



Propuesta trabajo de grado para  
optar por el título de Ingeniero  
Mecánico

Código

1.2 00

Página

1 de 57

# **DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMEDAD DEL AIRE.**

**Autora**

**JESSICA JOHANA HENAO DAZA**

**Director**

**SIMÓN FIGUEROA SALGADO**

**Doctor Ingeniero industrial**

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL**

**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**PAMPLONA, 2017**



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	2 de 57

# **DISEÑO Y MODELADO DE UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE HUMEDAD DEL AIRE.**

Autor

**JESSICA JOHANA HENAO DAZA**  
[johanahenao1192@gmail.com](mailto:johanahenao1192@gmail.com)  
**1094270223**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**INGENIERO MECÁNICO**

Director

**SIMÓN FIGUEROA SALGADO**  
Doctor Ingeniero industrial  
[figueroa@ula.ve](mailto:figueroa@ula.ve)

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL**  
**FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**  
**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
**PAMPLONA, 2017**



Trabajo de grado para optar por el  
título de Ingeniero Mecánico

**Código**

1.1 01

**Página**

**4 de 57**

## **DEDICATORIA**

*Este proyecto se lo dedico a mi familia y a todas esas personas que han aportado un grano de arena a mi vida.*

*Muchas gracias a todos ustedes.*



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	5 de 57

## RESUMEN

La sociedad actual acarrea problemas ambientales, consecuentes del consumismo humano que en los últimos años ponen en riesgo la salud y calidad de vida de las poblaciones. En esta época vemos como el efecto invernadero y la contaminación deprimen el progreso y el desarrollo integral de la sociedad, como consecuencia a estos cambios climáticos, diferentes organismos de control luchan día a día, por contrarrestar las pérdidas que se generan en inundaciones y sequías.

En el territorio Colombiano en particular, vemos como las zonas costeras han sido las más afectadas en los últimos años. Para ser más específico en el alta Guajira ocurre el fenómeno del niño con mayor frecuencia, donde se producen largas sequías a través del año, que ha incrementado la mortandad humana por inanición y deshidratación. Puesto que en esta sección del país se dispone de gran riqueza eólica, dado a esto su uso para accionar un sistema de extracción de humedad (producción de agua) es conveniente, y constituye una solución para mejorar su calidad de vida.

En este proyecto se diseña un sistema que toma el aire del medio y lo conduce a través de una carcasa de área decreciente que produce por efecto Venturi, un incremento de la velocidad del aire. La energía cinética del aire es utilizada para generar energía eléctrica mediante dos turbinas; dicha energía alimenta un sistema de refrigeración por compresión de vapor que extrae el calor del aire que ha pasado a través de los aerogeneradores, llevándolo a su punto de rocío. El agua condensada pasa a través de unas cámaras de carbón activado y de rayos UV para su potabilización, a medida que va fluyendo al tanque de almacenamiento.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	6 de 57

## TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos

Resumen

Lista de símbolos

Introducción

CAPÍTULO 1 .....	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.2.1 Objetivo General.....	12
1.2.2 Objetivos Específicos.....	12
1.3 JUSTIFICACION .....	12
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	13
1.4.1 Alcances.....	13
1.4.2 Limitaciones.....	13
CAPÍTULO 2 .....	14
ESTADO DEL ARTE .....	14
2.1 ANTECEDENTES .....	14
2.1.1 Teóricos.....	15
2.1.1.1 Ficarra (2015).....	15
2.1.1.2 Gómez (2011) .....	15
2.1.2 De campo .....	16
2.1.2.1 Gutiérrez (2010).....	16
2.1.2.2 Bautista (2008).....	17
2.1.2.3 Eolewater.....	17



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	7 de 57

2.1.2.4 Acuplant- Ambrosio (2015) ..... 18

2.2 MARCO TEÓRICO ..... 20

2.2.1 CONDENSACIÓN ..... 20

2.2.1.1 Obtención de agua por condensación, psicrometría ..... 20

2.2.2.2 Carbón activado para la purificación de agua ..... 23

2.2.3 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN ..... 23

2.2.4 ENERGÍA EÓLICA ..... 24

CAPÍTULO 3 ..... 34

DISEÑO ..... 34

3.1 CAUDAL DE AIRE ..... 35

3.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN ..... 37

3.3 SELECCIÓN DE LAS TURBINAS ..... 42

3.4 Espesor de la carcasa exterior y del fondo ..... 45

CAPÍTULO 4 ..... 52

MATERIALES Y COSTOS ..... 52

4.1 MATERIALES ..... **¡Error! Marcador no definido.**

CAPÍTULO 4 ..... 56

CONCLUSIONES ..... 56

CAPÍTULO 5 ..... 57

BIBLIOGRAFÍA ..... 57

A. PLANOS

BIBLIOGRAFÍA



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	<b>Código</b>	1.1 01
	<b>Página</b>	8 de 57

### LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2.1 Características mecánicas de algunos aceros.....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 2.2 Factores de soldadura para AISI 304.....</b>	<b>32</b>



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	<b>Código</b>	1.1 01
	<b>Página</b>	9 de 57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Panel publicitario .....	14
Figura 2.2 Torre de extracción de humedad .....	15
Figura 2.3 Condensador cónico .....	16
Figura 2.4 Partes del higroman .....	17
Figura 2.5 Turbina WMS1000 .....	17
Figura 2.6 Acuaplant .....	19
Figura 2.7 Tabla psicrométrica a nivel del mar .....	21
Figura 2.8 Tanque de rayos UV .....	23
Figura 2.9 Ecuación de Bernoulli .....	25
Figura 2.10 Ley de continuidad .....	26
Figura 2.11 Tipos de tensiones .....	28
Figura 2.12 Tipos de uniones, E. ....	29
Figura 3.1 Esquema del sistema de extracción.....	34
Figura 3.2 Ley de continuidad.....	36
Figura 3.3 Condiciones ambientales.....	37
Figura 3.5 Sistema de purificación.....	42
Figura 3.6 Vetar 15.....	44
Figura 3.7 Carcasa del sistema de refrigeración .....	45
Figura 3.7 Fondo plano .....	46
Figura 3.8 Partes de la carcasa .....	47
Figura 3.9 Tanque de almacenamiento de agua .....	48



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	<b>Código</b>	1.1 01
	<b>Página</b>	<b>10 de 57</b>

## INTRODUCCION

En vista de los problemas ambientales cada vez más notables y con el deterioro progresivo de los recursos naturales, son necesarias políticas de control en el desarrollo industrial, así como la implementación de nuevas tecnologías de desarrollo-sostenible, que generen impacto positivo en el medio o que causen el menor daño al mismo.

El uso de las energías renovables para sustituir el uso de los combustibles fósiles, implica tecnologías con mayor costo, con mano de obra especializada; que representará una disminución de los problemas ambientales y por costos generados en procesos industriales.

Este proyecto está enfocado hacia dos objetivos el principal es la extracción de agua a partir de la humedad presente en el ambiente y el segundo al diseño de la fuente de energía auto sostenible encargada de extraer el recurso del medio.

Como bien sabemos, Colombia es un país de gran riqueza hídrica, pero su distribución no es homogénea en todo el territorio. Algunas zonas como el Caribe y parte de la Orinoquía y los Andes, presentan déficit del recurso para uso doméstico. El consumo de agua es vital y un derecho de todo ser vivo. (Plaza, 2016)

En el proyecto se intenta generar el diseño, modelado y los planos de construcción de un sistema eólico-condensante para la extracción de humedad de la atmosfera.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	11 de 57

## CAPÍTULO 1

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El déficit de agua potable en algunas regiones se debe a la ausencia de fuentes hídricas, a la contaminación o la falta de plantas de tratamiento de agua. Otro factor que limita el acceso del agua potable son los desastres naturales; Colombia es un país tropical que ha sido afectado por algunos fenómenos climáticos como inundaciones o largas temporadas de sequía, acarreado pérdidas de cultivos, ganado, muerte por deshidratación e inanición, entre otras.

El agua es un derecho que todo ser humano tiene por igual, debe ser apta para el consumo para el desarrollo social e industrial. Se ha evidenciado que el consumo de agua potable genera una mejor calidad de vida y por ende promueve el desarrollo y la productividad del país, teniendo en cuenta esto, se buscan medidas para proteger y hacer accesible el agua como derecho.

Generar agua no es posible, pero extraerla del ambiente o potabilizarla son opciones viables para las regiones de bajo potencial hídrico.

Estas regiones mayormente afectadas, son zonas no interconectadas (ZNI), la falta de energía eléctrica estable conlleva a la deficiencia de una vida digna, ya que son pocas las herramientas disponibles para el desarrollo de estas comunidades. Este proyecto pretende la extracción de agua para suplir la necesidad de agua potable por medio de un sistema auto-sostenible. Por ende es óptimo para estas regiones puesto que sobrepasa las limitaciones eléctricas generando un recurso hídrico estable.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	12 de 57

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 *Objetivo General*

Diseñar y modelar un sistema de extracción de humedad del aire.

### 1.2.2 *Objetivos Específicos*

- Diseñar del sistema de extracción de humedad.
- Modelar el funcionamiento del sistema.
- Elaborar los planos de construcción del sistema.

## 1.3 JUSTIFICACION

Se diseñará un sistema de extracción de humedad del aire, que autogenerará la energía eléctrica necesaria para su funcionamiento por medio de una turbina eólica. La extracción del agua a partir de la humedad es una gran alternativa para llevar agua a los hogares con bajo acceso a este recurso natural. El diseño de este sistema va dirigido especialmente a zonas no interconectadas y a las regiones con bajo potencial hídrico.

Es necesario suplir las necesidades del ser humano y la preservación del ambiente, es obligatorio el desarrollo pero sin dañar el planeta, por lo tanto el uso de las energías renovables son de gran importancia en este proyecto que busca mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en regiones de recursos nulos y preservar el medio ambiente.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	<b>Código</b>	1.1 01
	<b>Página</b>	<b>13 de 57</b>

## 1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

### 1.4.1 Alcances

Diseñar el sistema de extracción y elaborar los planos para futura construcción

### 1.4.2 Limitaciones

- Por factor económico no se realizará la construcción del sistema.
- El método de extracción de agua es muy limitado para grandes comunidades o para el uso en la parte industrial, por lo tanto no se encuentra mucha información científica.

