace hacia el tanque de condensación.
- Visor de mirilla en acrílico de 5 mm de espesor y $1\frac{1}{2}$ pulgadas de diámetro, mediante la cual se puede observar el proceso de evaporación durante la operación del sistema, ver Figura 35.

Figura 35. Mirilla



- Disco de 2 ½ [pulgada] de diámetro en acero A-304 soldado en el CAP bridado a una distancia de 1 ½ [pulgada] de la entrada al tubo que comunica los tanques de condensación y evaporación. Este disco nos permite evitar que el líquido sea arrastrado del tanque de evaporación al tanque de condensación, al causar que el líquido choque contra dicho disco.
- Agujero de diámetro 3/8 [pulgada], soldado y conectado a accesorios del mismo diámetro, por el que se ingresa el agua a tratar, ver figura 36.

Figura 36. Ingreso de agua

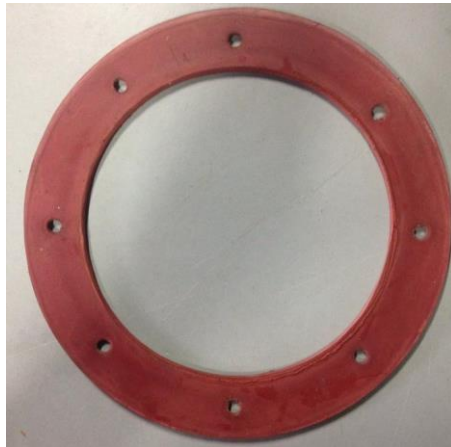


- Agujero de 3/8 [pulgada] al que se le soldó un casquete de cobre. Por medio de este agujero se puede sentir la temperatura del agua al interior del tanque evaporador.

8.3.4 Empaques

La hermeticidad en las bridas para mantener los niveles de vacío requeridos por el sistema para su correcto funcionamiento, se logra mediante la utilización de empaques de nitrilo de espesor 4 [mm], ver Figura 37. Se usó nitrilo como material para los empaques, ya que es un caucho sintético de excelentes propiedades como buena adhesión a metales, buenas propiedades mecánicas y permite trabajar en un amplio rango de temperatura que van desde los -40 °C hasta 108 °C aproximadamente.

Figura 37. Empaque



8.3.5 Tanque de destilado

El tanque es usado para almacenar temporalmente el agua tratada, antes de su extracción (Ver Figura 38) está construido con un CAP de 6 [pulgada] en acero A304, un disco en acero inoxidable de 3 [mm] de espesor soldado y dos niples roscados NTP 3/8 [pulgada] soldados en extremos. Los niples roscados nos permiten instalar las válvulas necesarias para hacer la extracción del destilado y

además de permitir aislar este tanque de los tanques de condensación y evaporación en el momento en que se extrae el destilado, con lo que garantizamos el funcionamiento continuo del sistema de destilación.

Figura 38. Tanque de destilado



8.3.6 Tanque de restitución

El tanque de restitución de líquido está construido en tubo de acero A-304 con espesor de 1 [mm] y tiene una capacidad de un litro. A través de este recipiente se ingresa el agua a tratar al tanque de evaporación y su entrada es controlada mediante una válvula de globo *NPT 3/8 [pulgada]* ubicada en la salida del tanque de restitución, ver figura 39.

Figura 39. Tanque de restitución



8.3.7 Montaje final del prototipo

Finalmente se realiza el montaje de los componentes sobre la estructura fabricada, para después realizar las soldaduras del circuito de la bomba de calor y posteriormente realizar la carga del fluido refrigerante en el sistema (R134A), ver figura 40. Al momento de este montaje se instrumenta la bomba de calor con dos manómetros, los cuales se instalan en la línea de baja y alta presión respectivamente.

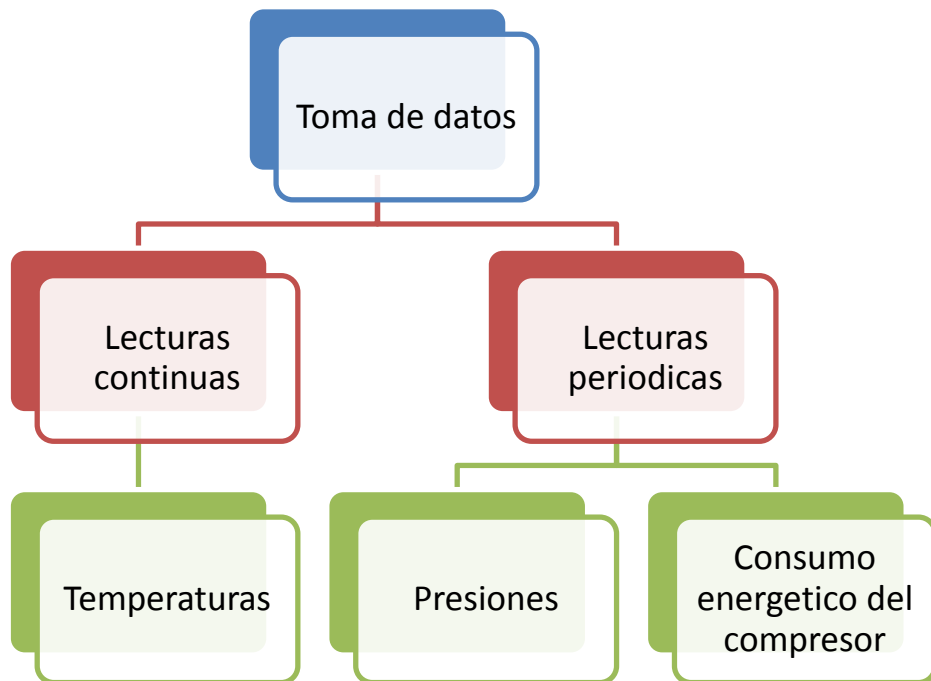
Figura 40. Prototipo construido



9. PRUEBAS

Se realizaron diversas pruebas al sistema, estas incluyeron pruebas físicas al prototipo (estanqueidad) y pruebas de operación del mismo. Para las tomas de datos realizadas se utilizaron equipos de adquisición de datos y otros de lecturas periódicas (manualmente, cada cierto tiempo).

Figura 41. Tomas de datos realizadas



9.1 PUNTOS DE SENSADO

Las tomas de datos fueron realizadas en diversos puntos del sistema, dependiendo el parámetro a “sensar”. A continuación se relacionan:

Figura 42. Puntos de sensado

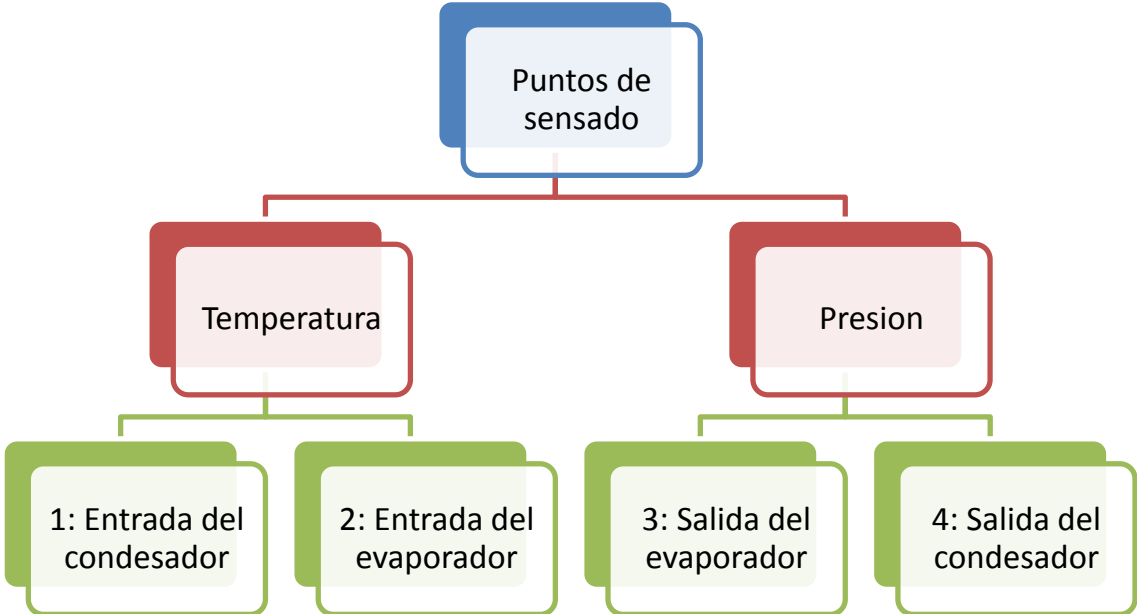
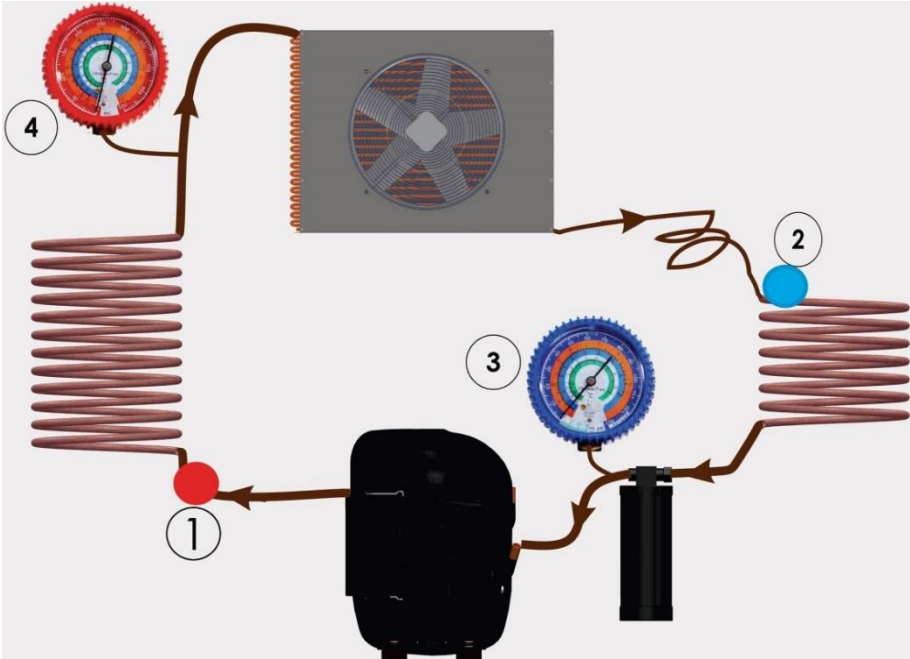


Figura 43. Esquema de la bomba de calor



9.2 EQUIPOS UTILIZADOS

- **Módulo de adquisición de datos:** Se utilizó para registrar en tiempo real a través de termocuplas las temperaturas en 3 puntos específicos del prototipo (Entrada del condensador, Entrada del evaporador y tanque de evaporación). El hardware utilizado fue NI FP-1601 y NI TC-120, junto al software NI LabView; todo lo anterior de National Instruments.

Figura 44. Módulo de adquisición de datos



Fuente: National Instruments

- **Pinza amperimétrica:** Con ella se registró el consumo de corriente del compresor, principalmente para evitar consumos de corrientes muy elevados al haber incrementos en las temperaturas de alta y baja por desbalances en el sistema de bomba de calor al aumentar la concentración del agua que se está tratando (produce un aumento de temperatura de ebullición). Referencia: Fluke 337.

Figura 45. Pinza amperimétrica – Fluke 337



Fuente: Disponible en internet: <http://media.digikey.com/photos/Fluke-337a.jpg>

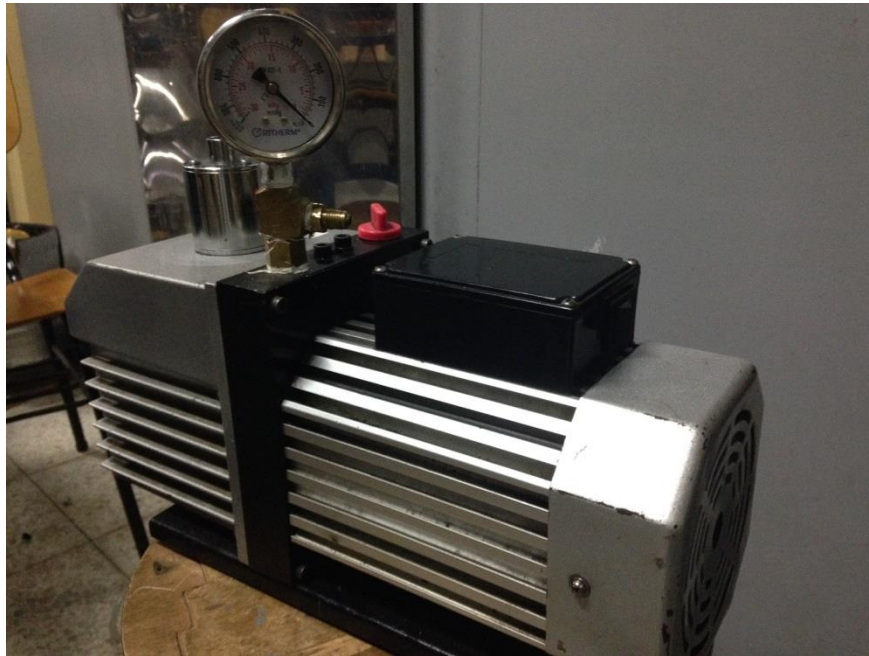
- **Medidor de energía eléctrica:** Nos permitió conocer el consumo exacto de todo el sistema (Compresor, post-condensador, ventilador del compresor y bomba de vacío) en 1 hora, con el fin de calcular costos precisos por litro de agua tratado.

Figura 46. Medidor de energía eléctrica



- **Bomba de vacío:** Con ella se produce el vacío inicial en el sistema previo al arranque, y el vacío que se debe realizar al tanque de destilado cada vez que se realiza la extracción del mismo. Referencia: QVP-800.

Figura 47. Bomba de vacío QVP-800



9.3 PRUEBAS AL PROTOTIPO

9.3.1 Prueba de vacío en los tanques de evaporación-condensación

- **Objetivo:** Verificar que el prototipo ensamblado en su totalidad pueda mantener la presión de vacío en un lapso de al menos 24 horas, sin pérdida significativa del mismo.
- **Procedimiento:** Una vez ensamblado el prototipo en su totalidad y previo a la carga del gas refrigerante al sistema; se verificaron todas las soldaduras en busca de posibles poros, se ajustaron todas las uniones roscadas de los accesorios (union universal, codos, llaves de paso, válvulas, vacuómetros, etc.) y se ajustaron las bridas para garantizar sello. Una vez verificado esto se realizó vacío al sistema con la bomba de vacío hasta alcanzar una presión de

vacío de 64 [cmHg], se cerró la válvula de globo V3 y se dejó el sistema durante 24 horas en esta condición.

- Resultado: Transcurridas las 24 horas se verificó la presión de vacío, la cual no sufrió pérdidas apreciables, menos de 0.5 [cmHg].

9.3.2 Prueba de estanqueidad en el sistema de refrigeración

- Objetivo: Verificar que el sistema de refrigeración (evaporador, condensador, post-condensador, compresor y tubo capilar) no tenga fugas previas a la carga del gas refrigerante al sistema.
- Procedimiento: Se verificaron todas las soldaduras realizadas en el cobre en busca de posibles poros, se ajustaron todas las uniones roscadas de los accesorios (manómetros, recipiente de líquido, etc.). Una vez verificado esto se realizó vacío al sistema de refrigeración a través del puerto de servicio del compresor con la bomba de vacío hasta alcanzar una presión de vacío de 75 [cmHg], y se dejó el sistema durante 30 minutos en esta condición.
- Resultado: Transcurridos los 30 minutos se verificó la presión de vacío, la cual se mantuvo.

9.4 PRUEBAS DE OPERACIÓN

9.4.1 Prueba 1: Tratamiento de aguas residuales a temperatura de 40 [°C]

- Objetivo: Verificar el comportamiento del prototipo cuando las aguas residuales ingresan a temperaturas de descarga (Las aguas residuales en una tintorería suelen descargarse o “desecharse” aproximadamente a 40 [°C]).
- Procedimiento: Se realizó la prueba durante 60 minutos aprox. realizando cada 10 minutos extracciones del agua tratada y toma de datos.
- Resultado: Al cabo de 60 minutos se extraen 3350 [mL]. Se considera que la temperatura de evaporación es relativamente alta, pues es cercana a la temperatura ambiente (24 [°C] aproximadamente).

- Comportamiento y análisis:

Figura 48. Temperaturas prueba 1

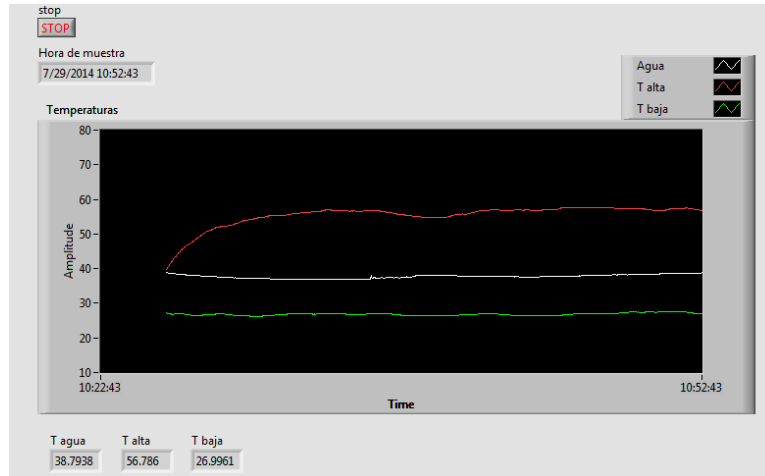
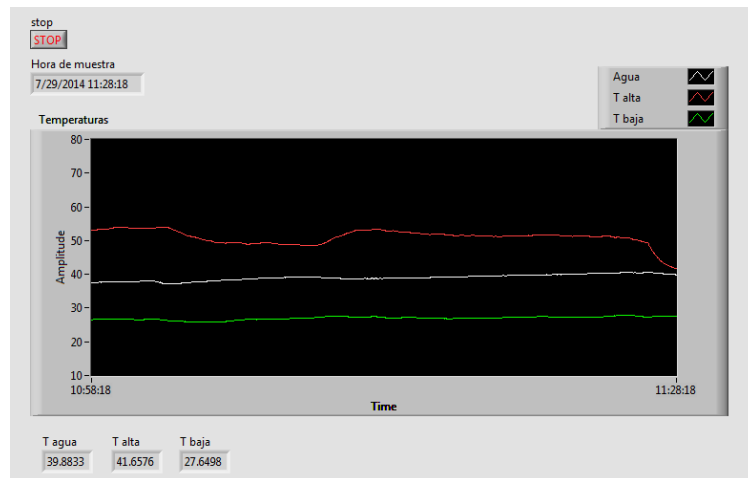


Figura 49. Continuación temperaturas prueba 1



La temperatura de alta y del agua son muy similares inicialmente, esto debido a que el agua ingreso a una temperatura de 40 [°C] aprox. y calentó el serpentín del condensador de la bomba de calor (donde se está midiendo la temperatura de alta). Una vez encendido el sistema, la temperatura de alta (línea roja) empieza a aumentar rápidamente, transfiriendo así todo el calor al agua para mantener una “rata” de evaporación, pues el agua ya se encontraba

a temperatura de saturación (40 [°C] aproximadamente) para el vacío al que se estaba trabajando, de modo tal que la temperatura de esta disminuye muy ligeramente para luego permanecer prácticamente invariable en el tiempo, al igual que la temperatura de baja, la cual desde un principio se encuentra en equilibrio debido a que hubo producción de vapor inmediata desde el momento que se realizó el vacío.

Tabla 9. Prueba 1 a temperatura de descarga de 40 [°C].

Tiempo [min]	Presión de Alta [psi]	Presión de Baja [psi]	Presión de Vacío [cmHg]	Corriente Compresor [A]
5	155	64	61,3	7,6
10	155	63	61,3	7,5
20	160	64	61	7,6
30	150	61	61,3	7,5
40	160	59	61	7,3
50	140	61	61	7,5
60	170	62	60	7,6

Las gráficas de las presiones coinciden con las de las temperaturas, se observa que la presión de baja permanece prácticamente constante en el tiempo de prueba.

Figura 50. Presiones en los manómetros de alta y baja en la prueba 1

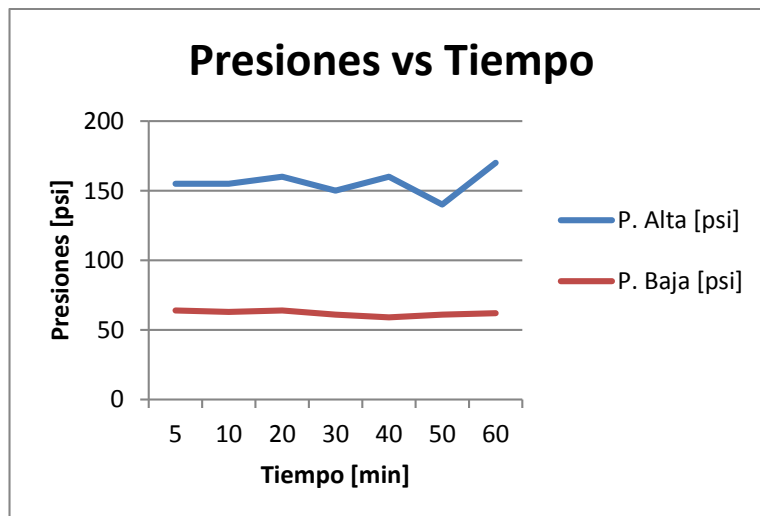
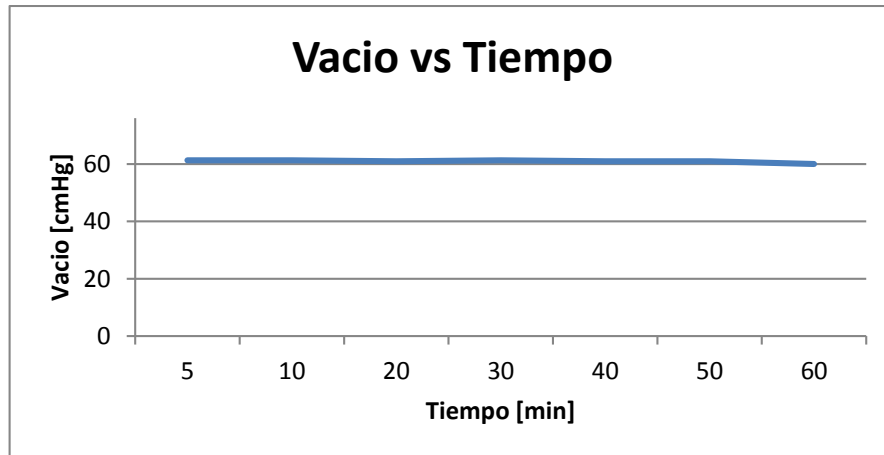
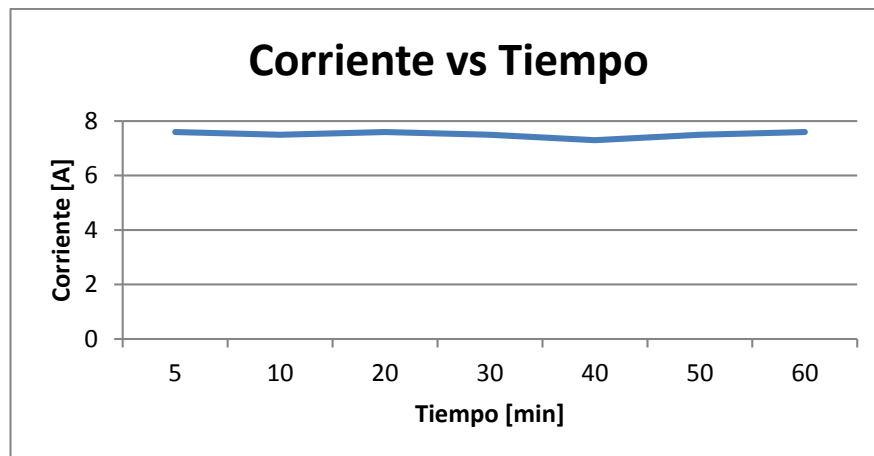


Figura 51. Presión de vacío en el tiempo en la prueba 1



El vacío permanece constante desde el inicio de la prueba, esto es debido a que la prueba se inicia con el vacío máximo que se podía alcanzar.

Figura 52. Consumo de corriente del compresor en el tiempo en la prueba 1



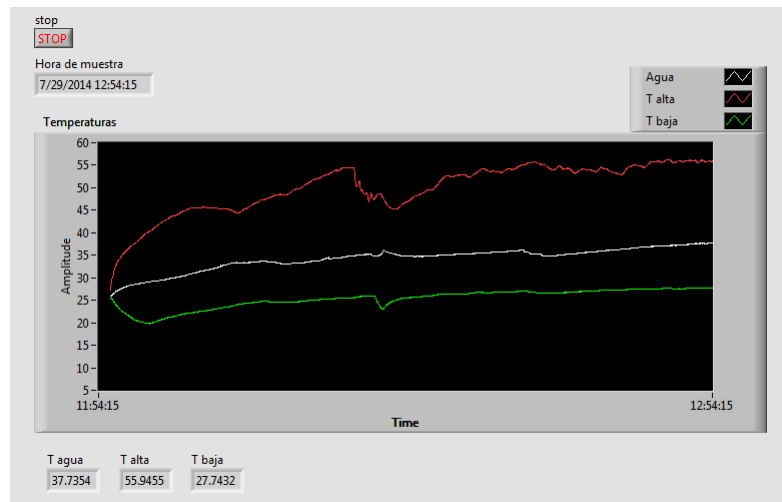
9.4.2 Prueba 2: Tratamiento de aguas residuales a temperatura ambiente de 24 [°C]

- Objetivo: Verificar que el prototipo y en particular la bomba de calor pueda evaporar el agua en el tanque de ebullición y condensar el vapor en el tanque de condensación, superando primeramente el estado transitorio de una manera rápida y sin que el compresor sufra daños, los daños pueden ser

causados por ejemplo por la llegada de líquido al compresor debido a la ausencia de carga (no hay vapor para condensar) en el evaporador al inicio de la prueba. El estado transitorio se debe a que las aguas residuales están a temperatura ambiente (24 [°C] aprox.).

- Procedimiento: Se realizó la prueba durante 60 minutos aprox. realizando cada 10 minutos extracciones del agua tratada y toma de datos.
- Resultados: Al cabo de 60 minutos se extraen 3100 [mL]. La prueba se debe finalizar por seguridad de los componentes debido a que el sistema no se estabiliza y las presiones son muy elevadas al igual que el consumo de corriente por parte del compresor, se superan los valores máximos recomendados por el fabricante del compresor.
- Comportamiento y análisis:

Figura 53. Temperaturas prueba 2



En la imagen se observa claramente que los 3 puntos de medición se encontraban a temperatura ambiente. Una vez encendido el sistema la temperatura de alta (línea roja) empieza a aumentar rápidamente con el fin de calentar el agua hasta la temperatura de saturación, la temperatura del agua (línea blanca) tiene una reacción más lenta y aunque después de 30 minutos

sigue aumentando, el incremento es más leve que al inicio, por último la temperatura de baja (línea verde) empieza a disminuir rápidamente para posteriormente empezar a incrementar lentamente hasta alcanzar un equilibrio, cuando ya hay producción de vapor relativamente constante.

Tabla 10. Prueba 2 a temperatura ambiente de 24°C.

Tiempo [min]	Presión de Alta [psi]	Presión de Baja [psi]	Presión de Vacío [cmHg]	Corriente Compresor [A]
5	120	42	63	6,9
10	135	48	62	7,2
20	140	54	62	7,3
30	150	57	62	7,4
40	150	61	61,5	7,6
50	155	62	61	7,6
60	165	65	61	7,8

Las gráficas de las presiones coinciden con las de las temperaturas, en el lapso de 60 minutos que duró la prueba, las temperaturas no lograron estabilizarse, se hizo más notorio un problema en esta prueba respecto a la prueba anterior.

