

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN.

“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA
CONDENSACIÓN DE HUMEDAD AMBIENTAL.”

ASESOR: M.I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ.

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
PRESENTAN:

FERNANDO ENRIQUE MEDINA IBARRA.
MACARIO RAMÍREZ ANASTACIO.

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO

2006.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco en gran parte a todas las personas que estuvieron durante estos años apoyándome moralmente, para salir adelante en mis estudios requeridos, mencionando a los amigos, a los profesores, a la universidad la cual no solamente me apoyó como estudiante, sino como buen individuo de servicio y vocación, y sobre todo para mi familia como lo son: mis padres y hermanos, ya que sin su apoyo no hubiera podido llegar a la realización de la meta requerida.

GRACIAS POR SU APOYO.

MACARIO RAMÍREZ ANASTACIO.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero dedicar el siguiente trabajo:

- A mis padres, mis hermanos y mis abuelas, ya que siempre conté con su apoyo en todo momento y me inculcaron los valores necesarios para poder desenvolverme en la vida.
- A mis amigos, ya que siempre estuvieron conmigo alentándome a seguir adelante aún cuando todo se me hiciera muy difícil.
- A la universidad, ya que me ayudó a desarrollarme tanto física como mentalmente y en ella obtuve los elementos necesarios para enfrentar la vida.
- A mis profesores, por que fueron una gran ayuda para obtener una visión más amplia de las cosas.

MUCHAS GRACIAS A TODOS.

FERNANDO ENRIQUE MEDINA IBARRA

ÍNDICE.

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2

CAPÍTULO 1

RECURSOS ACUÍFEROS DE MÉXICO.

1.1 EL AGUA EN MÉXICO.....	3
1.1.1 Descripción de las características generales del país.....	3
1.1.2 Población.....	4
1.1.3 Regiones hidrológicas.....	4
1.2 USOS DEL AGUA EN MÉXICO.....	5
1.2.1 Usos del agua.....	6
1.2.2 Uso agropecuario.....	7
1.2.3 Uso para abastecimiento público.	7
1.2.4 Uso para la industria abastecida.....	9
1.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	9
1.3.1 Usos del agua en México.....	9
1.3.1.1 Sector social.....	9
1.3.1.2 Sector industrial.....	10
1.3.1.3 Sector agropecuario.....	11
1.3.2 Principales tipos de contaminación del agua.....	11
1.4 PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN MÉXICO.....	13

CAPÍTULO 2

PROPIEDADES DEL AGUA.

2.1 CALOR DE VAPORIZACIÓN.....	16
2.2 DENSIDAD.....	17
2.3 CALOR ESPECÍFICO.....	18
2.4 DISOLUCIÓN.....	19
2.5 TENSIÓN SUPERFICIAL.....	20
2.6 VISCOSIDAD.....	21

2.7 SOLUBILIZACIÓN DE GASES.....	21
2.8 FUSIÓN Y EBULLICIÓN.....	22
2.9 TRANSPARENCIA.....	23
2.10 ESTADOS DE AGREGACIÓN DEL AGUA.....	23
2.11 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA.....	24

CAPÍTULO 3

FUNDAMENTOS DE REFRIGERACIÓN.

3.1.1 Refrigeración.....	26
3.1.2 Leyes de la termodinámica.....	26
3.1.3 Calor.....	27
3.1.4 Transmisión de calor.....	28
3.1.5 Temperatura.....	28
3.2 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	31
3.2.1 Ciclo inverso de Carnot (ciclo frigorífico)	32
3.3 REFRIGERANTES.....	35
3.3.1 Nomenclatura simbólica numérica.....	35
3.3.2 Propiedades.....	36
3.3.3 Grupos de clasificación según el grado de seguridad.....	38

CAPÍTULO 4

DISEÑO DEL DISPOSITIVO.

4.1 PROPIEDADES DEL AIRE.....	39
4.1.1 Aire seco.....	40
4.1.2 Aire atmosférico.....	40
4.2 CARACTERÍSTICAS DEL AIRE HÚMEDO.....	41
4.2.1 Contenido en vapor de agua del aire húmedo.....	41
4.2.2 Aire saturado.....	41
4.2.3 Tipos de temperatura del aire.....	42
4.2.4 Tensión de vapor.....	42
4.2.5 Humedad relativa.....	43

4.2.6 Humedad absoluta.....	43
4.2.7 Volumen específico.....	43
4.2.8 Calor del aire húmedo.....	43
4.3 CARTA PSICROMÉTRICA.....	44
4.3.1 Descripción de la carta psicrométrica.....	45
4.3.2 Método de lectura de la carta psicrométrica.....	45
4.4 DISEÑO DEL DISPOSITIVO.....	48
4.4.1 Cálculos de diseño.....	48
4.4.2 Plano.....	54

CAPÍTULO 5

FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO.

5.1 DATOS TÉCNICOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.....	55
5.1.1 Compresor.....	55
5.1.2 Condensador.....	55
5.1.3 Deshidratador.....	56
5.1.4 Tubo capilar.....	57
5.1.5 Evaporador.....	57
5.1.6 Resistencia de deshielo.....	58
5.1.7 Ventilador (y caja)	58
5.2 MATERIALES EMPLEADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN.....	59
5.2.1 Material eléctrico.....	60
5.2.2 Herramientas utilizadas.....	60
5.3 CONSTRUCCIÓN.....	61
5.4 SECUENCIA DE ARMADO.....	62
5.5 COSTOS.....	70

CAPÍTULO 6

OPERACIÓN DEL DISPOSITIVO.

6.1 PROCEDIMIENTO.....	74
CONCLUSIONES.....	76

BIBLIOGRAFÍA.....	77
APÉNDICE A.....	78

INTRODUCCIÓN.

Debido al problema de la escasez y contaminación del agua que afecta a nuestro país y al mundo en general, se han venido desarrollado técnicas y campañas de concientización tanto en la industria como a nivel doméstico para su uso racional, ya que como sabemos, es imprescindible para la subsistencia del ser humano y de su entorno natural.

Pensando en toda esta problemática, el ingeniero mecánico debe darse a la tarea de investigar, así como de diseñar procesos y equipos utilizando materiales adecuados, con el fin de desarrollar una tecnología con la cual se puedan aprovechar los recursos de una manera más eficiente, más económica y menos nociva para el medio ambiente.

Con estos antecedentes se ha propuesto diseñar un dispositivo capaz de captar la humedad ambiental, para después condensarla y con esto, obtener agua en estado líquido que sea aprovechable para su utilización a nivel doméstico y posiblemente en un futuro a nivel industrial. Con esto, tendríamos una herramienta factible para el aprovechamiento del agua para un futuro próximo, ya que debido al aumento de la población y a la problemática que trae consigo la contaminación que se genera en los grandes centros urbanos como la ciudad de México, cada vez es más difícil abastecerse con el vital líquido para cubrir las necesidades más elementales de la población.

A grandes rasgos, el proyecto está constituido por un sistema de refrigeración doméstico, del cual sus componentes principales son: compresor, deshidratador, evaporador y condensador. Es en el evaporador donde se le va a inducir una corriente de aire a temperatura ambiente para que cuando el refrigerante enfríe el evaporador, la humedad que se encuentra en el aire sea condensada y pase del estado gaseoso al líquido, mismo que será depositado en un recipiente destinado para tal fin.

Con esto, se espera que el agua que se acumule en dicho recipiente pueda ser utilizada para labores cotidianas, traducándose esto en una disminución en el consumo de la red del agua y por consiguiente, en la conservación de este recurso.

OBJETIVOS.

- Condensar la humedad ambiental para obtener agua en estado líquido.
- Diseñar y construir el dispositivo adecuado para realizar dicha tarea.
- Realizar pruebas de operación, con el fin de comprobar su correcto funcionamiento.

CAPÍTULO 1.

RECURSOS ACUÍFEROS DE MÉXICO.

1.1 EL AGUA EN MÉXICO.

En los últimos años, el problema de la sobreexplotación de los recursos naturales a nivel nacional e internacional así como la necesidad inaplazable de proteger el medio ambiente ante el incremento de los niveles de contaminación, han adquirido gran relevancia inducidos por la creciente evidencia de su carácter irreversible.

En relación con el agua existe una disponibilidad natural de 1,500 millones de km³ a nivel mundial, esta cifra pareciera garantizar el abasto del recurso con suficiencia, sin embargo, cuando se observa que el volumen total renovable sólo alcanza una tercera parte de esa cantidad y que los escurrimientos naturales, tanto superficiales como subterráneos, llegan a una mínima cifra de 40,000 km³ al año, es claro que la disponibilidad real del líquido presenta evidentes características de escasez natural acentuada por una distribución regional desigual.

El problema de la disponibilidad efectiva del agua es aun mayor por los desequilibrios hidráulicos que ocasiona el constante crecimiento de la demanda, la ineficiencia de su uso y el aumento de los niveles de contaminación ocasionados por prácticas inadecuadas en esquemas de producción y consumo.

1.1.1 Descripción de las características generales del país.

El territorio mexicano cuenta con una superficie cercana a los 2 millones de km². Según datos del último conteo de población, realizado por el Instituto Nacional de Estadística, Geográfica e Informática, el país tiene una población cercana a los 105 millones de habitantes, el 71% se ubica en poblaciones urbanas y el resto en comunidades rurales que cuentan con una concentración de población menor a 2,500 habitantes. Más del 65% de la superficie de nuestro país es árida o semiárida, y en dicha porción del territorio se presenta apenas el 20% de los escurrimientos superficiales mientras que ahí se asientan las tres cuartas partes de la población del país.

Por otro lado, hay regiones en las que cíclicamente ocurren precipitaciones extremas que ocasionan daños, y otras en las que se presentan sequías extremas igualmente dañinas.

México tiene una precipitación media anual de 780 mm, su escurrimiento medio anual es de 417 km³ (el 1% del escurrimiento mundial); y la disponibilidad media anual por habitante es de 5,125 m³, aproximadamente el doble del promedio de disponibilidad per-cápita a nivel mundial; sin embargo, insuficiente para considerarse un país con disponibilidad natural de agua extraordinaria.