Fuentes de información:

- ✓ Science direct
- ✓ Library Genesis
- ✓ Scopus
- ✓ McGraw- hill
- ✓ Google academico
- ✓ Biblioteca unipamplona



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	14 de 57

## CAPÍTULO 2

### ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 ANTECEDENTES

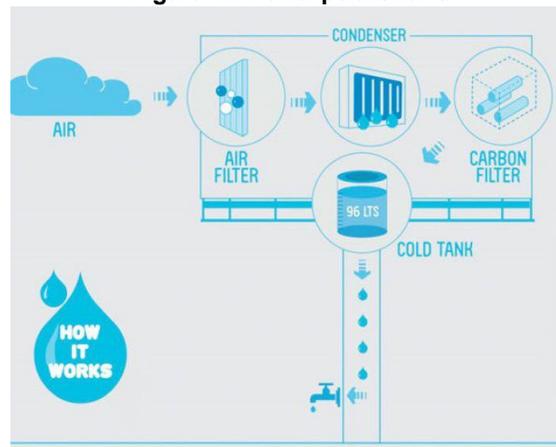
Se observa que aunque la tierra es un planeta donde dos de las terceras partes es agua, existen muchos lugares donde escasea.

El agua que usamos para el consumo usualmente se obtiene de ríos, pozos, pantanos y desalinizadoras. Actualmente la posibilidad de obtener agua a partir de la humedad del aire es una opción que están implementando en varias culturas.

Condensar el vapor de agua del ambiente requiere una gran cantidad de energía, el uso de la energía eólica será el encargado de alimentar nuestro sistema de refrigeración. Se pretende condensar 600 litros diarios de agua para suplir las necesidades básicas de una comunidad Wayuu.

Proyectos como el panel de anuncios en Perú que genera 3000 litros de agua al mes demuestra que la ingeniería hace posible la obtención de agua por condensación, pero siendo necesario el desarrollo de sistemas más eficientes y sostenibles. Como los mencionados a continuación:

Figura 1.1 Panel publicitario





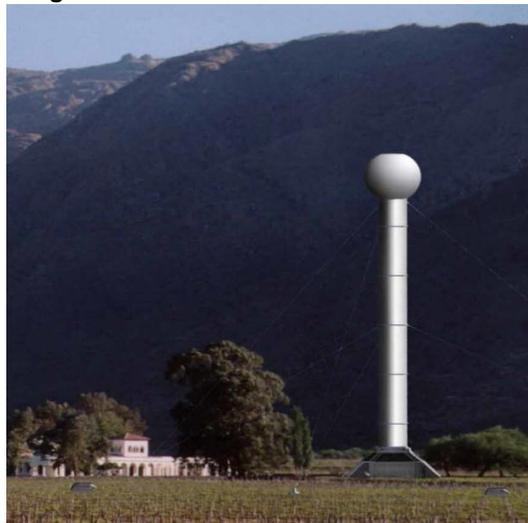
Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	15 de 57

## 2.1.1 Teóricos

### 2.1.1.1 Ficarra (2015)

Un sistema autónomo libre del uso de energías convencionales, capaz de concentrar la humedad del medio ambiente, perdurable en el tiempo sin necesidad de mantenimientos periódicos, que pueda ser implantado en cualquier condición, para abastecer a comunidades de agua potable. En este trabajo se diseñó una torre de condensación atmosférica compuesta de una estructura de  $10.000 m^2$  de espacio mínimo para su funcionamiento, instalándose en ese espacio entre 1 y 3 torres. Un sistema de extracción de humedad presenta alta eficiencia al sobrepasar alturas de 15 y 20 metros del suelo ya que las velocidades del aire son mayores y la humedad relativa de la zona sea mayor a 70%. (Ficarra, 2015)

**Figura 2.2 Torre de extracción de humedad**



Fuente. Torre de extracción de humedad

Fuente videográfica: [https://www.youtube.com/watch?v=EWzJZhlIO\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=EWzJZhlIO_A)

### 2.1.1.2 Gómez (2011)

En este proyecto se realizó un estudio para tratar de obtener agua a partir de la condensación de vapor atmosférico, empleando una célula de efecto Peltier. Se realizó



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	16 de 57

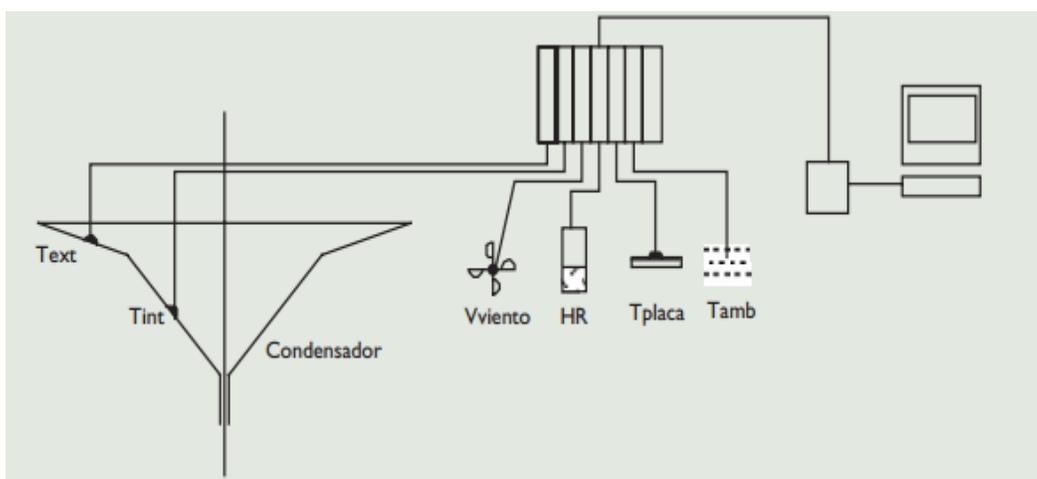
un estudio mediante las células de Peltier para mantener la cara fría hasta el punto de rocío, el sistema de refrigeración que consta de un ventilador y un disipador, no fue suficiente para que la célula mantuviera la temperatura de rocío. De los datos obtenidos en la investigación se sugiere la célula de Peltier como sistema de refrigeración para temperaturas bajas ya que tiene funcionamiento sencillo, su costo es bajo y no emiten contaminantes. (Gómez, 2011)

## 2.1.2 De campo

### 2.1.2.1 Gutiérrez (2010)

Diseño, construcción y ensayo de un sistema de condensación de la humedad atmosférica. Se construyó un aparato en forma cónica para extraer el agua de la atmosfera condensando el vapor de agua del aire, la dificultad de conseguir la temperatura de rocío justificó el análisis de la geometría del condensador. Los condensadores deben disminuir su temperatura hasta que sea menor que la temperatura de rocío para conseguir la condensación lo cual presenta dificultad en los climas áridos o semiáridos. (Gutiérrez, 2010)

Figura 3.3 Condensador cónico



Fuente: [http://www.revista-anales.es/web/n\\_3/pdf/seccion\\_10.pdf](http://www.revista-anales.es/web/n_3/pdf/seccion_10.pdf)

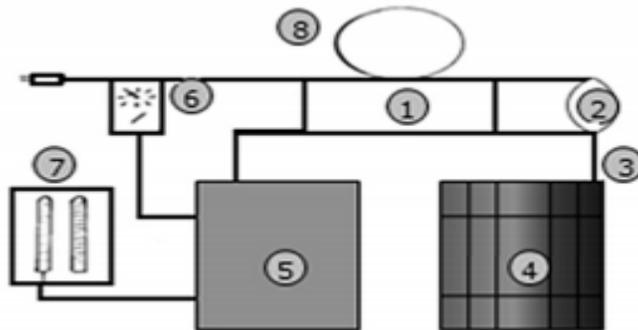


Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	17 de 57

### 2.1.2.2 *Bautista (2008)*

Humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico. Estudio de una fuente de abasto de agua mediante la captación por condensación de humedad atmosférica con el prototipo higromán CP-HI-03, que induce las condiciones a la temperatura de rocío. A temperaturas mayores a 0° se logra la condensación de la humedad, mientras que al disminuir demasiado la temperatura del condensador hasta ser menor de 0° se sublima. (Olivas, 2008)

Figura 4.4 Partes del higroman

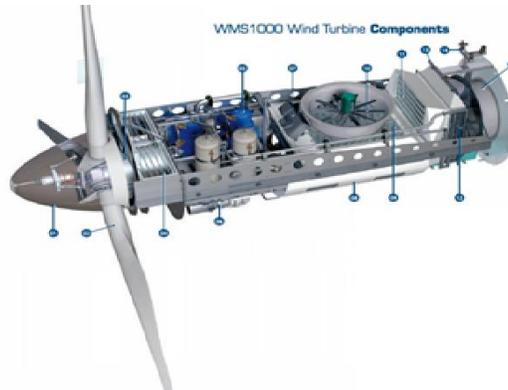


Fuente: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n3/v45n3a3.pdf>

### 2.1.2.3 *Eolewater*

Turbina eólica WMS1000. Eolewater es la empresa creadora de una tecnología innovadora capaz de extraer agua potable de la humedad. Creando un sistema de condensación de un metro de ancho y cinco kilómetros de largo, generando 1500 litros de agua al día. La turbina ha sido diseñada para producir agua sin ninguna fuente de alimentación externa. Con una capacidad instalada de 30 Kw utiliza el aire como fuente de energía. (Parent, s.f.)

Figura 5.5 Turbina WMS1000



Fuente: <http://www.eolewater.com/gb/our-products/range.html>

Fuente videográfico: <https://www.youtube.com/watch?v=zhe4jDwFAY&feature=youtu.be>

#### 2.1.2.4 Acuaplant- Ambrosio (2015)

Acuaplant es una máquina que mediante un sistema de ventiladores succiona aire y condensa la humedad del aire, después de volverla líquida, el agua pasa por unos filtros de carbón activado y ultravioleta para que se apta para el consumo humano. La máquina genera entre 15 y 2000 litros de agua diarios.