Figura 54. Presión en los manómetros de alta y baja durante la prueba 2

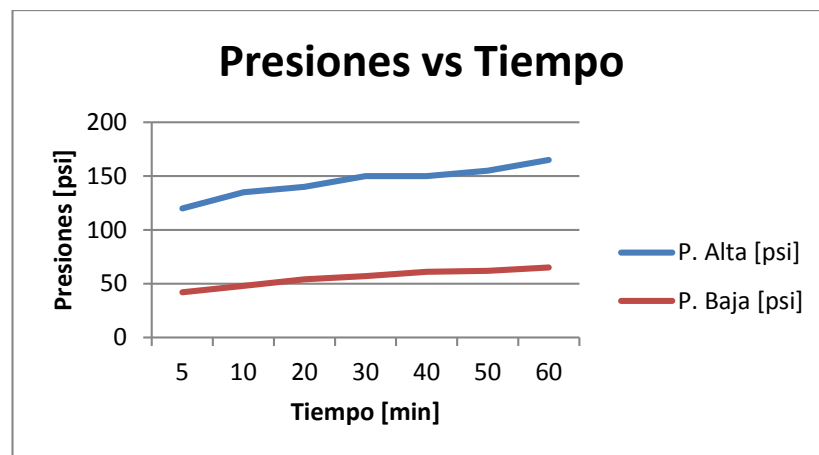
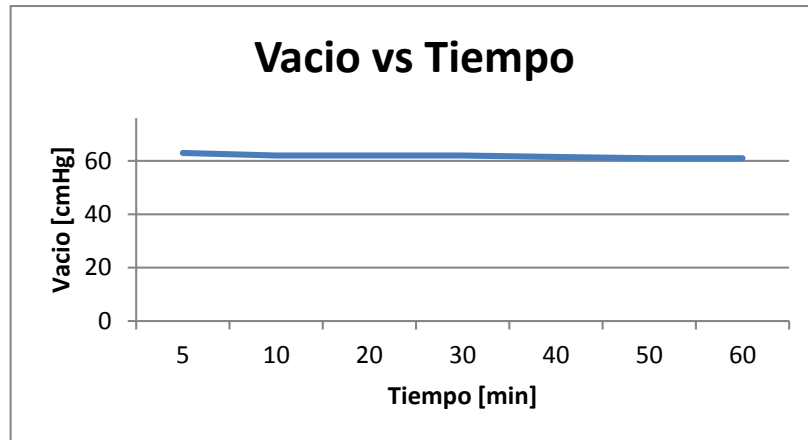
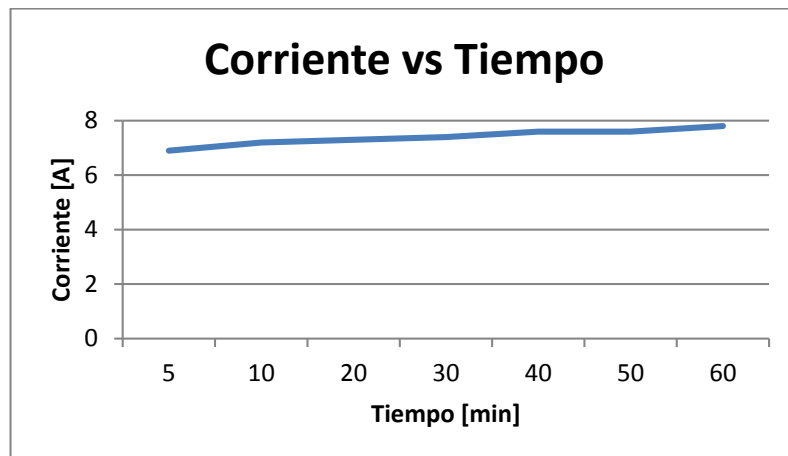


Figura 55. Presión de vacío en el tiempo en la prueba 2



La corriente consumida por el compresor tampoco se estabiliza transcurrida una hora, para prevenir daños en el compresor y los demás componentes se finalizan la prueba y se procede a dar solución al problema ya que la bomba de calor no estaba funcionando correctamente, de modo tal que permanecía en un estado transitorio y no alcanzaba el equilibrio.

Figura 56. Consumo de corriente del compresor en el tiempo en la prueba 2

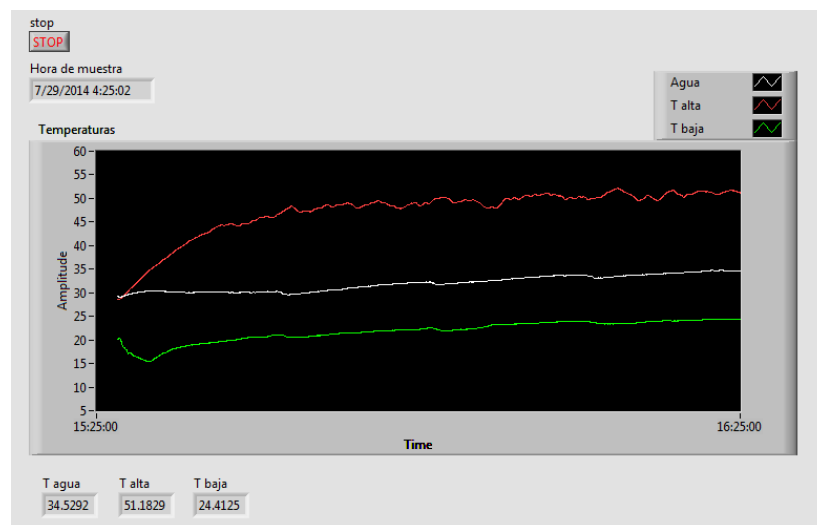


El problema fue resuelto disminuyendo la cantidad de refrigerante cargado en el sistema, debido a que era excesiva y estaba inundando el evaporador.

9.4.3 Prueba 3: Continuidad en el tratamiento de las aguas residuales

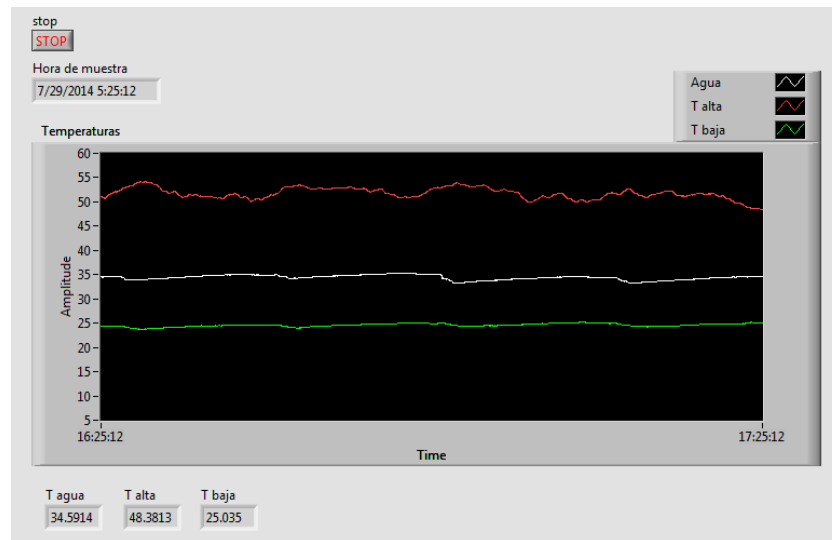
- Objetivo: Verificar el comportamiento del prototipo durante lapsos de tiempo “prolongados” para comprobar su estabilidad.
- Procedimiento: Se realizó la prueba durante un lapso de 4 horas, realizando cada 15 minutos extracciones del agua tratada, toma de datos con los equipos (manómetros de alta y baja, vacuómetro y pinza amperimétrica), y restituciones de agua. A la par se sensaron las temperaturas a la entrada tanto del condensador como el evaporador, en tiempo real con el software NI LabView. El agua residual en el tanque de ebullición inicialmente se encontraba a temperatura ambiente, 24 [°C], al igual que todas las restituciones de agua realizadas.
- Resultados: Al cabo de 4 horas se habían extraído un total de 11700 [mL] con un consumo de 235,9 [W/L]. La prueba se culmina con total éxito.
- Comportamiento y análisis: Se observa como las temperaturas de los 3 puntos sensados son muy similares en el arranque, a excepción ligeramente de la temperatura de baja debido a que el sistema se había puesto en marcha unos segundos antes.

Figura 57. Primera hora de operación de la prueba 3



Las temperaturas tienden a incrementar ligeramente en el tiempo, a excepción de la temperatura de alta la cual inicialmente tiene un incremento mayor hasta alcanzar la temperatura adecuada para comenzar la evaporación del agua.

Figura 58. Segunda hora de operación de la prueba 3



Del minuto 60 en adelante se observa una estabilidad en las temperaturas, la temperatura del agua (línea blanca), tiene ligeras caídas correspondientes a las restituciones de agua que recibía el sistema con el fin que los serpentines del tanque de evaporación no quedaran descubiertos en ningún momento y así aprovechar en todo momento el área total de transferencia de calor. La temperatura de alta (línea roja) presenta cambios más significativos, sin embargo están en un rango pequeño ± 5 [°C], estos cambios se deben a diversos factores como el elemento instalado en el tanque para tener una medida de la temperatura interna del tanque de evaporación.

Figura 59. Tercera hora de operación de la prueba 3

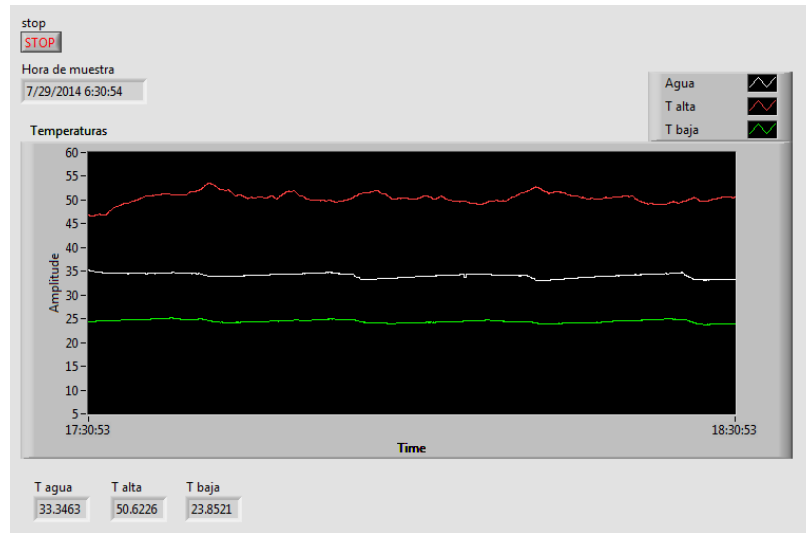
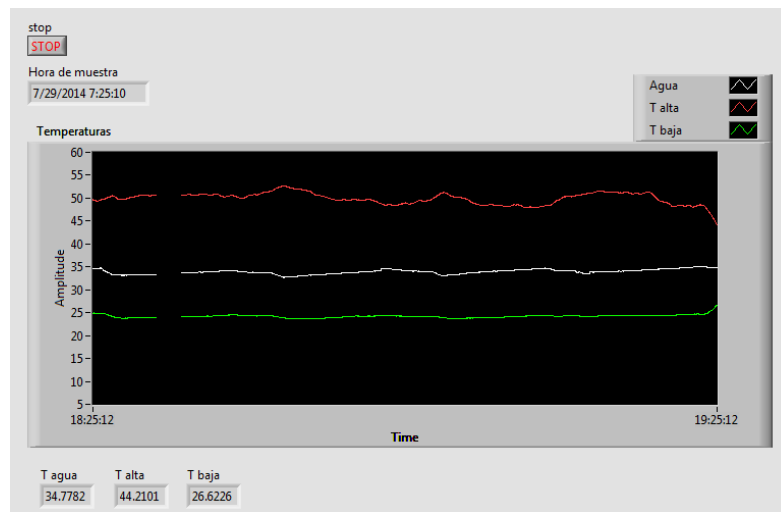


Figura 60. Cuarta hora de operación de la prueba 3



Otros parámetros medidos manualmente fueron tabulados y graficados a continuación, con el fin de observar su comportamiento a lo largo de la prueba.

Tabla 11. Prueba 3 de continuidad en el tratamiento

Tiempo [min]	Presión de Alta [psi]	Presión de Baja [psi]	Presión de Vacío [cmHg]	Volumen destilado [mL]	Volumen restitución [mL]	Corriente Compresor [A]
5	120	41	63	0	0	6,5
10	121	43	63	400	900	6,6
25	130	48	62	650	600	6,8
40	138	51	62	700	600	7
55	141	54	61	775	600	7,1
70	145	55	61	800	600	7,2
85	145	55	61	800	900	7,2
100	145	55	61	800	900	7,2
115	142	54	61	750	900	7,2
130	145	55	61	700	600	7,2
145	145	55	61	800	900	7,1
160	148	54	61	725	900	7,1
175	145	54	61	825	900	7,1
190	145	53	61	775	900	7,1
205	140	53	61	700	900	7,1
220	140	53	61	725	600	7,1
235	140	54	61	800	0	7,1

Figura 61. Presión en los manómetros de alta y baja durante la prueba 3

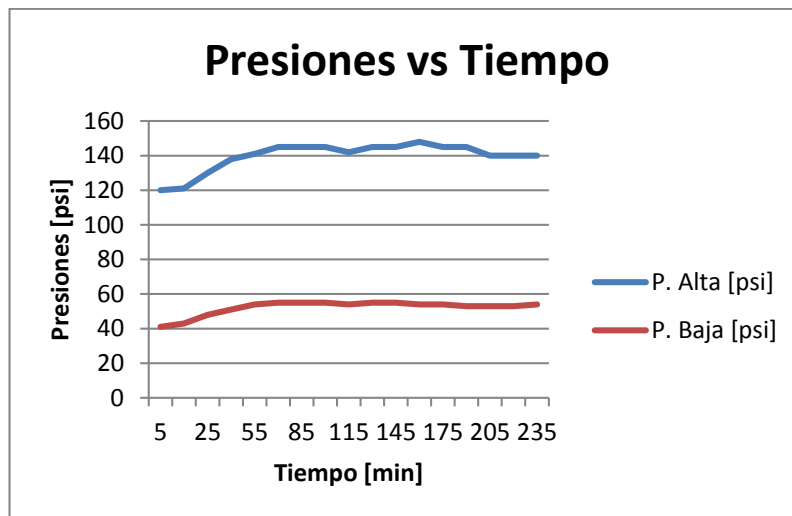
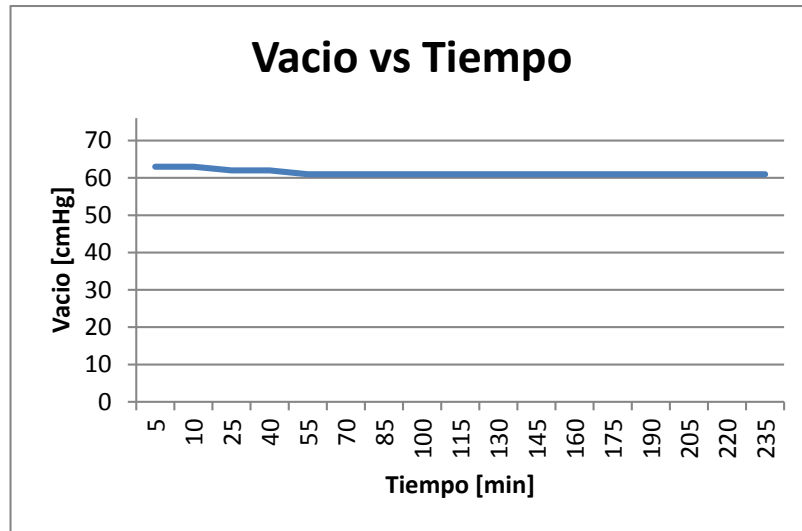
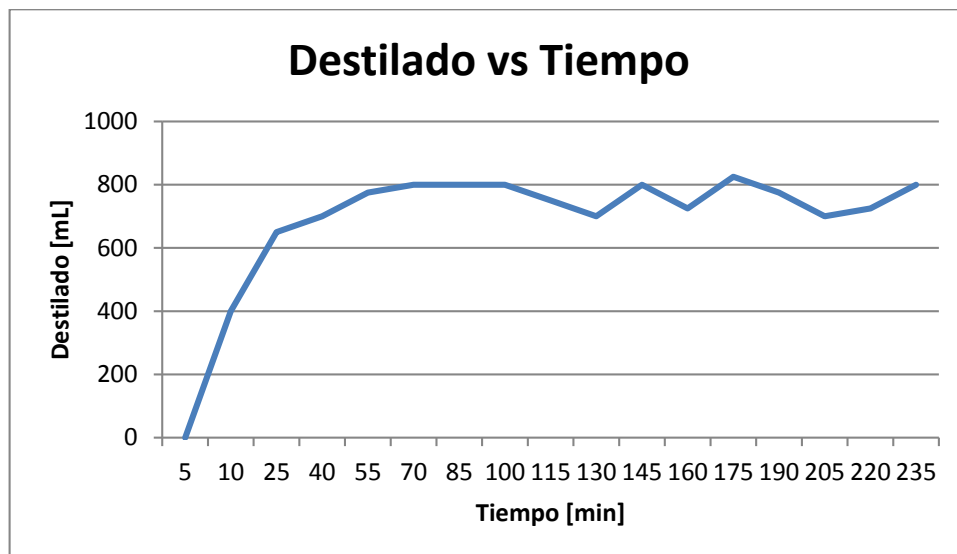


Figura 62. Presión de vacío durante la prueba 3



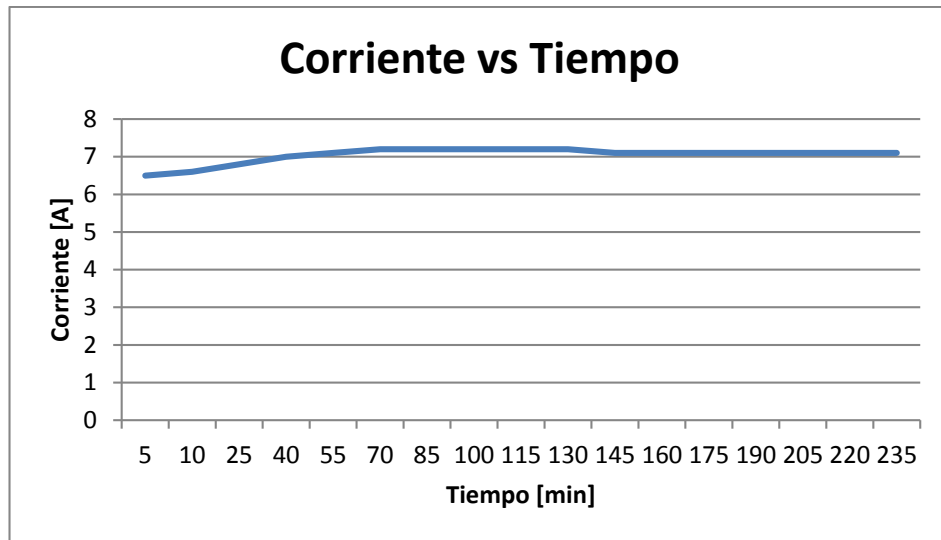
El vacío realizado al inicio de la prueba es ligeramente mayor con el fin que el estado transitorio del sistema tarde menos tiempo. Una vez vencido el transitorio, el vacío empieza a estabilizarse, cuando las “ratas” de producción de evaporación y condensación son iguales.

Figura 63. Volumen de destilado extraído en el tiempo



Los cambios en el volumen extraído de destilado, permanecieron entre un rango de 700 a 800 [mL] aproximadamente, una vez el transitorio fue superado, siendo la producción de destilado o agua tratada “relativamente” constante.

Figura 64. Consumo de corriente del compresor durante prueba 3



Se puede concluir que todas las gráficas anteriores presentan un patrón similar, y es un comportamiento muy estable una vez a transcurrido una hora de operación del sistema.

El consumo de energía de todos los componentes del sistema en la prueba de 4 horas fue de 2,68 [kW – h], con un costo de 385 $\left[\frac{\$}{kW-h}\right]$ se obtiene un costo de 88 $\left[\frac{\$}{L}\right]$ destilado

9.5 EXÁMENES DE LABORATORIO

El agua tratada se sometió a exámenes de laboratorio con el fin de comprobar si la misma cumplía con los requisitos mínimos establecidos por la ley Colombiana para el vertimiento de aguas residuales de la industria de la tintorería en el alcantarillado

público o a los cuerpos de aguas superficiales. No se realizaron estudios sobre factores de remoción (variación de cada uno de los exámenes de laboratorio entre la entrada de agua residual sin tratar y el agua tratada) debido a que se tiene como punto de referencia los límites permitidos.

Figura 65. Antes y después del tratamiento



Se observa que en todos los parámetros, el agua tratada se encuentra muy por debajo de los límites máximos establecidos; por ende no solo es apta para el vertimiento de la misma sino para su reutilización en procesos industriales.

Tabla 12. Resultados análisis de laboratorio.¹⁷

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS: MUESTRA DE AGUA RESIDUAL TRATADA	VALORES LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
			CUERPO DE AGUA SUPERFICIAL	ALCANTARILLADO PÚBLICO
Generales				
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	47,8	400,0	800,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	24,4	200,0	300,0
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	<5*	200,0	400,0
Material Flotante	mg/L	0,0	0,5	-
Grasas y Aceites	mg/L	<10*	20,0	50,0
Fenoles	mg/L	0,01	0,2	0,2
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	0,01	5,0	8,0

* Limite de detección del método

¹⁷ Ver ANEXO I

Con un costo de $947 \$/m^3$ de gas natural y un poder calorífico¹⁸ de $36900 \text{ kJ}/m^3$ y el costo de $1 \text{ kW} - h$ en $385 \$/\text{kW} - h$

10.1 COSTO DE EVAPORACIÓN

10.1.1 Vapor producido en la caldera

Apartir del calor requerido para la evaporación, y utilizando la información proporcionada por el fabricante de calderas Hurst Boiler para su modelo “Series 200” de 15 BHP, empleando gas natural como combustible se tiene:

Producción de vapor en 1 hora por la caldera

$$m_{vapor} = 517 \left[\frac{Lb}{h} \right] = 235 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

Consumo de combustible en 1 hora por la caldera

$$\dot{V}_{gas} = 630 [CFH] = 17,84 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

El flujo de vapor que se requiere para evaporar el agua, asumiendo una temperatura de entrada y salida del vapor es de $100 [^{\circ}C]$, de modo tal que solo hay condensación de este, está dado por:

$$\dot{m}_{vapor \text{ req}} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{h_{fg}} = \frac{1,659}{2257} = 7,35 * 10^{-4} \left[\frac{Kg}{s} \right] = 2,65 \left[\frac{Kg}{h} \right]$$

Esto corresponde a la $1/89$ parte de la capacidad total de producción de vapor de la caldera, asumiendo que el consumo de combustible es lineal.

$$\dot{V}_{gas \text{ requerido}} = \frac{17,84}{89} = 0,2 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$COSTO_{gas} = \dot{V}_{gas \text{ requerido}} * \frac{\$}{m^3} = 0,2 * 947 = 190 \left[\frac{\$}{2L} \right]$$

¹⁸ Tomado de: Ver PDF CalidadGases2004

10.1.2 Gas natural

A partir del calor requerido para la evaporación y asumiendo una eficiencia del 60% en el proceso con quema de gas natural se determina el costo de gas por litro tratado:

$$\dot{Q}_{evap} \left[\frac{kJ}{s} \right] = \eta_{quema\ gas} * PC \left[\frac{KJ}{m^3} \right] * \dot{V} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$
$$\dot{V} = \frac{1,659}{0,6 * 36900} = 7,49 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right] = 0,27 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$
$$COSTO_{gas} = V * \frac{\$}{m^3} = 0,27 * 947 = 256 \left[\frac{\$}{2L} \right]$$

10.1.3 Resistencia eléctrica

Se asume una eficiencia del 98% en la conversión de energía, por tanto:

$$\dot{Q}_{resistencia} \left[\frac{kJ}{s} \right] = \frac{\dot{Q}_{evap} \left[\frac{kJ}{s} \right]}{\eta_{resistencia}} = \frac{1,659}{0,98} = 1,693 [kW]$$
$$COSTO_{resistencia} = \dot{Q}_{resistencia} * \frac{\$}{kW - h} = 1,693 * 385 = 652 \left[\frac{\$}{2L} \right]$$

10.1.4 Costo de bombeo de agua para evaporar

Este costo está asociado al flujo de agua calentada previamente por los métodos anteriormente mencionados para la evaporación del agua a tratar. Asumiendo un $\Delta T = 15 [^{\circ}C]$ en esta agua y según el calor que se requiere suministrar, entonces:

$$\dot{m}_{agua,caliente} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{C_p * \Delta T} = \frac{1,659}{4,18 * 15} = 0,026 \left[\frac{kg}{s} \right]$$
$$\dot{V}_{agua} = \frac{\dot{m}_{agua,caliente}}{\rho_{agua}} = \frac{0,026}{1000} = 2,6 * 10^{-5} \left[\frac{m^3}{s} \right] = 1,56 \left[\frac{L}{min} \right]$$

El consumo de potencia de una bomba centrífuga para este caudal es de $3 [W]$ ¹⁹

$$Costo_{bombeo} = 0,003 * 385 = 1,2 \left[\frac{\$}{2L} \right]$$

¹⁹ Tomado de: página web de iwa...

10.2 COSTO DE CONDENSACIÓN

Para cualquiera de las dos alternativas mencionadas anteriormente, la condensación del vapor se va a producir al hacer intercambio este con agua que se recircula a través de una torre de enfriamiento.

Basados en el catálogo de la torre de enfriamiento CTS T-25 ²⁰, la potencia consumida por esta es de 0,124 [kW – h] para enfriar un caudal agua de 3406 $\left[\frac{L}{h}\right]$ con un $\Delta T = 8$ [°C], por tanto el consumo para 2 $\left[\frac{L}{h}\right]$ es:

$$Costo_{enfriar} = 0,124 [kW - h] * 385 \left[\frac{\$}{kW - h} \right] = 48 \left[\frac{\$}{3406 L} \right]$$

Siendo despreciable el costo de enfriar 2 $\left[\frac{L}{h}\right]$ ya que el costo es inferior a \$ 1.

10.3 COSTOS GLOBALES

Tabla 13. Comparación costos de operación.

FUENTE ENERGIA	COSTO EVAPORACIÓN	COSTO CONDENSACIÓN	COSTO TOTAL
VAPOR	95 [\$/L]	1 [\$/L]	96 [\$/L]
GAS NATURAL	128 [\$/L]	1 [\$/L]	129 [\$/L]
RESISTENCIA ELECTRICA	326 [\$/L]	1 [\$/L]	327 [\$/L]
BOMBA DE CALOR	---	---	89 [\$/L] ²¹

En definitiva, la bomba de calor es la mejor alternativa para el tratamiento de aguas residuales por evaporación al vacío desde el punto de vista de costos operacionales; los altos costes asociados al proceso de evaporación con otras fuentes de energía hacen que no sean alternativas económicamente viables. Esto tiene sentido ya que la bomba de calor tiene un COP mayor a 1, motivo por el cual el consumo energético es menor al calor entregado por la misma.

²⁰ Disponible en http://www.coolingtowersystems.com/pdfs/Outline_T-25.pdf

²¹ Ver capítulo de pruebas

Aunque el uso de vapor como fuente de energía se encuentra en un margen de costos operacionales cercano, no se debe olvidar que para la producción de este se está realizando una combustión que contamina el medio ambiente, de modo tal que desde el punto de vista ecológico no es viable, comprado con el cero impacto ambiental que tiene una bomba de calor trabajando en condiciones normales (condiciones en las que no haya fuga de refrigerante).

11. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un prototipo para el tratamiento de aguas residuales industriales, enfocado a la industria de las tintorerías debido a la gran cantidad de agua que estas utilizan y a los tipos de contaminantes de las mismas. Este sistema se basó en el principio de destilación al vacío por bomba de calor, presentando grandes ventajas frente a un sistema de destilación tradicional (destilación simple, con fuentes de energía eléctricas como las resistencias o químicas como la combustión). Entre las principales ventajas se encuentran: El hecho de que el proceso se realice al vacío, ya que la energía que se debe aportar al agua para su evaporación es menor frente a la energía necesaria cuando el proceso se realiza a presión atmosférica; también el uso de bomba de calor como foco caliente y frío para la evaporación y la condensación respectivamente, ya que esta es un sistema cerrado que no genera contaminación alguna, constituyéndose como una excelente alternativa.

El uso de este sistema a nivel industrial genera un ahorro económico desde varios flancos, en primera instancia el hecho que solo se debe contratar un servicio para la disposición final de los fangos (el costo de estos servicios es por el volumen de residuos), los cuales tienen un volumen mínimo comparado con el volumen total de agua contaminada; en segunda instancia, el agua residual tratada se puede utilizar de nuevo, disminuyendo el consumo mensual de agua y por último, el hecho del aporte al medio ambiente que en muchos casos se considera invaluable, ya que si estas aguas residuales no se tratan antes de verterse a un cuerpo de agua superficial, después será muy complicado si no imposible.

La aplicación de este sistema en la industria tintorera presenta una gran viabilidad desde diversos puntos de vista, destaca el hecho de que las aguas residuales se “desechen” a temperaturas superiores a los 35 – 40 °C, así que solo con realizar un vacío mayor a 59 [cmHg] el agua se empieza a evaporar, de modo que la mayoría

del calor suministrado al agua residual se emplea en que esta cambie de fase y no en el aumento de temperatura de la misma.

Los costos de operación asociados al tratamiento de las aguas residuales con este sistema se pueden clasificar en dos, los relacionados con la energía eléctrica consumida por los elementos de la bomba de calor (compresor y post-condensador) y los relacionados con el tratamiento de los fangos, que son los residuos obtenidos al final del proceso. Los consumos de energía varían en función del tipo y la concentración que tengan las aguas residuales en ese momento, se estimó que están alrededor de $0.69 [kW/h]$ por 2.925 litros tratados en una hora, por tanto el costo aproximado tomando como referencia el costo de la energía a nivel comercial es de \$ 88 pesos por litro de agua tratado.

Este sistema presenta un bajo costo de mantenimiento, los costos se asocian principalmente con la limpieza interior que se deben realizar a los tanques de evaporación y de condensación, la frecuencia de la misma depende de los contaminantes más frecuentes que tengan las aguas residuales a tratar y la cantidad que se trate de esta.

12. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un tratamiento previo de las aguas residuales con el fin de remover materiales sólidos de gran tamaño como en el caso de algunas tintorerías, algunos trozos de tela, motas de algodón, restos de hilo, hebras, etc. Para este fin, basta con pasar estas aguas a través de una o dos rejillas que retengan los materiales sólidos mayores a 2 mm por ejemplo, básicamente sería un proceso con el cual se garantizaría que las líneas de suministro y descarga del sistema no se obstruyeran, igualmente permitiría que el calor suministrado al agua se aproveche en la evaporación de la misma y no en aumentar la temperaturas de materiales sólidos.