1.1.2 Población.

De 1950 al año 2000, la población del país casi se cuadruplicó, y pasó de ser predominantemente rural (57% rural) a predominantemente urbana (75% urbana). La tasa de crecimiento ha disminuido significativamente y se estima que en el año 2030 será de sólo el 0.4%, las tablas 1.1 y 1.2 muestran la población actual y su tasa de crecimiento.

Tabla 1.1

Población y tasas de crecimiento

Año	Población			Fecha del Censo	Tasa de crecimiento media anual (%)
	Total	Urbana	Rural		
	(millones de habitantes)				
1950	25.79	11.00	14.79	6 junio	3.0
1960	34.93	17.71	17.22	8 junio	3.4
1970	48.23	28.31	19.92	28 enero	3.3
1980	66.85	44.30	22.55	4 junio	2.0
1990	81.25	57.96	23.29	12 marzo	2.0
1995	91.15	67.00	24.15	5 noviembre	1.6
2000	97.48	72.76	24.72	14 febrero	nd

Fuente: INEGI (1), 1996; INEGI (2), 2000.

nd = dato no disponible.

1.1.3 Regiones hidrológicas.

El ciclo hidrológico ocurre en cuencas, las cuales son unidades mínimas de manejo del agua. Las cuencas del país se encuentran agrupadas en 37 regiones hidrológicas para la realización de estudios hidrológicos y de calidad del agua, como se muestra en la tabla 1.2:

Tabla 1.2

Características de las regiones hidrológicas

Región Hidrológica	Extensión territorial continental (km ²)	Precipitación media anual 1941-2002 (mm)	Escorrentimiento natural superficial interno (hm ³)	Importaciones (+) o Exportaciones (-) de otros países (hm ³)
1. B.C. Noroeste	28 482	196	342	
2. B.C. Centro-Oeste	44 314	101	246	
3. B.C. Sureste	29 722	165	223	
4. B.C. Noreste	14 418	133	112	
5. B.C. Centro-Este	13 626	100	81	
6. B.C. Sureste	11 568	225	143	
7. Río Colorado	6 911	130	17	1 850
8. Sonora Norte	61 429	226	200	
9. Sonora Sur	139 370	478	5 259	
10. Sinaloa	103 483	729	13 915	
11. Presidio-San Pedro*	51 717	781	8 244	
12. Lerma-Santiago*	12 916	721	16 519	
13. Río Huicicila	5 225	1 214	1 676	
14. Río Ameca*	12 255	939	2 579	
15. Costa de Jalisco	12 967	1 166	6 079	
16. Armería-Coahuayana*	17 628	828	3 882	
17. Costa de Michoacán	9 205	1 002	1 635	
18. Balsas	118 268	949	24 944	
19. Costa Grande de Guerrero	12 132	1 243	6 051	
20. Costa Chica de Guerrero	39 936	1 403	18 933	
21. Costa de Oaxaca	10 514	1 301	3 878	
22. Tehuantepec	16 363	1 014	2 606	
23. Costa de Chiapas	12 293	2 368	9 703	2 950
24. Bravo-Donchos	229 740	422	7 366	- 432
25. San Fernando-Soto La Marina	54 961	664	4 236	
26. Pánuco	96 989	900	19 087	
27. Norte de Veracruz (Tuxpan-Nautla)	26 592	1 568	16 034	
28. Papaloapan	57 355	1 808	50 887	
29. Coatzacoalcos	30 217	2 279	44 141	
30. Grijalva-Usumacinta	102 465	1 892	73 487	44 080
31. Yucatán Oeste	25 443	1 192	591	
32. Yucatán Norte	58 135	1 067	0	
33. Yucatán Este	38 308	1 238	1 125	
34. Cuencas Cerradas del Norte	90 829	346	1 564	
35. Mapimi	62 639	302	580	
36. Nazas-Aguanaval	93 032	385	2 508	
37. El Salado	87 801	431	1 641	
Total Nacional	1 959 248	771	350 514	48 448

Fuente: Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, SGT, SGP, CNA.

Notas: * Datos preliminares. En estas regiones aún no están concluidos los estudios al 100%.

1. 2 USOS DEL AGUA EN MÉXICO.

En este apartado se detalla la información más reciente en cuanto a los tres principales usos del agua, el agropecuario, el abastecimiento público y el de la industria autoabastecida.

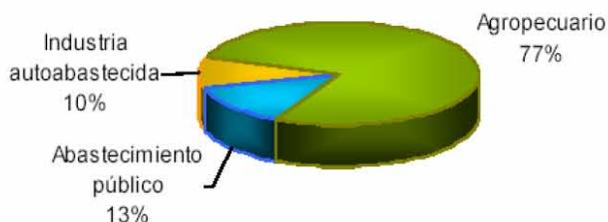
1.2.1 Usos del agua.

Se distinguen dos tipos de usos del agua:

- **Usos fuera del cuerpo de agua** o usos consuntivos, en los cuales el agua es transportada a su lugar de uso y la totalidad o parte de ella no regresa al cuerpo de agua.
- **Usos en el cuerpo de agua** o usos no-consuntivos, en los cuales el agua se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, como en el caso de las plantas hidroeléctricas.

Se cuenta con el Registro Público de Derechos de Agua (Repda) en el cual se tienen los volúmenes concesionados o asignados a los usuarios de aguas nacionales. En las tablas 1.3 y 1.4, se indican los volúmenes que se tienen registrados para los diferentes usos en el Repda.

Tabla 1.3
Volúmenes de agua concesionados para usos fuera del cuerpo de agua (%)
(Acumulado a diciembre de 2002)



Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CNA.

Tabla 1.4
Volúmenes de agua concesionados para usos fuera del cuerpo de agua por región administrativa
(Cifras acumuladas a diciembre de 2002)
(hm³ anuales)

Región Administrativa	Volumen total concesionado	Agropecuario ^a	Abastecimiento público ^b	Industria autoabastecida ^c
I Península de Baja California	3 780	3 083	416	281
II Noroeste	6 351	5 446	874	31
III Pacífico Norte	10 386	9 842	480	64
IV Balsas	10 160	6 029	728	3 403
V Pacífico Sur	1 350	1 075	262	13
VI Río Bravo	7 642	6 689	671	282
VII Cuencas Centrales del Norte	3 639	3 174	359	106
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	12 804	10 565	1 895	344
IX Golfo Norte	3 990	3 373	396	221
X Golfo Centro	4 535	2 132	730	1 673
XI Frontera Sur	1 944	1 434	430	80
XII Península de Yucatán	1 601	988	456	157
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	4 461	2 240	1 936	285
Total Nacional	72 643	56 070	9 633	6 940

Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CNA.

Notas: ^a Incluye los usos agrícola, pecuario, acuicultura, múltiples y otros.

^b Incluye los usos público urbano y doméstico.

^c Incluye los usos industria autoabastecida, agroindustria, servicios, comercio y termoelectricas.

1.2.2 Uso agropecuario.

En este rubro se incluyen los usos agrícola, pecuario, acuacultura, múltiples y otros. Cabe aclarar que estos usos, sólo representan el 6.3% del volumen de agua empleado en este rubro, como se muestra en la tabla 1.5.

Tabla 1.5

Volúmenes de agua concesionados para uso agropecuario por región administrativa
(Cifras acumuladas a diciembre de 2002)
(hm³ anuales)

Región Administrativa	Origen		Total
	Agua Superficial	Agua Subterránea	
I Península de Baja California	1 702	1 381	3 083
II Noroeste	3 197	2 249	5 446
III Pacífico Norte	8 889	953	9 842
IV Balsas	5 052	977	6 029
V Pacífico Sur	876	199	1 075
VI Río Bravo	3 627	3 062	6 689
VII Cuencas Centrales del Norte	1 204	1 970	3 174
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	6 276	4 289	10 565
IX Golfo Norte	2 623	750	3 373
X Golfo Centro	1 774	358	2 132
XI Frontera Sur	1 087	347	1 434
XII Península de Yucatán	28	960	988
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	1 924	316	2 240
Total Nacional	38 259	17 811	56 070

Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CNA.

1.2.3 Uso para abastecimiento público.

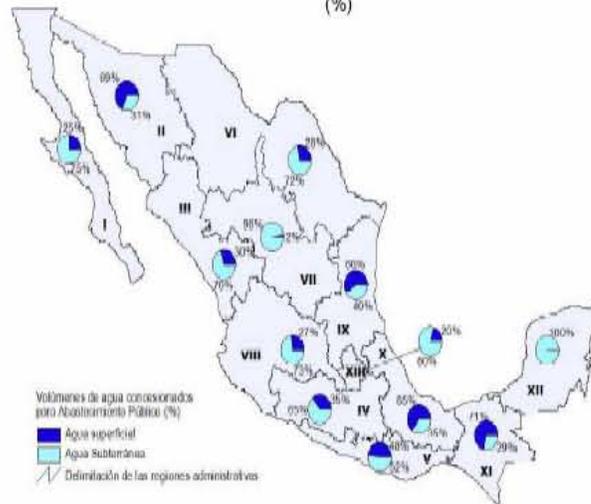
En este rubro se incluyen los usos público urbano y doméstico. El uso doméstico sólo representa el 0.4 % del volumen de agua empleado en este rubro.

En este rubro se incluyen todas las industrias y servicios que toman agua de las redes municipales de agua potable, mostrado en la figura 1.1 y en la tabla 1.6

Figura 1.1

Volúmenes concesionados de agua superficial y de agua subterránea para abastecimiento público

(Cifras acumuladas a diciembre de 2002)
(%)



Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CNA.

Volúmenes de agua concesionados para abastecimiento público por región administrativa

(Cifras acumuladas a diciembre de 2002)
(hm³ anuales)

Región Administrativa	Origen		Total
	Agua Superficial	Agua Subterránea	
I Península de Baja California	103	313	416
II Noroeste	607	267	874
III Pacífico Norte	145	335	480
IV Balsas	258	470	728
V Pacífico Sur	125	137	262
VI Río Bravo	185	486	671
VII Cuencas Centrales del Norte	8	351	359
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	512	1 383	1 895
IX Golfo Norte	238	158	396
X Golfo Centro	472	258	730
XI Frontera Sur	306	124	430
XII Península de Yucatán	0	456	456
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	389	1 547	1 936
Total Nacional	3 348	6 285	9 633

Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CNA.