Ventajas:

- ✓ Modelos escalables y adaptables
- ✓ Portabilidad: Acuaplant puede ser llevado a lugares de difícil acceso y en condiciones ambientales adversas.
  
- ✓ Oportunidad: Produce agua de manera casi inmediata
- ✓ No consume las reservas acuíferas del subsuelo. (Ambrosio, 2015)



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Código

1.1 01

Página

19 de 57



Figura 6.6 Acuapl

Fuente: <http://www.acuapant.com/>

Fuente videografica: <http://noticiasunolaredindependiente.com/2015/07/12/noticias/asi-funciona-la-maquina-que-extrae-agua-del-aire/>



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	20 de 57

## 2.2 MARCO TEÓRICO

La escasez de agua es la mayor complicación que sufre el planeta actualmente, a medida que sube la temperatura por causa del cambio climático.

En cuanto el planeta esta constituido mayormente por agua, se encuentra que el 97,5% está en los oceanos y no es consumible para el ser humano. Puesto que el agua consumible cada vez es mas escasa, se buscan medios para potabilizar y generar agua apta para el consumo.

A cerca de estos métodos de obtención de agua encontramos algunos como la desalinización cuyo proceso es la eliminación de sal, del agua de mar o aguas salobres, otro proceso como la osmosis inversa la cual se utiliza para eliminar contaminantes del agua, reduciendo concentraciones de nitratos y nitritos, y el método de condensación por humedad, cuyo sistema es costoso pero eficaz en condiciones extremas como desiertos o sitios inaccesibles. (<http://naturatips.com/agua/el-agua/>)

### 2.2.1 CONDENSACIÓN

La condensación es el proceso físico en el cual una sustancia gaseosa pasa a su fase líquida. La condensación es un proceso energético donde se libera energía para enfriar un gas hasta su punto de rocío, este punto de rocío también se alcanza con la variación de la presión del gas.

#### 2.2.1.1 Obtención de agua por condensación, psicrometría

La carta psicométrica es una gráfica contentiva de las propiedades del aire, tales como las temperaturas, humedad absoluta, relativa, volumen, presión, entre otras. Son utilizadas para determinar cómo varían estas propiedades cuando se producen procesos de calentamiento y enfriamiento, esta información es de vital importancia para conocer el mecanismo que lleva al agua a condensarse.

Cuando la temperatura es tal que la presión de saturación del agua iguala a la presión parcial del vapor de agua en la mezcla, se condensa la primera gota. A esta temperatura se le llama punto de rocío.

Dicho esto, se definen las variables de la mezcla para poder calcular sus propiedades termodinámicas, será necesario especificar tres variables T, P y cantidad de vapor. Estas se pueden expresar de las siguientes formas:



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	<b>Código</b>	1.1 01
	<b>Página</b>	<b>21 de 57</b>

➤ **Humedad absoluta**

$$x = m_{vapor} / m_{aire\ seco}$$

- **Humedad relativa:** Relación entre la presión parcial del agua y la presión de saturación a esa misma P y T.

$$HR = \frac{P_v(T, P, X)}{P_{sat}(P, T)}$$

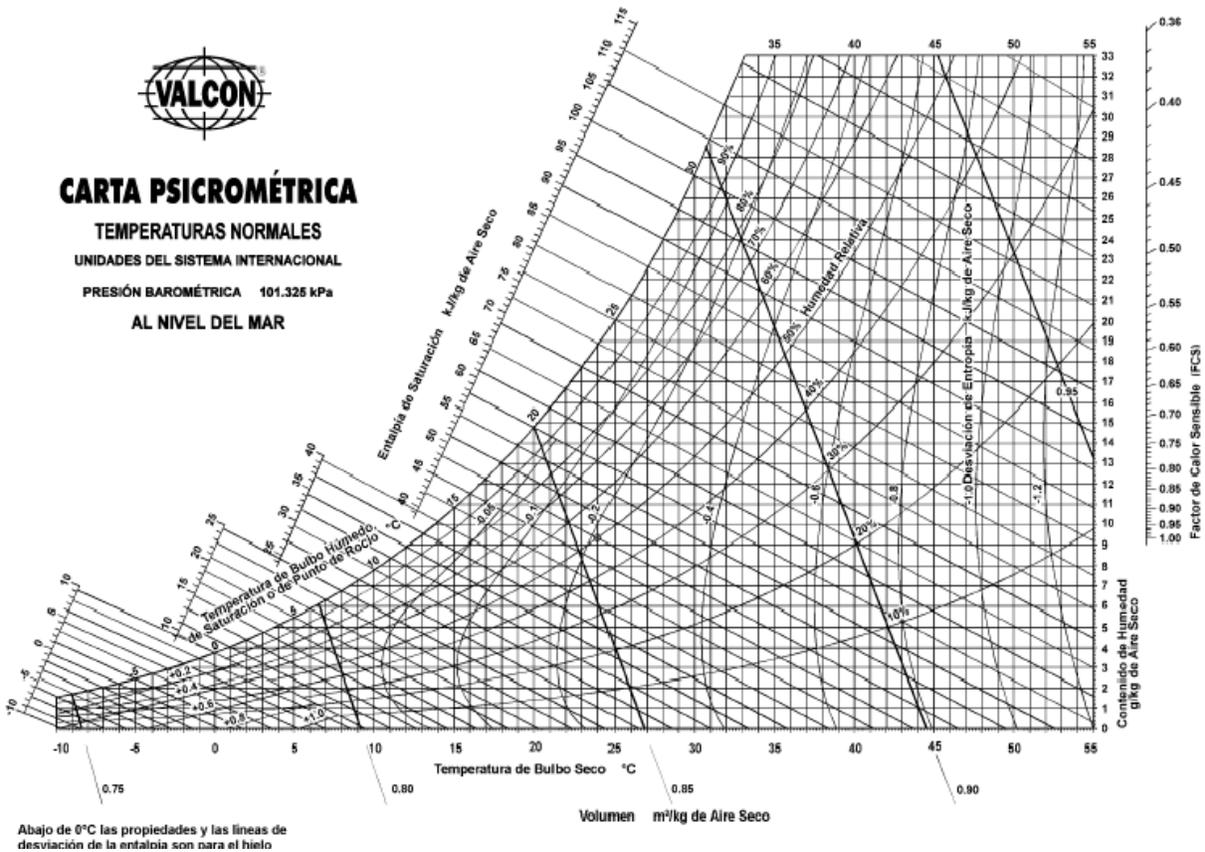
Con estos valores se puede hallar cualquier característica del aire húmedo, como el volumen específico o la entalpía específica, teniendo en cuenta que se toma el aire con el modelo de gas ideal.

El uso de la carta se usa para determinar las propiedades de una muestra de aire, pero también se utiliza para calcular cargas térmicas en este caso se usa para determinar el enfriamiento y deshumidificación de una muestra de aire.

**Enfriamiento de aire:** Para el enfriamiento de aire desde condiciones ambientales hasta las adecuadas a nuestro sistema, es necesario la remoción de calor.

**Deshumidificación:** Es la remoción del vapor de agua presente en el aire.

**Figura 7.7** Tabla psicrométrica a nivel del mar



## 2.2.2 AGUA POTABLE

### 2.2.2.1 Rayos U.V para la purificación de agua

La luz ultravioleta es una alternativa de desinfección al uso de cloro y ozono en muchas aplicaciones para el tratamiento de aguas potables y residuales. Los sistemas de tratamiento mediante luz ultravioleta garantizan la eliminación de agentes patógenos entre el 99,90 y 99,99%. Es necesario que se elimine casi totalmente la turbiedad del agua para que la luz ultravioleta atraviese el flujo a tratar.

La luz UV no modifica las propiedades del agua como hacen otros procesos químicos; es un proceso de desinfección limpio, seguro y efectivo.

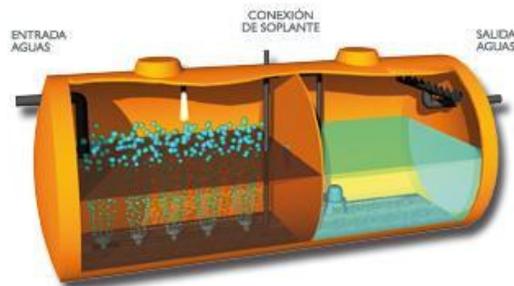
Su acción germicida se realiza en segundos o en fracción de estos.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	23 de 57

Para el diseño o selección efectivo de los purificadores ultravioleta es importante usar un equipo para flujo o volumen de agua específico.(Sistemas ultravioleta 4 )

**Figura 8.8 Tanque de rayos UV**



Fuente: [www.agroterra.com](http://www.agroterra.com)

### **2.2.2.2 Carbón activado para la purificación de agua**

La filtración por carbón activado se emplea para el tratamiento de aguas, debido a su capacidad de adsorción de varios elementos. Es un material poroso, preparado para la carbonización y activación de materiales orgánicos.

Su funcionamiento es sencillo, el agua se introduce por la parte superior de una columna que contiene el carbón activo para que, mediante la acción de la gravedad o una presión artificial, circule hacia abajo y se recupere a través de un sistema de drenaje inferior. Durante este filtrado, el lecho va acumulando sustancias que cada cierto tiempo es preciso retirar.

### **2.2.3 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN**

Entre las aplicaciones de la termodinámica se encuentra la refrigeración, que es la transferencia de calor de un medio con baja temperatura hacia uno de mayor temperatura. Los ciclos en los que operan estos sistemas se denominan ciclos de refrigeración por compresión de vapor en este caso, donde el refrigerante se evapora y condensa alternadamente, para comprimirse finalmente en su fase de vapor.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	24 de 57

**Enfriamiento y deshumidificación:** Es la fase del aire acondicionado donde se determina la remoción de calor, la cual determinamos con la carta psicrometrica y las condiciones del medio.

$$Q_{evap} = \dot{m}_{aire}(h_e - h_s)$$
$$Q_{evap} = \dot{m}_{refrigerante}(h_{e,r} - h_{s,r})$$

## 2.2.4 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica como energía renovable es un tema conocido pero no tan aplicado en el territorio colombiano. El aprovechamiento del viento en zonas como la Guajira que cuenta con un gran potencial eólico la mayor parte del año, es una gran alternativa para la generación de energía eléctrica que puede aprovecharse en diversidad de sistemas como los aerogeneradores. Esta energía limpia cuenta con grandes ventajas:

- No genera emisiones de carbono
- Es energía inagotable
- Es aplicable para la generación de energía mecánica y eléctrica.