Para la implementación de este sistema de tratamiento de aguas residuales a nivel industrial, en donde las cantidades de agua a tratar fácilmente son a partir de 10.000 litros diarios; se recomienda el uso de otro tipo de intercambiador de calor en el tanque de evaporación, como por ejemplo de casco y tubos. Lo anterior, con el fin de que el proceso de ebullición no sea en estanque sino en ebullición en flujo, esto mejoraría considerablemente la eficiencia de sistema ya que la transferencia de calor mejoraría significativamente.

La salida del tanque de evaporación debe tener una altura mayor a 20 cm medida desde el nivel máximo de agua a tratar, con el fin que haya una distancia mínima entre el nivel de agua y la conexión de esta al tanque de condensación, esto debido a que cuando el agua esta ebulriendo no tiene un nivel constante, por el contrario es muy agitado y las burbujas alcanzan una altura considerable provocando que en ocasiones algunas gotas pasen de la cámara de ebullición a la de condensación; igualmente estas aguas residuales también contienen en ocasiones restos de jabón y durante la ebullición la espuma puede alcanzar una altura considerable y pasar a la cámara de condensación. Adicional a esta altura extra, un separador de gotas

puede ayudar como un nivel de seguridad más para garantizar que no haya transferencia de agua contaminada entre las cámaras.

En el taque de condensación se recomienda que el serpentín sea de un material diferente al cobre, ya que este se oxida con el tiempo cuando se encuentra en presencia de humedad.

Hacer estudios para determinar el número de veces que una masa de agua determinada se pueda volver a tratar después de ser re usada.

BIBLIOGRAFIA

ASHRAE Handbook 1994. Refrigeration Systems and Applications. Atlanta. ASHRAE Inc, 1994.

ASHRAE Handbook 2005, Fundamentals. Atlanta. ASHRAE Inc, 2005.

CENGEL A Yunus. Transferencia de calor y masa. Traducido por José Hermán Pérez Castellanos, Javier Enrique Brito. México, D.F. McGraw-Hill, 2007. 901 p. ISBN- 13: 978-970-10-6173-2.

GELVEZ Omar. Refrigeración y aire acondicionado. Notas de clase.

INCROPERA, Frank. Fundamentos de transferencia de calor y masa. 4ª edición. PRENTICE HALL, México, 1999.

ANEXOS

ANEXO A. NORMATIVA COLOMBIANA ACERCA DE VERTIMIENTOS

DECRETO 1594 DE 1984

(Junio 26)

Diario Oficial No. 36.700, del de junio de 1984

MINISTERIO DE AGRICULTURA

Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA,

en uso de las atribuciones que le confiere el numeral 3 del artículo 120 de la Constitución política,

DECRETA:

CAPITULO I. DEFINICIONES

ARTICULO 1o. Cuando quiera que el presente Decreto se refiera a recurso, se entenderá por tal las aguas superficiales, subterráneas, marinas y estuarinas, incluidas las aguas servidas.

ARTICULO 2o. La sigla EMAR utilizada en el presente Decreto, corresponde a entidad encargada del manejo y administración del recurso.

ARTICULO 3o. Entiéndese por entidad encargada del manejo y administración del recurso (EMAR), aquella que tenga asignadas esas funciones por la ley o por delegación, como el INDERENA, el HIMAT en los distritos de riego, las Corporaciones Autónomas Regionales de Desarrollo y la Dirección Marítima y Portuaria, DIMAR.

ARTICULO 4o. Los criterios de calidad establecidos en el presente Decreto, son guías para ser utilizados como base de decisión en el ordenamiento, asignación de usos al recurso y determinación de las características del agua para cada uso.

ARTICULO 5o. Entiéndese por tratamiento convencional para potabilizar las aguas, los siguientes procesos y operaciones: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

ARTICULO 6o. Entiéndese por vertimiento líquido cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua o a un alcantarillado.

ARTICULO 7o. Es usuario toda persona natural o jurídica de derecho público o privado, que utilice agua tomada directamente del recurso o de un acueducto, o cuya actividad pueda producir vertimiento directo o indirecto al recurso.

ARTICULO 8o. Entiéndese por usuario nuevo aquella cuya actividad se inicie después de la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto.

ARTICULO 9o. Entiéndese por usuario existente aquel cuya actividad ha venido realizándose con anterioridad a la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto.

ARTICULO 10. Entiéndese por zona de mezcla, el área técnicamente determinada a partir del sitio de vertimiento, indispensable para que se produzca mezcla homogénea de este con el cuerpo receptor; en la zona de mezcla se permite sobrepasar los criterios de calidad de agua para el uso asignado, siempre y cuando se cumplan las normas de vertimiento.

ARTICULO 11. Denomínase vertimiento no puntual aquel en el cual no se puede precisar el punto exacto de descarga al recurso, tal es el caso de vertimientos provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares.

ARTICULO 12. Denomínase lodo a la suspensión de un sólido en un líquido proveniente de tratamiento de aguas, residuos líquidos u otros similares.

ARTICULO 13. Denomínase concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

ARTICULO 14. Denomínase carga al producto de la concentración promedio por el caudal promedio determinado en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (Kg/d).

ARTICULO 15. Denomínase bioensayo acuático al procedimiento por el cual la presencia o efectos de una o más sustancias, elementos, compuestos, desechos o factores ambientales solos o en combinación.

ARTICULO 16. Denomínase toxicidad la propiedad que tiene una sustancia, elemento o compuesto. de causar daños en la salud humana o la muerte de un organismo vivo.

ARTICULO 17. Denomínase toxicidad aguda la propiedad de una sustancia, elemento, compuesto, desecho, o factor ambiental, de causar efecto letal u otro efecto nocivo en cuatro (4) días o menos a los organismos utilizados para el bioensayo acuático.

ARTICULO 18. Denomínase toxicidad crónica la propiedad de una sustancia, elemento, compuesto, desecho o factor ambiental, de causar cambios en el apetito, crecimiento, metabolismo, reproducción, movilidad o la muerte o producir mutaciones después de cuatro (4) días a los organismos utilizados por el bioensayo acuático.

ARTICULO 19. Denomínase CL9650 a la concentración de una sustancia, elemento o compuesto, solos o en combinación, que produce la muerte al cincuenta por ciento (50%) de los organismos sometidos a bioensayos en un período de noventa y seis (96) horas.

ARTICULO 20. Consideránse sustancias de interés sanitario las siguientes:

PARAGRAFO. El Ministerio de Salud podrá considerar como de interés sanitario sustancias diferentes a las relacionadas en el presente artículo.

ARTICULO 21. Entiéndese por usuario de interés sanitario aquel cuyos vertimientos contengan las sustancias señaladas en el artículo anterior.

CAPITULO VI. DEL VERTIMIENTO DE LOS RESIDUOS LIQUIDOS

ARTICULO 60. Se prohíbe todo vertimiento de residuos líquidos a las calles, calzadas y canales o sistemas de alcantarillado para aguas lluvias, cuando quiera que existan en forma separada o tengan esta única destinación.

ARTICULO 61. Se prohíbe la inyección de residuos líquidos a un acuífero, salvo que se trate de la reinyección de las aguas provenientes de la exploración y explotación petrolífera y de gas natural, siempre y cuando no se impida el uso actual o potencial del acuífero.

ARTICULO 62. Se prohíbe la utilización de aguas del recurso, del acueducto público o privado y las de almacenamiento de aguas lluvias, con el propósito de diluir los vertimientos, con anterioridad a la descarga al cuerpo receptor.

ARTICULO 63. Se permite la infiltración de residuos líquidos siempre y cuando no se afecte la calidad del agua del acuífero en condiciones tales que impida los usos actuales o potenciales.

ARTICULO 64. Cuando en el presente Decreto se haga referencia a normas de vertimiento, se entenderá por tales las contenidas en este Capítulo con las modificaciones o adiciones que el Ministerio de Salud o la EMAR, establezcan de acuerdo con los procedimientos señalados en el Capítulo XI de este Decreto.

ARTICULO 65. <Artículo NULO>

ARTICULO 66. Las normas de vertimiento serán fijadas teniendo en cuenta los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados al recurso.

En los tramos en donde se asignen usos múltiples, las normas de vertimiento se establecerán teniendo en cuenta los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uso.

El control de los criterios de calidad se hará por fuera de la zona de mezcla, la cual será determinada para cada situación específica por la EMAR.

ARTICULO 67. Para el control del cumplimiento de las normas de vertimiento por parte de cada usuario, se deberá tener en cuenta que cuando la captación y la descarga se realicen en un mismo cuerpo de agua, en las mediciones se descontarán las cargas de los contaminantes existentes en el punto de captación.

ARTICULO 68. Los usuarios existentes que amplíen su producción, serán considerados como usuarios nuevos con respecto al control de los vertimientos que correspondan al grado de ampliación.

ARTICULO 69. Los responsables de todo sistema de alcantarillado deberán dar cumplimiento a las normas de vertimiento contenidas en el presente Decreto.

ARTICULO 70. Los sedimentos, lodos, y sustancias sólidos provenientes de sistemas de tratamiento de agua o equipos de contaminación ambiental, y otras tales como cenizas, cachaza y bagazo, no podrán disponerse en cuerpos de aguas superficiales, subterráneas, marinas, estuarinas o sistemas de alcantarillado, y para su disposición deberá cumplirse con las normas legales en materia de residuos sólidos.

ARTICULO 71. Para efectos del control de la contaminación del agua por la aplicación de agroquímicos, se tendrá en cuenta:

- a. Se prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de tres (3) metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua.
- b. Se prohíbe la aplicación aérea de agroquímicos dentro de una franja de treinta (30) metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua.
- c. La aplicación de agroquímicos en cultivos que requieran áreas anegadas artificialmente requerirá concepto previo del Ministerio de Salud o de su entidad delegada y de la EMAR.
- d. Además de las normas contenidas en el presente artículo sobre aplicación de agroquímicos, se deberán tener en cuenta las demás disposiciones legales y reglamentarias sobre la materia.

DE LAS NORMAS DE VERTIMIENTO

ARTICULO 72. Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Referencia Usuario Existente Usuario

Nuevo pH 5 a 9 unidades 5 a 9 unidades

Temperatura < 40o.C < 40o.C

Material flotante Ausente Ausente

Grasas y aceites Remoción > 80% en carga Remoción > 80% en carga
Sólidos suspendidos,

domésticos o industriales Remoción > 50% en carga Remoción > 80% en carga

Demanda bioquímica de oxígeno:

Para desechos domésticos Remoción > 30% en carga Remoción > 80% en carga

Para desechos industriales Remoción > 20% en carga Remoción > 80% en carga

Carga máxima permisible (CMP), de acuerdo con lo establecido en los artículos **74** y **75** del presente Decreto.

PARAGRAFO. <Parágrafo NULO>

ARTICULO 73. Todo vertimiento a un alcantarillado público deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

Referencia Valor

pH 5 a 9 unidades

Temperatura < 40o.C

Acidos, bases o soluciones ácidas o

básicas que puedan causar

contaminación; sustancias

explosivas o inflamables. Ausentes

Sólidos sedimentables 10 ml/l

Sustancias solubles en hexano 100 mg/l

Referencia Usuario Existente Usuario

Nuevo Sólidos suspendidos para

desechos domésticos e

industriales Remoción > 50% en carga Remoción > 80% en carga

Demanda bioquímica de oxígeno:

Para desechos domésticos Remoción > 30% en carga Remoción > 80% en carga
Para desechos industriales Remoción > 20% en carga Remoción > 80% en carga
Caudal máximo 1.5 veces el caudal promedio horario

Carga máxima permisible (CMP) de acuerdo a lo establecido en los artículos **74** y **75** del presente Decreto.

PARAGRAFO. <Parágrafo NULO>

ARTICULO 74. Las concentraciones para el control de la carga de las siguientes sustancias de interés sanitario, son:

Sustancia Expresada como Concentración (mg/l)

Arsénico As 0.5

Bario Ba 5.0

Cadmio Cd 0.1

Cobre Cu 3.0

Cromo Cr+6 0.5

Compuestos fenólicos Fenol 0.2

Mercurio Hg 0.02

Níquel Ni 2.0

Plata Ag 0.5

Plomo Pb 0.5

Selenio Se 0.5

Cianuro CN- 1.0

Difenil policlorados Concentración

de agente activo No detectable

Mercurio orgánico Hg No detectable

Tricloroetileno Tricloroetileno 1.0

Cloroformo Extracto Carbón

Cloroformo (ECC) 1.0

Tetracloruro de carbono Tetracloruro de

Carbono 1.0

Dicloroetileno Dicloroetileno 1.0

Sulfuro de carbono Sulfuro de carbono 1.0

Otros compuestos organoclorados, Concentración de
cada variedad agente activo 0.05

Compuestos organofosforados, Concentración de
cada variedad agente activo 0.1

Carbamatos 0.1

PARAGRAFO. Cuando los usuarios, aún cumpliendo con las normas de vertimiento, produzcan concentraciones en el cuerpo receptor que excedan los criterios de calidad para el uso o usos asignados al recurso, el Ministerio de Salud o las EMAR podrán exigirles valores más restrictivos en el vertimiento.

ARTICULO 75. La carga de control de un vertimiento que contenga las sustancias de que trata el artículo anterior, se calculará mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$A = (Q) (CDC) (0.0864)$$

$$B = (Q) (.CV) (0.0864)$$

PARAGRAFO. Para los efectos de las ecuaciones a que se refiere el presente artículo adoptanse las siguientes convenciones:

A: Carga de control, kg/día.

Q: Caudal promedio del vertimiento, l/seg.

B: Carga en el vertimiento, kg/día.

CDC: Concentración de control, mg/l.

CV: Concentración en el vertimiento, mg/l.

0.0864: Factor de conversión.

PARAGRAFO 2. La carga máxima permisible (CMP) será el menor de los valores entre A y B.

ARTICULO 76. Cuando la carga real en el vertimiento sea mayor que la carga máxima permisible (CMP), aquella se deberá reducir en condiciones que no

sobrepase la carga máxima permisible.

ARTICULO 77. Cuando el caudal promedio del vertimiento se reduzca y por consiguiente la concentración de cualesquiera de las sustancias previstas en el artículo **74** se aumente, la carga máxima permisible (CMP) continuará siendo la fijada según el párrafo 2 del artículo **75** del presente Decreto.

ARTICULO 78. El control del pH, temperatura (T), material flotante, sólidos sedimentables, caudal y sustancias solubles en hexano, en el vertimiento, se hará con base en unidades y en concentraciones. El de los sólidos suspendidos y el de la demanda bioquímica de oxígeno con base en la carga máxima permisible (CMP), de acuerdo con las regulaciones que establezca la EMAR.

ARTICULO 79. Las normas de vertimiento correspondiente a las ampliaciones que hagan los usuarios del recurso se calcularán de acuerdo con lo establecido en los artículos **75**, **76**, **77** y **78** del presente Decreto.

ARTICULO 80. El control de vertimientos para las ampliaciones deberá efectuarse simultáneamente con la iniciación de las operaciones de ampliación o modificación.

ARTICULO 81. Las ampliaciones deberán disponer de sitios adecuados para la caracterización y aforo de sus efluentes.

ARTICULO 82. De acuerdo con su caracterización, todo vertimiento puntual o no puntual, además de las disposiciones del presente Decreto deberá cumplir con las normas de vertimiento que establezca la EMAR.

ARTICULO 83. Los usuarios que a la fecha de expedición del presente Decreto estén desarrollando obras conforme a las exigencias de la EMAR respectiva o del Ministerio de Salud, deberán cumplir con las normas de vertimiento establecidas en los plazos convenidos.

PARAGRAFO. Los usuarios a que hace referencia el presente artículo, una vez expirados los plazos de los permisos o autorizaciones correspondientes, deberán cumplir con las normas contenidas en el presente Decreto o cualesquiera otras que en desarrollo del mismo establezca la EMAR.

ARTICULO 84. Los residuos líquidos provenientes de usuarios tales como hospitales, lavanderías, laboratorios, clínicas, mataderos, así como los provenientes de preparación y utilización de agroquímicos, garrapaticidas y similares, deberán ser sometidos a tratamiento especial de acuerdo con las disposiciones del presente Decreto y aquellas que en desarrollo del mismo o con fundamento en la ley establezcan el mismo y la EMAR.

ARTICULO 85. El Ministerio de Salud y la EMAR establecerán las normas que deberán cumplir los vertimientos de residuos líquidos radiactivos.

ARTICULO 86. Toda edificación, concentración de edificaciones o desarrollo urbanístico, turístico o industrial fuera del área de cobertura del sistema de alcantarillado público, deberá dotarse de sistemas de recolección y tratamiento de residuos líquidos conforme a las normas especiales que para cada caso señalen el mismo y la EMAR correspondiente.

ARTICULO 87. Se prohíbe el vertimiento de residuos líquidos no tratados provenientes de embarcaciones, buques, naves u otros medios de transporte marítimo, fluvial o lacustre, en aguas superficiales dulces, marinas y estuarinas.

PARAGRAFO. La EMAR fijará las normas de vertimiento para el caso contemplado en este artículo teniendo en cuenta lo establecido en el presente Decreto.

ARTICULO 88. Los puertos deberán contar con un sistema de recolección y manejo para los residuos líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves y otros medios de transporte. Dichos sistemas deberán cumplir con las normas de vertimiento.

ARTICULO 89. Las disposiciones del presente Decreto también se aplicarán a las exploraciones y explotaciones petroleras o de gas natural, el beneficio del café, los galpones, las porquerizas, los establos y similares.

ARTICULO 90. En ningún caso se permitirán vertimientos de residuos líquidos que alteren las características existentes en un cuerpo de agua que lo hacen apto para todos los usos señalados en el presente Decreto.

ARTICULO 91. No se admite ningún tipo de vertimiento:

- a. En las cabeceras de las fuentes de agua.
- b. En un sector aguas arriba de las bocatomas para agua potable, en extensión que determinará, en cada caso, la EMAR conjuntamente con el Ministerio de Salud.
- c. En aquellos cuerpos de agua que la EMAR y el Ministerio de Salud, total o parcialmente declaren especialmente protegidos.

ARTICULO 92. El Ministerio de Salud o su entidad delegada, así como la EMAR, establecerán el sitio de toma de muestras para la evaluación de las concentraciones de sustancias de interés sanitario en un vertimiento.

ARTICULO 93. Cuando en un cuerpo de aguas se presenten vertimientos accidentales o por fuerza mayor o caso fortuito, tales como de petróleo, hidrocarburos y otras sustancias, que originen situaciones de emergencia, el Ministerio de Salud coordinará con las EMAR los procedimientos tendientes a controlar dicha situación.

ARTICULO 94. Se prohíbe el lavado de vehículos de transporte aéreo y terrestre en las orillas y en los cuerpos de agua, así como el de aplicadores manuales y

aéreos de agroquímicos y otras sustancias tóxicas y sus envases, recipientes o empaque.

ARTICULO 95. Se prohíbe el vertimiento de residuos líquidos sin tratar, provenientes del lavado de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

PARAGRAFO. Los residuos líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves o medios de transporte similares, se dispondrán de conformidad con el artículo **88** de este Decreto.

ARTICULO 96. Los usuarios que exploren, exploten, manufacturen, refinen, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos, deberán estar provistos de un plan de contingencia para la prevención y control de derrames, el cual deberán contar con la aprobación de la EMAR y el Ministerio de Salud o su entidad delegada.

ARTICULO 97. El Ministerio de Salud o la EMAR podrán prohibir el vertimiento de residuos líquidos que ocasionen altos riesgos para la salud o para los recursos hidrobiológicos, o exigir la ejecución de un programa de control de emergencia.

PUBLIQUESE Y CUMPLASE.

Dado en Bogotá D.E., a los 26 días de junio de 1984.

BELISARIO BETANCUR

EL MINISTRO DE AGRICULTURA
GUSTAVO CASTRO GUERRERO

EL MINISTRO DE SALUD
JAIME ARIAS

EL JEFE DEL DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION
JORGE OSPINA SARDI

ANEXO B. CALCULOS BOMBA DE CALOR

CÁLCULOS BOMBA DE CALOR

Ecuaciones

Requerimientos

$$\text{LitrosHora} = 2 \quad (1)$$

$$\text{caudal}_{\text{agua}} = \text{LitrosHora} \cdot \left| 2,77778 \times 10^7 \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{liter/h}} \right| \quad (2)$$

$$\rho_{\text{amb}} = \rho(\text{Water}; \mathbf{X} = 0; \mathbf{T} = 25) \quad (3)$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \rho_{\text{amb}} \cdot \text{caudal}_{\text{agua}} \quad (4)$$

Presiones

Presión bomba de vacío

$$V_{\text{acio}} = 610 \quad (5)$$

$$V_{\text{ac}} = V_{\text{acio}} \cdot \left| 133,322400 \frac{\text{Pa}}{\text{mmHg}} \right| \quad (6)$$

Presión atmosférica en Bucaramanga

$$p_{\text{atm}} = 68 \cdot 10 \cdot \left| 133,322400 \frac{\text{Pa}}{\text{mmHg}} \right| \quad (7)$$

$$p_{\text{resion}} = p_{\text{atm}} - V_{\text{ac}} \quad (8)$$

Temperaturas bomba de calor

$$T_{\text{baja}} = 15 \quad (9)$$

$$T_{\text{alta}} = 55 \quad (10)$$

$$T_{\text{sat}} = T_{\text{sat}}(\text{Water}; \mathbf{P} = p_{\text{resion}}) \quad (11)$$

Diámetros evaporador [mm]

$$d_{\text{int;eva}} = 4,83/1000 \quad (12)$$

$$d_{\text{ext;eva}} = 6,35/1000 \quad (13)$$

$$r_{\text{int;eva}} = d_{\text{int;eva}}/2 \quad (14)$$

$$r_{\text{ext;eva}} = d_{\text{ext;eva}}/2 \quad (15)$$

$$A_{\text{evaporador;int}} = 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{int;eva}} \cdot L_{\text{eva}} \quad (16)$$

$$A_{evaporador;ext} = 2 \cdot \pi \cdot r_{ext;eva} \cdot L_{eva} \quad (17)$$

$$A_{evaporador} = 2 \cdot \pi \cdot (r_{ext;eva} + r_{int;eva}) \cdot L_{eva}/2 \quad (18)$$

Diámetros condensador [mm]

$$d_{int;con} = 4,83/1000 \quad (19)$$

$$d_{ext;con} = 6,35/1000 \quad (20)$$

$$r_{int;con} = d_{int;con}/2 \quad (21)$$

$$r_{ext;con} = d_{ext;con}/2 \quad (22)$$

$$A_{condensador;int} = 2 \cdot \pi \cdot r_{int;con} \cdot L_{con} \quad (23)$$

$$A_{condensador;ext} = 2 \cdot \pi \cdot r_{ext;con} \cdot L_{con} \quad (24)$$

$$A_{condensador} = 2 \cdot \pi \cdot (r_{ext;con} + r_{int;con}) \cdot L_{con}/2 \quad (25)$$

Evaporador de agua

$$\dot{Q}_{evaporador} = \dot{m}_{agua} \cdot h_{fg} \quad (26)$$

$$h_1 = h(\text{Water}; \mathbf{x} = 1; \mathbf{P} = \text{presion}) \quad (27)$$

$$h_0 = h(\text{Water}; \mathbf{x} = 0; \mathbf{P} = \text{presion}) \quad (28)$$

$$h_{fg} = h_1 - h_0 \quad (29)$$

$$\dot{Q}_{evaporador} = U A_{evaporador} \cdot \Delta T_{evaporador} \quad (30)$$

$$\Delta T_{evaporador} = T_{alta} - T_{sat} \quad (31)$$

Se considera Ebullición nucleada $\therefore T_{exc} > 5$ para ebullición nucleada

$$T_{exc} = T_{seva;ext} - T_{sat} \quad (32)$$

Flujo calor por unidad de área

$$q_{evaporador} = \dot{Q}_{evaporador} / A_{evaporador;ext} \quad (33)$$

Flujo de calor - Cengel 10.2

$$q_{evaporador} = \mu_{agua} \cdot h_{fg} \cdot \left(g \cdot \frac{\rho_{agua} - \rho_{vapor}}{\sigma} \right)^{0,5} \cdot \left(C p_{agua} \cdot \frac{T_{seva;ext} - T_{sat}}{C s f \cdot h_{fg} \cdot Pr^n} \right)^3 \quad (34)$$

$$q_{eva} = h_{evaporador} \cdot (T_{seva;ext} - T_{sat}) \quad (35)$$

$$\mu_{agua} = \mu(\text{Water}; \mathbf{X} = 0; \mathbf{P} = \text{presion}) \quad (36)$$

$$\rho_{agua} = \rho(\text{Water}; \mathbf{X} = 0; \mathbf{P} = \text{presion}) \quad (37)$$

$$\rho_{vapor} = \rho(\text{Water}; \mathbf{X} = 1; \mathbf{P} = \text{presion}) \quad (38)$$

$$g = 9,81 \quad (39)$$

Tensión superficial

$$\sigma = 0,06875 \quad (40)$$

$$Cp_{agua} = c_p(\text{Water}; \mathbf{X} = 0; \mathbf{P} = \text{presion}) \quad (41)$$

Cte agua-cobre

$$Csf = 0,0068 \quad (42)$$

$$n = 1 \quad (43)$$

$$Pr = P_r(\text{Water}; \mathbf{X} = 0; \mathbf{P} = \text{presion}) \quad (44)$$

Coefficiente de convección interno, condensación de R134A, se calcula según Fundamentals de ASHRAE 2009

$$T_{pelicula,r134} = \frac{T_{alta} + T_{seva,int}}{2} \quad (45)$$

$$A_{flujo} = \frac{\pi \cdot d_{int,eva}^2}{4} \quad (46)$$

$$\mu_{r134} = \mu(\text{R134a}; \mathbf{T} = T_{pelicula,r134}; \mathbf{x} = 0) \quad (47)$$

$$G_{r134} = \dot{m}_{r134} / A_{flujo} \quad (48)$$

$$reynol = \frac{G_{r134} \cdot d_{int,eva}}{\mu_{r134}} \quad (49)$$

$$Pr_{r134} = P_r(\text{R134a}; \mathbf{T} = T_{alta}; \mathbf{x} = 0) \quad (50)$$

$$nuprima = 0,023 \cdot (reynol^{0,8}) \cdot (Pr_{r134}^{0,4}) \quad (51)$$

$$nusset = nuprima \cdot \left((1 - xx)^{0,8} + \frac{3,8 \cdot (xx^{0,76}) \cdot (1 - xx^{0,04})}{relpre^{0,38}} \right) \quad (52)$$

$$xx = 0 \quad (53)$$

$$relpre = 1 \quad (54)$$

$$precrit = P_{crit}(\text{R134a}) \quad (55)$$

$$K_{R134A} = k(\text{R134a}; \mathbf{T} = T_{alta}; \mathbf{x} = 0) \quad (56)$$

$$h_{R134c} = nusset \cdot K_{R134A} / d_{int,eva} \quad (57)$$

$$\dot{Q}_{evaporador} = h_{R134c} \cdot A_{evaporador,int} \cdot (T_{alta} - T_{seva,int}) \quad (58)$$

$$U A_{evaporador} = \frac{1}{\left(\frac{1}{A_{evaporador,int} h_{R134c}} \right) + \left(\frac{\ln(r_{ext,eva}/r_{int,eva})}{2 \pi \cdot L_{eva} \cdot K_{cobre,eva}} \right) + \left(\frac{1}{A_{evaporador,ext} h_{evaporador}} \right)} \quad (59)$$

$$UA_{evaporador} = U_{evaporador} \cdot A_{evaporador} \quad (60)$$

$$\dot{Q}_{evaporador} = \frac{T_{s_{eva,int}} - T_{s_{eva,ext}}}{R_{pared,eva}} \quad (61)$$

$$R_{pared,eva} = \left(\frac{\ln(r_{ext,eva}/r_{int,eva})}{2 \cdot \pi \cdot L_{eva} \cdot K_{cobre,eva}} \right) \quad (62)$$

$$K_{cobre,eva} = k \left(\text{'Copper'} ; \frac{T_{s_{eva,ext}} + T_{s_{eva,int}}}{2} \right) \quad (63)$$

Condensador de agua

Se supone temperatura superficial, posteriormente se itera hasta encontrar una convergencia

$$T_{s_{con,ext}} = 22,35 \quad (64)$$

Coefficiente de convección - condensación de agua, tomado de ASHRAE, cambio de fase.