Tabla 1.6

1.2.4 Uso para la industria abastecida.

En este rubro se incluyen los usos industrial, agroindustria, servicios y generación de energía eléctrica (excepto hidroeléctricas). Estos datos se muestran en la tabla 1.7

Tabla 1.7

Volúmenes de agua concesionados para la industria autoabastecida⁶ por región administrativa
(Cifras acumuladas a diciembre de 2002)
(hm³ anuales)

Región Administrativa	Origen		Total
	Agua Superficial	Agua Subterránea	
I Península de Baja California	67	214	281
II Noroeste	0	31	31
III Pacífico Norte	45	19	64
IV Balsas	3 260	143	3 403
V Pacífico Sur	5	8	13
VI Río Bravo	61	221	282
VII Cuencas Centrales del Norte	1	105	106
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	74	270	344
IX Golfo Norte	174	47	221
X Golfo Centro	1 593	80	1 673
XI Frontera Sur	11	69	80
XII Península de Yucatán	0	157	157
XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala	44	241	285
Total Nacional	5 335	1 605	6 940

Fuente: Gerencia del Registro Público de Derechos de Agua. SGAA. CNA.

⁶ Parte de la industria se abastece de las redes municipales de agua potable y por lo tanto no se encuentra cuantificada en este rubro, sino en el del uso para abastecimiento público.

La central carboeléctrica Presidente Plutarco Elías Calles (“Petacalco”) ubicada en las costas de Guerrero, tiene concesionados 3.1 km³ de agua anuales, lo que representa el 57.8 % del volumen total en el rubro de industria autoabastecida.

En el año 2002, las plantas hidroeléctricas emplearon 121 km³ de agua con los que se generaron 24 862 GWh.

1.3 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.

1.3.1 Usos del agua em México

En México, como en muchos países del mundo, las principales fuentes de contaminación del agua se clasifican en tres grupos, de acuerdo con su procedencia.

1.3.1.1 Sector social.

Corresponde a las descargas de residuos de origen doméstico y público que constituyen las aguas residuales municipales. Está relacionado con la cobertura de los servicios de agua potable y alcantarillado, se incrementa en los grandes

asentamientos urbanos. El 60 % de la población mexicana está concentrada en las grandes ciudades. Se calcula que el 57 % de las aguas residuales son generadas por la población, principalmente por las zonas localizadas en torno a las ciudades de México (23 %), Monterrey (4.1 %) y Guadalajara (4 %). Se estima que sólo el 50% de la población dispone de sistema de alcantarillado.

1.3.1.2 Sector industrial.

Integrado por las descargas generadas de las actividades de extracción y transformación de recursos naturales usados como bienes de consumo y satisfactores para la población. Se calcula que la industria genera el 43 % de las aguas residuales.

En México, el sector industrial se clasifica en 39 grupos, de acuerdo a los índices de extracción, consumo y contaminación, que general el 82 % del total de aguas residuales de la industria.

Tomando en cuenta además las circunstancias locales de las industrias, se ha establecido medidas de prevención y control de la contaminación del agua en México a las siguientes: azúcar y alcohol, refinación de petróleo y petroquímica, papel y celulosa, curtiduría, química, textil y alimenticia, mostrado en la tabla 1.8

Tabla 1.8 Principales giros industriales responsables de las mayores cargas de aguas residuales en México

Industria	Extracción %	Consumo %	Descarga %
Azucarera	35.2	22.3	38.8
Química	21.7	24.4	21.0
Papel y celulosa	8.2	16.1	6.0
Petróleo	7.2	3.7	8.2
Bebidas	3.3	6.4	2.4
Textil	2.6	2.4	2.7

Tabla 1.8 continuación.

Siderúrgica	2.5	5.5	1.7
Eléctrica	1.5	4.7	0.7
Alimentos	0.2	0.3	0.2
Resto del sector	0.17	14.1	18.1

Fuente: Control de la Contaminación en México. Sedue. 1990.

1.3.1.3 Sector agropecuario.

Constituido por los efluentes de las instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado y por las aguas de retorno de los campos agrícolas, se calcula que la superficie agrícola de riego y temporal es de 28 millones de hectáreas, que se usan 92 500 millones de m³ de agua y se consume el 82 % de ella por lo que la generación de aguas residuales es del 12 % (11 100 millones de m³). Las aguas de retorno agrícola son una fuente de contaminación importante. Se ha observado en la zona de La Piedad, Michoacán se utilizan de 10 a 15 L de agua por kilogramo de estiércol producido y que en promedio se generan 2 kg. de excremento por cabeza por día, considerando un peso promedio de 70 kg. por cabeza. La producción porcina se desarrolla principalmente en los estados de Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Sonora y Veracruz

1.3.2 Principales tipos de contaminación del agua

El agua dulce que utilizamos proviene de dos fuentes: agua superficial y agua subterránea (mantos freáticos). Al agua de la precipitación que no se infiltra en el suelo o que regresa a la atmósfera, por evaporación o transpiración, se conoce como agua superficial. Esta es el agua dulce que se encuentra sobre la superficie del planeta Tierra en ríos, lagos, pantanos y rebalses o depósitos artificiales. Las cuencas hidrológicas o colectoras, también llamadas cuencas de captación, son aquellas áreas de tierra que captan y llevan el agua de escurrimiento hasta las denominadas masas de agua superficial.

Al agua que fluye por la superficie de la tierra hasta los cuerpos o masas de agua en la superficie se le conoce como escurrimiento superficial y al agua que fluye por los

ríos hasta los océanos se le denomina escurrimiento fluvial. Se considera que el 69 % del agua que llega a los ríos en toda la Tierra proviene de la lluvia y de la nieve derretida en sus cuencas, y el agua restante proviene de descargas de agua subterránea. Las cuencas fluviales, alimentadas en gran parte por la lluvia, ocupan el 60 % del área de tierra firme y sustentan al 90 % de la población mundial. La deforestación puede causar cambios significativos en los patrones estacionales de los escurrimientos fluviales. Esto puede dar por resultado mayores tasas de escurrimiento superficial e inundaciones en temporada de lluvias, así como una gran probabilidad de ríos sin agua en temporada de sequía.

A continuación se mencionan otras fuentes importantes de contaminación del agua:

- Los agentes patógenos, son aquellos que causan enfermedades, como las bacterias, virus, protozoarios y gusanos parásitos que contaminan al agua provienen del drenaje doméstico y los desechos animales. En los países subdesarrollados, los agentes patógenos son la causa mayor de enfermedad y muerte en niños menores de 5 años.

- Las sustancias químicas inorgánicas solubles en agua como ácidos, sales y compuestos de mercurio y plomo. A ciertas concentraciones de éstas sustancias disueltas en el agua la hacen inadecuada para beber, dañina para los peces y otras formas de vida acuática, disminuyen el rendimiento agrícola y aceleran la corrosión de los equipos que utilizan agua.

- Las sustancias químicas orgánicas como el petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, solventes limpiadores, detergentes y muchos otros productos químicos solubles en agua y los poco solubles en agua amenazan la vida acuática y humana. Algunas de estas sustancias sintéticas contenidas en el agua pueden ocasionar trastornos renales, defectos congénitos y diversos tipos de cáncer en animales de laboratorio.

- La materia suspendida o sedimento son partículas insolubles de suelo y otros materiales sólidos inorgánicos y orgánicos que llegan a quedar en suspensión en el agua y la contaminan. Enturbian al agua, disminuyen la fotosíntesis por las plantas

acuáticas, reducen la capacidad de algunos organismos acuáticos para encontrar su alimento, altera las cadenas alimenticias acuáticas y transportan plaguicidas, bacterias y sustancias nocivas. Al sedimentarse éstas partículas destruyen los sitios de alimentación y desove de peces y obstruyen y rellenan estanques, lagos, presas y canales.

- Las sustancias radiactivas (radioisótopos) acumulativas solubles en agua llegan a alcanzar niveles de concentración que provocan serios problemas en las cadenas alimenticias. La radiación ionizante de dichos isótopos puede causar defectos congénitos, mutaciones dañinas (cambios hereditarios en las moléculas de ADN de los genes que se encuentran en los cromosomas) y cáncer.

- El calentamiento de lagos y ríos provocado por las descargas de agua utilizada en sistemas de enfriamiento provoca la disminución del contenido de oxígeno disuelto y hace a los organismos acuáticos vulnerables a la enfermedad, a los parásitos y a los efectos de las sustancias químicas tóxicas.

1.4 PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN MÉXICO.

En México no se ha tomado en cuenta plenamente las señales de escasez del agua. La concentración de la población y la actividad económica han creado zonas de alta escasez, no sólo en las regiones de baja precipitación pluvial sino también en zonas donde eso no se percibía como un problema al comenzar el crecimiento urbano o el establecimiento de agricultura de riego. Tan sólo para ilustrar la situación extrema en la que se encuentra el agua subterránea, podemos mencionar que según cálculos de la Comisión Nacional del Agua (CNA), 101 acuíferos de un total de 600 están sobre explotados.

El crecimiento poblacional y económico han ejercido mayor presión sobre las reservas de agua en México, al punto que el volumen demandado es mayor que el suministrado en algunas regiones del país, lo que obliga al gobierno a decidir a quién dejar sin este recurso, lo que ocasiona problemas distributivos. La competencia por este recurso es ya causa de conflictos, esto se presenta no sólo entre usuarios de la

misma comunidad sino entre distintas comunidades, municipios, estados e incluso en los límites fronterizos.

CAPÍTULO 2. PROPIEDADES DEL AGUA.

El agua tiene propiedades que son muy diferentes a las de otros compuestos de masa molecular semejante. Tanto el punto normal de fusión y el punto normal de ebullición del agua como el calor específico del agua líquida, los calores de fusión y de ebullición son muy grandes en comparación con compuestos de masa molecular semejante. Además, la densidad del agua sólida es menor que la densidad del agua líquida debido a lo cual no se solidifican completamente lagos, ríos y mares (sólo lo hacen en la capa superficial).