### 2.2.4.1 Aerogeneradores

Al seleccionar aerogeneradores eficientes se tiene en cuenta fundamentalmente: Los vientos disponibles de lo cual se seleccionará la turbina más adecuada que aproveche las corrientes incidentes y la energía que se desea obtener, de lo cual determina el área que barre el rotor y tamaño de la turbina.

Los más comunes son los de eje horizontal a barlovento, donde el eje de giro es paralelo a la dirección del viento. El viento incide con toda su energía sobre las palas del rotor y se hace necesario sistemas activos basados en moto reductores para orientar las máquinas frente al viento.

([http://www.luqentia.es/hosting/masterenergiasrenovablesmh/material/Energ%C3%ADa%20E%C3%B3lica/II%20Master%20Energ%C3%ADa%20Solar%20y%20Renovables-T4\\_Aerogeneradores.pdf](http://www.luqentia.es/hosting/masterenergiasrenovablesmh/material/Energ%C3%ADa%20E%C3%B3lica/II%20Master%20Energ%C3%ADa%20Solar%20y%20Renovables-T4_Aerogeneradores.pdf) )

### 2.2.5 Efecto venturi

Consiste en un fluido que está en movimiento dentro de un conducto, disminuyendo su presión a medida que va aumentando la velocidad al pasar por una sección menor. Conociendo la velocidad antes del estrangulamiento de sección y midiendo la diferencia de presiones, se halla fácilmente la velocidad



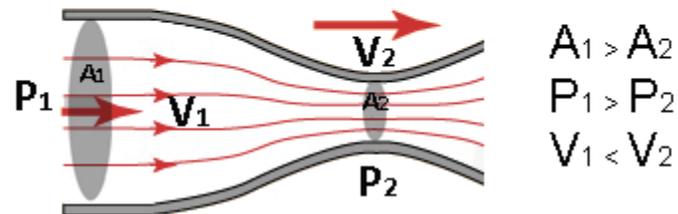
Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	25 de 57

en el punto requerido. (<https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/efecto-venturi/>)

Figura 9.9 Ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \cancel{\rho g h_1} = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \cancel{\rho g h_2}$$

Presión    Energía Cinética    Energía Potencial



Fuente:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

P – Presión atmosférica (KPa)

$\rho$  – Densidad del aire ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

$v^2$  – Velocidad al cuadrado ( $\frac{m}{s}$ )

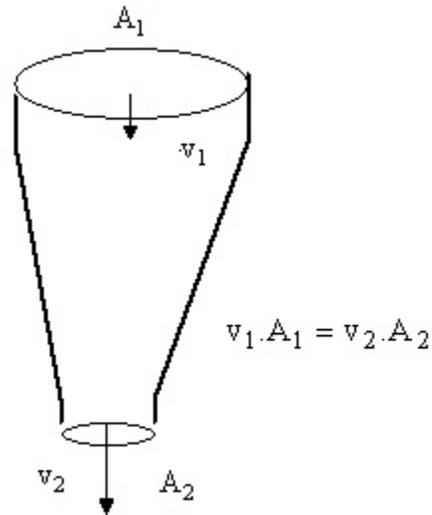
### 2.2.5.1 Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad o conservación de masa se utiliza para el análisis de fluidos que fluyen a través de tubos de sección variable. Se observa como la velocidad del flujo cambia debido a que el área transversal varía de una sección del ducto a otra.

Si se considera un fluido con un flujo a través de un volumen fijo como un tanque con una entrada y una salida, la razón de entrada en el tanque debe ser igual a la razón con la que el fluido sale del tanque para que se cumpla el principio fundamental de conservación de masa.



Figura 10.10 Ley de continuidad



Fuente: Elaboración propia

$$A_2 = \frac{A_1 v_1}{v_2}$$

A - Área ( $m^2$ )

v - velocidad del viento ( $\frac{m}{s}$ )

### 2.2.5.2 Flujo másico y caudal

Como se mencionó anteriormente para que se cumpla el principio fundamental de conservación de masa, se tiene en cuenta que el flujo de masa está dado por la  $\rho$  y el  $Q$ .

$$\dot{m} = \rho Q$$



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	27 de 57

$$\dot{m} = \rho v A$$

$\dot{m}$  – Flujo másico ( $\frac{kg}{s}$ )

$\rho$  – Densidad del aire ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

A - Área ( $m^2$ )

v – velocidad del viento ( $\frac{m}{s}$ )

Q- Caudal ( $\frac{m^3}{h}$ )

## 2.2.6 Recipientes cilíndricos a una presión interna

Los cilindros abiertos en un extremo, tanto verticales como horizontales, se utilizan para almacenar materiales sólidos en polvo o granillosos, cereales, fibras, líquidos no volátiles y no tóxicos. Todo recipiente a presión esta formado por la envoltura metálica, dispositivos de sujeción y las conexiones de entrada y salida. La envoltura metálica del recipiente esta formada por la carcasa y los fondos o cabezales.

- Carcasa: Es formada por trozos de tubería o chapas que curvadas de la forma correcta o soldadas dan la forma de cilindro sin soldaduras circunferenciales. Cuando el diámetro de la carcasa es menor a 60.9 cm se utiliza tubería y en diámetros superiores chapas. (<http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/137/Anexo+6+Calculo+de+recipientes+a+presion.pdf;jsessionid=6F91086E8D009828974DF0600B70A92A?sequence=5> )
- Fondos: Los fondos pueden ser elípticos, policéntricos, cónicos o planos. Las formulas generalmente usadas se basan en trabajos de Bach y Grashof existen recomendaciones sobre fórmulas de cálculos para fondos de recipientes. La norma ASME para la construcción de fondos con tapas planas se presenta en la siguiente formula:

$$t_m = D \cdot \sqrt{\frac{C \cdot p}{SE}}$$

$t_m$ - espesor mínimo de la tapa

D- diámetro exterior del recipiente

p- presión interior

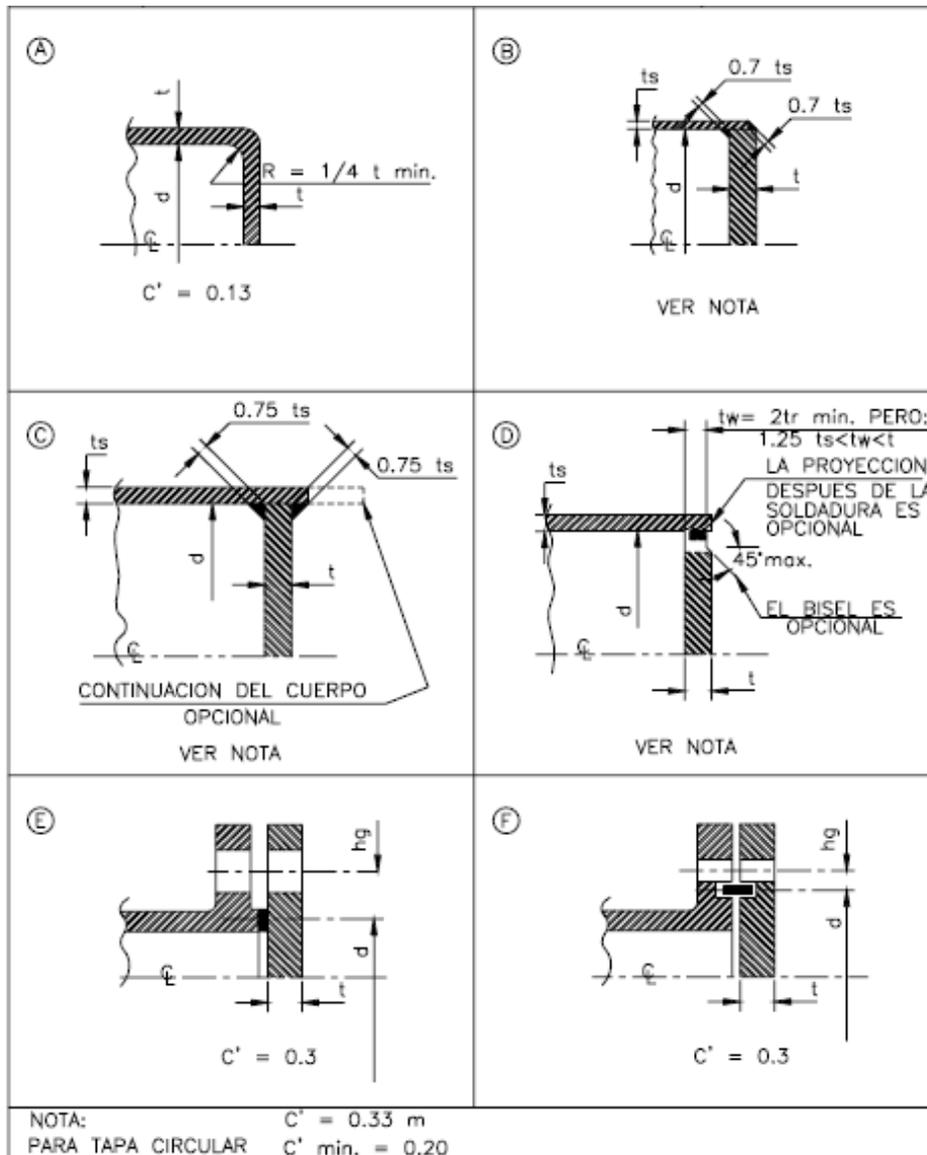
C – Tensión de tracción

S- Esfuerzo máximo permisible del material



E- Eficiencia de soldaduras

Figura 11.11 Tipos de tensiones



Detalle de uniones para placas planas

Donde la tapa o fondo debe ser circular y fabricada con algún material ferroso listado en la norma ANSI B-16.5. ()



2.2.6.1 Eficiencia de la soldadura, E.

Se puede definir la eficiencia de las soldaduras, como el grado de confiabilidad que se puede tener de ellas. Sus valores se observan en la figura ##.

Figura 12.12 Tipos de uniones, E.

TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO SIN TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.45



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	<b>Código</b>	1.1 01
	<b>Página</b>	<b>30 de 57</b>

### 2.2.6.2 Presión, $P_{dis}$

Para escoger la presión de diseño que se utilizará, se sumará la presión de operación del equipo y la presión que ejerce el fluido que contiene. A este resultado se le añadirá a su vez un 15% del total por motivos de seguridad.

$$P_{dis} = P_{op} + \nabla P + (P_{op} + \Delta P) * 0,15$$

La presión hidrostática, se calculará de acuerdo con la ecuación

$$\Delta P = \rho gh$$

### 2.2.6.3 Límite elástico, $S$

El límite elástico variará en función del material escogido y de la temperatura de operación del equipo, la carcasa se diseñará en acero inoxidable 304, por sus buenas prestaciones mecánicas. En la tabla 2.1 se refleja la dependencia del límite elástico con la temperatura para diferentes aceros.



CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS					
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	LÍMITE ELÁSTICO	ALARGAMIENTO	DUREZA/HARDRESS	
AISI	Tensile Strength Kg/mm <sup>2</sup>	Yield Point Rp 0.2 % Kg/mm <sup>2</sup> Mín	Elongation E=50 mm A % Mín	H R <sub>b</sub> Máx	Brinell Máx
201	70-80	30	50	95	201
301	52-75	21	30	88	185
302	52-70	21	30	88	183
302 B	55-75	21	35	88	183
303	52-70	21	40	90	180
304	50-70	21	40	88	183
304 L	50-65	18	40	88	183
304 H	75	30	40	92	183
304 LN	75	30	40	92	202
305	50-70	20	40	88	183
308	50-70	21	40	88	183
309	50-75	25	40	95	217
309 S	50-75	25	40	95	217
310	50-75	25	40	95	217
310 S	50-75	25	40	95	217
314	50-75	25	40	95	217
316	50-75	21	40	95	217
316 L	50-70	18	40	95	217
316 N	80	35	30	95	217
316 LN	75	30	30	95	217
316 Ti	50-78	25	40	95	217
317	55-75	25	35	90	217
317 L	80	35	30	95	217
321	55-75	25	40	88	183
321 H	75	30	40	95	217
347	55-75	25	40	92	201
348	55-75	25	40	92	201
403-410S	45-60	24	25	90	183
405	42-53	25	20	88	183
410	45-88	30	20	95	217
416	45-74	24	20	98	215
420	55-77	33	20	95	220
430	45-62	25	18	90	185
430 F	45-63	25	18	-	185
431	84-92	65	15	-	270

Tabla 2.1 Características mecánicas de algunos aceros.

**2.5.2 Factor de soldadura, E:** La soldadura es el medio por el que se realiza normalmente la unión entre chapas. Debido a que representa una discontinuidad, a la vez que su realización puede conllevar defectos, la zona de soldadura se considera debilitada. Este valor es  $E=0,85$ , considerando que el radiografiado realizado es parcial.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	32 de 57

Método de soldadura	X (aprox.)
SMAW	0,65-0,85
SAW	0,95-0,99
MIG/FCAW	0,60-0,70
TIG	0,25-0,50

Tabla 2.2 Factores de soldadura para AISI 304.

El código ASME especifica la siguiente fórmula para el cálculo de espesor en recipientes cilíndricos, para obtener un diseño seguro y confiable.

$$t = \frac{Pr_e}{SE+0.4P} \quad \text{ó} \quad t = \frac{Pr}{SE-0.6P}$$

P- Presión de diseño

$r_e$ - Radio exterior del cuerpo del recipiente

S- Esfuerzo máximo permisible del material.

## 2.6 Tanques de almacenamiento

Para el almacenamiento del agua condensada por el sistema de refrigeración se aplican las normas de diseño de sistemas de acueducto de EPM, teniendo en cuenta la localización del tanque y parámetros del diseño.

### 2.6.1 Localización del tanque

- Preferiblemente el tanque no debe estar enterrado, ni muy lejos de la fuente de alimentación de agua.
- Localizarlo lejos de fuentes de contaminación.
- Si es metálico debe ubicarse en zonas donde la corrosión sea mínima.

### 2.6.2 Parámetros de diseño



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	33 de 57

Para el diseño o selección de un tanque de almacenamiento se debe aplicar un período de diseño de 30 años e identificar el caudal de agua almacenar. En este proyecto el caudal de entrada será de máximo horario (QMH), ya que el sistema de refrigeración trabajará las 24 horas del día.

$$QMH = QMD \cdot k_2$$

### 2.6.2.1. Materiales

Los tanques de almacenamiento pueden ser construidos en concreto reforzado, fibra de vidrio o fusionados al acero. Deben ser impermeables y resistentes a la corrosión, en el caso de las tuberías de hierro dúctil deben encapsularse en manga de polietileno.

### 2.6.2.2 Tiempo de vaciado y caudal de vaciado

El tiempo de vaciado del tanque se calcula de acuerdo con la ecuación ### . Sin embargo, dicho tiempo debe ser inferior a 8 horas. Según la norma esta ecuación es aplicable a tanques cuya área superficial sea constante en toda la altura.

$$T_v = \frac{2 \cdot A_s \cdot \sqrt{h}}{m \cdot a \cdot \sqrt{2g}}$$



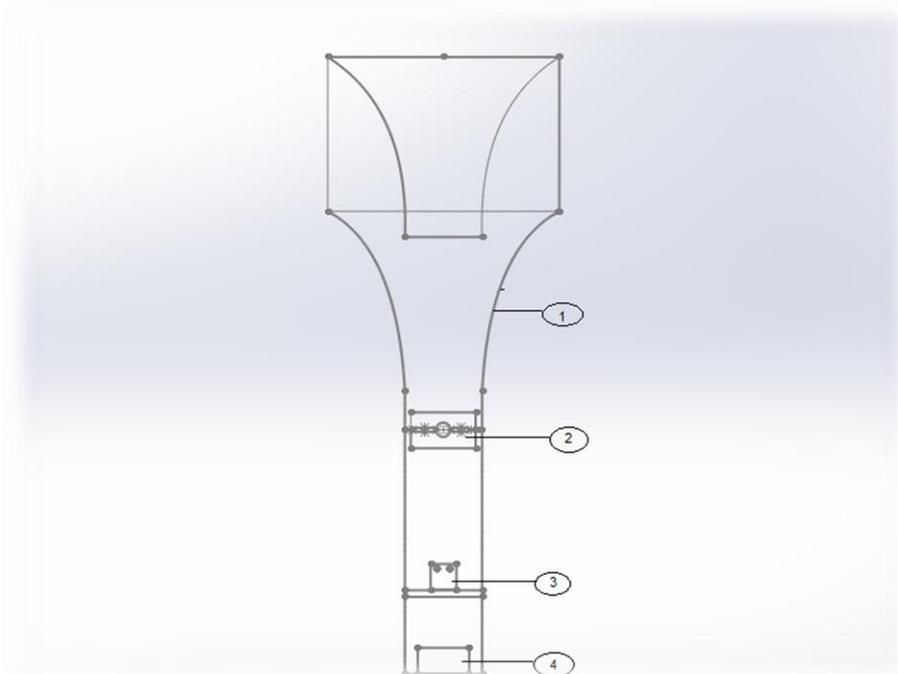
## CAPÍTULO 3

### DISEÑO

#### 3.1 DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA

En la figura 3.1, se observa como el aire que fluye en todas las direcciones entra a la carcasa, este flujo de aire va aumentando su velocidad a medida que va disminuyendo el área de paso. El aire admitido circula a través de una turbina generando la potencia que se requiere para la condensación de su humedad mediante un sistema de refrigeración. A medida que se condensa la humedad del aire que pasa por el serpentín, el condensado fluye por una tubería con dos cámaras purificadoras para finalmente llegar al tanque de almacenamiento. El flujo de aire que no entra al serpentín es devuelto al medio.

Figura 13.1 Esquema del sistema de extracción.



- 1- Carcasa
- 2- Turbina
- 3- Sistema de refrigeración



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	35 de 57

#### 4- Tanque de almacenamiento

Este sistema como se mencionó condensará 600 litros de agua por día. A partir del caudal de agua condensada se determina el caudal de aire necesario que entra al serpentín; este flujo de aire es el mismo en cualquier sección de la carcasa ya que es un sistema abierto.

Para la selección del sistema de refrigeración y de la turbina se hicieron necesarios los cálculos de caudal de aire y capacidad de refrigeración.

### 3.1.1 CAUDAL DE AIRE

#### 3.1.1.1 Determinación de la presión de entrada a la turbina

Para hallar el caudal de aire que se va a condensar, tomamos la carcasa del sistema como un tubo con efecto de Venturi. Se halla la presión interna del sistema, la presión con la que entra el aire al aerogenerador.

$$P_1 - P_2 = \frac{1,1687}{2} \cdot (15^2 - 5^2)$$

$$101.325 - P_2 = 160,70$$

$$P_2 = 101.16 \text{ KPa}$$

#### 3.1.1.2 Determinación del área y caudal de aire en la carcasa

El sistema de extracción que se está diseñando no funciona con un flujo volumétrico fijo, es un sistema abierto que va tener flujo circulante nuevo a cada instante, para determinar el flujo másico que circula por el sistema usamos la ley de continuidad para hallar el área del medio circundante.

Con un área de 9,6 metros en la sección superior y una velocidad promedio anual de aire de 5 m/s, y una velocidad de 15 m/s necesaria para accionar la turbina, se halla el área donde será instalada la turbina de la siguiente forma:

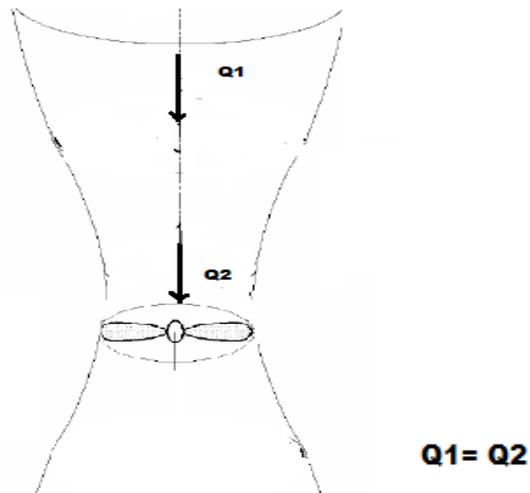


$$A_2 = \frac{9,6 * 5}{15}$$

$$A_2 = 3,2 \text{ m}^2$$

**Flujo másico y caudal de aire:** Se determina el caudal de aire con el cual trabaja el sistema de refrigeración para la condensación de 600 litros de agua.