Calor latente de vap. modificado

$$h_{fg,modificado} = h_{fg} + 0,68 \cdot C_{p_{agua}} \cdot (T_{sat} - T_{s_{con,ext}}) \quad (65)$$

Calor requerido para la condensación

$$\dot{Q}_{condensador} = \dot{m}_{agua} \cdot h_{fg,modificado} \quad (66)$$

$$T_{pel} = \frac{T_{s_{con,ext}} + T_{sat}}{2} \quad (67)$$

$$\mu_{2,agua} = \mu(\text{Water}; \mathbf{X} = 0; \mathbf{T} = T_{pel}) \quad (68)$$

$$\rho_{2,agua} = \rho(\text{Water}; \mathbf{X} = 0; \mathbf{T} = T_{pel}) \quad (69)$$

$$\rho_{2,vapor} = \rho(\text{Water}; \mathbf{X} = 1; \mathbf{T} = T_{sat}) \quad (70)$$

$$k_{agua} = k(\text{Water}; \mathbf{T} = T_{pel}; \mathbf{X} = 0) \quad (71)$$

$$h_{condensador} = 0,729 \cdot \left(\frac{g \cdot \rho_{2,agua} \cdot (\rho_{2,agua} - \rho_{2,vapor}) \cdot h_{fg,modificado} \cdot k_{agua}^3}{\mu_{2,agua} \cdot (T_{sat} - T_{s_{con,ext}}) \cdot d_{ext,con}} \right)^{0,25} \quad (72)$$

$$h_{condensador;n} = \frac{h_{condensador}}{Nt^{0,25}} \quad (73)$$

$$Nt = 30 \quad (74)$$

$$\dot{Q}_{condensador} = h_{condensador;n} \cdot A_{condensador;ext} \cdot (T_{sat} - T_{s_{con,ext}}) \quad (75)$$

Coefficiente evaporación de R134A - Tomado de ASHRAE

$$ER = h(R134a; \mathbf{T} = T_{baja}; \mathbf{x} = 1) - h(R134a; \mathbf{T} = T_{alta}; \mathbf{x} = 0) \quad (76)$$

$$h_{f,R134A} = h(R134a; T = T_{alta}; x = 0) \quad (77)$$

$$x_{e,r134} = x(R134a; T = T_{baja}; h = h_{f,R134A}) \quad \text{calidad r134 entrada evaporador} \quad (78)$$

$$Re_{r134;l} = \frac{G_{r134;e} \cdot (1 - x_{e,r134}) \cdot d_{int;con}}{\mu_{e,r134;l}} \quad (79)$$

$$\mu_{e,r134;l} = \mu(R134a; T = T_{baja}; x = 0) \quad (80)$$

Densidad R134a liquido en el evaporador

$$\rho_{e,r134;l} = \rho(R134a; T = T_{baja}; x = 0) \quad (81)$$

Densidad R134a gas en el evaporador

$$\rho_{e,r134;g} = \rho(R134a; T = T_{baja}; x = 1) \quad (82)$$

$$f2 = 1 \quad (83)$$

$$Fr_l = \frac{G_{r134}^2}{\rho_{e,r134;l} \cdot g \cdot d_{int;con}} \quad (84)$$

Para R134A, segun ASHRAE

$$F_{fl} = 1,63 \quad (85)$$

$$BO = \frac{\dot{Q}_{condensador}/A_{condensador;int}}{G_{r134;e} \cdot ER} \quad (86)$$

$$G_{r134;e} = \frac{\dot{Q}_{condensador}}{ER \cdot A_{flujos}} \quad (87)$$

$$h_f = \frac{(Re_{r134;l} - 1000) \cdot Pr_{e,r134;l} \cdot (f/2) \cdot (k_{e,r134;l}/d_{int;con})}{1 + 12,7 \cdot \left((Pr_{e,r134;l})^{2/3} - 1 \right) \cdot (f/2)^{0,5}} \quad (88)$$

$$f = (1,58 \cdot \ln(Re_{r134;l}) - 3,28)^{-2} \quad (89)$$

Conductividad R134A liquido evaporador

$$k_{e,r134;l} = k(R134a; T = T_{baja}; x = 0) \quad (90)$$

$$Pr_{e,r134;l} = Pr(R134a; T = T_{baja}; x = 0) \quad (91)$$

$$h_{R134e} = h_f \cdot [1,136 \cdot ((\rho_{e,r134;l}/\rho_{e,r134;g})^{0,45}) \cdot (x_{e,r134}^{0,72}) \cdot ((1 - x_{e,r134})^{0,08}) \cdot f2] \\ + [667,2 \cdot (BO^{0,7}) \cdot ((1 - x_{e,r134})^{0,8}) \cdot F_{fl}] \cdot h_f \quad (92)$$

$$\dot{Q}_{condensador} = h_{R134e} \cdot A_{condensador;int} \cdot (Ts_{con;int} - T_{baja}) \quad (93)$$

Verificación de T superficial supuesta, el valor supuesto se cambia hasta que T=T2

$$\dot{Q}_{condensador} = \frac{Ts_{con;ext2} - Ts_{con;int}}{R_{pared;con}} \quad (94)$$

$$R_{pared;con} = \left(\frac{\ln(r_{ext;con}/r_{int;con})}{2 \cdot \pi \cdot L_{con} \cdot K_{cobre;con}} \right) \quad (95)$$

$$K_{cobre;con} = k \left(\text{'Copper'} ; \frac{T_{s_{con;ext}} + T_{s_{con;int}}}{2} \right) \quad (96)$$

Coefficiente global

$$\dot{Q}_{condensador} = UA_{condensador} \cdot \Delta T_{condensador} \quad (97)$$

$$UA_{condensador} = U_{condensador} \cdot A_{condensador} \quad (98)$$

$$\Delta T_{condensador} = T_{sat} - T_{baja} \quad (99)$$

$$UA_{condensador2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{A_{condensador;int} \cdot h_{R134e}} \right) + \left(\frac{\ln(r_{ext;con}/r_{int;con})}{2 \cdot \pi \cdot L_{con} \cdot K_{cobre;con}} \right) + \left(\frac{1}{A_{condensador;ext} \cdot h_{condensador;n}} \right)} \quad (100)$$

Compresor

$$CAP = \dot{Q}_{condensador} \quad (101)$$

$$CAP = \dot{m}_{r134} \cdot ER \quad (102)$$

$$P_{con;r134} = P_{sat}(R134a; T = T_{alta}) \quad (103)$$

Trabajo compresor

$$W_{compresor} = \dot{m}_{r134} \cdot (hg_{e;r134} - hg_{e;r134}) \quad (104)$$

Entrada condensador

$$hg_{e;r134} = h(R134a; P = P_{con;r134}; s = sg_{e;r134}) \quad (105)$$

Salida evaporador

$$hg_{e;r134} = h(R134a; T = T_{baja}; x = 1) \quad (106)$$

Entropia salida evaporador

$$sg_{e;r134} = s(R134a; T = T_{baja}; x = 1) \quad (107)$$

$$COP = CAP/W_{compresor} \quad (108)$$

$$RA = A_{evaporador}/A_{condensador} \quad (109)$$

Solución

$$A_{condensador} = 0,02706 \text{ [m]}$$

$$A_{condensador;int} = 0,02338 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{evaporador;ext} = 0,1806 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{flujo} = 0,00001832 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{condensador;ext} = 0,03074 \text{ [m]}$$

$$A_{evaporador} = 0,159 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{evaporador;int} = 0,1374 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Bo = 0,0007836 \text{ [kg/s-m}^2\text{]}$$

$$\begin{aligned}
CAP &= 1362 \text{ [W]} \\
COP &= 5,544 \\
Cs_f &= 0,0068 \\
\Delta T_{evaporador} &= 10,56 \text{ [C]} \\
d_{ext;eva} &= 0,00635 \text{ [m]} \\
d_{int;eva} &= 0,00483 \text{ [m]} \\
f &= 0,008174 \\
Fr_l &= 5757 \\
g &= 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \\
G_{r134;e} &= 582,4 \text{ [kg/s-m}^2\text{]} \\
hg_{e;r134} &= 258918 \text{ [J/kg]} \\
h_1 &= 2,581 \times 10^6 \text{ [J/kg]} \\
h_{condensador;n} &= 2005 \text{ [W/(m}^2\text{-C)}] \\
h_f &= 976 \\
h_{fg;modificado} &= 2,458 \times 10^6 \text{ [J/kg]} \\
h_{R134c} &= 1422 \text{ [W/(m}^2\text{-C)}] \\
k_{agua} &= 0,6082 \text{ [W/m-K]} \\
K_{cobre;eva} &= 399,3 \text{ [W/m-K]} \\
K_{R134A} &= 0,06761 \text{ [W/m-K]} \\
L_{con} &= 1,541 \text{ [m]} \\
\mu_{2;agua} &= 0,0007433 \text{ [kg/m-s]} \\
\mu_{e;r134;l} &= 0,00022 \text{ [kg/m-s]} \\
\dot{m}_{agua} &= 0,0005539 \text{ [kg/s]} \\
n &= 1 \\
nuprima &= 101,6 \\
Pr &= 4,038 \\
presion &= 9333 \text{ [Pa]} \\
Pr_{r134} &= 3,151 \\
P_{con;r134} &= 1,492 \times 10^6 \text{ [Pa]} \\
\dot{Q}_{evaporador} &= 1327 \text{ [W]} \\
q_{evaporador} &= 7345 \text{ [W/m}^2\text{]} \\
relpre &= 1 \\
Re_{r134;l} &= 8746 \text{ [m]} \\
\rho_{2,vapor} &= 0,06378 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\
\rho_{amb} &= 997 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\
\rho_{e;r134;l} &= 1243 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\
r_{ext;con} &= 0,003175 \text{ [m]} \\
r_{int;con} &= 0,002415 \text{ [m]} \\
R_{pared;con} &= 0,00007038 \text{ [K/W]} \\
sg_{e;r134} &= 924,3 \text{ [J/kg-K]} \\
Tp_{licula,r134} &= 51,6 \text{ [C]} \\
caudal_{agua} &= 5,556 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{/s]} \\
Cp_{agua} &= 4182 \text{ [J/kg-K]} \\
\Delta T_{condensador} &= 29,44 \text{ [C]} \\
d_{ext;con} &= 0,00635 \text{ [m]} \\
d_{int;con} &= 0,00483 \text{ [m]} \\
ER &= 127594 \text{ [J/kg]} \\
f_2 &= 1 \\
F_{fl} &= 1,63 \\
G_{r134} &= 582,4 \text{ [1/m}^2\text{]} \\
hg_{e;r134} &= 281934 \text{ [J/kg]} \\
h_0 &= 186094 \text{ [J/kg]} \\
h_{condensador} &= 10980 \text{ [W/(m}^2\text{-C)}] \\
h_{evaporador} &= 1959 \text{ [W/(m}^2\text{-C)}] \\
h_{fg} &= 2,395 \times 10^6 \text{ [J/kg]} \\
h_{f;R134A} &= 131323 \text{ [J/kg]} \\
h_{R134e} &= 8030 \text{ [W/(m}^2\text{-C)}] \\
K_{cobre;con} &= 401,5 \text{ [W/m-K]} \\
k_{e;r134;l} &= 0,08795 \text{ [W/m-K]} \\
LitrosHora &= 2 \text{ [liter/h]} \\
L_{eva} &= 9,055 \text{ [m]} \\
\mu_{agua} &= 0,0006022 \text{ [kg/m-s]} \\
\mu_{r134} &= 0,0001386 \text{ [kg/m-s]} \\
\dot{m}_{r134} &= 0,01067 \text{ [kg/s]} \\
Nt &= 30 \\
nusset &= 101,6 \text{ [W/(m}^2\text{-C)}] \\
precricri &= 4,059 \times 10^6 \text{ [Pa]} \\
Pr_{e;r134;l} &= 3,468 \\
p_{atm} &= 90659 \text{ [Pa]} \\
\dot{Q}_{condensador} &= 1362 \text{ [W]} \\
q_{eva} &= 7345 \text{ [W/m}^2\text{]} \\
RA &= 5,876 \text{ [m]} \\
reynol &= 20288 \text{ [m-s/kg]} \\
\rho_{2;agua} &= 994,5 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\
\rho_{agua} &= 990,4 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\
\rho_{e;134;g} &= 23,78 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\
\rho_{vapor} &= 0,06378 \text{ [kg/m}^3\text{]} \\
r_{ext;eva} &= 0,003175 \text{ [m]} \\
r_{int;eva} &= 0,002415 \text{ [m]} \\
R_{pared;eva} &= 0,00001204 \text{ [K/W]} \\
\sigma &= 0,06875 \\
Ts_{con,ext} &= 22,35 \text{ [C]}
\end{aligned}$$

$$T_{s_{con;ext2}} = 22,35 \text{ [C]}$$

$$T_{s_{eva;ext}} = 48,19 \text{ [C]}$$

$$T_{alta} = 55 \text{ [C]}$$

$$T_{exc} = 3,749 \text{ [C]}$$

$$T_{sat} = 44,44 \text{ [C]}$$

$$UA_{condensador2} = 46,24 \text{ [W/C]}$$

$$U_{condensador} = 1709 \text{ [W/C-m}^2\text{]}$$

$$Vac = 81327 \text{ [Pa]}$$

$$W_{compresor} = 245,6 \text{ [W]}$$

$$x_{e,r134} = 0,3161$$

$$T_{s_{con;int}} = 22,25 \text{ [C]}$$

$$T_{s_{eva;int}} = 48,21 \text{ [C]}$$

$$T_{baja} = 15 \text{ [C]}$$

$$T_{pel} = 33,4 \text{ [C]}$$

$$UA_{condensador} = 46,24 \text{ [W/C]}$$

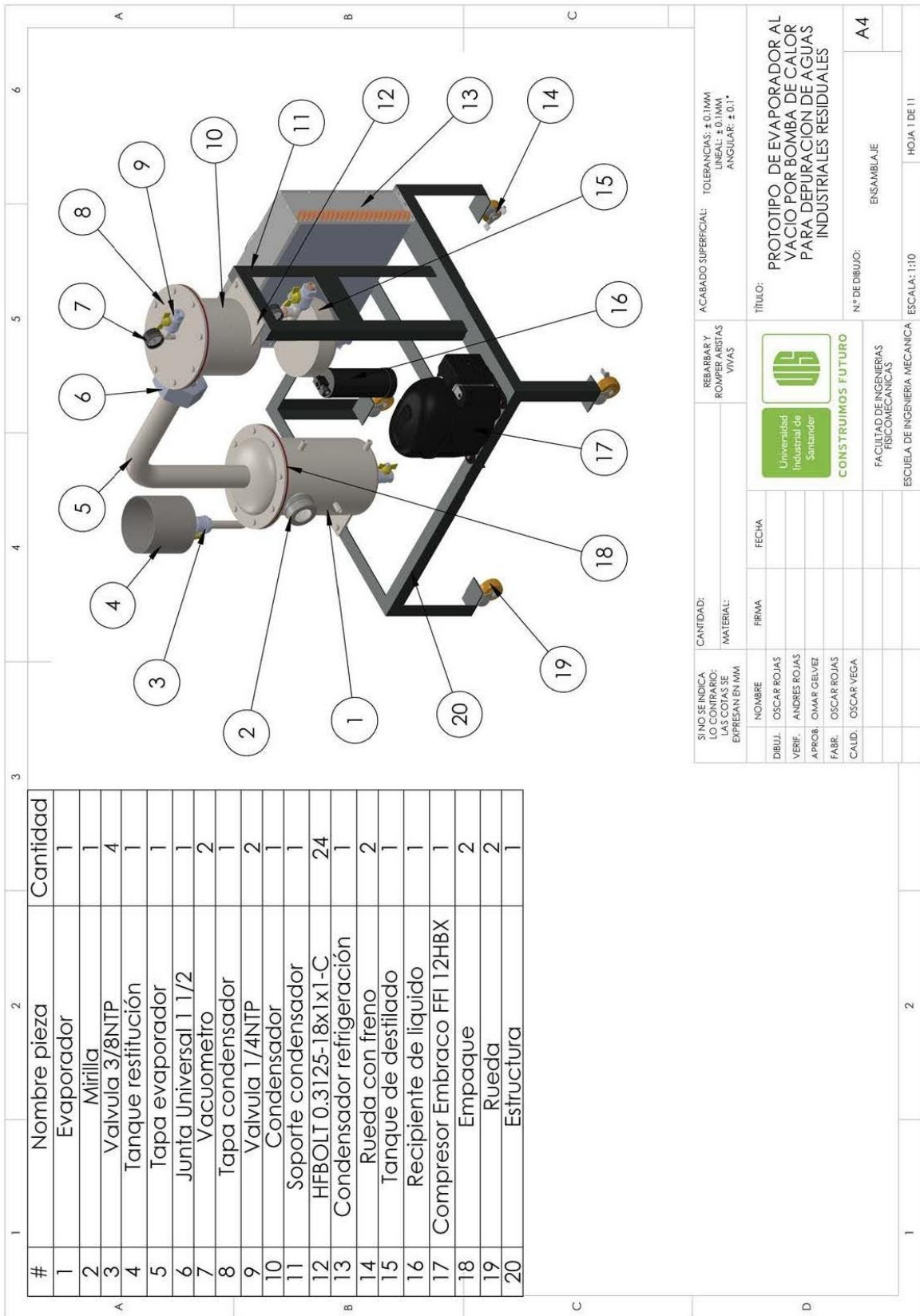
$$UA_{evaporador} = 125,7 \text{ [W/C]}$$

$$U_{evaporador} = 790,4 \text{ [W/C-m}^2\text{]}$$

$$Vacio = 610 \text{ [mmHg]}$$

$$xx = 0$$

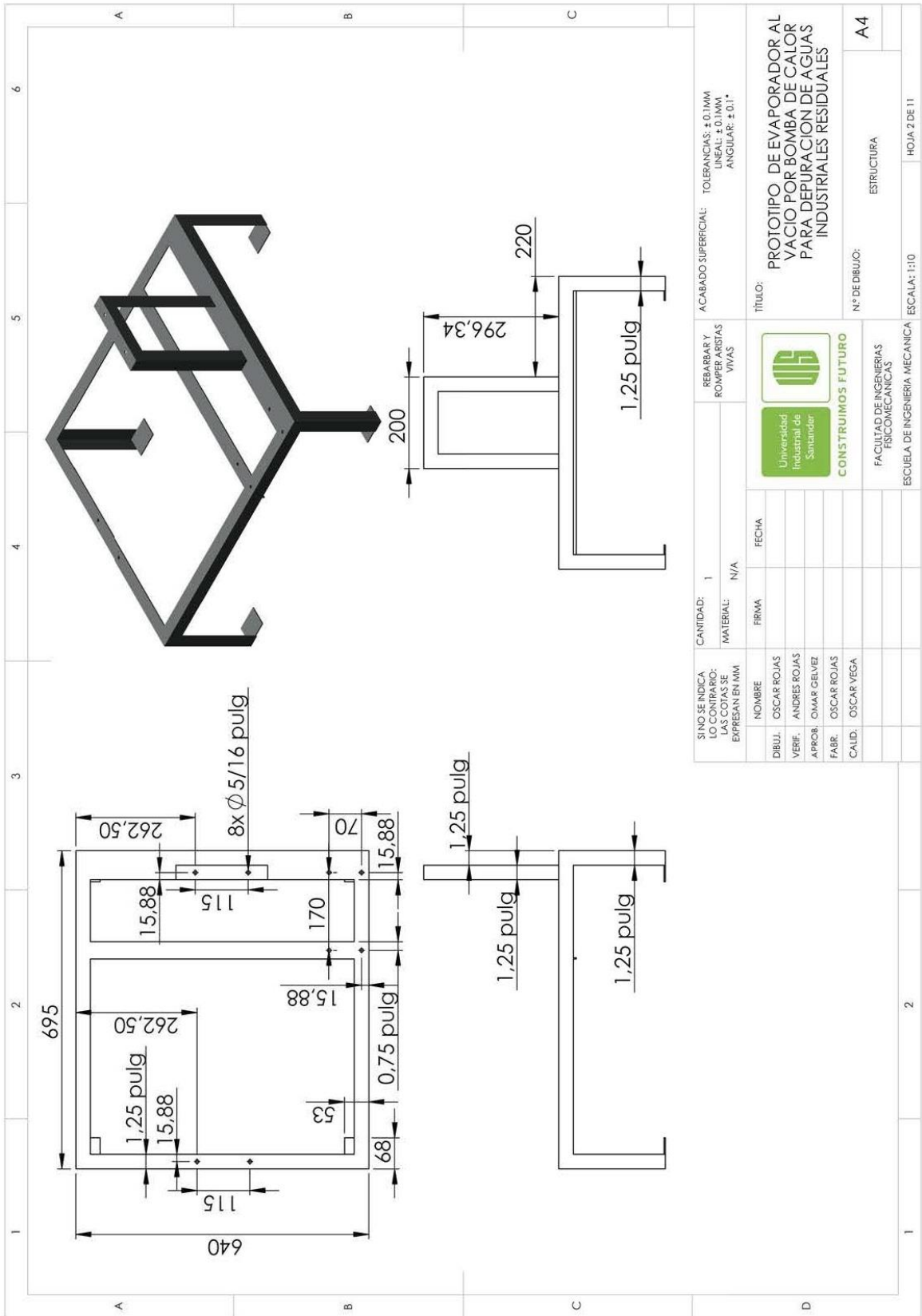
ANEXO C. PLANOS DEL PROTOTIPO



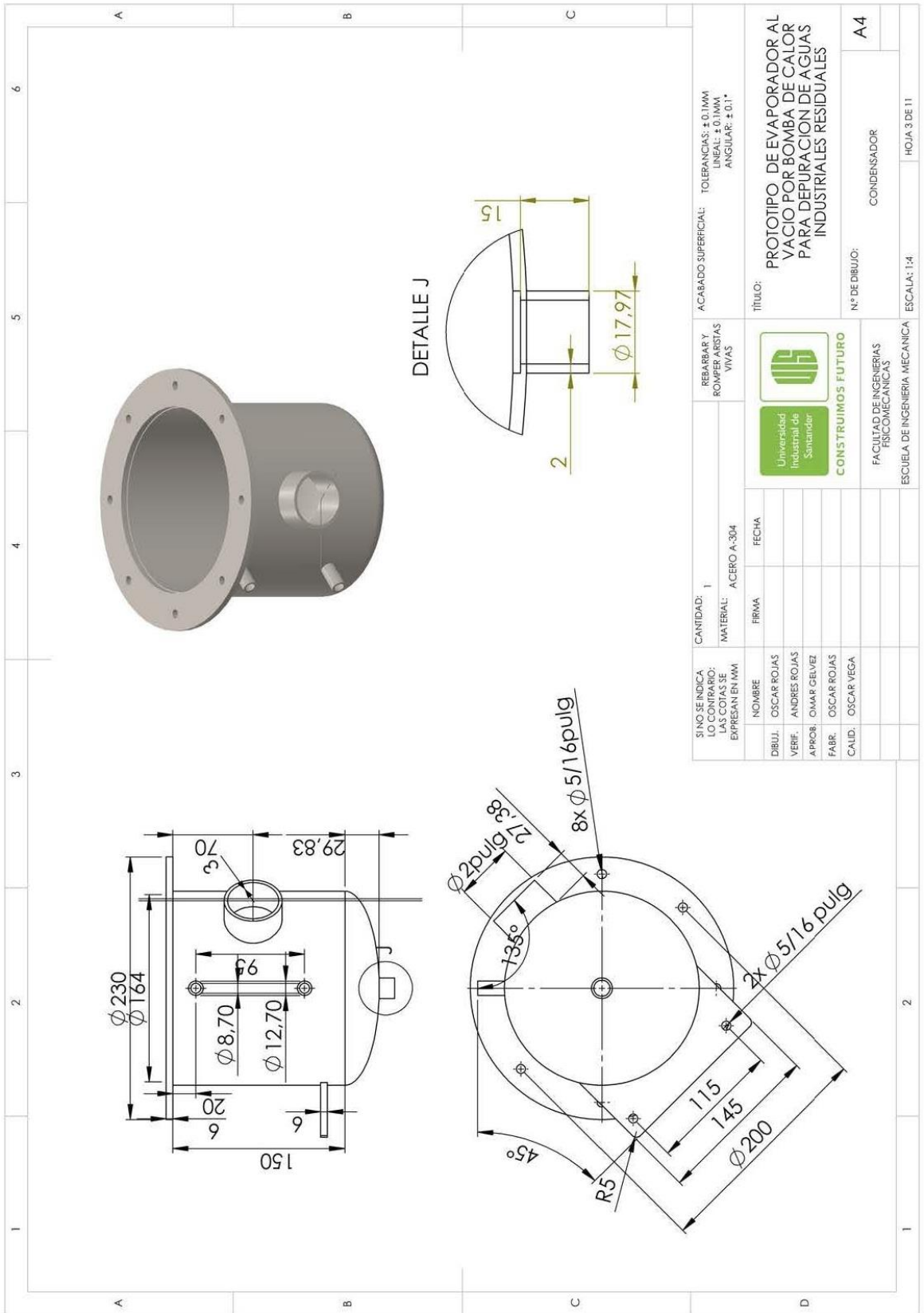
#	Nombre pieza	Cantidad
1	Evaporador	1
2	Mirilla	1
3	Valvula 3/8NTP	4
4	Tanque restitución	1
5	Tapa evaporador	1
6	Junta Universal 1 1/2	1
7	Vacuometro	2
8	Tapa condensador	1
9	Valvula 1/4NTP	2
10	Condensador	1
11	Soporte condensador	1
12	HFBOLT 0.3125-18x1x1-C	24
13	Condensador refrigeración	1
14	Rueda con freno	2
15	Tanque de destilado	1
16	Recipiente de liquido	1
17	Compresor Embraco FFI 12HBX	1
18	Empaque	2
19	Rueda	2
20	Estructura	1


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	CANTIDAD:	REBARBAR Y ROMPER ARESTAS VIVAS	ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MM LINEAL ±0.1MM ANGULAR ±0.1°
NOMBRE:	FIRMA:	FECHA:	TÍTULO:
DIBUJ: OSCAR ROJAS			PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES
VERIF: ANDRES ROJAS			
A PROB: OMAR GELVEZ			
FABR: OSCAR ROJAS			
CALD: OSCAR VEGA			
			Nº DE DIBUJO: ENSAMBLAJE
			A4
			ESCALA: 1:10
			HOJA 1 DE 11

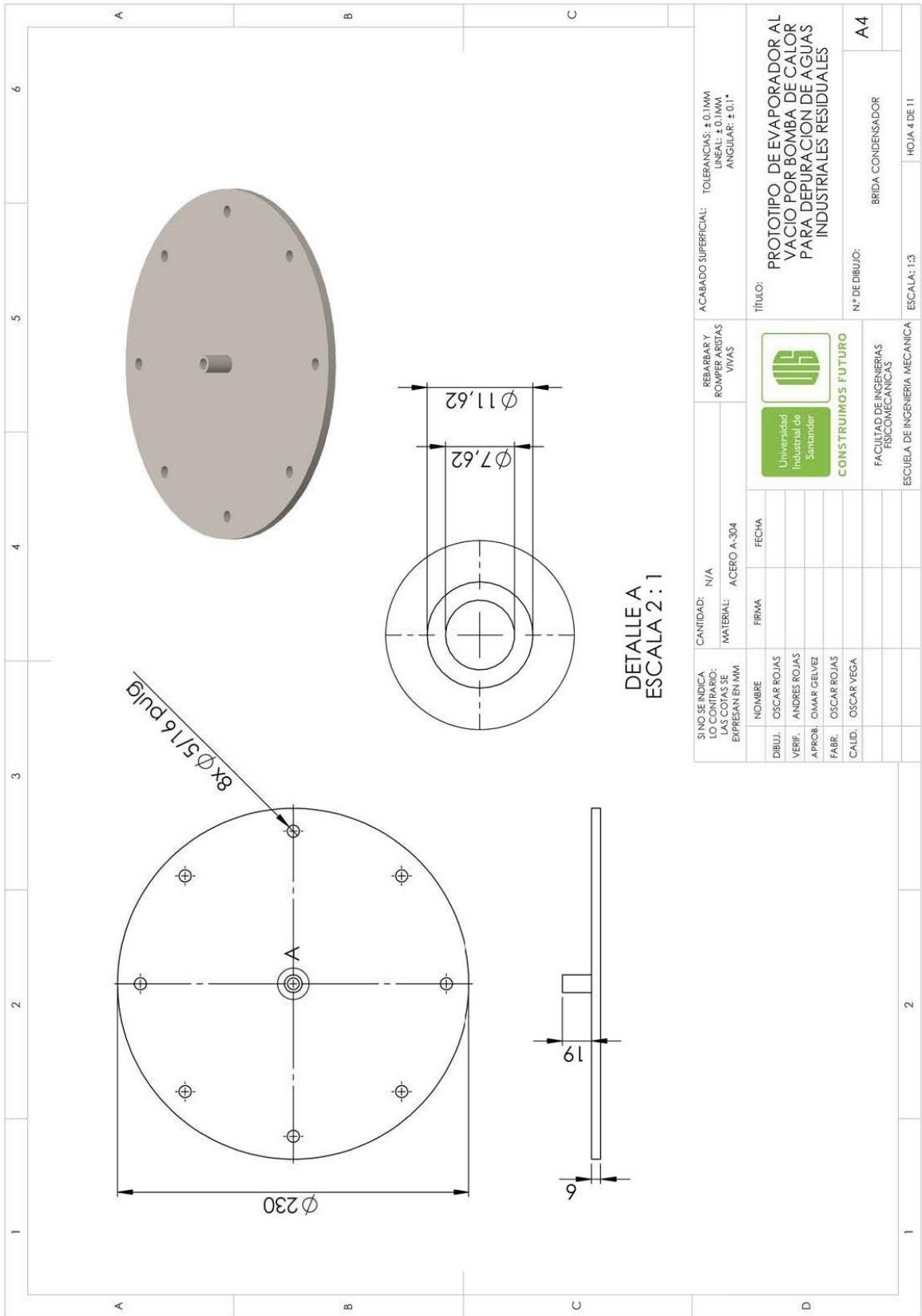
Universidad Industrial de Santander
 CONSTRUIMOS FUTURO
 FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
 ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