La tabla 2.1 muestra las propiedades más importantes del agua:

Tabla 2.1 Propiedades del agua.

Fórmula química	H₂O
Ángulo de enlace de su molécula	105 °
Longitud de enlace	0.95 Angstroms
Tipo de molécula	Polar y forma puentes de Hidrógeno
Masa molecular	18.0148
Punto normal de ebullición.	100 °C
Punto normal de fusión	0 °C
Densidad a 3.98 °C y presión 1 atm	1.10000 g/ml
Densidad a 20 °C y presión 1 atm	0.99998 g/ml
Calor de fusión	79.7 cal/g = 333.146 J/g

Tabla 2.1 continuación.

Calor de vaporización	539.6 cal / g = 2255.528 J/g
Calor específico a 20 °C y presión 1 atm	4.18 J / gK
Calor de fusión a 0°C y presión 1 atm	0.333 KJ / g
Calor de vaporización a 100 °C y presión 1 atm	2.257 KJ / g
Tensión superficial a 20 °C	0.0729 J / m²
Constante dieléctrica a 25 °C	78.5

2.1 CALOR DE VAPORIZACIÓN.

El agua tiene un elevado calor de vaporización y las propiedades físicas del agua se atribuyen principalmente a los enlaces por puente de hidrógeno, los cuales se presentan en mayor número en el agua sólida, en la red cristalina cada átomo de la molécula de agua está rodeado tetraédricamente por cuatro átomos de hidrógeno de otras tantas moléculas de agua y así sucesivamente es como se conforma su estructura. Cuando el agua sólida (hielo) se funde, la estructura tetraédrica se destruye y la densidad del agua líquida es mayor que la del agua sólida debido a que sus moléculas quedan más cerca entre sí, pero sigue habiendo enlaces por puente de hidrógeno entre las moléculas del agua líquida. Cuando se calienta agua sólida, a medida que se incrementa la temperatura por encima de la temperatura de fusión, se debilita el enlace por puente de hidrógeno y la densidad aumenta más hasta llegar a un valor máximo a la temperatura de 3.98°C. A temperaturas mayores de 3.98 °C la densidad del agua líquida disminuye con el aumento de la temperatura de la misma manera que ocurre con los otros líquidos.

2.2 DENSIDAD.

La densidad de la mayoría de las sustancias sólidas es mayor que la densidad de su estado líquido. Una excepción es el agua, según lo demuestra la curva densidad vs temperatura que se muestra en la figura 2.1:

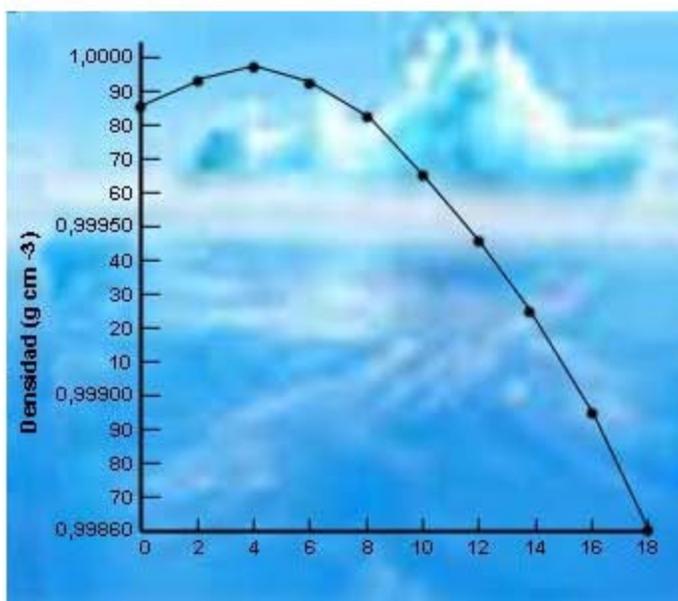


Figura 2.1 Curva densidad - temperatura.

Según esta curva, su densidad máxima es a 4°C, es decir en estado líquido, y a 0°C, en estado sólido, es menor. Para comprender esta propiedad supóngase que por efecto del calor externo, la masa sólida comienza a fundirse. En esta transformación, un número relativamente pequeño de moléculas adquiere energía cinética suficiente como para que se rompan sus enlaces de hidrógeno. Estas moléculas se liberan de la red cristalina que comienza a desmoronarse y quedan ocupando los huecos hexagonales que forman canales, con lo cual comienza a aumentar la masa por unidad de volumen. A medida que crece la energía externa aumenta la densidad del agua líquida, porque se ocupan mas espacios vacíos hasta llegar al máximo de 4°C. Esta es la razón por la cual el hielo es menos denso que el agua y por lo tanto flota sobre ella.

Al mismo tiempo que el agua se calienta, se expande y por lo tanto disminuye su densidad. Estos dos procesos, ocupado de huecos hexagonales y expansión térmica

actúan en sentidos contrarios. De 0°C a 4°C predomina el proceso de llenado de huecos y el agua se torna más densa. Sobre 4°C predomina la expansión térmica con la consiguiente disminución de densidad. Las variaciones de densidad del agua con la temperatura tienen una profunda repercusión en el medio ambiente. En cuerpos de agua, como un lago, el agua a 4°C, que es la más densa, se sumerge hasta el fondo mientras que el agua sobre 4°C, que es menos densa, sube a la parte superior. Este desplazamiento de agua, por convección, produce que la casi totalidad del cuerpo alcance los 4°C. Bajo esta temperatura la densidad disminuye, pero como el agua no es más pesada que la que está a 4°C, no se desplaza hacia el fondo sino que permanece en la superficie hasta que a 0°C se congela. La capa de hielo que se forma, que es menos densa, no se sumerge y como queda sobre la superficie del cuerpo de agua forma una capa aislante que evita que el agua interior se congele. Si el hielo llegara al fondo, no podría aislar el interior del cuerpo del frío ambiental, por lo que todo el cuerpo se congelaría y los peces y otros organismos vivos morirían.

2.3 CALOR ESPECÍFICO.

El calor específico de una sustancia es la cantidad de calor que se requiere para elevar un grado Celsius la temperatura de un gramo de ella. Según esta definición, las unidades en que se expresa este calor son J/g°C. Así el calor específico del agua es de 4,184 J/g°C, valor que es anormalmente elevado cuando se le compara con los de otras sustancias. Por ejemplo, el del mercurio es 0,139 . Por lo tanto, el valor 4,184 J/g°C implica que se necesita una gran cantidad de calor para calentar 1 g de agua o se desprende mucho calor cuando ésta se enfría. En el estado líquido, así como en el estado sólido, las moléculas de agua están atraídas mediante enlaces de hidrógeno, se requiere energía calorífica para romper los enlaces de hidrógeno con lo cual las moléculas se mueven más rápido en el caso del agua, para una cantidad dada de calor, se eleva menos la temperatura de un gramo de agua. A 100°C todavía hay un número muy grande de enlaces de hidrógeno sin romper y para vaporizar un mol de agua se necesita cerca de cuatro veces más calor que lo

esperado de no haber dicho enlace. Esta cantidad adicional de calor es la razón que explica porqué el punto de ebullición del agua es 100°C.

La capacidad del agua para almacenar energía calorífica tiene consecuencias ambientales muy importantes. Una de estas es el clima. Así, las áreas geográficas cercanas a los grandes lagos, mares u océanos experimentan fluctuaciones más pequeñas de temperatura, no sólo entre invierno y verano sino que también entre el día y la noche, que aquellas áreas situadas en el interior de los continentes. El agua de estos cuerpos puede absorber gran cantidad de calor en verano, mientras que su temperatura sólo aumenta ligeramente. En invierno, los cuerpos desprenden calor con lo que la temperatura del agua baja levemente y en el ambiente hay menos frío. Las corrientes de los océanos también transportan calor, que no solo condiciona el clima sino que también la vida de los peces y éstos la actividad pesquera. La circulación del agua de la sangre de los organismos regula la temperatura de los seres vivos.

2.4 DISOLUCIÓN.

Se ha establecido que la molécula de agua es polar. Es precisamente esta polaridad que presenta el agua líquida, la que le permite disolver muchos compuestos, es decir, la formación de una mezcla homogénea entre la sustancia que se disuelve ó soluto y el agua que la disuelve ó disolvente. Cuando se disuelve un sólido iónico en agua, como lo es el cloruro de sodio, se produce la disolución de los cationes sodio y aniones cloruro, los cuales atraen a las moléculas de agua. La parte positiva o polo positivo del agua es atraído por los aniones y el polo negativo por los cationes. Este proceso se denomina disolución. La disolución permite que aniones y cationes, que en estado sólido estaban unidos por enlaces iónicos, en disolución permanezcan separados, la figura 2.2 muestra este proceso:

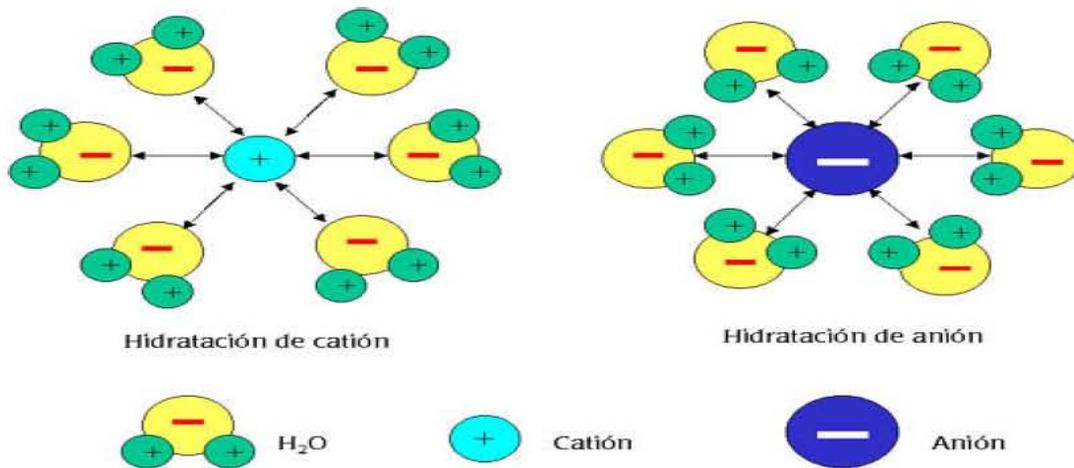


Figura 2.2 Proceso de disolución del cloruro de sodio

2.5 TENSIÓN SUPERFICIAL.

La tensión superficial de un líquido es la cantidad de energía necesaria para aumentar su superficie por unidad de área. Esta definición implica que el líquido presenta una resistencia para aumentar su superficie. Cabe suponer que los líquidos cuyas moléculas tengan fuerzas de atracción intermoleculares fuertes tendrán tensión superficial elevada. Puesto que las fuerzas intermoleculares de atracción entre moléculas de agua se deben a los enlaces de hidrógeno y éstos representan una alta energía, la tensión superficial del agua es mayor que la de muchos otros líquidos.