**Figura 14.2 Ley de continuidad.**



Fuente: Elaboración del autor.

$\dot{m}_s$ - Masa de aire al sistema

$$\dot{m}_s = (1,1687) * (5) * (9,6)$$

$$\dot{m}_s = 56,09 \frac{kg}{s}$$



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	37 de 57

**Caudal de aire circundante en el sistema:**

$Q_s$ - Caudal de aire que fluye en el sistema

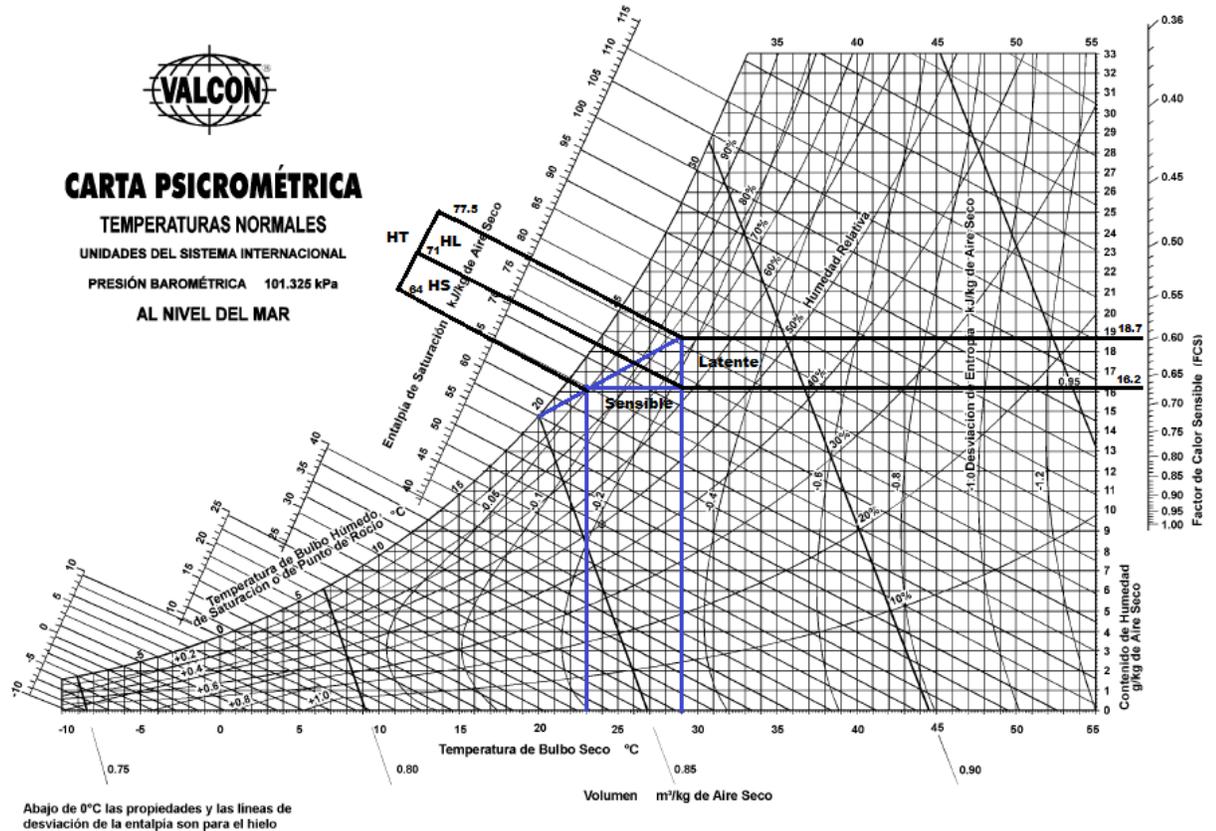
$$Q_1 = (9) * (5)$$

$$Q_s = 45 \frac{m^3}{s} = 162000 \frac{m^3}{h}$$

### **3.2 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Para hallar la carga de refrigeración se tiene en cuenta las condiciones del ambiente al aire libre y la carta psicrométrica, la tasa de calor en el evaporador y la remoción de humedad.

**Figura 15.3 Condiciones ambientales.**



Fuente: ASHRAE

Datos de entrada:

$$T_{bs} = 29^{\circ}\text{C}$$
$$T_{bh} = 25,2^{\circ}\text{C}$$
$$HR = 75\%$$

Datos de salida:

$$T_{bs} = 23^{\circ}\text{C}$$
$$T_{bh} = 22^{\circ}\text{C}$$
$$HR = 91\%$$

$T_{bs}$ - Temperatura de bulbo seco

$T_{bh}$ - Temperatura de bulbo húmedo

$HR$ - Humedad relativa



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	39 de 57

### 3.2.1 TASA DE REMOCIÓN DE CALOR

$$\dot{m}_{aire}(h_e - h_s) = \dot{m}_{refrigerante}(h_{e,r} - h_{s,r})$$

$\dot{m}$  – Flujo másico ( $\frac{kg}{s}$ )

$h$  - Entalpía del fluido ( $\frac{KJ}{kg}$ )

Para hallar la tasa de remoción de calor en el evaporador, se utiliza el flujo másico circulante en la carcasa y las entalpías obtenidas de la gráfica 7, de acuerdo a las condiciones ambientales que se presentan en promedio en la Guajira. Hallamos la tasa de evaporación con la ecuación (.....)

$$Q_{evap} = (56,09)(77.5 - 64)$$
$$Q_{evap} = 703 \frac{J}{s}$$

### 3.2.2 REMOCIÓN DE HUMEDAD

Para el abastecimiento de agua demandada por la comunidad wuayuu, es necesario como mínimo un caudal de 600 litros diarios, agua destinada solo para el consumo de cada integrante de la comunidad.

$$Q_{agua} = 600 \frac{l}{d}$$
$$Q_{agua} = 25 \frac{l}{h} \text{ ó } Q_{agua} = 25000 \frac{g}{h}$$

Para determinar la carga de refrigeración es necesario la demanda de agua y la diferencia de entalpía que se presenta conforme la temperatura de la masa de aire que sale del serpentín va disminuyendo, removiendo calor y humedad.

$$\Delta h_t = 77.5 - 64$$
$$\Delta h_t = 13,5 \frac{kJ}{kg}$$



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	40 de 57

Para terminar los cálculos de carga de refrigeración, se halla el peso total de aire que circula por el evaporador. Obteniendo de la carta psicrométrica (Figura 3.3), los valores de humedad absoluta, necesarios para el cálculo del peso.

$$\Delta H_{abs} = 18,7 - 16,2 = 2,5 \frac{g}{kg \text{ de aire seco}}$$

### 3.2.3 Calculo del peso total de aire circulado:

$$w \cdot \Delta H_{abs} = Q_{agua}$$

$$w = \frac{Q_{agua}}{\Delta H_{abs}}$$

$$w = \frac{25000 \frac{g}{h}}{2,5 \frac{g}{kg \text{ de aire seco}}}$$

$$w = 10000 \frac{kg}{h} = 166,7 \frac{kg}{min}$$

Con el cambio de entalpía en el aire por minuto por el peso total de aire circulante, se halla la capacidad en toneladas de refrigeración, para la selección de un sistema de refrigeración comercial.

$$Capacidad_{total} = \Delta h_t \cdot w$$

$$Capacidad_{total} = 13,5 * 166,7$$

$$Capacidad_{total} = 2250,45 \frac{KJ}{min}$$

$$Capacidad_{total} = 10,6 \text{ ton (refrigeración)}$$

Para cubrir una capacidad de refrigeración de 10,6 ton se selecciona una unidad de acondicionamiento tipo paquete DAIKIN 11.3 EER, posee una capacidad de refrigeración de 7,5 a 12,5 Ton – Three-phase, con una potencia de 13,8 KW (Ver Anexo 1).



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	41 de 57

Figura 3.3 DANKIN



Fuente: Página oficial de equipos DAIKIN

### 3.2.4 Purificador

El agua condensada que sale del sistema de refrigeración es extraída del aire directamente, esta baja por una tubería para ser almacenada en un tanque para su respectivo uso. Usualmente el agua de los sistemas condicionados no es apta para el consumo ya que va obteniendo partículas contaminantes, al presentarse la refrigeración en un entorno cerrado. La captación de estos residuos por la recirculación constante del mismo flujo de aire hace necesario sistema de filtrado para disminuir estos residuos.

Un sistema con flujo de aire variante y un sistema purificador presentan un gran reto y una oportunidad para el aprovechamiento del agua condensada por un sistema de refrigeración. El AT2+ UV es un filtro purificador. Mediante la filtración el agua mejora la calidad su calidad física, eliminando el mal olor, sabor y apariencia y el purificador es el encargado de eliminar los organismos invisibles más nocivos: las bacterias y los virus.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

Código

1.1 01

Página

42 de 57

Este equipo produce 20 litros de agua purificada por minuto, y trabaja con 120 v.

Etapas de filtrado y purificación:

- Cartucho de sedimento: Retención de sólidos.
- Cartucho de carbón activado: Retención de agentes orgánicos y químicos, eliminando olores y sabores
- Lámpara U.V.: Elimina bacteria y virus.

**Figura 16.5 Sistema de purificación**



### **3.3 SELECCIÓN DE LAS TURBINAS**



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	43 de 57

Para la selección de la turbinas se tuvieron en cuenta los parámetros mencionados en el capítulo anterior: Las dimensiones de la carcasa donde se pretende ensamblar la turbina, la potencia para alimentar el sistema de refrigeración y la potencia de los filtros de purificación y la velocidad del aire.