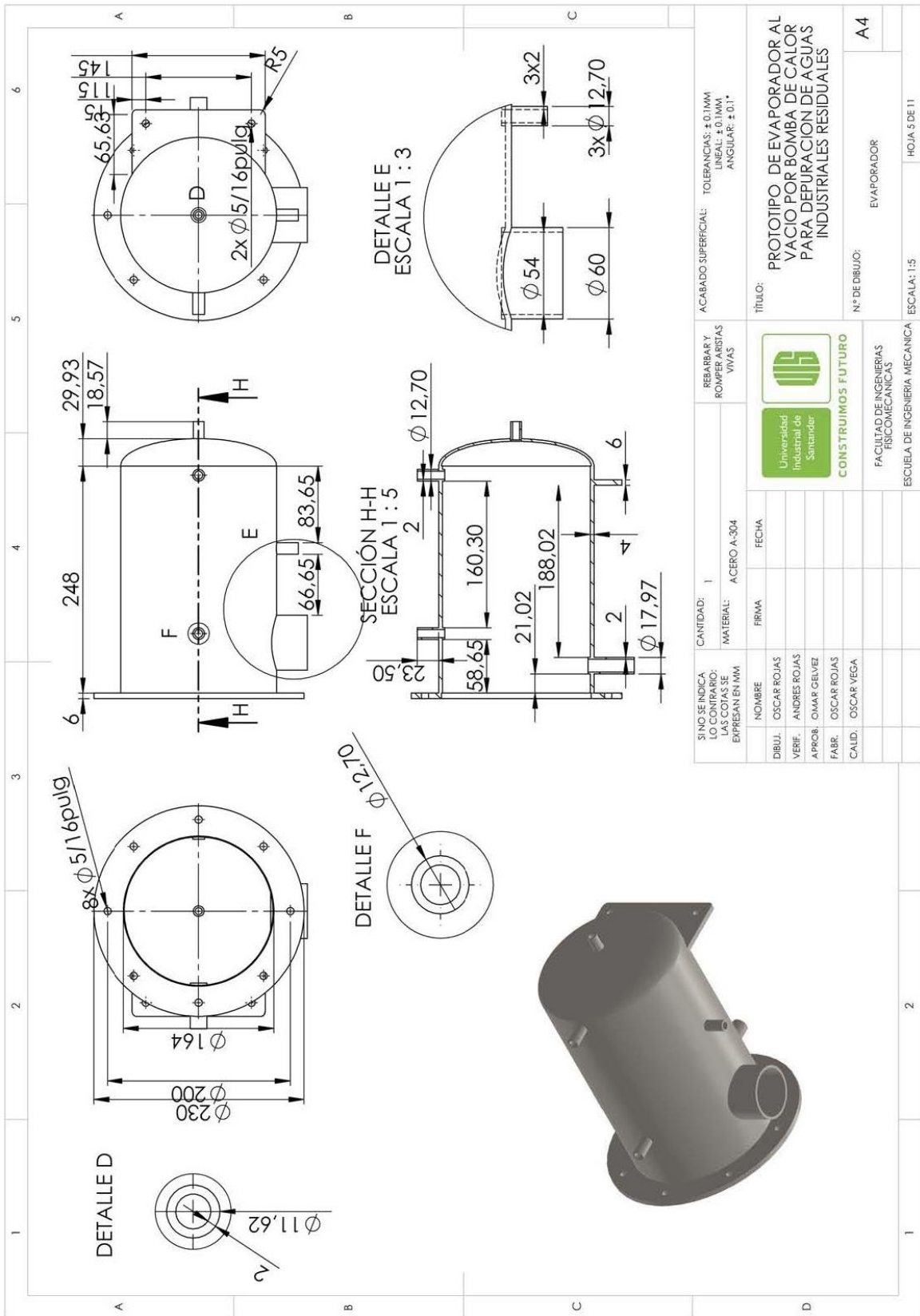


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	CANTIDAD: 1	REBARBAR Y ROMPER VUELTAS VIVAS	ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MM LINEAL: ±0.1MM ANGULAR: ±0.1°
NOMBRE: OSCAR ROJAS	MATERIAL: N/A	 CONSTRUIMOS FUTURO	TÍTULO: PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES
DIBUJ: OSCAR ROJAS	FIRMA:		
VERIF: ANDRES ROJAS	FECHA:	FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS	ESTRUCTURA
A PROB: OMAR GELVEZ		ESCALA: 1:10	HOJA 2 DE 11
FABR: OSCAR ROJAS			
CALD: OSCAR VEGA			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	CANTIDAD: 1	REBARBAR Y ROMPER VERTIAS VIVAS	ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MMI LINEAL ±0.1MMI ANGULAR ±0.1°	
NOMBRE: OSCAR ROJAS	MATERIAL: ACERO A-304	 CONSTRUIAMOS FUTURO	TÍTULO: PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES	
DIBUJ: OSCAR ROJAS	FIRMA:			N° DE DIBUJO: A4 CONDENSADOR
VERIF: ANDRES ROJAS	FECHA:			
A PROB: OMAR GELVEZ				
FABR: OSCAR ROJAS				
CALID: OSCAR VEGA		FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	ESCALA: 1:4 HOJA 3 DE 11	

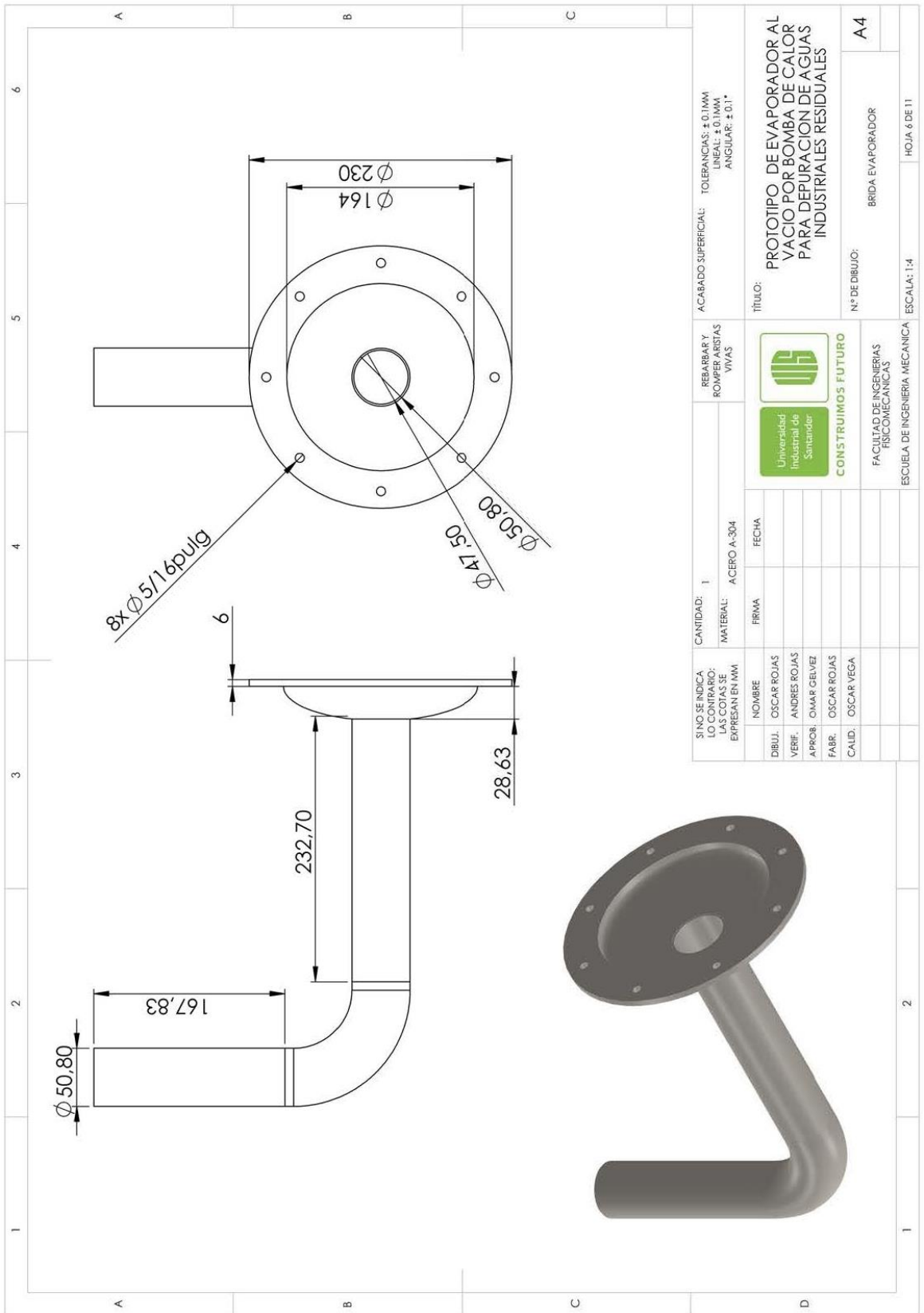




SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		CANTIDAD: 1	REBARBARO: ROMPER VUELTAS VIVAS	ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MM LINEAL: ±0.1MM ANGULAR: ±0.1°
NOMBRE: OSCAR ROJAS	FIRMA:	MATERIAL: ACERO A-304	TÍTULO: PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES	
DIBUJ: OSCAR ROJAS	FECHA:		Nº DE DIBUJO: A4	
VERIF: ANDRES ROJAS			ESCALA: 1:5	
A PROB: OMAR GELVEZ			HOJA 3 DE 11	
FABR: OSCAR ROJAS			EVAPORADOR	
CALD: OSCAR VEGA				



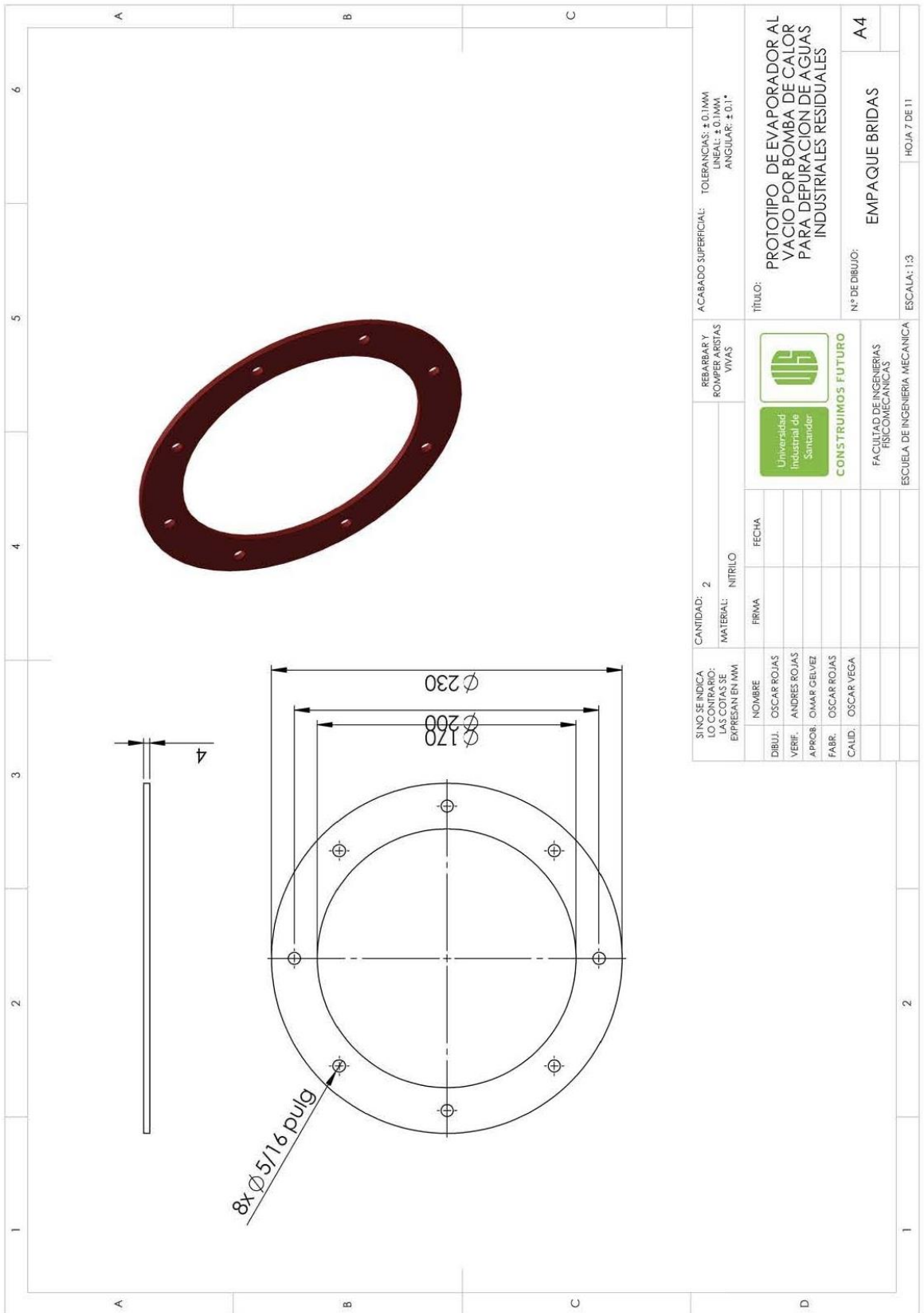
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA



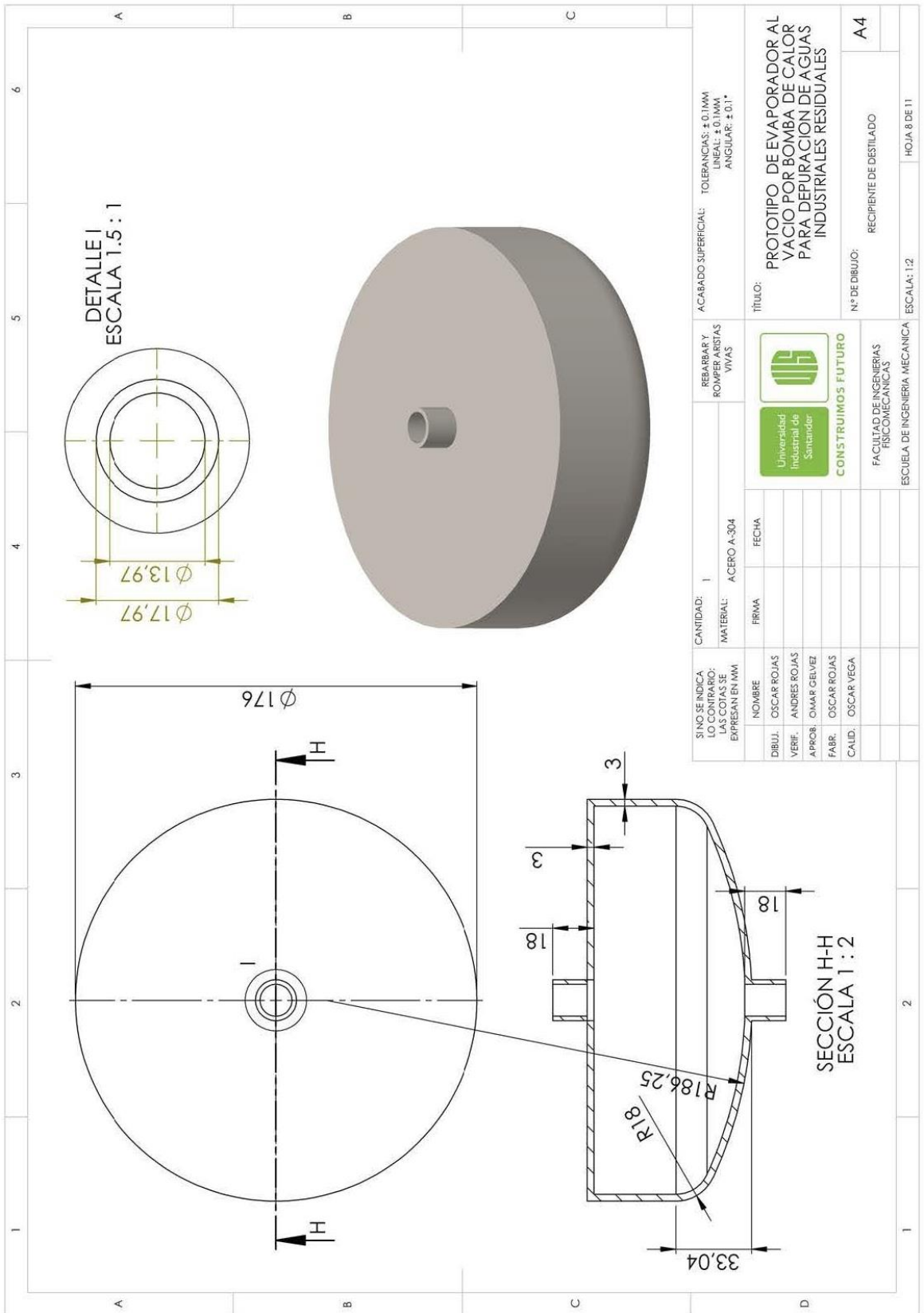
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		CANTIDAD: 1	REBARBAR Y ROMPER ARESTAS VIVAS	ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MM LINEAL ±0.1MM ANGULAR ±0.1°
MATERIAL: ACERO A-304		REBARBAR Y ROMPER ARESTAS VIVAS	TÍTULO: PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES	
NOMBRE	OSCAR ROJAS	PRIMA	FECHA	Nº DE DIBUJO: A4
DIBUJ.	OSCAR ROJAS			BRIDA EVAPORADOR
VERIF.	ANDRES ROJAS			ESCALA: 1:4
A PROB.	OMAR GELVEZ			HOJA 6 DE 11
FABR.	OSCAR ROJAS			
CALD.	OSCAR VEGA			



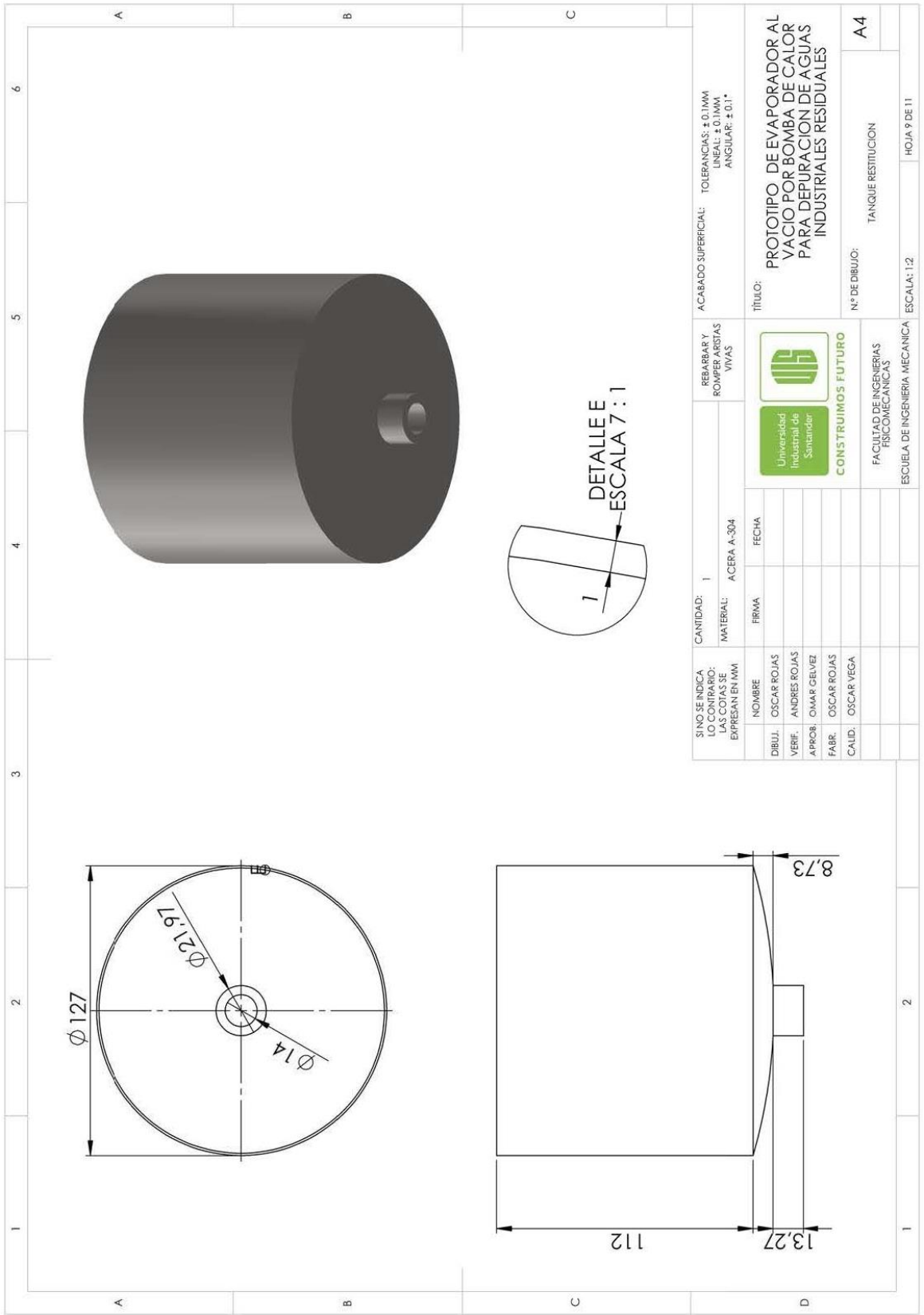
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA



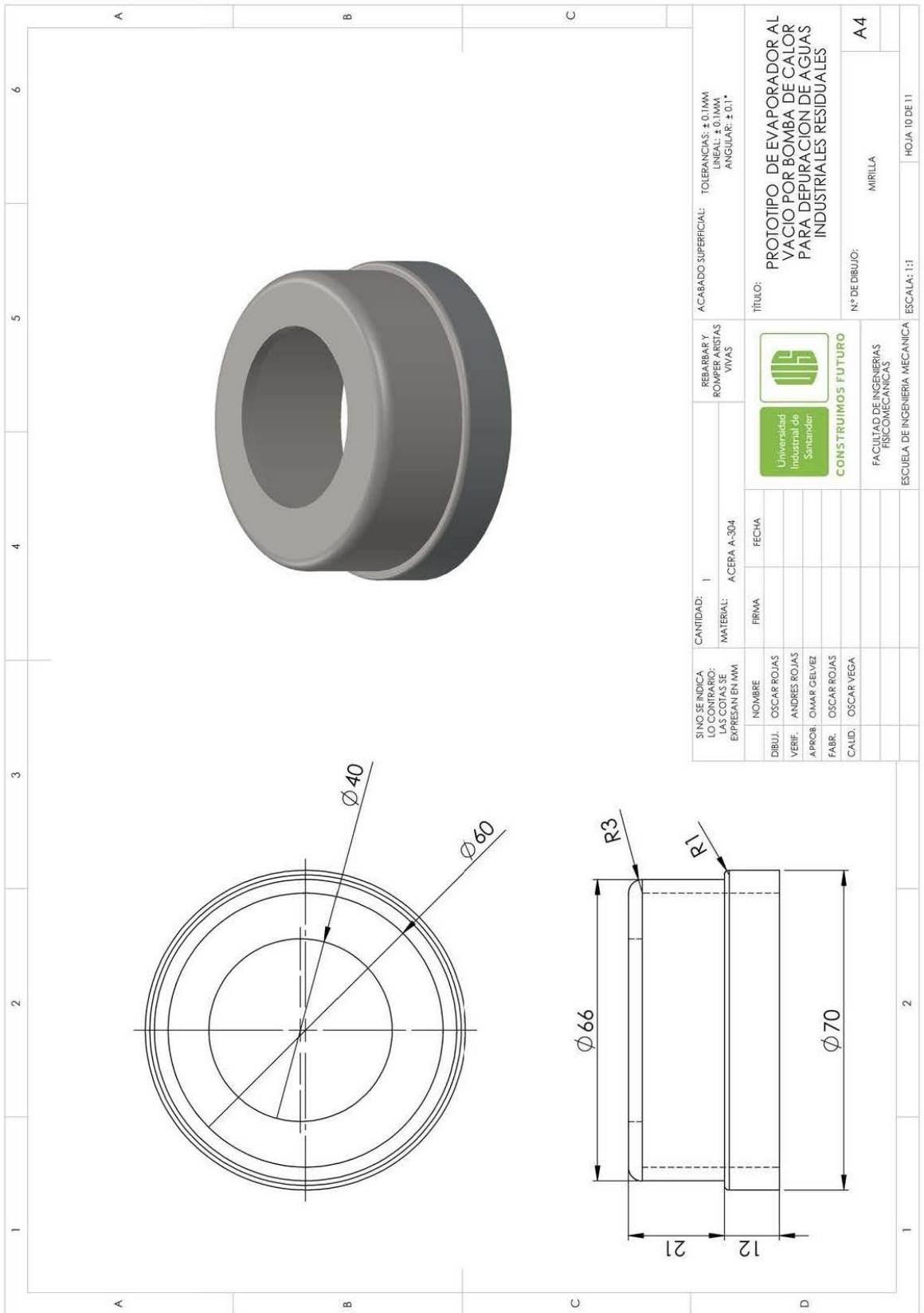
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		CANTIDAD: 2		REBARBAR Y ROMPER ARESTAS VIVAS		ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MM LINEAL: ±0.1MM ANGULAR: ±0.1°	
NOMBRE		MATERIAL: NITRILO		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTIAGO		TÍTULO: PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES	
DIBUJ.	OSCAR ROJAS	PRIMA		CONSTRUIMOS FUTURO		N° DE DIBUJO: A4	
VERIF.	ANDRES ROJAS	FECHA		FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS		EMPAQUE BRIDAS	
APROB.	OMAR GELVEZ			ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		ESCALA: 1:3	
FABR.	OSCAR ROJAS					HOJA 7 DE 11	
CALD.	OSCAR VEGA						



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	CANTIDAD: 1	REBARBARO: ROMPER VERTICES VIVAS	ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MM LINEAL: ±0.1MM ANGULAR: ±0.1°
NOMBRE: OSCAR ROJAS	MATERIAL: ACERO A-304	TÍTULO: PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES	Nº DE DIBUJO: A4
DIBUJ: OSCAR ROJAS	FIRMA:	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTIAGO	RECIPiente DE DESTILADO
VERIF: ANDRES ROJAS	FECHA:	CONSTRUIMOS FUTURO	ESCALA: 1:2
A PROB: OMAR GELVEZ		FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS	HOJA 8 DE 11
FABR: OSCAR ROJAS		ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
CALD: OSCAR VEGA			



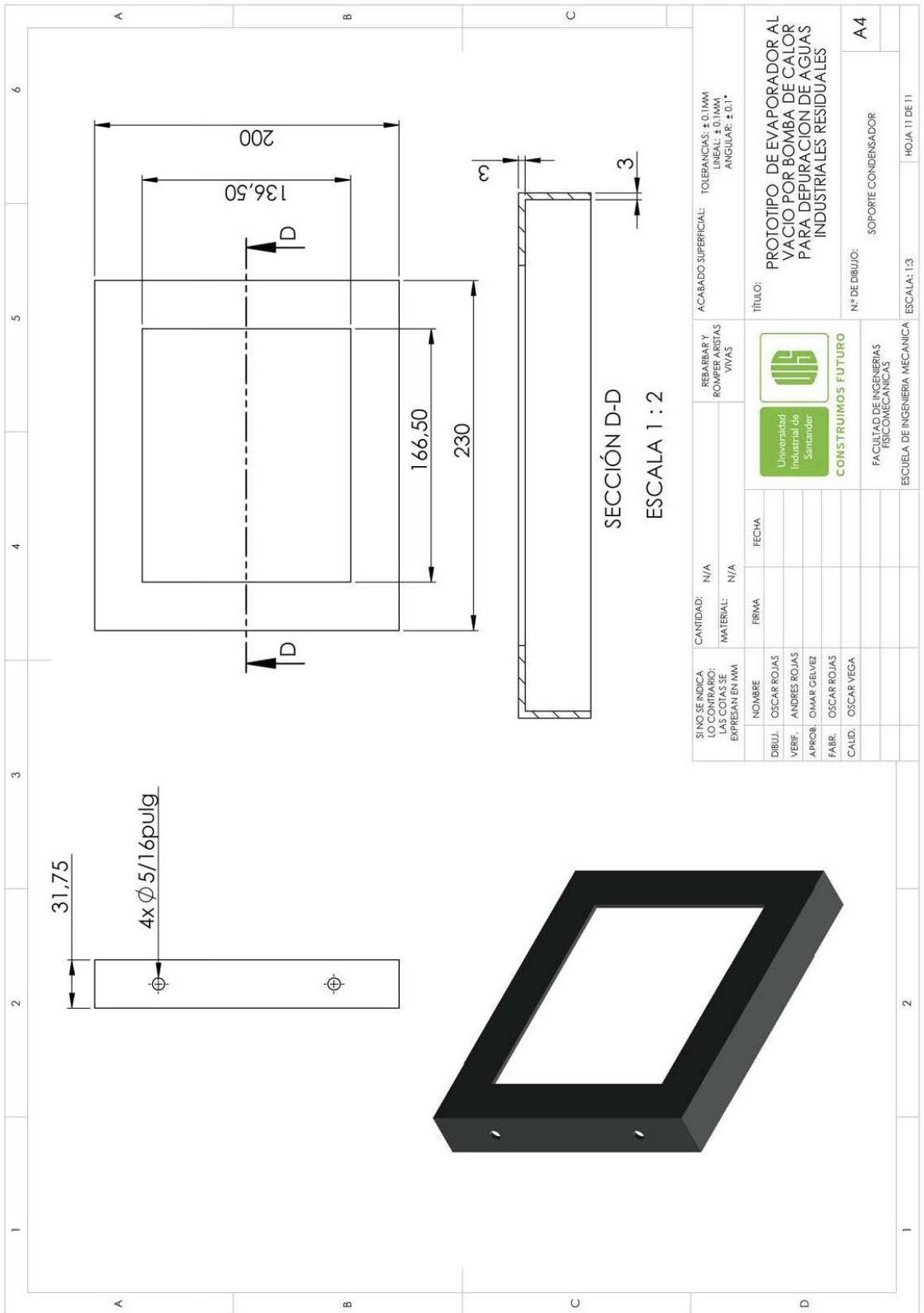
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	CANTIDAD: 1	REBARBAR Y ROMPER VARETAS VIVAS	ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MM LINEAL ±0.1MM ANGULAR ±0.1°		
NOMBRE	MATERIAL: ACERA A-304		TÍTULO: PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES		
DIBUJ. OSCAR ROJAS	FIRMA			Nº DE DIBUJO: A4	
VERIF. ANDRES ROJAS	FECHA				TANQUE RESTITUCION
A PROB. OMAR GELVEZ				ESCALA: 1:2	HOJA 9 DE 11
FABR. OSCAR ROJAS					
CALID. OSCAR VEGA					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		CANTIDAD: 1	REBARBAR Y ROMPER ARESTAS VIVAS	ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MM LINEAL ±0.1MM ANGULAR ±0.1°
MATERIAL: ACERA A-304				
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ: OSCAR ROJAS			PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES	
VERIF: ANDRES ROJAS			Nº DE DIBUJO:	A4
A PROB: OMAR GELVEZ			MIRILLA	
FABR: OSCAR ROJAS			ESCALA: 1:1	HOJA 10 DE 11
CALD: OSCAR VEGA				



FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESUELA DE INGENIERIA MECANICA



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	CANTIDAD: N/A	REBARBAR Y ROMPER VUELTAS VIVAS	ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: ±0.1MM LINEAL, ±0.1MM ANGULAR, ±0.1°
NOMBRE: OSCAR ROJAS	MATERIAL: N/A	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTIAGO	TÍTULO: PROTOTIPO DE EVAPORADOR AL VACIO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACION DE AGUAS INDUSTRIALES RESIDUALES
DIBUJ: OSCAR ROJAS	FECHA:	CONSTRUIMOS FUTURO	Nº DE DIBUJO: A4
VERIF: ANDRES ROJAS		FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS	SOPORTE CONDENSADOR
A PROB: OMAR GELVEZ		ESCUOLA DE INGENIERIA MECANICA	ESCALA: 1:3
FABR: OSCAR ROJAS			HOJA 11 DE 11
CALD: OSCAR VEGA			

ANEXO D. CATALOGO TUBOS DE COBRE

TUBOS *de* COBRE

PRO **COBRE**
La Conexión Vital.™

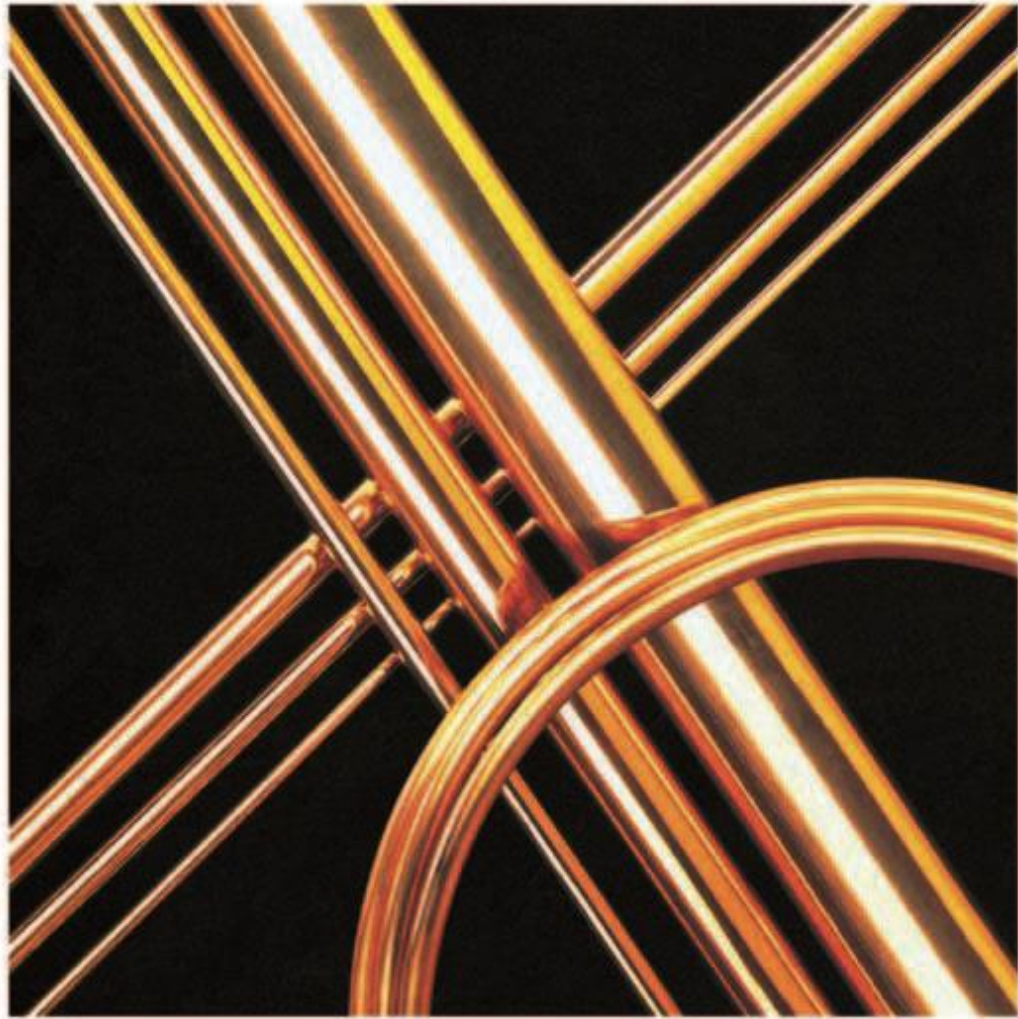


TABLA 2.4 Dimensiones y pesos de los tubos de cobre del tipo ACR en unidades inglesas (Norma ASTM B280-95a)

Tamaño nominal	Blando			Rígido (Duro)			Peso Teórico	
	Diámetro exterior	Diámetro interior	Espesor de pared	Diámetro exterior	Diámetro interior	Espesor de pared	Libras por pie lineal	
	pulgada	pulgada	pulgada	pulgada	pulgada	pulgada	Blando	Duro
1/8	0.125	0.065	0.030	-	-	-	0.0347	0.0347
3/16	0.187	0.127	0.030	-	-	-	0.0575	0.0575
1/4	0.250	0.190	0.030	-	-	-	0.0804	0.0804
5/16	0.312	0.248	0.032	-	-	-	0.109	0.109
3/8	0.375	0.311	0.032	0.375	-	-	0.134	0.126
1/2	0.500	0.436	0.032	0.500	-	-	0.182	0.198
5/8	0.625	0.555	0.035	0.625	-	-	0.251	0.285
3/4	0.750	0.680	0.035	-	-	-	0.305	*
3/4	0.750	0.666	0.042	0.750	0.666	0.042	0.362	0.362
7/8	0.875	0.785	0.045	0.875	0.785	0.045	0.455	0.455
1 1/8	1.125	1.025	0.050	1.125	1.025	0.050	0.655	0.655
1 3/8	1.375	1.265	0.055	1.375	1.265	0.055	0.88	0.88
1 5/8	1.625	1.505	0.060	1.625	1.505	0.060	1.14	1.14
2 1/8	-	-	-	2.125	1.985	0.070	1.75	1.75
2 5/8	-	-	-	2.625	2.465	0.080	2.48	2.48
3 1/8	-	-	-	3.125	2.945	0.090	3.33	3.33
3 5/8	-	-	-	3.625	3.425	0.100	4.29	4.29
4 1/8	-	-	-	4.125	3.905	0.110	5.38	5.38

(1) ASTM B 280-95a

* No disponible

TABLA 2.5 Dimensiones y pesos de los tubos de cobre del tipo G/GAS en unidades inglesas

Dimensión estándar	Diámetro exterior	Espesor de pared	Peso Teórico
pulgadas	pulgadas	pulgadas	Libras por pie lineal
3/8	0.375	0.030	0.126
1/2	0.500	0.035	0.198
5/8	0.625	0.040	0.285
3/4	0.750	0.042	0.362
7/8	0.875	0.045	0.455
1 1/8	1.125	0.050	0.655

También tienen importancia los tratamientos térmicos y el acabado de los tubos.

Estado físico. Los tubos de cobre de temple blando (recocido) y de temple duro o rígido, se reconocen fácilmente por su presentación, consistente en rollos y tiras respectivamente.

El estado físico se define por las características mecánicas del tubo, carga a la rotura y enervamiento, alargamiento, etc., las que determinan en términos prácticos características tales como la resistencia a la presión interna, la plasticidad, y en consecuencia la facilidad para la deformación en frío.

La verificación del estado físico se efectúa por medio de pruebas de tracción y el valor mínimo garantizado en las normas europeas debe ser el que se indica en la Tabla 2.6.

2.2.2 Características Técnicas de los Tubos.

Las características técnicas más importantes de los tubos de cobre derivan del tipo de cobre empleado en su fabricación, de aquí la importancia del proceso utilizado en la producción del cobre metálico.

TABLA 2.6 Prueba de tracción para tubo de cobre

Estado físico		Carga unitaria de rotura a la tracción R mínimo		Alargamiento A mínimo %
Denominación	Símbolo	N/mm ²	kgf/mm ²	
Temple Blando	R	205	21	45
Temple Rígido (Duro)	H	295	30	6

Conformación. El tubo recocido (de temple blando) tiene un alto valor de alargamiento, lo que se traduce en una muy buena conformabilidad, que le permite lograr una curvatura aun con radios muy reducidos. El cobre recocido permite curvaturas manuales tan finas como 22 x 1,5. El cobre crudo (de temple duro) es más difícil de plegar llegando sólo a 16 x 1 y no se recomienda una plegadura o curvatura manual para radios de curvatura reducidos.

La conformabilidad del cobre permite usar curvaturas manuales en los casos más comunes quedando la curvatura mecanizada sólo para tubos de gran diámetro.

En la Tabla 2.7 se encuentra una guía para doblado de tubos de los tipos K y L. Los radios de curvatura son aplicables sólo a equipos para curvado mecánico.

TABLA 2.7 Guía para curvado mecánico de tubos

Tamaño nominal o estándar pulgadas	Tipo de tubo	Temple	Radio mínimo de curvatura pulgadas
1/4	K, L	Blando	3/4
3/8	K, L	Blando	1 1/2
3/8	K, L	Rígido	1 3/4
1/2	K, L	Blando	2 1/4
1/2	K, L	Rígido	2 1/2
3/4	K, L	Blando	3
3/4	K, L	Rígido	3
1	K, L	Blando	4
1 1/4	K, L	Blando	9

Resistencia a la presión interna. La plasticidad del tubo de cobre no va en desmedro de la resistencia mecánica, porque la presión interna que soporta el tubo de cobre es generalmente más elevada que la que soportan los materiales alternativos.

La presión interna que soporta un tubo de cobre está relacionada con el diámetro externo, el espesor de pared y la sollicitación. Se usa internacionalmente la fórmula siguiente:

$$P = 2.04 \cdot r \cdot s \cdot d_e \quad (2.1)$$

Donde :

- P = presión medida en MPa
- s = espesor de la pared en mm
- d_e = diámetro exterior en mm
- r = sollicitación a la tracción en N/mm²

La única diferencia en los métodos de cálculo utilizados en diversos países consiste en la selección del valor de la sollicitación a la tracción utilizada en la fórmula, existiendo dos escuelas que son la americana y la europea.

La escuela americana representada por la Norma ASTM B 111 M adopta como sollicitación la carga de ruptura mínima requerida (R). Del cálculo se obtiene la presión de explosión y de ésta, dividiéndola por un coeficiente de seguridad de 4, se obtiene la presión de ejercicio a la cual trabajará la cañerla.

La segunda escuela representada por la norma italiana UNI 7773/1 introduce directamente una sollicitación admisible calculada como 2/3 de la carga unitaria R_r en el límite de la deformación permanente.

Los valores de la presión de ejercicio que resultan en este último caso son ligeramente diferentes a los que se muestran en las Tablas 2.8 y 2.9 que han sido calculados con el criterio americano, utilizando la fórmula 2.1.

ANEXO E. COMPRESORES PARA APLICACIONES DE “ALTA”



Embraco - Empresa Brasileira de Compressores S.A.
 R. Pedroso, 1070 - Camo Board 91
 Belo Horizonte - Minas Gerais - Brasil
 CEP: 31281-900
 Fax: + 55 51 41127393



Embraco Europe S.r.l.
 Via La Spezia 6
 10023 Zona Industriale D1 - Via Inceci (Gombio), 7
 Gombio - Lombardia - Italia
 CEP: 20011 940-531
 Fax: + 390 11 940-5656



Embraco Slovakia S.r.o.
 Oľgyházi Csoth. 2 - 032 01
 Prievidza - Slovensko
 CEP: 021 534 172 293
 Fax: + 421 534 172 293



Embraco North America, Inc.
 DuPont, Canton - E. A. 31095
 Phone: + 1 770 614-8004
 Fax: + 1 770 629 4400
 Fax: + 1 800 402 1038



Beijing Embraco Snowflake Compressor Company Ltd.
 N° 15, An Ji H. Avenue, Fengtai District
 100075 - Beijing - China
 Phone: + 86 10 6275 4400
 Fax: + 86 10 6275 4875

www.embraco.com

Sujeto a ofrecerse sin previo aviso. - Copyright 2010 - Fecha Septiembre 2007 - Versión 02

SOLUCIONES DE REFRIGERACION

R 600a
R 134a
R 12 (Mezclas)

Linea de Productos **EM** **PW** **F** **EG**



www.embraco.com

R 600a - R 134a - R 12 (Mezclas)

1) - TIPO DE ENFRIAMIENTO DEL COMPRESOR

1.1) - Enfriamiento Estático (S)

El compresor no requiere enfriamiento por aire forzado / debe ser instalado de manera a permitir el enfriamiento por medio de la temperatura ambiente previniendo el sobre calentamiento.

1.2) - Enfriamiento Forzado (F)

El compresor requiere un flujo de aire de por lo menos 3 m/s para su enfriamiento. Flujos de aire mas bajos deberan ser evaluados através de pruebas de laboratorio.

1.3) - Enfriamiento por el Aceite (OC)

El compresor usa un serpentín interno, inmerso en el aceite y conectado al sistema hermético, para ayudar el enfriamiento del compresor. La aplicación de compresores mas eficientes puede eliminar la necesidad del enfriador de aceite.

2) - CONDICIONES DE OPERACION

2.1) - Voltaje de Arranque y de Operación

Los compresores arrancan al 90% del voltaje nominal

- Presiones ecualizadas de hasta 4.0 kgf/cm² (58 psig) (R 600a).
- Presiones ecualizadas de hasta 5.0 kgf/cm² (R 12 / Mezclas).
- Presiones ecualizadas de hasta 6.0 kgf/cm² (R 134a).

Dependiendo de las condiciones de aplicación y de las características del sistema, el compresor puede operar en voltajes tan bajos como los mostrados en la tabla de desempeño.

2.2) - Temperatura de la Bobina

La temperatura de la bobina debe ser inferior a 130°C (266°F), durante operación continua. Para evaluar la temperatura de la bobina, recomendamos el "Método de Medición de Resistencia Óhmica". (Conforme Manual de Aplicación Embraco)

2.3) - Límite de Presión de Condensación

Los compresores deben operar conforme descrito abajo:

R 600a

Cuando esté operando bajo condiciones de máxima temperatura ambiente (43°C/110°F), la presión de condensación, en operación continua, debe ser inferior a 7.7 kgf/cm² (113 psig) y la máxima presión de condensación debe ser inferior a 9.8 kgf/cm² gauge (145 psig).

R 12 (Mezclas)

Cuando esté operando bajo condiciones de máxima temperatura ambiente (43°C), la presión de condensación, en operación continua, debe ser inferior a 14.5 kgf/cm² (206 psig) y la máxima presión de condensación debe ser inferior a 18.2 kgf/cm² gauge (259 psig).

R 134a

Cuando esté operando bajo condiciones de máxima temperatura ambiente (43°C), la presión de condensación, en operación continua, debe ser inferior a 16.2 kgf/cm² (230 psig) y la máxima presión de condensación debe ser inferior a 20.6 kgf/cm² gauge (293 psig).

2.4) - Rango de Temperatura de Evaporación

APLICACION	RANGO DE TEMPERATURA
LBP	-35°C hasta -10°C (-31°F hasta +14°F)
L / MBP	-35°C hasta -5°C (-31°F hasta +23°F)
M/HBP	-10°C hasta +15°C (-14°F hasta +5°F)
HBP	-5°C hasta +15°C (-23°F hasta +59°F)
L/M/HBP	-35°C hasta +15°C (-31°F hasta +59°F)

3) - MOTOR

Los compresores Embraco de la tabla de desempeño son equipados con motores monofásicos, de inducción.

3.1) - Torque del Motor

Los motores de los compresores són denominados:

LST - Low Starting Torque,
Aplicados en sistemas de refrigeración con tubo capilar

HST - High Starting Torque,
Aplicados en sistemas de refrigeración con válvulas de expansión o con tubo capilar

3.2) - Tipos de Motores Eléctricos

RSIR (PTCSIR) - Resistive Start - Inductive Run
No aplica capacitores

CSIR - Capacitive Start - Inductive Run
Aplica capacitor electrolítico (arranque)

RSCR (PTCSCR) - Resistive Start - Capacitive Run
Aplica capacitor de marcha

CSR (CSCR) - Capacitive Start & Run
Aplica capacitores de arranque y marcha al mismo tiempo - usado con PTC de 4 terminales

4) - ADVERTENCIAS

Los compresores no deben ser cargados con agentes anti-congelantes, ya que estos podrán dañar varios materiales utilizados (el uso de agentes anticongelantes anula la garantía del compresor).

El empleo de cualquier otro capacitor de arranque diferente del que está indicado en las tablas de este catálogo o en la Tabla de Aplicación, resultará en un funcionamiento defectuoso del relay de arranque y del protector térmico, y posiblemente al motor del compresor.

Se recomienda que los fabricantes de sistemas de refrigeración que utilizan refrigerantes inflamables, tales como el R 600a, desarrollen métodos precisos de carga, prueba de fuga, y prueba de sistema para garantizar que todos los procedimientos de seguridad necesarios hayan sido realizados.

Utilizar el R 134a como agente de limpieza para el sistema.

El sistema al cual el compresor será montado debe ser desarrollado y preparado adecuadamente para el uso con HFC 134a y aceite éster; es decir, sin residuos alcalinos, clorados, o índices bajos de humedad.

Los compresores no deben ser probados a menos que sean conectados al sistema de refrigeración.

El compresor no debe ser sometido a pruebas de arranque ni de alto voltaje mientras esté bajo vacío. Todos los compresores Embraco ya han sido sometidos a una prueba de alto voltaje de 1650V por un segundo.

Los equipos de carga y evacuación deben ser usados exclusivamente con el R 134a, para evitar la contaminación por residuos clorados.

Los detectores de fuga a base de halógenos actualmente usados en sistemas con CFC 12 no son eficientes con el HFC 134a. Este tipo de detector de fuga reacciona con el cloro, halógeno que no se encuentra en el R 134a. Por eso, se recomienda el uso de equipos con detectores a base de helio, para rastrear fugas en las líneas de montaje de sistemas con R 134a. Hay detectores electrónicos de fugas compactos disponibles en el mercado, compatibles con este gas refrigerante.

Para mantener el desempeño presentado en la tabla de performance, la línea de retorno (succión) debe ser obligatoriamente soldada al tubo de succión.

Para cada tipo de fluido refrigerante existen filtros secadores apropiados. (Conforme Manual de Aplicación Embraco).

Para evitar la entrada excesiva de humedad en el compresor, los tubos deben ser mantenidos tapados. Los taponetes de goma solo deberán ser removidos en el momento de la soldadura de los tubos al sistema (el tiempo máximo permitido es de 15 minutos).

5) - TIPO Y ESPECIFICACION DEL ACEITE

Los compresores reciben en la fábrica una carga de aceite especial, totalmente desgasificado y exento de humedad en cantidad y calidad especificadas:

R 600a

- Mineral Nafténico (ISO 32 / ISO 10).
- Alquibenceno (ISO 32).

R 12 (Mezclas)

- Mineral Nafténico (ISO 32).
- Alquibenceno (ISO 32).

Notas: Las mezclas R 401a y R 401b pueden ser aplicados solamente con aceite Alquibenceno aditivado.

Los compresores suministrados con aceite Alquibenceno aditivado, reciben la tarjeta abajo:

REFRIGERANTES	
ASHRAE	Nombre Comercial
R 401a	SUVA MP99
R 401b	SUVA MP66
R 409a	FORANE FX56
R 413a	ISCEON 49

R 134a

- Aceite éster (ISO 22).
- Aceite éster (ISO 10).
- Aceite éster (ISO 7).

La carga de aceite no puede ser removida o mezclada.

6) - CONDICIONES DE PRUEBA

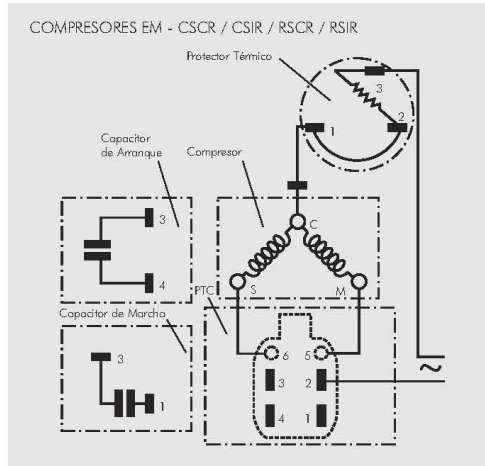
TEMPERATURA	CHECK POINT HBP (ASHRAE)		CHECK POINT LBP (ASHRAE)		CHECK POINT (CECOMAF)	
	°C	°F	°C	°F	°C	°F
TEMPERATURA DE EVAPORACION	7,2	45	-23,3	-10	-25	-13
TEMPERATURA DE CONDENSACION	54,4	130	54,4	130	55	131

7) - CONVERSIONES 8) - TOLERANCIAS

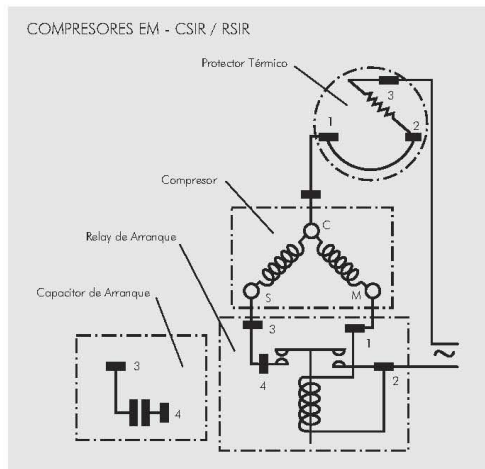
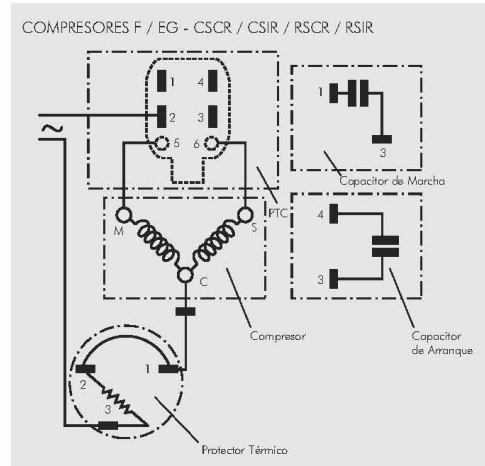
1 Watt = 3,41 Btu/h	Capacidad = ±5%
1 Watt = 0,86 kcal/h	Consumo de potencia = ±5%
1 kcal/h = 3,97 Btu/h	Consumo de corriente = ±5%
1 cu.ft. = 28,32 liters	Eficiencia = ±7%

R 600a - R 134a - R 12 (Mezclas)

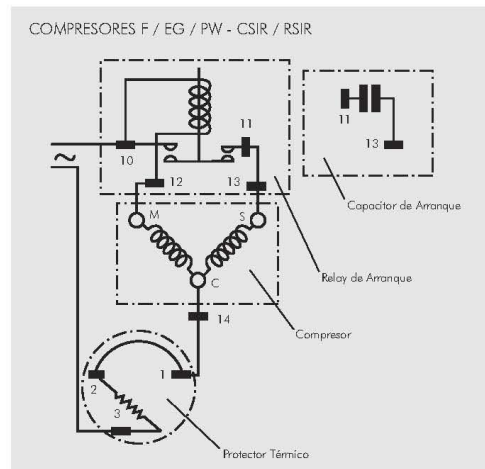
10) - DIAGRAMAS ELECTRICOS



Compresores aplicados con capacitor de marcha deben obligatoriamente usar PTC con 3 terminales.
Compresores aplicados sin capacitor de marcha usan PTC con 1 terminal.



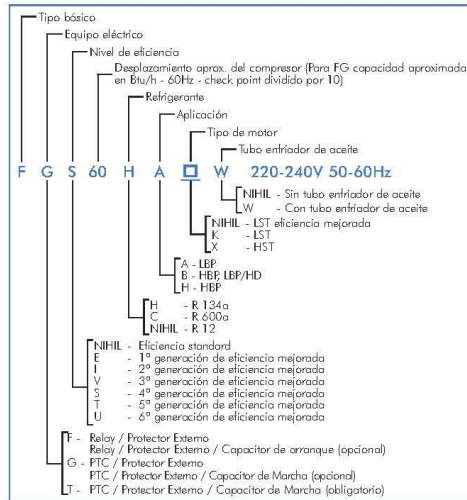
En caso que sea necesario, la aplicación de un capacitor de arranque puede ser hecha entre los terminales 3 y 4, bastando para eso, romper este puente.



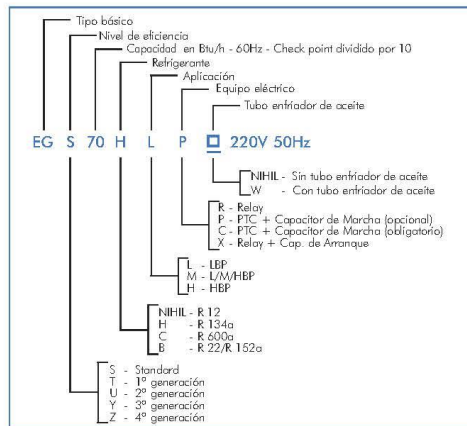
En caso que sea necesario, la aplicación de un capacitor de arranque puede ser hecha entre los terminales 11 y 13. Un relay específico también puede ser suplido con terminales "Fast-On" para mejor instalación del capacitor de arranque.