Esta propiedad del agua se manifiesta en el fenómeno de capilaridad, que permite la ascensión de la savia en los vegetales. La capilaridad es la subida espontánea de un líquido en un tubo estrecho (capilar). Se debe a la existencia de dos tipos de fuerzas diferentes: cohesivas que son las fuerzas entre las moléculas del líquido y adhesivas que son las fuerzas que operan entre las moléculas del líquido y el capilar.

El agua tiene la capacidad de ascender por las paredes de un tubo de vidrio capilar cuando la superficie del agua toca el vidrio, porque las fuerzas de adhesión agua-vidrio son mayores que las de cohesión agua-agua, por lo que el agua contenida en el capilar sube hasta que las fuerzas de atracción se hacen igual al peso de la columna de agua que se formó en su ascenso. El hecho que las fuerzas adhesivas en el agua sean mayores que las cohesivas, se manifiesta también en la formación

de un menisco cóncavo (redondeado hacia abajo) en el extremo de la columna. Cuando las fuerzas cohesivas son mayores que las adhesivas, como en el caso del líquido mercurio, se forma un menisco convexo (redondeado hacia arriba), ver figura 2.4:

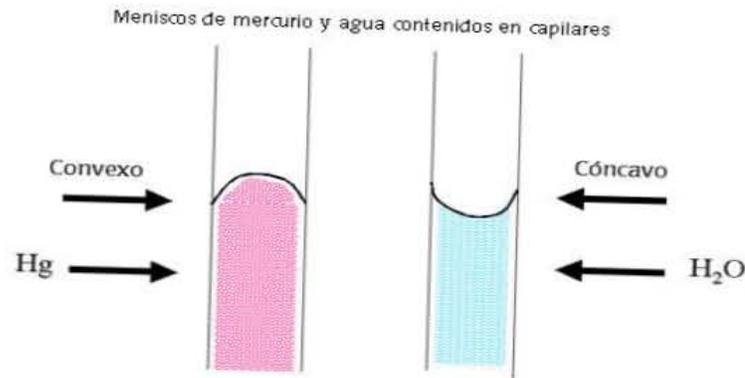


Figura 2.3 Meniscos de mercurio y agua

2.6 VISCOSIDAD.

Es una medida de la resistencia a fluir que presentan los líquidos. Esta definición significa que a mayor viscosidad, un líquido escurre más lentamente. La viscosidad de un líquido disminuye con el aumento de temperatura, porque la viscosidad está relacionada directamente con las fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido. El agua tiene mayor viscosidad que otros líquidos porque sus fuerzas intermoleculares se deben a los enlaces de hidrógeno.

2.7 SOLUBILIZACIÓN DE GASES.

La solubilidad de algunos gases, como el oxígeno y dióxido de carbono del aire en el agua, tiene capital importancia en la vida acuática.

En general, la cantidad de un gas que se disuelve en un líquido depende de la presión externa y de la temperatura del líquido. Según la Ley de Henry, la solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión del gas sobre el líquido.

La curva muestra la solubilidad del oxígeno en agua con respecto a la temperatura.

En ella queda claro que la solubilidad del oxígeno y de otros gases en agua u otros líquidos, disminuye con la temperatura. Por esta razón, el contenido de oxígeno de

un lago en verano es mayor en la profundidad, porque en esta zona hay menos temperatura, figura 2.5

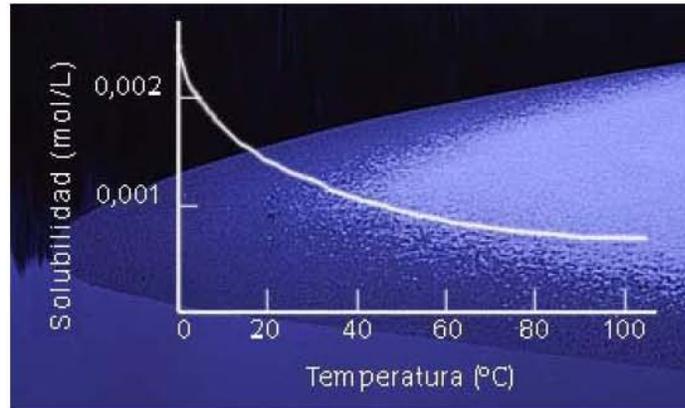


Figura 2.5 Gráfica solubilidad - temperatura.

2.8 FUSIÓN Y EBULLICIÓN.

Si se calienta una masa de hielo, su temperatura aumenta gradualmente hasta que alcanza 0°C en que el hielo comienza a fundirse. Durante la fusión, la temperatura permanece constante (punto de fusión) porque el calor absorbido por la masa se emplea en vencer las fuerzas de atracción entre las moléculas de agua del hielo. Una vez que la masa se ha fundido totalmente, el calor absorbido aumenta la energía cinética de las moléculas de agua y la temperatura aumenta hasta llegar a 100°C, donde comienza la ebullición. Durante ésta, la temperatura permanece constante (punto de ebullición) porque el calor se está empleando para superar las fuerzas de atracción entre las moléculas al estado líquido. Cuando las moléculas están en fase vapor, la temperatura aumenta de nuevo, figura 2.6



Figura 2.6 Gráfica temperatura – tiempo.

Se puede observar, que la primera parte de la curva que es paralela al eje del tiempo y que corresponde a la coexistencia de hielo-agua a 0°C, es más pequeña que la correspondiente parte que corresponde al paso de agua-vapor. La energía de esta última transformación es unas siete veces mayor que el cambio hielo-agua.

2.9 TRANSPARENCIA.

La transparencia de una masa sólida o líquida se debe a que esta masa deja pasar totalmente la luz visible. El agua limpia es transparente, lo cual implica que al pasar la luz se puede verificar el proceso de fotosíntesis en un cuerpo de agua y que obviamente este proceso se restringe en la medida que aumenta la turbidez.

2.10 ESTADOS DE AGREGACIÓN DEL AGUA.

El agua se encuentra en 3 estados:

Sólido: Generalmente este estado es representado por el hielo. Cuando al agua se le extrae calor, la cohesión de las moléculas crece eliminando la fuerza de repulsión, por lo que las moléculas se unen al máximo creando un objeto sólido. Este estado no tiene espacios intermoleculares.

Líquido: es el estado en que llamamos al H₂O, agua. Esta se representa en estado líquido, ya que ha diferencia del estado sólido, esta tiene las moléculas mas separadas. El H₂O, en este estado, se adapta a la forma del recipiente en que es sostenida, y tiene espacios intermoleculares.

Gaseoso: Se representa generalmente con el vapor y las nubes. Se caracteriza por tener gran poder de expansión evitando que mantenga una forma definida. Las moléculas son muy separadas en este estado, concluyendo así, que es donde se tienen espacios intermoleculares más grandes de los 3 estados del H₂O. La figura 2.7 muestra los estados de agregación del agua.

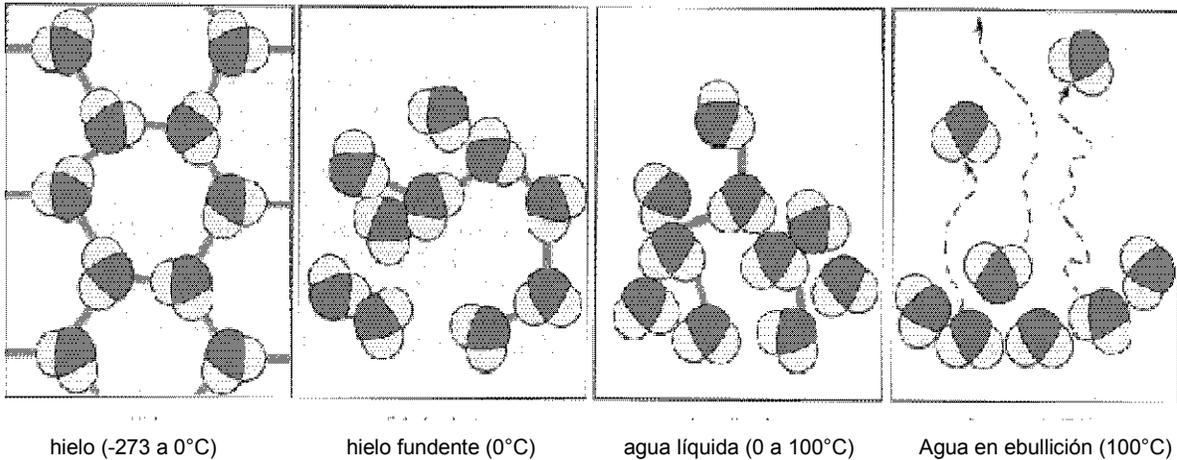


Figura 2.7 Estados de agregación del agua.

2.11 PROPIEDADES QUÍMICAS.

La tabla 2.2, muestra algunas de las propiedades químicas del agua:

Tabla 2.2 Propiedades químicas del agua.