### 3.3.1 Parámetros necesarios para la selección de la turbina.

Área de paso del aire que entra a la turbina

$$A_2 = 3,2 \text{ m}^2$$

Potencia eléctrica del sistema de refrigeración

$$Pot_{electrica} = 13,80 \text{ Kw}$$

Potencia de los filtros purificadores

$$Pot_{electrica} = 120 \text{ v}$$

Velocidad del aire a la entrada de la turbina

$$V = 15 \text{ m/s}$$

### 3.3.2 Selección de la turbina

Usualmente las turbinas de pequeñas dimensiones generan potencias entre 5 a 7 kW, se tiende a utilizar turbinas en serie para abastecer la potencia requerida sin modificar las dimensiones del entorno donde se instalarán los aerogeneradores. El VETAR 15 es una turbina de pequeñas dimensiones que genera una potencia máxima de 15 kW, por su sistema de doble rotor. Esta turbina trabaja acelerando el aire y luego usando esa aceleración para crear energía de la forma más eficiente.

Está determinada por tres características básicas:



1. Aerodinámica avanzada
2. Juego de presiones
3. Rotores dobles de alta eficiencia.

La turbina la cual se observa en la figura 3.6, presenta dos zonas de diferentes diámetros; la parte canalizada (de menor diámetro) de la turbina está creando un anillo como área de alta presión alrededor de la turbina, dejando el área de menor presión detrás, funcionando como un embudo de succión de aire en la turbina. Este efecto de embudo acelera el aire accionando dos rotores contra-rotativos que además se aceleran entre sí aumentando la eficiencia de la turbina. (Anexo 2, Especificaciones del Vetar 15)

Figura 17.6 Vetar 15



Fuente: <https://www.poduhvat.com/Vetar>

### 3.4 DISEÑO DE LA CARCASA

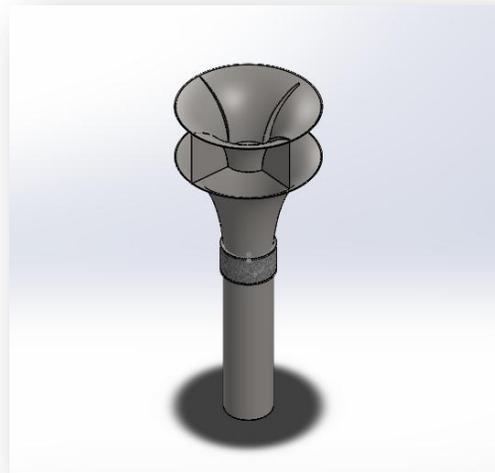
Para el diseño de la carcasa se tienen en cuenta las condiciones climáticas que van a afectar el sistema; el viento de trabajo para la turbina y el sistema de refrigeración. La



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	45 de 57

velocidad del viento aumenta con la altura, encima del suelo es igual a cero, pero aumenta rápidamente hasta cierta altura y

Figura 18.7 Carcasa del sistema de refrigeración



### 3.4.1 Espesor de la carcasa exterior y del fondo

Para el diseño de la carcasa se asemejó al diseño de un tanque de almacenamiento abierto, aplicando el código ASME para el diseño y construcción de recipientes a presión del 2004.

Se determinó la presión de diseño mediante la ecuación ##.

$$\Delta P = \rho g h$$

$$P_{dis} = P + \nabla P + ((P + \Delta P) * 0,15)$$

$\Delta P$ (Pa)	251.97
$\rho$ (aire ) Kg/	1,1687
$g$ (m/s <sup>2</sup> )	9,8
$h$ (m)	22
$P_{dis}$ (KPa)	202.93



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	46 de 57

P(KPa)	101.16
--------	--------

Tabla 3.1 Parámetros para el espesor de la carcasa.

### 3.4.4.1 Espesor del fondo

Para determinar el fondo o tapa plana de la carcasa aplicamos la formula ## del capítulo anterior. Esta fórmula se aplica a los dos diámetros externos presentes teniendo en cuenta que la carcasa es de característica especial. Los recipientes de formas especiales son utilizados según lo exigen las necesidades de espacio, resistencia o estéticas, cuando se desea obtener alguna propiedad particular, como la de bajar el centro de gravedad, concentrar las cargas, etc.

$$t_m = D \cdot \sqrt{\frac{C \cdot P}{SE}}$$

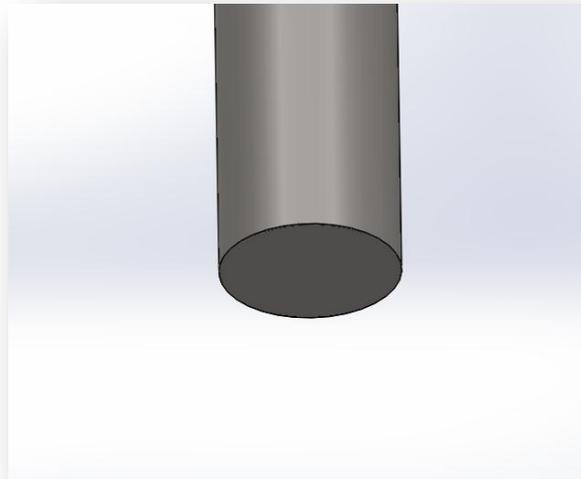
$D_1$ (m)	3,18
$D_2$ (m)	9,58
C (m)	0,33
P (KPa)	101.16
S (MPa)	276
E	1
$t_{m1}$ (m)	0,035
$t_{m2}$ (m)	0,1

Se diseña el fondo de la carcasa en acero ASISI 304 con un espesor de 4mm.

Figura 19.7 Fondo plano



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	47 de 57



### 3.4.4.2 Espesor de la carcasa

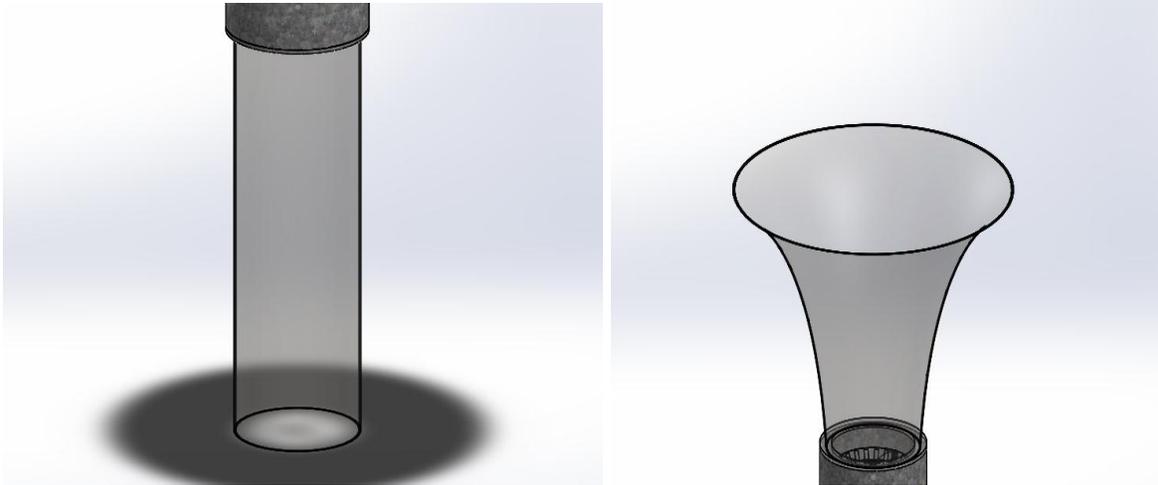
Se determina el espesor con los diámetros de la carcasa.

$$t = \frac{P_{dis}D}{SE + 0.4P}$$

$t_1$ (m)	1.17x 10 <sup>-3</sup>
$t_2$ (m)	3.51x10 <sup>-3</sup>

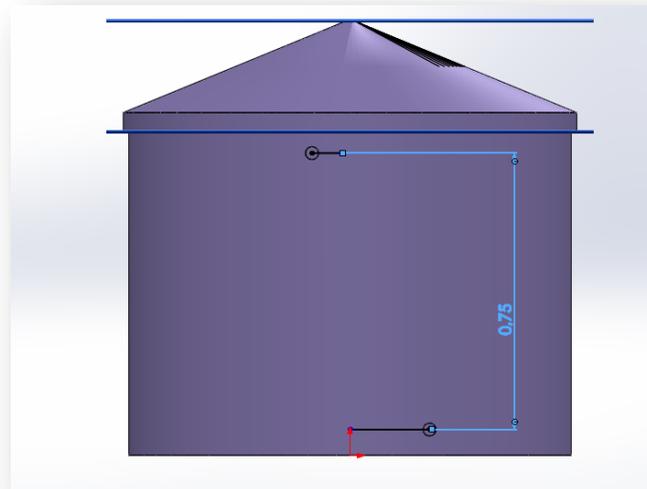
Se selecciona el espesor del diámetro mayor  $t_2$ , para el diseño de la carcasa en Acero inoxidable AISI 304.

Figura 20.8 Partes de la carcasa



### 3.4.2 Selección del tanque de almacenamiento de agua

Figura 21.9 Tanque de almacenamiento de agua



#### 3.4.2.1 Caudal de selección



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	49 de 57

En este proyecto el caudal de diseño se tendrá en cuenta como el caudal necesario para seleccionar un tanque de almacenamiento en fibra de vidrio, este caudal de almacenamiento y/o compensación es el caudal máximo horario (QMH). El caudal de entrada al tanque de almacenamiento y/o compensación, depende de los parámetros de diseño y del tiempo de operación de los bombeos.

$$QMH = 600 * 1,7$$

$$QMH = 1020 \text{ litros}$$

QMH- Caudal máximo hora

QMD- Caudal máximo día. Es el caudal necesario para abastecer a la comunidad, mencionado con anterioridad. (  $Q_{agua} = 600 \text{ l/d}$  )

$k_2$ - Coeficiente de caudal máximo horario. En el caso de proyectos nuevos, el coeficiente de Caudal Máximo Horario debe ser de 1.7

Es necesario un tanque con una capacidad de 1020 litros.

### 3.4.2.2 Tiempo de vaciado y caudal de vaciado

$$T_v = \frac{2.16,4. \sqrt{0,75}}{(0,55). (3,14 \times 10^{-4}). \sqrt{2(9,8)}}$$

$$T_v = 192.7 \text{ s}$$

$$A_s = (2\pi r_{tanq}^2) + (2\pi r_{tanq} \cdot h_{tanq})$$

$$A_s = 16,4 \text{ m}^2$$

$T_v$  -Tiempo de vaciado (s).