11) - DENOMINACION DEL COMPRESOR

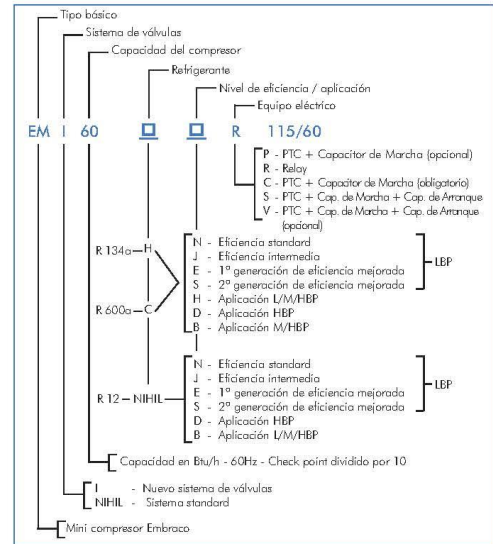
11.1) - F



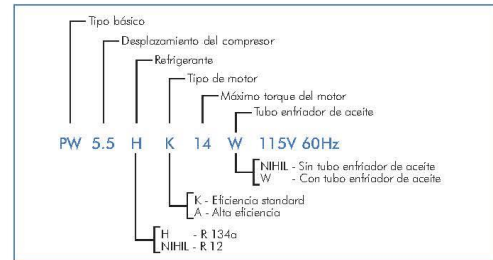
11.3) - EG



11.2) - EM



11.4) - PW



ANEXO F. CATALOGO COMPRESOR EMBRACO FFI12HBX

DEFINICIÓN DEL COMPRESOR

Denominación	F FI12HBX
Voltage / Frecuencia nominal	115-127 V 60 Hz
Código de Ingeniería	513200003

A - APLICACIÓN / CONDICIONES LÍMITES DE TRABAJO

1 Tipo	Compresor recíproco		
2 Refrigerante	R-134a		
3 Voltaje y frecuencia nominal	115-127 / 60	[V / Hz]	
4 Tipo de aplicación			
4.1 Rango de temperatura de evaporación	-35°C para 10°C	(-31°F para 50°F)	
5 Tipo de motor	CSIR		
6 Torque de Arranque	HST - Alto torque de arranque		
7 Elemento de control	Tubo capilar o Válvula de expansión		
8 Enfriamiento del compresor		Rango de voltaje de operación	
		50 Hz	60 Hz
8.1 LBP (32°C Temperatura ambiente)	Forzada	-	103 para 140 V
8.2 LBP (43°C Temperatura ambiente)	Forzada	-	103 para 140 V
8.3 HBP (32°C Temperatura ambiente)	Forzada	-	103 para 140 V
8.4 HBP (43°C Temperatura ambiente)	Forzada	-	103 para 140 V
9 Máxima presión/temperatura de condensación			
9.1 Operación (gauge)	16.2	[kgf/cm ²] (230 psig)	/ °C - °F
9.2 Pico (gauge)	20.6	[kgf/cm ²] (293 psig)	/ °C - °F
10 Máxima temperatura de las bobinas	130	[°C]	

B - DATOS MECÁNICOS

1 Referencia Comercial	1/3+	[hp]
2 Desplazamiento	11.14	[cm ³] (0.680 cu.in)
2.1 Diametro [mm]	26.000	
2.2 Curso [mm]	21.000	
3 Carga de aceite	280	[ml] (9.47 fl.oz)
3.1 Aceites aprobados		
3.2 Tipo/Viscosidad del aceite	ESTER / ISO22	
4 Peso (com carga de aceite)	10.7	[kg] (23.59 lb.)
5 Carga de nitrógeno	0.2 para 0.3	[kgf/cm ²] (2.84 para 4.27 psig)

C - DATOS ELÉCTRICOS

1 Voltaje nominal/Frecuencia/Numero de fases	115-127 V 60 Hz 1 ~ (Monofásico)	
2 Tipo de Dispositivo de Arranque	Current Relay	
2.1 Dispositivo de Arranque	213516051	
3 Capacitor de Arranque	378-454(115)/233-280(150)	[µF(VAC minimo)]
4 Capacitor de marcha	-	[µF(VAC minimo)]
5 Protección del motor	MRT22AFZ-5598	
6 Resistencia del motor - bobina arranque	3.87	[Ω en 25°C (77°F)] +/- 8%
7 Resistencia del motor - bobina marcha	1.04	[Ω en 25°C (77°F)] +/- 8%
8 LRA - Corriente com rotor trabado (60 Hz)	43.00	[A] - Medido según UL 984
9 FLA - Corriente a plena carga L/MBP (60 Hz)	7.20	[A] - Medido según UL 984
10 FLA - Corriente a plena carga HBP (60 Hz)	8.10	[A] - Medido según UL 984
11 Institutos de aprobación	CCC - UL	

D - PERFORMANCE - DATOS CHECK POINT

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz			ASHRAEHBP32 Forzada		Temperatura de evaporación (Temp. de condensación		7.2°C (44.96°F) 54.4°C (129.92°F))		
Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%			
[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
5300	1336	1553	612	6.80		8.66	2.18	2.54	

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz			ASHRAELBP32 Forzada		Temperatura de evaporación (Temp. de condensación		-23.3°C (-9.94°F) 54.4°C (129.92°F))		
Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%			
[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]	
1190	300	349	292	4.65	6.76	4.08	1.03	1.20	

E - PERFORMANCE - CURVAS

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz			ASHRAE32 Forzada		(Temp. de condensación 45°C (+113°F))					
Temperatura de evaporación		Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%		
°C	(°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-35	(-31)	657	166	192	212	4.71	3.71	3.07	0.77	0.90
-30	(-22)	871	220	255	247	4.79	4.95	3.59	0.90	1.05
-25	(-13)	1165	294	341	283	4.91	6.63	4.19	1.06	1.23
-20	(- 4)	1545	389	453	320	5.06	8.79	4.87	1.23	1.43
-15	(+ 5)	2014	508	590	360	5.24	11.49	5.60	1.41	1.64
-10	(+14)	2579	650	756	402	5.47	14.76	6.39	1.61	1.87
-5	(+23)	3245	818	951	447	5.73	18.66	7.21	1.82	2.11
0	(+32)	4016	1012	1177	495	6.04	23.22	8.07	2.03	2.36
+5	(+41)	4898	1234	1435	545	6.40	28.51	8.94	2.25	2.62
+10	(+50)	5896	1486	1728	600	6.80	34.56	9.83	2.48	2.88
+15	(+59)	7016	1768	2056	658	7.26	41.41	10.71	2.70	3.14

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz			ASHRAE32 Forzada		(Temp. de condensación 55°C (+131°F))					
Temperatura de evaporación		Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%		
°C	(°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-35	(-31)	535	135	157	201	4.70	3.02	2.61	0.66	0.77
-30	(-22)	745	188	218	241	4.79	4.24	3.14	0.79	0.92
-25	(-13)	1037	261	304	282	4.92	5.90	3.73	0.94	1.09
-20	(- 4)	1414	356	414	326	5.09	8.05	4.38	1.10	1.28
-15	(+ 5)	1883	475	552	372	5.30	10.74	5.08	1.28	1.49
-10	(+14)	2449	617	718	421	5.56	14.01	5.81	1.46	1.70
-5	(+23)	3116	785	913	472	5.87	17.92	6.58	1.66	1.93
0	(+32)	3891	980	1140	527	6.23	22.50	7.35	1.85	2.16
+5	(+41)	4777	1204	1400	586	6.65	27.80	8.14	2.05	2.38
+10	(+50)	5781	1457	1694	648	7.12	33.88	8.92	2.25	2.61
+15	(+59)	6907	1741	2024	715	7.66	40.77	9.68	2.44	2.84

E - PERFORMANCE - CURVAS

CONDICIONES DE PRUEBA: @115V60Hz		ASHRAE32 Forzada			(Temp. de condensación 65°C (+149°F))					
Temperatura de evaporación		Capacidad de refrigeración +/- 5%			Consumo de potencia +/- 5%	Consumo de corriente +/- 5%	Flujo de masa +/- 5%	RANGO DE EFICIENCIA +/- 7%		
°C	(°F)	[Btu/h]	[kcal/h]	[W]	[W]	[A]	[kg/h]	[Btu/Wh]	[kcal/Wh]	[W/W]
-35	(-31)	415	105	122	181	4.68	2.35	2.21	0.56	0.65
-30	(-22)	617	155	181	227	4.78	3.51	2.74	0.69	0.80
-25	(-13)	901	227	264	275	4.92	5.13	3.32	0.84	0.97
-20	(- 4)	1273	321	373	326	5.12	7.24	3.95	0.99	1.16
-15	(+ 5)	1737	438	509	379	5.37	9.90	4.61	1.16	1.35
-10	(+14)	2299	579	674	435	5.67	13.15	5.30	1.33	1.55
-5	(+23)	2964	747	869	495	6.03	17.04	6.00	1.51	1.76
0	(+32)	3737	942	1095	559	6.46	21.61	6.70	1.69	1.96
+5	(+41)	4624	1165	1355	626	6.94	26.91	7.40	1.86	2.17
+10	(+50)	5629	1419	1649	697	7.49	32.99	8.07	2.03	2.37
+15	(+59)	6758	1703	1980	773	8.11	39.89	8.72	2.20	2.56

F - CARACTERÍSTICAS EXTERNAS

1 Placa base	Universal EG/F/AMEM version 2		
2 Soporte de badeja	No		
3 Tubos			
3.1 SUCCIÓN	8.2 +0.12/-0.08	[mm]	(0.323" +0.005"/-0.003")
3.1.1 Material	Cobre		
3.1.2 Forma	Recto		
3.2 DESCARGA	6.5 +0.12/-0.08	[mm]	(0.256" +0.005"/-0.003")
3.2.1 Material	Cobre		
3.2.2 Forma	Recto		
3.3 PROCESO	6.5 +0.12/-0.08	[mm]	(0.256" +0.005"/-0.003")
3.3.1 Material	Cobre		
3.3.2 Forma	Recto		
3.4 Tubo enfriador de aceite (Cobre)	No	[mm]	
3.5 Sellado del tudo	Tampa de Gomma		

ANEXO G. FICHA DE SEGURIDAD DEL REFRIGERANTE R134A

Producto: **FORANE® 134a** Pagina: 1 / 8
 N° FDS: 000941-001 (Versión 4.2) Fecha 05.03.2012 (Anula e sustituye : 14.01.2011)

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

Nombre de la sustancia:

Nombre de registro REACH: norflurano
 Número de registro REACH: 01-2119459374-33-0001, 01-2119459374-33-0005
 No. CAS: 811-97-2

Uso de la sustancia/mezcla :

Sector de uso :	Categoría del producto :
SU 3: Industrial uses: Usos de sustancias como tales o en preparados en emplazamientos industriales, SU 10: Formulación, SU17: Fabricación de maquinaria, equipos, vehículos, otros equipos de transporte, etc. de uso general, SU12: Fabricación de productos de materias plásticas, incluidas la composición y conversión, SU 22: Usos profesionales: Ámbito público (administración, educación, espectáculos, servicios, artesanía), SU20: Servicios de salud, SU19: Construcción de edificios y obras de construcción	PC0: Refrigerante, PC16: Fluidos portadores de calor, PC21: Productos químicos de laboratorio, PC0: Agente de expansión, PC0: Propelentes de aerosoles

Identificación de la sociedad o empresa:

Proveedor

Arkema
 Fluorinated Gas
 ARKEMA QUÍMICA, S.A. (*)
 Avda. de Burgos, 12, 7º
 28036 MADRID
 ESPAÑA
 Teléfono : 34 9 13 34 34 34
 Telecopia : 34 9 13 34 34 70
 http://www.arkema.com
 pars-drp-fds@arkema.com

E-mail de contacto

Teléfono de emergencia

+33 1 49 00 77 77
Número de teléfono europeo de emergencia : 112
Para España - Instituto de Toxicología : +34 9 15 62 04 20

2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Clasificación (Reglamento (CE) No 1272/2008):

Gases a presión, Gas licuado, H280

Clasificación (Directiva 67/548/CEE):

Esta sustancia no esta clasificada como peligrosa según la Directiva 67/548/CEE.

Indicaciones adicionales:

El texto completo de las frases R, H, EUH mencionadas en esta Sección, se indica en la Sección 16.

Elementos de la etiqueta (REGLAMENTO (CE) No 1272/2008):

Componentes determinantes del peligro para el etiquetado:

No. CAS : 811-97-2

norflurano

Pictogramas de peligro:



Palabra de advertencia:

Atención

Indicaciones de peligro:

H280 : Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Consejos de prudencia:

Almacenamiento:

P410 + P403 : Proteger de la luz del sol. Almacenar en un lugar bien ventilado.

Etiquetado adicional:

Contiene 1,1,1,2-tetrafluoroetano. Contiene gases fluorados de efecto invernadero regulados por el Protocolo de Kioto.

Otros peligros:

Posibles efectos en la salud:

Posibles congelaciones por proyección del gas licuado

Inhalación: En concentraciones elevadas de vapor/niebla : pérdida del conocimiento Trastornos del ritmo cardiaco

Efectos Ambientales:

No fácilmente biodegradable. Prácticamente no bioacumulable

Peligros físicos y químicos:

El producto gaseoso en presencia de aire puede formar, en ciertas condiciones de presión y temperatura, una mezcla inflamable

Descomposición térmica en productos tóxicos y corrosivos

Descomposición en productos: Ver capítulo 10

Otros:

Resultados de la valoración PBT y mPmB : Esta sustancia no se considera persistente/bioacumulativa/tóxica (PBT) ni muy persistente / muy bioacumulativa (vPvB).

3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Nombre químico de la sustancia¹: 1,1,1,2-TETRAFLUOROETANO

Hidrocarburo halogenado

Nombre químico ¹	No. CE	No. CAS	Concentración	Clasificación Directiva 67/548/CEE	Clasificación Reglamento (CE) No 1272/2008
1,1,1,2-tetrafluoroetano	212-377-0	811-97-2	>= 99,9 %	-	Press. Gas Gas licuado; H280

Ningún ingrediente peligroso según la Reglamento (CE) No. 1907/2006

¹: Ver capítulo 14 para el nombre apropiado de la expedición

4. PRIMEROS AUXILIOS

Descripción de los primeros auxilios necesarios, Síntomas/efectos más importantes, agudos o retardados:

Inhalación:

Alejarse de la zona contaminada, respirar aire fresco. En caso de trastornos persistentes : Oxígeno o respiración artificial si es preciso. Consultar a un médico.

Contacto con la piel:

Las congelaciones deben de ser tratadas como quemaduras térmicas.

Contacto con los ojos:

Lavado inmediato, abundante y prolongado con agua. Si la irritación persistiera, consúltese un oftalmólogo.

Ingestión:

Sin peligros que requieran medidas especiales de primeros auxilios.

Protección de los socorristas:

En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado.

Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente:

Notas para el médico:

Tratamiento: No deben administrarse catecolaminas (a causa de la sensibilización cardiaca provocada por el producto).

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción:

Medios de extinción apropiados: Definir las medidas de extinción en la zona del incendio.

Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla:

El producto no es inflamable en el aire en las condiciones ambientales de presión y temperatura. Algunas mezclas, bajo presión, pueden ser inflamables en contacto con el aire

A temperatura elevada : Descomposición térmica en productos tóxicos y corrosivos ; Fluoruro de hidrógeno, Óxidos de carbono

Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios:

Métodos específicos:

Enfriar recipientes / tanques con pulverización por agua. Prever un sistema de evacuación rápida de los contenedores. En caso de incendio cercano, alejar los contenedores expuestos al fuego.

Medidas especiales de protección para los bomberos:

En caso de fuego, protéjase con un equipo respiratorio autónomo. Traje de protección completo contra productos químicos.

6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia:

Evacuar la plantilla no necesaria y la no equipada con protección personal. Asegúrese una ventilación apropiada. Evítese el contacto con la piel, los ojos y la inhalación de los vapores. En un local cerrado : ventílese o úsese un equipo autónomo de respiración (riesgo de anoxia). Retirar todas las fuentes de ignición. No fumar.

Precauciones relativas al medio ambiente:

No debe liberarse en el medio ambiente.

Métodos y material de contención y de limpieza:

Recuperación:

Dejar evaporarse.

Eliminación: Ver la sección 13

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Precauciones para una manipulación segura:

Medidas técnicas/Precauciones:

Consignas de almacenamiento y de manipulación como las aplicables a productos: Gases a presión Gas licuado
Proporcionar un sistema adecuado de aspiración en la instalación. Prever duchas, fuentes oculares. Prever surtidores de agua en la proximidad. Ventílese bien depósitos y tanques vacíos antes de intervenir en su interior.

Advertencia para la manipulación segura:

Prohibir puntos de ignición y el contacto con superficies calientes. NO FUMAR.

Medidas de higiene:

Evítese el contacto con la piel, los ojos y la inhalación de los vapores. No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización.

Lavarse las manos después de la manipulación. Qúitese la ropa y el equipo protector contaminados antes de entrar en áreas para comer.

Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades:

Manténgase en un lugar fresco y bien ventilado. Mantener apartado de las llamas abiertas, de las superficies calientes y de los focos de ignición. Manténgase separado del calor y de las fuentes de ignición. No fumar. Proteger los envases llenos de fuentes de calor, para evitar sobrepresiones. Protéjase de la luz. Mantener alejado de la luz directa del sol.

Temperatura de almacenamiento: < 45 °C

Productos incompatibles:

Hidróxidos alcalinos, Metales alcalinotérreos, Agentes oxidantes fuertes, Metales finamente divididos

Material de embalaje:

Recomendado: Acero ordinario, Acero inoxidable

A evitar: Aleación con mas de 2% de magnesio, Materias plásticas

Usos específicos (Uso final): Ninguno(a).

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

PARÁMETROS DE CONTROL:

Valores límite de la exposición

1,1,1,2-tetrafluoroetano

Fuente	Fecha	Tipo de valor	Valor (ppm)	Valor (mg/m3)	Observaciones
ARKEMA		TWA	1.000	4.240	Valor recomendado por el comité "Valor límite de exposición" de ARKEMA

Nivel sin efecto derivado (DNEL):

Uso final	Inhalación	Ingestión	Contacto con la piel
Trabajadores	13936 mg/m3 (LT, SE)		
Consumidores	2476 mg/m3 (LT, SE)		

LE : Efectos locales, SE : Efectos sistémicos, LT : A largo plazo, ST : A corto plazo

Concentración prevista sin efecto (PNEC):

Compartimiento:	Valor:
Agua dulce	0,1 mg/l
Agua de mar	0,01 mg/l
Agua (Uso emisiones)	1 mg/l
Efectos en las centrales de tratamiento de aguas residuales	73 mg/l
Sedimento de agua dulce	0,75 mg/kg dw

CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN:

Medidas generales de protección: Disponer de la suficiente renovación del aire y/o de extracción en los lugares de trabajo.

Protección personal:

Protección respiratoria: En caso de ventilación insuficiente, úsese equipo respiratorio adecuado.
Protección de las manos: Guantes de cuero
Protección de los ojos/ la cara: Gafas protectoras con cubiertas laterales
Protección de la piel y del cuerpo: Traje protector (algodón)

Controles de exposición medioambiental:

Ver la sección 6

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto:

Estado físico (a 20 °C): gaseoso
Estado físico: Gas licuado
Color: incoloro
Olor: Ligeramente similar al éter
Umbral olfativo: no hay datos disponibles
pH: no aplicable
Punto/intervalo de fusión : -108 °C
Punto /intervalo de ebullición : -26 °C
Punto de inflamación: no aplicable
Tasa de evaporación: no hay datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas):
Inflamabilidad: Producto no inflamable
Presión de vapor: 0,574 MPa , a 20 °C
Masa volumétrica del vapor: 4,24 kg/m3 , a 20 °C
Densidad: 1.206 kg/m3 , a 25 °C
1.102 kg/m3 , a 50 °C
996 kg/m3 , a 70 °C

Densidad relativa (Agua=1):	1,21 a 20 °C 1,1 a 50 °C
Solubilidad en agua:	1 g/l a 25 °C
Coefficiente de reparto n-octanol/agua:	log Kow : = 1,06 , a 25 °C (OCDE Directriz 107)
Temperatura de auto-inflamación:	743 °C a 1 bar
Temperatura de descomposición:	> 370 °C
Viscosidad, dinámica:	no aplicable
Propiedades explosivas:	
Explosividad:	No relevante (Teniendo en cuenta su estructura)
Propiedades comburentes:	
No relevante (Teniendo en cuenta su estructura)	
Otros datos:	
Constante Henry:	155E+03 Pa.m ³ /mol
Peso molecular:	102 g/mol
Punto crítico:	Presión crítica: 4,07 MPa, Temperatura crítica: 101 °C

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Reactividad & Estabilidad química:

Producto estable a temperatura ambiente
El producto gaseoso en presencia de aire puede formar, en ciertas condiciones de presión y temperatura, una mezcla inflamable

Condiciones que deben evitarse:

Manténgase separado del calor y de las fuentes de ignición. Evítese el contacto con llamas o superficies metálicas enrojecidas

Materiales incompatibles:

Hidróxidos alcalinos, Metales alcalinotérreos, Agentes oxidantes fuertes, Metales finamente divididos

Descomposición térmica:

Temperatura de descomposición: > 370 °C

Productos de descomposición peligrosos:

A temperatura elevada : Descomposición térmica en productos tóxicos y corrosivos ; Fluoruro de hidrógeno (HF) gaseoso., Óxidos de carbono

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Información toxicológica:

Toxicidad aguda:

Inhalación:	Poco nocivo por inhalación Como otros compuestos halogenados alifáticos volátiles, el producto puede provocar, por acumulación de vapores y/o inhalación de cantidades importantes ; Pérdida del conocimiento y trastornos cardíacos agravados por stress y falta de oxígeno ; riesgo mortal
• En los animales :	Sin mortandad/4 h/rata: 567000 ppm (Método: OCDE Directriz 403) Depresión del sistema nervioso central, narcosis

Efectos locales (Corrosión / Irritación / Lesiones oculares graves):

Contacto con la piel:	Posibles congelaciones por proyección del gas licuado
Contacto con los ojos:	Posibles congelaciones por proyección del gas licuado

Sensibilización respiratoria o cutánea:

Inhalación:	no hay datos disponibles
Contacto con la piel:	No sensibilizante cutáneo
• En los animales :	Sin efecto conocido. (Método : prueba de maximación en cobaya, conejillo de indias)

Efectos CMR :

Mutagenicidad:	Según los datos experimentales disponibles : No genotóxico
-----------------------	---

In vitro

prueba de Ames in vitro: inactivo (Método: OCDE Directriz 471)
Prueba de aberraciones cromosómicas in vitro sobre linfocitos humanos: inactivo (Método: OCDE Directriz 473)
Pruebas de mutaciones genéticas in vitro sobre células de mamíferos: inactivo

In vivo

Prueba de micronúcleo in vivo en los ratones: inactivo (Método: OCDE Directriz 474)
Pruebas de reparación de DNA en hepatocitos de ratas.: inactivo

Carcinogenicidad:

• En los animales :

No se manifestaron efectos mutagénicos o cancerígenos en los experimentos con animales.
Ausencia de efectos cancerígenos (rata, 2 años, Inhalación)
Dosis de exposición sin efectos adversos observados (NOAEL)10 000 ppm
Ausencia de efectos cancerígenos (rata, 1 año, Oral)
Dosis de exposición sin efectos adversos observados (NOAEL)300 mg/kg bw/d

Toxicidad para la reproducción:

Fertilidad:

• En los animales :

Ausencia de efectos tóxicos para la fertilidad
NOAEL: 50 000 ppm (ratón, Inhalación)

Desarrollo fetal:

• En los animales :

Ausencia de efectos tóxicos para el desarrollo del feto (en concentraciones no tóxicas para la madre)
NOAEL: 40 000 ppm Concentración materno sin efecto: 2 500 ppm (Método: OCDE Directriz 414, conejo, Inhalación)
NOAEL: 50 000 ppm Concentración materno sin efecto: 50 000 ppm (Método: OCDE Directriz 414, rata, Inhalación)

Toxicidad específica en determinados órganos (stot) :

Exposición única :

no hay datos disponibles

Exposición repetida:

• En los animales :

Estudios de inhalación prolongada en animales no han puesto en evidencia efectos tóxicos crónicos
Inhalación: No se reportó efectos adversos.
NOAEL= 50 000 ppm (rata, Varios años)

Peligro de aspiración:

No relevante

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Toxicidad aguda

Peces:

Poco nocivo para peces
CL50, 96 h (Salmo gairdneri) : = 450 mg/l

Invertebrados acuáticos:

Poco nocivo para dafnias
CE(I)50, 48 h (Daphnia magna (Pulg de mar grande)) : = 980 mg/l

Plantas acuáticas:

Poco nocivo para algas
Por analogía con un producto comparable :
CE50, 72 h (Algas) : > 100 mg/l

Microorganismos:

CE10, 6 h (Pseudomonas putida) : > 730 mg/l Bacterias

Persistencia y degradabilidad :

Biodegradación (En el agua):

No fácilmente biodegradable.
3 % después 28 d (Método: OCDE Directriz 301 D)

Fotodegradación (en el aire):

Degradación por los radicales OH: Tiempo global de vida media: 9,7 a

Potencial de bioacumulación :

Bioacumulación:

Prácticamente no bioacumulable
Coeficiente de reparto n-octano/agua: log Kow : = 1,06 , a 25 °C (Método: OCDE Directriz 107)

Movilidad en el suelo - Distribución entre compartimentos medioambientales:

Distribución entre compartimentos medioambientales : Agua: 0,07 %
 Aire: 99,93 %
 (Método: Mackay, calculado nivel I)

Constante Henry: 155E+03 Pa.m³/mol

Absorción/desorción: En suelos y sedimentos: Adsorción débil, log Koc: 1,5 (Método: calculado)
 Tiempo de vida media de volatilización: 8,6 - 16,7 a, Método: calculado

Resultados de la valoración PBT y mPmB :

Esta sustancia no se considera persistente/bioacumulativa/tóxica (PBT) ni muy persistente / muy bioacumulativa (vPvB).

Otros efectos adversos:

Potencial de calentamiento global (PCG): Potencial efecto invernadero con respecto al CO2 horizonte de cálculo 100 años , Valor: 1.300

Potencial de reducción de ozono: Potencial de reducción de ozono; PRO (R-11 = 1) , Valor: 0

13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

Tratamiento de residuos:

Eliminación de excedentes o residuos: Reciclar o incinerar. De conformidad con las regulaciones locales y nacionales.

14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

Regulación	Número ONU	Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas	Clase	Etiqueta	PG	Peligrosas ambientalmente	Información adicional
ADR	3159	1,1,1,2-TETRAFLUOROETANO (GAS REFRIGERANTE R 134a)	2	2.2		no	
ADN	3159	1,1,1,2-TETRAFLUOROETANO (GAS REFRIGERANTE R 134a)	2	2.2		no	
RID	3159	1,1,1,2-TETRAFLUOROETANO (GAS REFRIGERANTE R 134a)	2	2.2		no	
IATA Cargo	3159	Refrigerant gas R 134a	2.2	2.2		no	
IATA Passenger	3159	Refrigerant gas R 134a	2.2	2.2		no	
IMDG	3159	1,1,1,2-TETRAFLUOROETHANE	2.2	2.2		no	EmS Number: F-C, S-V

15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Fichas de datos de seguridad: de acuerdo el Reglamento (CE) No. 1907/2006

Evaluación de la seguridad química:

Dado que la sustancia no cumple lo criterios de clasificación de seguridad e higiene y no es ni PBT ni vPvB, de acuerdo con el artículo 14(3)del Reglamento REACH, no se requiere el desarrollo de escenarios de exposición específicos.

INVENTARIO:

EINECS: Confome
TSCA: Confome
AICS: Confome
DSL: Todos los componentes de este producto están en la lista canadiense DSL.
ENCS (JP): Confome
KECI (KR): Confome
PICCS (PH): Confome
IECSC (CN): Confome

16. OTRA INFORMACIÓN

El texto completo de las frases -R, H, EUH referidas en los puntos 2 y 3

H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

Bibliografía Encyclopédie des gaz (Air Liquide - Ed. 1976 - ELSEVIER AMSTERDAM)

Puesto al día:

Secciones de las Ficha de Datos de Seguridad que se han actualizado:		Typo:
1	1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA	Revisiones

tesauro:

NOAEL : Dosis de exposición sin efectos adversos observados (NOAEL)
LOAEL : Nivel más bajo con efecto adverso observado (LOAEL)
bw : Peso corporal
food : alimentación oral
dw : Peso seco
vPvB : muy persistente y muy bioacumulativo
PBT : Persistente, bioacumulativo y tóxico

Este documento se aplica al producto TAL CUAL según las especificaciones de ARKEMA. En caso de preparados o mezclas realizadas por el utilizador, éste deberá asegurarse de que no se han generado nuevos riesgos. Las informaciones de esta ficha se ofrecen de buena fé, según nuestros conocimientos más recientes relativos al producto de que se trate. Nos permitimos avisar a los utilizadores sobre la eventual aparición de otros riesgos si el producto se utilizase para otros usos diferentes de los indicados. Esta ficha debe ser aplicada y reproducida exclusivamente con fines de prevención y seguridad. La enumeración indicada de textos legales, reglamentarios y administrativos no es exhaustiva. Corresponde al destinatario del producto remitirse al conjunto de textos oficiales sobre el almacenamiento, limpieza de contenedores y otras intervenciones, para las cuales él es el único responsable. Asimismo, corresponde al utilizador proporcionar a las personas que puedan entrar en contacto con el producto (utilización, almacenamiento, limpieza de contenedores y otras intervenciones) toda la información necesaria para la seguridad e higiene laboral y la protección del medio ambiente, transmitiéndoles como mínimo esta ficha de datos de seguridad.

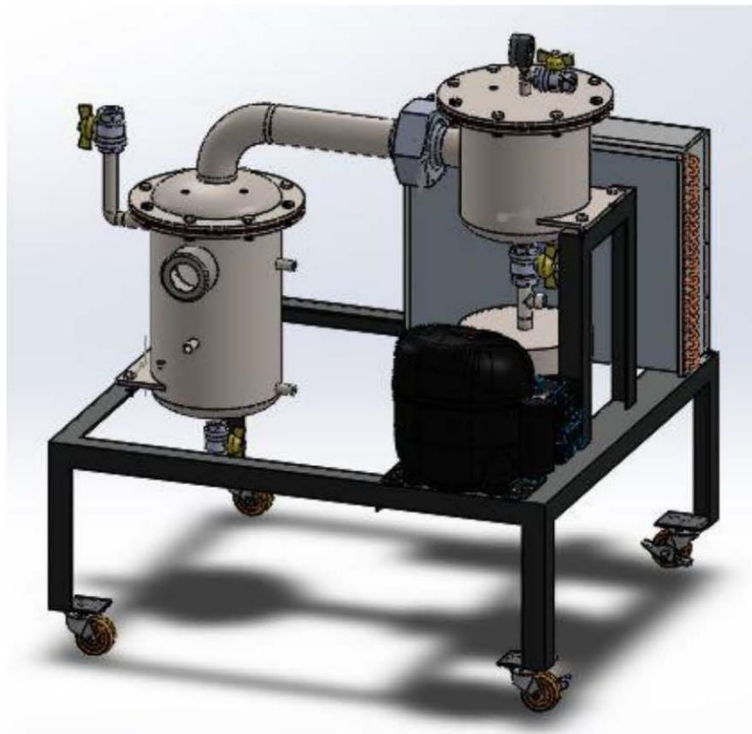
NB: En este documento el separador numérico de los miles es el "." (punto), el separador decimal es la "," (coma).