Nombre	Agua.
Fórmula química	H ₂ O
Masa molecular (g / mol)	18.014
Punto normal de ebullición (K)	373.16
Punto normal de fusión (K)	273.16

El agua como compuesto químico:

Habitualmente se piensa que el agua natural que conocemos es un compuesto químico de fórmula H₂O, pero no es así, debido a su gran capacidad disolvente toda el agua que se encuentra en la naturaleza contiene diferentes cantidades de diversas sustancias en solución y hasta en suspensión, lo que corresponde a una mezcla.

Experimentalmente se encontró que el ángulo que forman los 2 enlaces covalentes oxígeno-hidrógeno es de 105° y la longitud de enlace oxígeno-hidrógeno es de 0.96Å ($1\text{ Å} = 10^{-8}\text{ cm}$), requiriéndose de 118 kcal/mol para romper uno de éstos enlaces covalentes de la molécula H_2O . Además, el que el ángulo experimental de enlace sea menor que el esperado teóricamente (109°) se explica como resultado del efecto de los 2 pares de electrones no compartidos del oxígeno que son muy voluminosos y comprimen el ángulo de enlace hasta los 105° .

El agua es un compuesto muy versátil principalmente debido a que el tamaño de su molécula es muy pequeño, también a que su molécula es buena donadora de pares de electrones, a que forma puentes de hidrógeno entre sí y con otros compuestos que tengan enlaces como: N-H, O-H y F-H, a que tiene una constante dieléctrica muy grande y a su capacidad para reaccionar con compuestos que forman otros compuestos solubles y a la vez, funciona como ácido, agente oxidante y agente reductor.

CAPÍTULO 3. FUNDAMENTOS DE REFRIGERACIÓN.

3.1 CONCEPTOS DE REFRIGERACIÓN.

3.1.1 Refrigeración.

En el sentido técnico, refrigeración significa mantener un sistema a temperatura menor que la de sus alrededores. Esto no puede suceder de forma natural, de modo que debe emplearse un dispositivo que permita lograr lo anterior. Existen varios sistemas de refrigeración que se utilizan en la práctica para llevar a cabo tal función.

La refrigeración evita el crecimiento de bacterias e impide algunas reacciones químicas no deseadas que pueden tener lugar temperatura ambiente. El uso de hielo de origen natural o artificial como refrigerante estaba muy extendido hasta poco antes de la Primera Guerra Mundial, cuando aparecieron los refrigeradores mecánicos y eléctricos. La eficacia del hielo como refrigerante es debida a que tiene una temperatura de fusión de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y para fundirse tiene que absorber una cantidad de calor equivalente a $333,1\text{ kJ/kg}$. La presencia de una sal en el hielo reduce en varios grados el punto de fusión del mismo. Los alimentos que se mantienen a esta temperatura o ligeramente por encima de ella pueden conservarse durante más tiempo.

Los principales sistemas mecánicos de refrigeración son el sistema de compresión, que se emplea en los refrigeradores domésticos grandes y en la mayoría de los aparatos de aire acondicionado. El otro sistema es el de absorción.

3.1.2 Leyes de la termodinámica.

Entalpía. Función calorífica de presión constante. Cantidad de calor necesaria para conducir al cuerpo de la condición térmica inicial a la final a presión constante. Contenido calorífico de un sistema.

Entropía. Grado de desorden o de disminución de energía en un sistema.

Primera ley de la termodinámica (Ley de la Conservación de la Energía): "La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma" [$\Delta U = \Delta C + \Delta T$] (ΔU = Energía Interna, ΔC = Variación en Calor, ΔT = Variación en Trabajo). Si ΔC se da a presión atmosférica, es decir constante, se le llama ΔH = Cambio de entalpía. Si resulta $-\Delta H$ la transformación es exotérmica, si es $+\Delta H$, es endotérmica.

En cualquier clase de sistema sea abierto o cerrado, la energía total del sistema se debe conservar, permitiéndose solo en ella transformaciones, esto nos indica la existencia de un flujo de energía debido a diferencias de temperaturas en los cuerpos que componen el sistema.

Segunda ley de la termodinámica (Ley de la Disminución de la Energía): "La inercia de todo sistema tiende a ir del orden al desorden". La segunda ley de la termodinámica es aquella según la cual el calor siempre viaja del cuerpo más cálido al cuerpo más frío. El grado de transmisión es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre ambos cuerpos. (entropía = S) [$S=Q/Ta$] (Q = Cantidad de Calor y Ta = Temperatura Absoluta).

Tercera ley de la termodinámica. El tercer principio de la termodinámica afirma que *el cero absoluto no puede alcanzarse por ningún procedimiento que conste de un número finito de pasos*. Es posible acercarse indefinidamente al cero absoluto, pero nunca se puede llegar a él. En el cero absoluto *el sistema tiene la mínima energía posible*.

Ley cero de la termodinámica. También llamada "EQUILIBRIO TERMODINAMICO" y nos dice que entre cuerpos colocados a una misma temperatura uno al lado del otro, sus temperaturas permanecen constantes debido a que no existe un flujo de energía entre ellos.

3.1.3 Calor.

El calor es una forma de energía, creada principalmente por la transformación de otros tipos de energía en energía calorífica, es definido como energía en tránsito porque nunca se mantiene estática, ya que siempre está transmitiéndose de los

cuerpos cálidos a los cuerpos fríos. La mayor parte del calor en la tierra se deriva de las radiaciones del sol. Existe calor a cualquier temperatura arriba de cero absoluto, incluso en cantidades extremadamente pequeñas. Cero absoluto es el término usado por los científicos para describir la temperatura más baja que teóricamente es posible lograr, en la cual no existe calor y que es de -273°C , o sea -460°F . La temperatura más fría que podemos sentir en la tierra es mucho más alta en comparación con esta base.

3.1.4 Transmisión de calor.

El calor puede viajar en tres diferentes formas: Radiación, Conducción y Convección.

Radiación es la transmisión de calor por ondas similares a las ondas de luz y a las ondas de radio; un ejemplo de radiación es la transmisión de energía solar a la tierra.

Conducción es el flujo de calor a través de una sustancia. Para que haya transmisión de calor entre dos cuerpos en esta forma, se requiere contacto físico real. La Conducción es una forma de transmisión de calor sumamente eficiente.

Convección es el flujo de calor por medio de un fluido, que puede ser un gas o un líquido, generalmente agua o aire. El aire puede ser calentado en un horno y después descargado en el cuarto donde se encuentran los objetos que deben ser calentados por convección.

La aplicación típica de refrigeración es una combinación de los tres procesos citados anteriormente. La transmisión de calor no puede tener lugar sin que exista una diferencia de temperatura.

3.1.5 Temperatura.

"La temperatura es la escala usada para medir la intensidad del calor y es el indicador que determina la dirección en que se moverá la energía calorífica". También puede definirse como el grado de calor sensible que tiene un cuerpo en comparación con otro. Se puede representar cualquier estado de un sistema de un componente por un punto en un diagrama de dos dimensiones P - T , donde cada

punto corresponde a una temperatura y presión definidas. El diagrama de la figura 3.1 se denomina *diagrama de fases*. Tómese como ejemplo el agua pura:

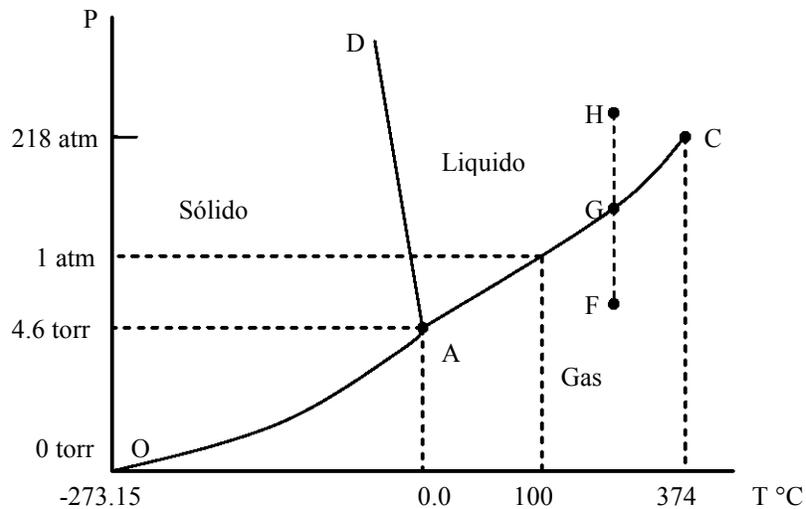


Figura 3.1 Diagrama de fases del agua.

El punto A es el *punto triple*. En él sólido, líquido y vapor están en equilibrio mutuo a una temperatura y presión definida. El punto triple del agua se usa como referencia para la escala de temperaturas termodinámicas.

El punto de fusión de un sólido a una presión dada P es la temperatura a la que el sólido y el líquido están en equilibrio en dicha presión. La línea AD de la figura es la de equilibrio sólido-líquido para el agua y da el punto de fusión del hielo como una función de la presión. Nótese que el punto de fusión del hielo decrece lentamente cuando la presión aumenta. El punto de hielo a 0°C, es la temperatura de equilibrio de hielo y agua líquida saturada de aire a 1atm de presión. Para una sustancia pura, el punto de congelación del líquido a una presión dada es igual al punto de fusión del sólido.

A lo largo de la línea OA existe equilibrio entre sólido y vapor. El hielo calentado a una presión por debajo de 4,6 torr sublimará a vapor en lugar de fundir a líquido. La línea OA es la curva de presión de vapor del sólido. La mecánica estadística muestra

que la presión de vapor de un sólido tiende a cero en el límite $T \rightarrow 0$, por ello, la línea sólido-vapor en un diagrama de fases P-T pasa por el origen.

Escala de Kelvin. En 1954 el comité Internacional sobre Pesas y Medidas adoptó una nueva escala de temperaturas basada en un solo punto fijo, con b igual a cero. El punto triple del agua que corresponde a la temperatura y presión únicas en las que el agua, el vapor del agua y el hielo puedan coexistir en equilibrio, se eligió como una temperatura de referencia conveniente y reproducible. El punto triple del agua ocurre a una temperatura aproximadamente de $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a una presión de 0.61 KPa . La temperatura en el punto triple del agua en la nueva escala se tomo como 273.16 K . Esta selección se hizo para que la vieja escala de temperatura basada en los puntos de hielo y del vapor coincidiera cercanamente con la nueva escala basada en el punto triple. Esta nueva escala se denomina escala de temperatura termodinámica y la unidad SI de la temperatura termodinámica.