$A_s$  -Área superficial del tanque ( $\text{m}^2$ ).

$r_{tanq}$  - radio del tanque (m)



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

**Código**

1.1 01

**Página**

**50 de 57**

$h_{tanq}$ . Altura del tanque de almacenamiento (m)

h -Cabeza sobre el desagüe (m).

a- Área del desagüe (m<sup>2</sup>). (Diámetro 0,02 m)

g -Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>).

m -Coeficiente de contracción del desagüe .El coeficiente m de contracción debe variar entre 0.5 y 0.6.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico

**Código**

1.1 01

**Página**

**51 de 57**



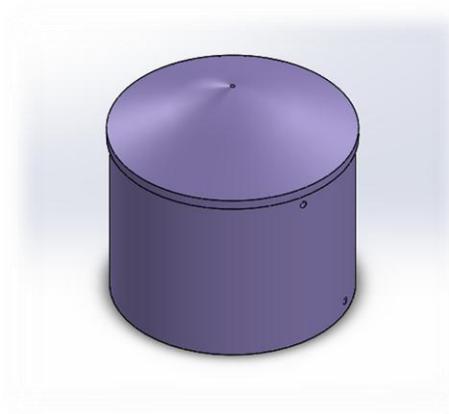
## CAPÍTULO 4

### MODELO Y COSTOS

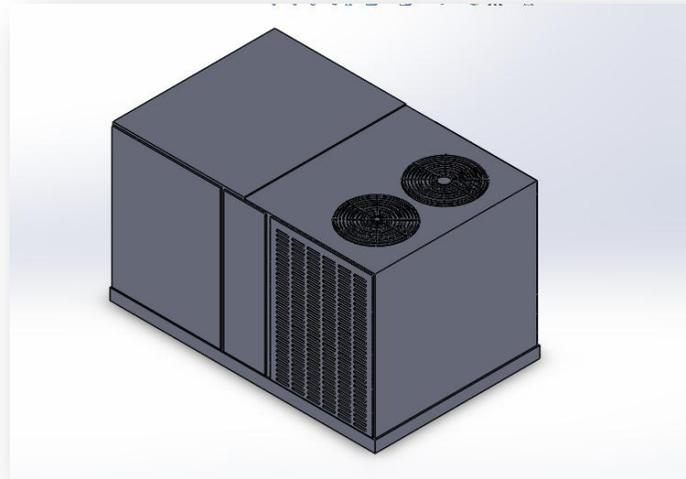
#### 4.1 MODELO

El sistema de extracción se diseñó en el software CAD, Solidwork con sus respectivos planos.

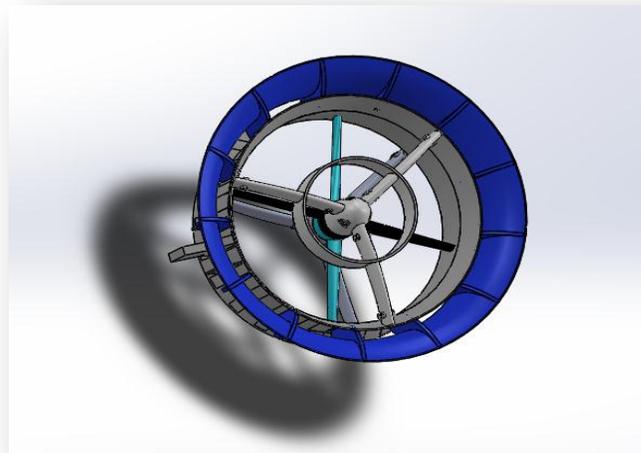
##### *4.1.1 Tanque de almacenamiento*



##### *4.1.2 Sistema de refrigeración*

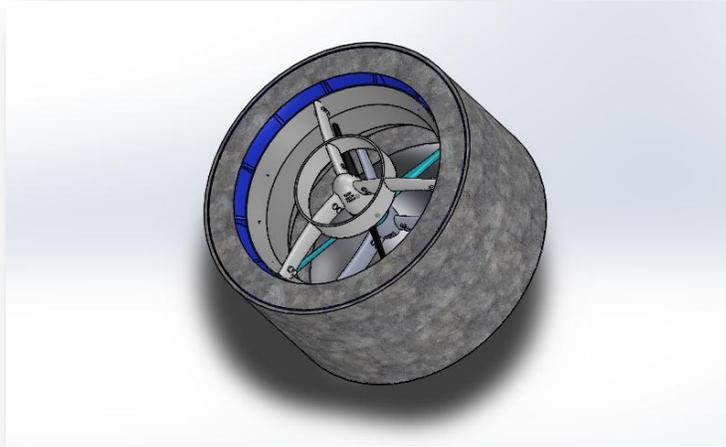


### 4.1.3 Turbina





#### 4.1.4 Carcasa de la turbina

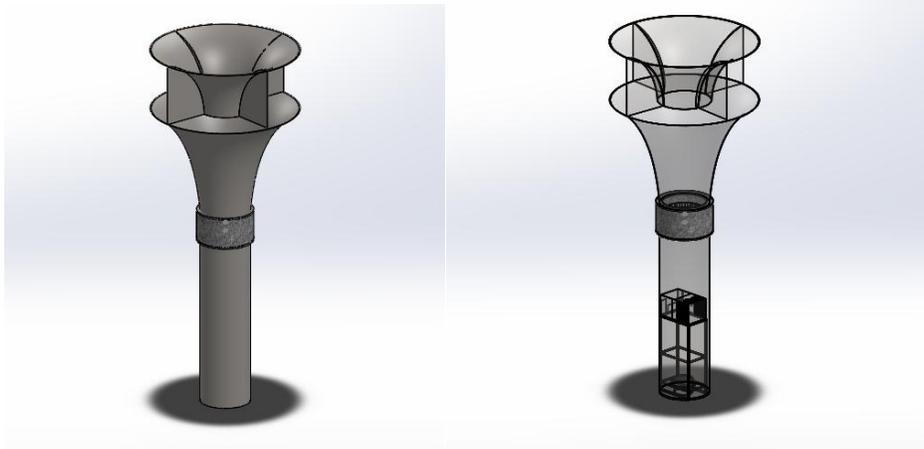


#### 4.1.5 Sistema de refrigeración y almacenamiento

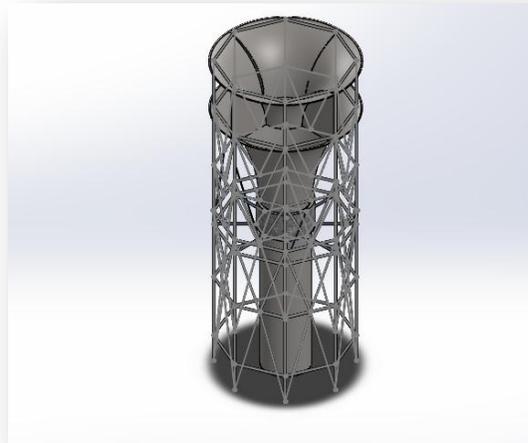
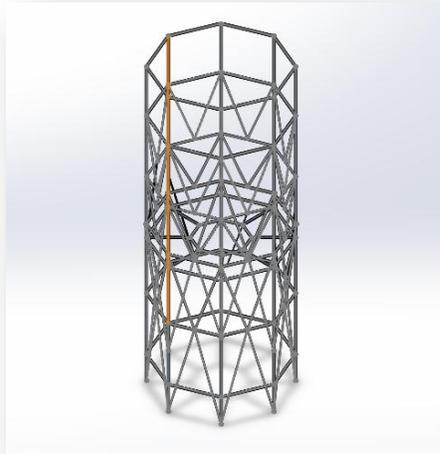




#### 4.1.6 Sistema de extracción de humedad



#### 4.1.7 Estructura de la carcasa



### 4.2 COSTOS



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	<b>Código</b>	1.1 01
	<b>Página</b>	56 de 57

<i>EQUIPO</i>	<i>COSTO</i>
<i>Dankin 11.5</i>	<i>\$35'000.000</i>
<i>Vetar 15</i>	<i>\$110.000.000</i>
<i>AT2-+UV</i>	<i>\$1'500.000</i>
<i>Tanque de almacenamiento</i>	<i>\$1'200.000</i>
<i>Estructura</i>	<i>\$13'000.000</i>
<i>Carcasa</i>	<i>\$35'000.000</i>

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Un sistema de condensación es una opción muy viable para brindar oportunidades a las comunidades con menos recursos, estos sistemas trabajando con sistemas híbridos presentan un costo inicial alto pero brindando mayor eficiencia y tiempo de duración.
- La calidad del agua producida por el sistema de refrigeración es cuestionable, trabaja con flujo de aire variable por lo tanto evita que el sistema trabaje con el mismo aire contaminado que devuelve al medio, disminuyendo la cantidad de partículas contaminadas en el proceso de condensación y evaporación. Finalmente el agua condensada pasa por un proceso de filtración y condensación que ayuda a potabilizarla, analizar el agua producida podría determinar si es necesario incluir una cámara extra de filtración.



Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico	Código	1.1 01
	Página	57 de 57

## CAPÍTULO 6

### BIBLIOGRAFÍA

Ambrosio, R. (2015). *Acuaplant*. Obtenido de <http://www.acuaplant.com/>

Ficarra, J. (2015). *Sistema de condensación de humedad atmosférica*. Argentina.

Gómez, A. S. (2011). *Obtención de agua a partir de humedad atmosférica empleando células de efecto peltier*. Leganés.

Gutiérrez, J. L. (2010). *Condensador para obtener agua de la atmósfera por enfriamiento radiativo*. Valencia.

Olivas, A. B. (2008). *Atmospheric humidity optional source of water for domestic use*. Texcoco.

Parent, M. (s.f.). *www.eolewater.com*. Obtenido de <http://www.eolewater.com/>

Plaza, J. C. (2016). Low-tech adaptation strategies are helping people in developing . *Discover Magazine*, 8.

4. (<http://www.sistemasevaporativos.com/recursos/documentos/ce9e8-tratamiento-de-agua-por-rayos-ultravioleta.pdf> )