ANEXO H. MANUAL DE OPERACIÓN

PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

MANUAL DE OPERACIÓN

PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR
PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES



Bucaramanga, Santander 2014



SUBSISTEMAS

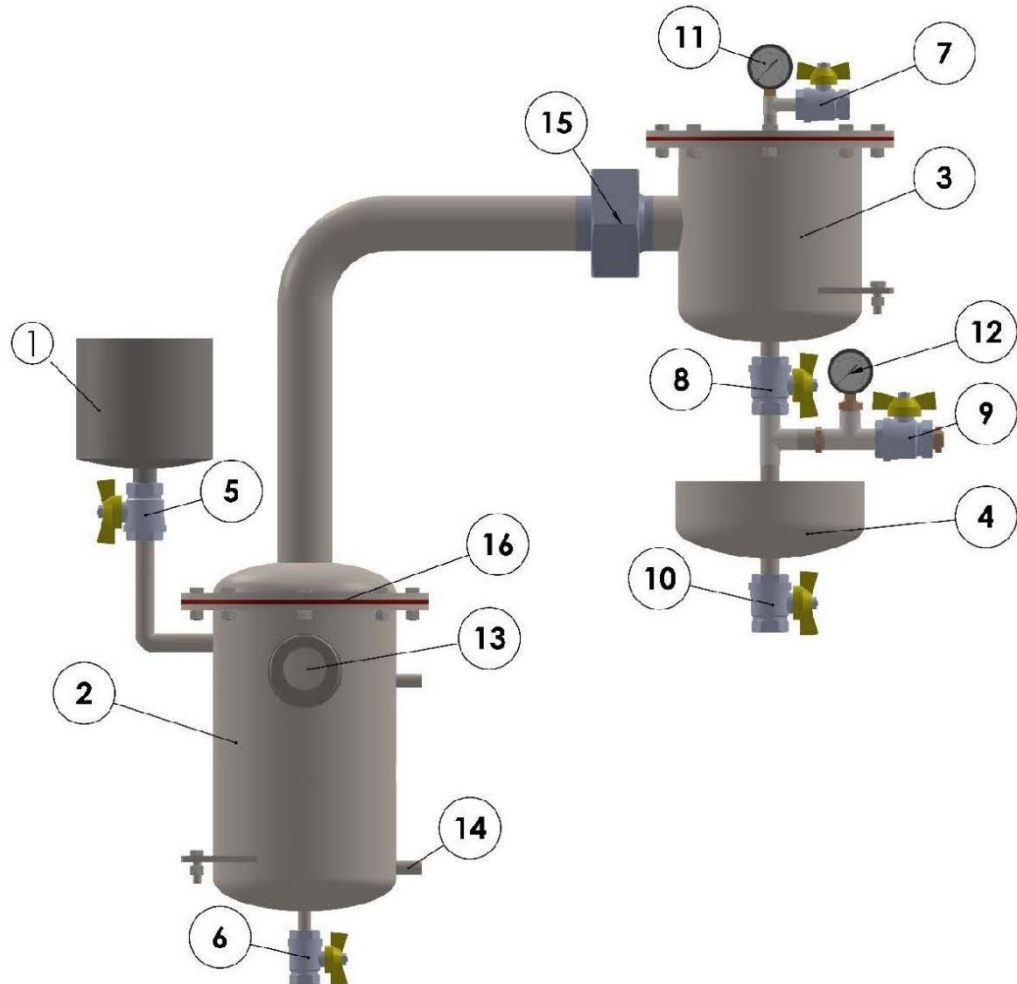
El sistema se clasifica en dos subsistemas para así lograr identificar los componentes principales y respectiva función en el sistema:

- Subsistema de evapo-condensación
En este subsistema se da la ebullición y condensación del agua, además está compuesto por un par de tanques auxiliares con una serie de válvulas que permiten el suministro de agua a procesar y extraer el agua tratada
- Subsistema de bomba de calor
Este subsistema se encarga de generar el suministro y extracción de calor al subsistema de evapo-condensación requerido para cumplir el objetivo del sistema (evaporar, condensar y concentrar el agua del proceso) a través del intercambio de calor producido en dos serpentines que están enlazados al evapo-condensador



PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

SUBSISTEMA EVAPOCONDENSACIÓN



COMPONENTES SUBSISTEMA EVAPO-CONDENSACIÓN

#	Elemento	Función	Descripción
1	Tanque de suministro	Permite almacenar el agua a recargaren el sistema.	Fabricado en acero A304, 1.5mm de espesor capacidad 1L
2	Tanque evaporador	En este tanque se almacena el agua a evaporar.	Fabricado en acero A304, 3mm de espesor, capacidad 5L
3	Tanque condensador	Contiene el serpentín que permite la condensación del vapor de agua.	Fabricado en acero A304, 3mm de espesor, capacidad 1.6L
4	Tanque de extracción	Se almacena el condensado de agua para su posterior extracción.	Fabricado en acero A304, 3mm de espesor, capacidad 1.3L
5	Válvula V1	Permite el paso de agua a tratar al tanque evaporador.	Válvula de globo NPT 3/8"
6	Válvula V2	Permite la extracción de solución concentrada del tanque evaporador.	Válvula de globo NPT 3/8"
7	Válvula V3	Válvula auxiliar empleada en el arranque del sistema para hacer vacío.	Válvula de globo NPT 3/8"



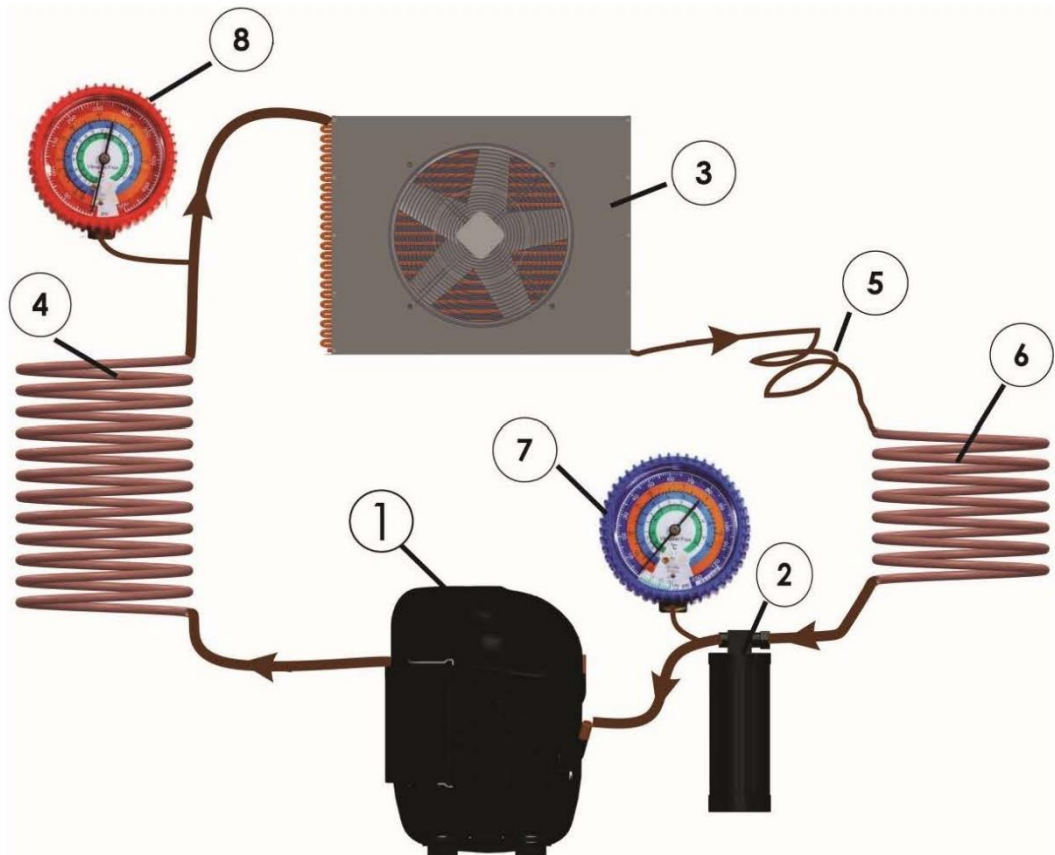
PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

8	Válvula V4	Permite separación de tanque condensador y de extracción.	Válvula de globo NPT 3/8"
9	Válvula V5	Permite conexión de bomba de vacío.	Válvula de globo NPT 3/8"
10	Válvula V6	Permite extracción de condensado.	Válvula de globo NPT 3/8"
11	Vacuómetro 1	Mide nivel de vacío en los tanques evaporador y condensador.	Rosca NPT 1/4"
12	Vacuómetro 2	Mide nivel de vacío en tanque de extracción	Rosca NPT 1/4"
13	Mirilla	Permite visualizar el nivel y comportamiento del agua en el tanque evaporador	Fabricada en acrílico de 5mm de espesor, diámetro de 54mm
14	Buje	En él se coloca termocupla para sensar temperatura de agua en evaporador	Fabricado en bronce, diámetro interno de 4mm y espesor de 1mm
15	Unión universal	Permite conexión entre tanque evaporador y condensador.	Fabricada en acero A316, rosca NPT 1 1/2"
16	Empaque brida	Garantiza un sello entre bridas y tanques para poder trabajar en vacío.	Fabricado en nitrilo rojo, diámetros interno y externo de 170 mm y 230mm y espesor 4mm



PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

SUBSISTEMA BOMBA DE CALOR



COMPONENTES SUBSISTEMA BOMBA DE CALOR

#	Elemento	Función	Descripción
1	Compresor Embraco FF12HBX	Permite elevar la presión del fluido refrigerante.	Compresor de 1/3 reforzado, para refrigerante R134a y para trabajar en aplicaciones de baja, media o alta.
2	Recipiente de líquido	Al estar instalado en la línea de succión, se encarga de evitar que vaya líquido refrigerante al compresor.	
3	Post condensador	Extrae el calor sobrante del sistema, dicho calor es el trabajo del compresor.	Ventilador de extracción de aire, 50W.
4	Condensador	Serpentín encargado de condensar el refrigerante y a la vez transferir calor al agua a tratar.	Fabricado con 10 metros de tubo de cobre de ¼ pulgada, tiene un área de 0.3166 metros cuadrados.
5	Tubo capilar	Expande el fluido refrigerante.	Tubo de cobre numero 0.064 pulgadas y una longitud de 2.1 metros.



PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

6	Evaporador	Encargado de evaporar el fluido refrigerante y condensar el vapor de agua.	Fabricado con 3.5 metros de tubo de cobre de ¼ pulgada, tiene un área de 0.111 metros cuadrados.
7	Manómetro baja	Medir presión de baja en el circuito frigorífico.	Rosca NPT 1/8" macho.
8	Manómetro alta	Medir presión de alta en el circuito frigorífico.	Rosca NPT 1/8" macho.



PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

RECOMENDACIONES GENERALES

- La máquina debe operar en un ambiente con una temperatura inferior a 35C y estar protegida de la luz solar y el agua.
- El suministro de energía debe ser únicamente a través de una red eléctrica de 110V AC.
- Verificar que los ventiladores instalados en la maquina se encuentren libres de objetos que puedan impedir su funcionamiento.
- Asegurarse de instalar la maquina en una superficie completamente plana, de lo contrario se vería afectado el funcionamiento de la misma.



OPERACIÓN DEL EQUIPO

Arranque

1. Comprobar que los frenos de las ruedas estén accionados.
2. Verificar que el tanque de condensador y el de acumulación de condensado de agua se encuentren vacíos.
3. Asegurarse de tener el tanque evaporador lleno de agua a tratar al nivel superior de la mirilla.
4. Cerrar la válvula V4 e introducir 600mL de agua limpia en el tanque condensador por la conexión de la válvula V3.
5. Cerciorarse de tener cerradas todas las válvulas excepto la válvula V3 y V5.
6. Conectar la bomba de vacío a la válvula V5 y encender la bomba hasta lograr un vacío de 62 cmHg, demora aproximadamente 30 segundos.
7. Cerrar la válvula V5, apagar y desconectar la bomba de vacío.
8. Conectar la bomba de vacío a la válvula V3 y encender la bomba hasta lograr un vacío de 62 cmHg, demora aproximadamente un minuto.
9. Conectar el equipo a la red eléctrica y encender el compresor y ventilador.



PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

10. Pasados 5 minutos de funcionamiento encender el post condensador a máxima velocidad y abrir la válvula V4.
11. Cada 30 minutos, a partir de encendido el equipo, se debe suministrar agua contaminada y extraer el agua tratada.



PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Restitución y extracción de agua

1. Cerrar válvula V4, abrir válvula V5 y V6 y recolectar el agua tratada.
2. Cerrar válvula V6, conectar bomba de vacío en la válvula V5 y encender la bomba de vacío hasta lograr un vacío de 62 cmHg, demora aproximadamente 30 segundos.
3. Cerrar válvula V5, abrir lentamente válvula V4, apagar y desconectar bomba de vacío.
4. Llenar tanque de suministro con agua a tratar.
5. Abrir lentamente la válvula V1 hasta desocupar todo el tanque de suministro.



PROTOTIPO EVAPORADOR AL VACÍO POR BOMBA DE CALOR PARA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Limpieza de los tanques

1. Desenroscar y retirar los 8 tornillos de la brida del tanque condensador.
2. Retirar la brida y empaque del tanque condensador y desenroscar la unión universal.
3. Desenroscar y retirar los 8 tornillos de la brida del tanque evaporador.
4. Retirar la brida y empaque del tanque evaporador.
5. Lavar los serpentines y el interior de los tanques, teniendo precaución de no romper los serpentines.
6. Colocar el empaque y brida del tanque evaporador, posteriormente atornillar con sus 8 tornillos y roscar la unión universal.
7. Colocar el empaque y brida del tanque condensador, posteriormente atornillar con sus 8 tornillos.



ANEXO I: RESULTADOS EXAMENES DE LABORATORIO

Informe No. 636/14 **Fecha de emisión: Julio 30 de 2014**

Solicitante – Contacto:	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - UIS – Oscar Vega
Dirección, teléfono del cliente	Calle 9 # 27, Bucaramanga – Tel:3187709954
Identificación de la muestra:	Muestra # 1
Protocolo de muestreo:	Procedimiento del Cliente
Matriz de la muestra:	Agua Residual Industrial
Lugar y punto de muestreo:	Salida del sistema de destilación al vacío
Tipo de muestra:	Puntual
Fecha y hora de muestreo:	Julio 22 de 2014 – 10:00
Muestra tomada por:	Elvira Álvarez
Fecha y hora recepción laboratorio:	Julio 22 de 2014 – 16:10
Muestras recibidas por:	Ing: Marlen Garcia
Fecha de análisis:	Julio 22 – Julio 30 de 2014

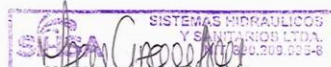
ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALÍTICO
ANALISIS FISICOQUIMICOS EN LABORATORIO			
Demanda Química de Oxígeno, DQO	mg O ₂ /L	47.8	SM 5220 C / Reflujo cerrado-Titولمétrico

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF.
 • Parámetros Acreditados: DBO₅, DQO, Grasas y Aceites, pH, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendedos totales, Sólidos totales, Calcio Disuelto, Dureza Cálctica, Dureza Total, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Conductividad Eléctrica, Muestreo simple y compuesto.

Observaciones: Ninguna.

“Este informe de resultados es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él”
Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del jefe del laboratorio

Elaborado por:



MARLEN GARCÍA ARIAS
Analista de Laboratorio
Ingeniera Química UIS- MP: 11386

Revisado y Aprobado por:



GLORIA CASTELLANOS DE PEÑA
Jefe de Laboratorio
Ingeniera Química UIS- MP: 644

FL-0031 Rev: 10 Septiembre 04 de 2013. Página 1 de 1

Sistemas Hidráulicos y Sanitarios Ltda.
Cra 30 # 31 - 35 Bucaramanga, Colombia - Sitio Web: www.sihsa.co
E-mail: info@sihsa.co - Teléfonos: +57 7 635 17 44, +57 7 645 07 56
Fax: +57 7 634 38 96
Celular: +57 320 3332345

www.sihsa.co

Informe No. 636/14 **Fecha de emisión: Julio 30 de 2014**

Solicitante – Contacto:	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - UIS – Oscar Vega
Dirección, teléfono del cliente	Calle 9 # 27, Bucaramanga – Tel:3187709954
Identificación de la muestra:	Muestra # 1
Protocolo de muestreo:	Procedimiento del Cliente
Matriz de la muestra:	Agua Residual Industrial
Lugar y punto de muestreo:	Salida del sistema de destilación al vacío
Tipo de muestra:	Puntual
Fecha y hora de muestreo:	Julio 22 de 2014 – 10:00
Muestra tomada por:	Elvira Álvarez
Fecha y hora recepción laboratorio:	Julio 22 de 2014 – 16:10
Muestras recibidas por:	Ing: Marlen Garcia
Fecha de análisis:	Julio 22 – Julio 30 de 2014

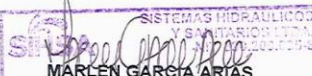
ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALÍTICO
ANALISIS FISICOQUIMICOS EN LABORATORIO			
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅	mg O ₂ /L	24.4	SM 5210 B / Incubación 5 días

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF.
 • Parámetros Acreditados: DBO₅, DQO, Grasas y Aceites, pH, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendedos totales, Sólidos totales, Calcio Disuelto, Dureza Cálrica, Dureza Total, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Conductividad Eléctrica, Muestreo simple y compuesto.

Observaciones: Ninguna.

“Este informe de resultados es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él”
Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del jefe del laboratorio

Elaborado por:



MARLEN GARCIA ARTAS
Analista de Laboratorio
Ingeniera Química UIS -MP- 11386

Revisado y Aprobado por:



GLORIA CASTELLANOS DE PEÑA
Jefe de Laboratorio
Ingeniera Química UIS -MP- 644

FL-0031 Rev: 10 Septiembre 04 de 2013. Página 1 de 1

Sistemas Hidráulicos y Sanitarios Ltda.
Cra 30 # 31 - 35 Bucaramanga, Colombia - Sitio Web: www.sihsa.co
E-mail: info@sihsa.co - Teléfonos: +57 7 635 17 44, +57 7 645 07 56
Fax: +57 7 634 38 96
Celular: +57 320 3332345

www.sihsa.co

Informe No. 636/14 **Fecha de emisión: Julio 30 de 2014**

Solicitante – Contacto:	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - UIS – Oscar Vega
Dirección, teléfono del cliente	Calle 9 # 27, Bucaramanga – Tel:3187709954
Identificación de la muestra:	Muestra # 1
Protocolo de muestreo:	Procedimiento del Cliente
Matriz de la muestra:	Agua Residual Industrial
Lugar y punto de muestreo:	Salida del sistema de destilación al vacío
Tipo de muestra:	Puntual
Fecha y hora de muestreo:	Julio 22 de 2014 – 10:00
Muestra tomada por:	Elvira Álvarez
Fecha y hora recepción laboratorio:	Julio 22 de 2014 – 16:10
Muestras recibidas por:	Ing: Marlen Garcia
Fecha de análisis:	Julio 22 – Julio 30 de 2014

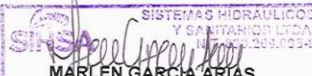
ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALÍTICO
ANALISIS FISICOQUIMICOS EN LABORATORIO			
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<5*	SM 2540 D / Gravimétrico

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF.
 • Parámetros Acreditados: DBO₅, DQO, Grasas y Aceites, pH, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendidos totales, Sólidos totales, Calcio Disuelto, Dureza Cálctica, Dureza Total, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Conductividad Eléctrica, Muestreo simple y compuesto.

Observaciones: * Limite de Detección del método

"Este informe de resultados es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él"
 Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del jefe del laboratorio

Elaborado por:



MARLEN GARCIA ARIAS
Analista de Laboratorio
Ingeniera Química UIS- MP- 11386

Revisado y Aprobado por:



GLORIA CASTELLANOS DE PEÑA
Jefe de Laboratorio
Ingeniera Química UIS- MP- 644

FL-0031 Rev: 10 Septiembre 04 de 2013. Página 1 de 1

Sistemas Hidráulicos y Sanitarios Ltda.
 Cra 30 # 31 - 35 Bucaramanga, Colombia - Sitio Web: www.sihsa.co
 E-mail: info@sihsa.co - Teléfonos: +57 7 635 17 44, +57 7 645 07 56
 Fax: +57 7 634 38 96
 Celular: +57 320 3332345

www.sihsa.co

Informe No. 636/14

Fecha de emisión: Julio 30 de 2014

Solicitante – Contacto:	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - UIS – Oscar Vega
Dirección, teléfono del cliente	Calle 9 # 27, Bucaramanga – Tel:3187709954
Identificación de la muestra:	Muestra # 1
Protocolo de muestreo:	Procedimiento del Cliente
Matriz de la muestra:	Agua Residual Industrial
Lugar y punto de muestreo:	Salida del sistema de destilación al vacío
Tipo de muestra:	Puntual
Fecha y hora de muestreo:	Julio 22 de 2014 – 10:00
Muestra tomada por:	Elvira Álvarez
Fecha y hora recepción laboratorio:	Julio 22 de 2014 – 16:10
Muestras recibidas por:	Ing: Marlen Garcia
Fecha de análisis:	Julio 22 – Julio 30 de 2014


ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALÍTICO
ANALISIS FISICOQUIMICOS EN LABORATORIO			
Substancias Flotantes	---	Ausentes	Método Visual

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF.
 • Parámetros Acreditados: DBO₅, DQO, Grasas y Aceites, pH, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendedos totales, Sólidos totales, Calcio Disuelto, Dureza Cálcica, Dureza Total, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Conductividad Eléctrica, Muestreo simple y compuesto.

Observaciones: Ninguna.

“Este informe de resultados es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él”
 Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del jefe del laboratorio

Elaborado por:



MARLEN GARCIA ARIAS
Analista de Laboratorio
Ingeniera Química UIS- MP- 14386

Revisado y Aprobado por:



GLORIA CASTELLANOS DE PEÑA
Jefe de Laboratorio
Ingeniera Química UIS- MP- 647

FL-0031 Rev: 10 Septiembre 04 de 2013. Página 1 de 1

Sistemas Hidráulicos y Sanitarios Ltda.
 Cra 30 # 31 - 35 Bucaramanga, Colombia - Sitio Web: www.sihsa.co
 E-mail: info@sihsa.co - Teléfonos: +57 7 635 17 44, +57 7 645 07 56
 Fax: +57 7 634 38 96
 Celular: +57 320 3332345

www.sihsa.co

Informe No. 636/14

Fecha de emisión: Julio 30 de 2014

Solicitante – Contacto:	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - UIS – Oscar Vega
Dirección, teléfono del cliente	Calle 9 # 27, Bucaramanga – Tel:3187709954
Identificación de la muestra:	Muestra # 1
Protocolo de muestreo:	Procedimiento del Cliente
Matriz de la muestra:	Agua Residual Industrial
Lugar y punto de muestreo:	Salida del sistema de destilación al vacío
Tipo de muestra:	Puntual
Fecha y hora de muestreo:	Julio 22 de 2014 – 10:00
Muestra tomada por:	Elvira Álvarez
Fecha y hora recepción laboratorio:	Julio 22 de 2014 – 16:10
Muestras recibidas por:	Ing: Marlen Garcia
Fecha de análisis:	Julio 22 – Julio 30 de 2014


ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALÍTICO
ANALISIS FISICOQUIMICOS EN LABORATORIO			
Grasas y aceites	mg/L	<10*	SM 5520 B / Gravimétrico

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF.
 • Parámetros Acreditados: DBO₅, DQO, Grasas y Aceites, pH, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendedos totales, Sólidos totales, Calcio Disuelto, Dureza Cálcica, Dureza Total, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Conductividad Eléctrica, Muestreo simple y compuesto.

Observaciones: * Limite de Detección del método

“Este informe de resultados es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él”
Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del jefe del laboratorio

Elaborado por:



MARLEN GARCÍA ARIAS
Analista de Laboratorio
Ingeniera Química UIS-MP. 41386

Revisado y Aprobado por:



GLORIA CASTELLANOS DE PEÑA
Jefe de Laboratorio
Ingeniera Química UIS-MP. 644

FL-0031 Rev: 10 Septiembre 04 de 2013. Página 1 de 1

Sistemas Hidráulicos y Sanitarios Ltda.
Cra 30 # 31 - 35 Bucaramanga, Colombia - Sitio Web: www.sihsa.co
E-mail: info@sihsa.co - Teléfonos: +57 7 635 17 44, +57 7 645 07 56
Fax: +57 7 634 38 96
Celular: +57 320 3332345

www.sihsa.co

Informe No. 636/14

Fecha de emisión: Julio 30 de 2014

Solicitante – Contacto:	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - UIS – Oscar Vega
Dirección, teléfono del cliente	Calle 9 # 27, Bucaramanga – Tel:3187709954
Identificación de la muestra:	Muestra # 1
Protocolo de muestreo:	Procedimiento del Cliente
Matriz de la muestra:	Agua Residual Industrial
Lugar y punto de muestreo:	Salida del sistema de destilación al vacío
Tipo de muestra:	Puntual
Fecha y hora de muestreo:	Julio 22 de 2014 – 10:00
Muestra tomada por:	Elvira Álvarez
Fecha y hora recepción laboratorio:	Julio 22 de 2014 – 16:10
Muestras recibidas por:	Ing: Marlen Garcia
Fecha de análisis:	Julio 22 – Julio 30 de 2014

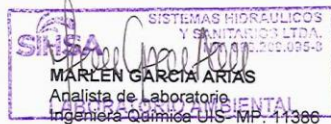
ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALÍTICO
ANALISIS FISICOQUIMICOS EN LABORATORIO			
Fenoles	mg/L	0.01	SM 5530 C/ Espectrofotométrico

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF.
 • Parámetros Acreditados: DBO₅, DQO, Grasas y Aceites, pH, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendedos totales, Sólidos totales, Calcio Disuelto, Dureza Cálrica, Dureza Total, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Conductividad Eléctrica, Muestreo simple y compuesto.

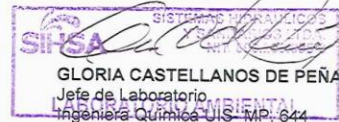
Observaciones: Ninguna.

"Este informe de resultados es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él"
 Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del jefe del laboratorio

Elaborado por:



Revisado y Aprobado por:



FL-0031 Rev: 10 Septiembre 04 de 2013. Página 1 de 1

Sistemas Hidráulicos y Sanitarios Ltda.
 Cra 30 # 31 - 35 Bucaramanga, Colombia - Sitio Web: www.sihsa.co
 E-mail: info@sihsa.co - Teléfonos: +57 7 635 17 44, +57 7 645 07 56
 Fax: +57 7 634 38 96
 Celular: +57 320 3332345

www.sihsa.co

Informe No. 636/14 **Fecha de emisión: Julio 30 de 2014**

Solicitante – Contacto:	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER - UIS – Oscar Vega
Dirección, teléfono del cliente	Calle 9 # 27, Bucaramanga – Tel:3187709954
Identificación de la muestra:	Muestra # 1
Protocolo de muestreo:	Procedimiento del Cliente
Matriz de la muestra:	Agua Residual Industrial
Lugar y punto de muestreo:	Salida del sistema de destilación al vacío
Tipo de muestra:	Puntual
Fecha y hora de muestreo:	Julio 22 de 2014 – 10:00
Muestra tomada por:	Elvira Álvarez
Fecha y hora recepción laboratorio:	Julio 22 de 2014 – 16:10
Muestras recibidas por:	Ing: Marlen Garcia
Fecha de análisis:	Julio 22 – Julio 30 de 2014

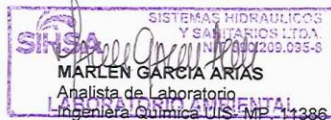
ANALISIS	UNIDADES	RESULTADO	METODO ANALÍTICO
ANALISIS FISICOQUIMICOS EN LABORATORIO			
Tensoactivos	mg/L	0.01	SM 5540 C/ Espectrofotométrico

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Edition, 2005, APHA, AWWA, WEF.
 • Parámetros Acreditados: DBO₅, DQO, Grasas y Aceites, pH, Sólidos Disueltos Totales, Sólidos Suspendedos totales, Sólidos totales, Calcio Disuelto, Dureza Cálctica, Dureza Total, Alcalinidad, Cloruros, Sulfatos, Conductividad Eléctrica, Muestreo simple y compuesto.

Observaciones: Ninguna.

“Este informe de resultados es válido únicamente para las muestras analizadas y relacionadas en él!”
Prohibida su reproducción parcial sin la autorización del jefe del laboratorio

Elaborado por:



Revisado y Aprobado por:



FL-0031 Rev: 10 Septiembre 04 de 2013. Página 1 de 1

Sistemas Hidráulicos y Sanitarios Ltda.
 Cra 30 # 31 - 35 Bucaramanga, Colombia - Sitio Web: www.sihsa.co
 E-mail: info@sihsa.co - Teléfonos: +57 7 635 17 44, +57 7 645 07 56
 Fax: +57 7 634 38 96
 Celular: +57 320 3332345

www.sihsa.co