Escala de la temperatura Celsius y Fahrenheit. La temperatura Celsius T_c , esta desplazada respecto de la escala absoluta (o Kelvin) T en 273.15 ya que por definición, el punto triple del agua (273.16 K) corresponde a 0.01 C . Por lo tanto:

$$T_c = T - 273.15 \dots (3.1)$$

A partir de esto se ve que el tamaño de un grado en la escala kelvin es igual al de la escala Celsius. En otras palabras, una diferencia de temperaturas de 5 K las dos escalas solo difieren en la elección del punto cero. Además, el punto del hielo (273.15 K) corresponde a $0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el punto del vapor (373.15 K) es equivalente a $100.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Otra escala utilizada en los Estados Unidos es la escala Fahrenheit. La temperatura Fahrenheit se relaciona con la temperatura Celsius a través de la expresión:

$$T_f = 9/5 T_c + 32\text{ F} \dots (3.2)$$

De esta expresión se concluye que el punto del hielo ($0.0\text{ }^{\circ}\text{C}$) es igual a $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ y el punto del vapor ($100.0\text{ }^{\circ}\text{C}$) es iguala $212\text{ }^{\circ}\text{F}$.

Escala de temperatura absoluta. La escala de la temperatura absoluta es idéntica a la escala de la temperatura de un gas ideal y es independiente de las propiedades de la sustancia de trabajo. Por lo tanto, puede aplicarse incluso a temperaturas muy bajas. La tabla 3.1 muestra una equivalencia entre las diferentes escalas.

Tabla 3.1 Tabla de temperaturas.

	Kelvin K	Celsius °C	Rankin °R	Fahrenheit °F
Cero absoluto	0	-273.15	0	-459.67
Congelación del agua, P = 1 atm	273.15	0	491.67	32
Punto triple del agua	273.16	0.01	491.69	32.018
Ebullición del agua, P = 1atm	373.15	100	671.67	212

3.2 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.

Se puede efectuar la refrigeración por compresión y por absorción que en la actualidad se usa sobre todo en los acondicionadores de aire por calor. En este capítulo solo nos ocuparemos del sistema de compresión.

Como se mencionó anteriormente El sistema de refrigeración que más se emplea es el de compresión. A continuación se explica detalladamente el ciclo de refrigeración doméstica por compresión que es que se utilizará en este proyecto.

El refrigerante en estado líquido, pasa del condensador hasta un recipiente y de allí fluye por el tubo reductor y este disminuye la presión del líquido a medida que fluye dentro del evaporador para enfriarlo. Este evaporador se haya en el espacio que desea refrigerar. El aire tibio de este recinto le transmite por contacto al evaporador parte de su calor y hace que el líquido se evapore. Como se ve este nuevo cambio de estado de líquido a vapor, se efectúa aumentando la temperatura. A continuación, el compresor aspira por el tubo de succión el vapor caliente del evaporador y después de volverlo a comprimir, lo impulsa al condensador como se explicó anteriormente. Se repite así el proceso en ciclos continuos. En las grandes instalaciones refrigeradoras se utiliza generalmente amoníaco como agente frigorífico, mientras que en los refrigeradores domésticos se emplea anhídrido

sulfuroso, cloruro de metilo y freón. En la figura 3.2, se muestra el sistema de refrigeración explicado anteriormente,

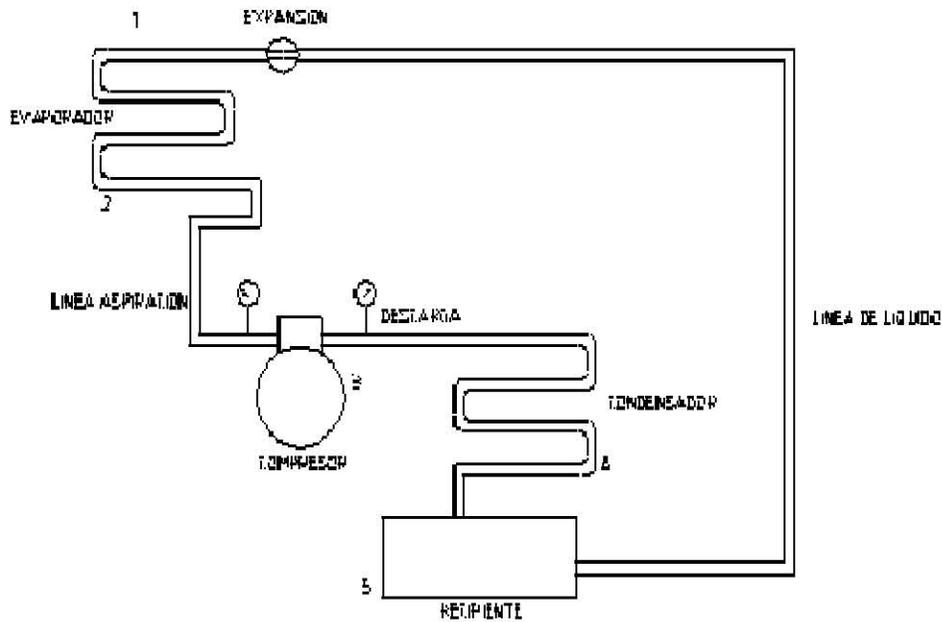


Figura 3.2 Ciclo de refrigeración.

3.2.1 Ciclo Inverso De Carnot (Ciclo Frigorífico).

La termodinámica tiene como base fundamental dos grandes principios:

Principio de Mayer ó principio de la equivalencia.

Principio de Carnot – Clausius ó principio de la entropía.

El principio de Mayer nos ha permitido que la energía calorífica puede convertirse en trabajo mecánico, ó a la inversa, pero sin intervenir la noción de rendimiento de la transformación.

En este apartado nos ocuparemos principalmente del ciclo de Carnot, cuyo principio permite calcular el rendimiento de esta transformación que nos facilita al propio tiempo la relación que permite calcular este rendimiento en función de las temperaturas, bajo las cuales tienen lugar estas transformaciones, basándose en el proceso de las máquinas de vapor se dan al principio de Carnot dos interpretaciones distintas, una para el rendimiento de un motor térmico y el rendimiento de una máquina frigorífica.

Ciclo de Carnot para motor térmico.

Carnot buscó el mejoramiento en el rendimiento de las máquinas motrices con un ciclo que consiste en completar el vapor para facilitar el máximo la energía mecánica para un consumo dado de energía calorífica en la fuente de calor, con ello se tiene la ecuación para el rendimiento:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \dots\dots 3.3$$

El ciclo experimenta cuatro transformaciones adiabáticas, alternadas dos a dos. Este ciclo corresponde a una turbina de vapor que se representa en la figura 3.3

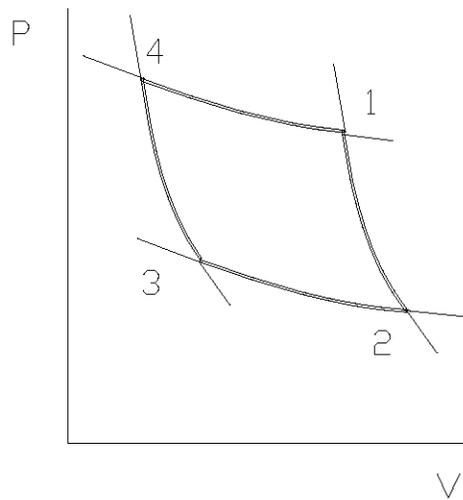


Figura 3.3 Ciclo de Carnot para un motor térmico

En la figura, la superficie interna del diagrama del ciclo representará el trabajo mecánico aportado por la máquina

Ciclo de Carnot para una máquina frigorífica.

Las máquinas frigoríficas, son máquinas térmicas invertidas, por consiguiente su coeficiente de rendimiento es igual a la siguiente ecuación

$$\varepsilon = \frac{T_0}{T_k - T_0} \dots\dots 3.4$$

Donde:

ε = coeficiente de rendimiento frigorífico

T_0 = Fuente fría (evaporador)

T_k = Fuente de calor (condensador)

En el caso de la máquina motriz, el estado del fluido se desplaza en el sentido de las agujas del reloj, en el caso de la máquina frigorífica, deberá girar en sentido inverso (ó sea en sentido trigonométrico). En la figura 3.4 se representa el diagrama de un ciclo de Carnot aplicado a una máquina frigorífica.

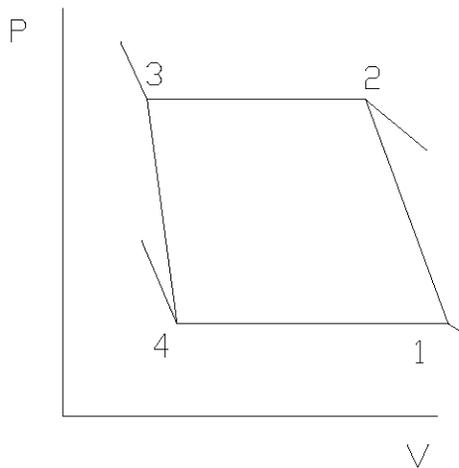


Figura 3.4 Ciclo de Carnot para máquina frigorífica.

Entonces se tiene:

- | | |
|--|-----------------|
| 1. Transformación adiabática.
(compresión) | Estado final 2. |
| 2. Transformación isotérmica
(Condensación) | Estado final 3. |
| 3. Transformación adiabática.
(expansión) | Estado final 4. |
| 4. Transformación isotérmica
(Evaporación) | Estado final 1. |

El área del ciclo representará esta vez el trabajo mecánico que debe suministrarse al sistema

3.3 REFRIGERANTES.

Es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia.

Con respecto al ciclo *compresión-vapor*, el refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo el cuál alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente.

Para que un refrigerante sea apropiado y se le pueda usar en el ciclo antes mencionado, debe poseer ciertas propiedades físicas, químicas y termodinámicas que lo hagan seguro durante su uso.

3.3.1 Nomenclatura simbólica numérica.

Los refrigerantes podrán expresarse en lugar de hacerlo por su fórmula o por su denominación química, mediante la denominación simbólica numérica adoptada internacionalmente y que se detalla seguidamente.

La denominación simbólica numérica de un refrigerante se establecerá a partir de su fórmula química, consistiendo en una expresión numérica en la que:

- La primera cifra de la derecha, en los compuestos que carezcan de bromo, indicará el número de átomos de flúor de su molécula.

- A la izquierda de la anterior se indicará con otra cifra el número de átomos de hidrógeno de su molécula más uno.

- A la izquierda de la anterior se indicará con otra cifra el número de átomos de carbono de su molécula menos uno.

Si resultara cero no se indicará.

- El resto de los enlaces se completará con átomos de cloro.

- Si la molécula contiene átomos de bromo se procederá de la manera indicada hasta aquí, añadiendo luego a la derecha una B mayúscula, seguida del número de dichos átomos.

- En los compuestos isómeros, el más simétrico (en pesos atómicos) se indicará sin letra alguna a continuación de los números. Al aumentar la asimetría, se colocarán las letras a, b, c, etc.

- Los compuestos no saturados seguirán las letras anteriores, anteponiendo el número 1 como cuarta cifra, contada desde la derecha.

- Las mezclas determinadas de refrigerantes se expresarán mediante las denominaciones de sus componentes, intercalando, entre paréntesis, el porcentaje en peso correspondiente a cada uno. Éstas mezclas también pueden designarse por un número de la serie 500 completamente arbitrario.

Los números de identificación de los refrigerantes de los compuestos inorgánicos se obtienen añadiendo a 700 los pesos moleculares de los compuestos.

Cuando dos o más refrigerantes inorgánicos tienen los mismos pesos moleculares se utilizan las A, B, C, etc. , para distinguirlos entre ellos.

3.3.2 Propiedades.

Para tener un uso apropiado como refrigerante, se busca que los fluidos cumplan con la mayoría de las siguientes características:

Baja temperatura de ebullición: Un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente, a presión atmosférica. (evaporador)

Fácilmente manejable en estado líquido: El punto de ebullición debe ser controlable con facilidad de modo que su capacidad de absorber calor sea controlable también.

Alto calor latente de vaporización: Cuanto mayor sea el calor latente de vaporización, mayor será el calor absorbido por kilogramo de refrigerante en circulación.

No inflamable, no explosivo, no tóxico.

Químicamente estable: A fin de tolerar años de repetidos cambios de estado.

No corrosivo: Para asegurar que en la construcción del sistema puedan usarse materiales comunes y la larga vida de todos los componentes.

Moderadas presiones de trabajo: las elevadas presiones de condensación (mayor a 25-28 kg/cm²) requieren un equipo extrapesado. La operación en vacío (menor a 0 kg/cm²) introduce la posibilidad de penetración de aire en el sistema.

Fácil detección y localización de pérdidas: Las pérdidas producen la disminución del refrigerante y la contaminación del sistema.

Inocuo para los aceites lubricantes: La acción del refrigerante en los aceites lubricantes no debe alterar la acción de lubricación.

Bajo punto de congelación: La temperatura de congelación tiene que estar muy por debajo de cualquier temperatura a la cuál pueda operar el evaporador.

Alta temperatura crítica: Un vapor que no se condense a temperatura mayor que su valor crítico, sin importar cuál elevada sea la presión. La mayoría de los refrigerantes poseen críticas superiores a los 93°C.

Moderado volumen específico de vapor: Para reducir al mínimo el tamaño del compresor.

Bajo costo: A fin de mantener el precio del equipo dentro de lo razonable y asegurar el servicio adecuado cuando sea necesario.

3.3.3 Grupos de clasificación según el grado de seguridad.

Los refrigerantes se clasifican en tres grupos, que se detallan en la tabla 3.2

Tabla 3.2 Clasificación de los refrigerantes.

Nº de identificación del refrigerante.	Nombre químico	Fórmula química	Peso molecular en gramos	Punto de ebullición en ° C a 1,013 bar
R-11	Triclorofluorometano	CCl_2F	137,4	23,8
R-12	Diclorodifluorometano	CCl_2F_2	120,9	-29,8
R-13	Clorotrifluorometano	CClF_3	104,5	-81,5
R-13B1	Bromotrifluorometano	CBrF_3	148,9	-58
R-14	Tetrafluoruro de carbono	CF_4	88	-128
R-21	Diclorofluorometano	CHCl_2F	102,9	8,92
R-22	Clorodifluorometano	CHClF_2	86,5	-40,8
R-113	1,1,2-Triclorotrifluoretano	$\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$	187,4	47,7
R-114	1,2-Diclorotetrafluoretano	$\text{CClF}_2\text{CClF}_2$	170,9	3,5
R-115	Cloropentafluoretano	CClF_2CF_2	154,5	-38,7
R-C318	Octofluorciclobutano	C_4F_8	200	-5,9
R-500	R-12 (73,8%) + R-152a (26,2%)	$\text{CCl}_2\text{F}_2/\text{CH}_3\text{CHF}_2$	99,29	-28
R-502	R-22 (48,8%) + R-115 (51,2%)	$\text{CHClF}_2/\text{CClF}_2\text{CF}_3$	112	-45,6
R-744	Anhídrido carbónico	CO_2	44	-78,5
R-30	Cloruro de metileno	CH_2Cl_2	84,9	40,1
R-40	Cloruro de metilo	CH_2Cl	50,5	-24
R-160	Cloruro de etilo	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$	64,5	12,5
R-611	Formiato de metilo	HCOOCH_2	60	31,2
R-717	Amoníaco	NH_3	17	-33
R-764	Anhídrido sulfuroso	SO_2	64	-10
R-1130	1,2-Dicloroetileno	$\text{CHCl} = \text{CHCl}$	96,9	48,5
R-170	Etano	CH_3CH_3	30	-88,6
R-290	Propano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	44	-42,8
R-600	Butano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	58,1	0,5
R-600a	Isobutano	$\text{CH}(\text{CH}_3)_3$	58,1	-10,2
R-1150	Etileno	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	28	-103,7

CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL DISPOSITIVO.

En este capítulo se va a realizar el diseño de un dispositivo para la condensación de la humedad ambiental, por lo que resulta conveniente definir antes algunos conceptos importantes.

4.1 PROPIEDADES DEL AIRE.

El aire limpio y puro forma una capa de aproximadamente 500 000 millones de toneladas que rodea la Tierra y su composición es la siguiente:

Tabla 4.1 Propiedades del aire.

Componente		Concentración aproximada
Nitrógeno	(N)	78.03% en volumen
<input type="checkbox"/> Oxígeno	(O)	20.99% en volumen
<input type="checkbox"/> Dióxido de Carbono	(CO ₂)	0.03% en volumen
<input type="checkbox"/> Argón	(Ar)	0.94% en volumen
<input type="checkbox"/> Neón	(Ne)	0.00123% en volumen
<input type="checkbox"/> Helio	(He)	0.0004% en volumen
<input type="checkbox"/> Criptón	(Kr)	0.00005% en volumen
<input type="checkbox"/> Xenón	(Xe)	0.000006% en volumen
<input type="checkbox"/> Hidrógeno	(H)	0.01% en volumen
<input type="checkbox"/> Metano	(CH ₄)	0.0002% en volumen
<input type="checkbox"/> Óxido nitroso	(N ₂ O)	0.00005% en volumen
<input type="checkbox"/> Vapor de Agua	(H ₂ O)	Variable
<input type="checkbox"/> Ozono	(O ₃)	Variable
<input type="checkbox"/> Partículas		Variable

4.1.1 Aire seco.

El aire seco es básicamente, una mezcla de O_2 y N_2 , cuyas masas moleculares son 32 y 28, respectivamente.

En aire húmedo, parte de estas moléculas se ven desplazadas por vapor de agua H_2O , cuya masa molecular es de 18.

El aire seco se forma principalmente por nitrógeno (78%), oxígeno (21%), argón y dióxido de carbono (menos del 1%) como se muestra en la figura 4.1. El porcentaje restante lo constituyen distintas proporciones de otros gases como hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio, neón, kriptón y xenón. Por otra parte, el *vapor de agua* (diminutas gotas de agua invisibles para el ojo humano) es el constituyente más variable del aire, cuya proporción no supera el 2%.

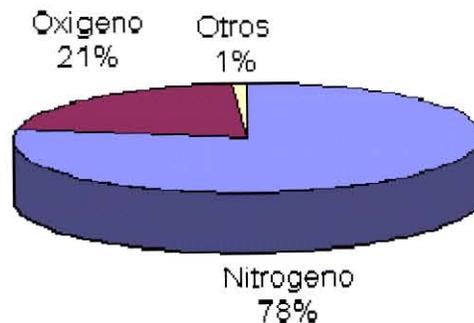


Figura 4.1 Composición del aire

4.1.2 Aire atmosférico

El aire atmosférico contiene en suspensión vapor de agua e impurezas tales como bacterias y polvo.

Considerando que el aire atmosférico es húmedo, el vapor de agua se comportará como gas perfecto, pudiéndose aplicar la ley de Dalton y que se expresa así:

Ley de Dalton

$$P_a = P_{va} + P_v \dots(4.1)$$

Donde:

P_a = Presión total de la mezcla.

P_{va} = Presión parcial del aire seco.

P_v = Presión parcial del vapor de agua.

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL AIRE HÚMEDO.

4.2.1 Contenido en vapor de agua en el aire húmedo.

La humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y varía según las condiciones climatológicas, está presente en la tropósfera (desde el nivel del mar hasta una altura media de 11 km) y varía de 0 a 25 % en volumen. En consecuencia, el aire húmedo será más ligero con relación al aire seco, así;

Aire húmedo = aire seco + vapor de agua.

El comportamiento de la mezcla de aire seco y vapor de agua sigue la ley de Dalton de las presiones parciales, de acuerdo a sus respectivas propiedades. (La presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de sus componentes. $P_t = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$ y la presión parcial es la presión que ejercería cada componente en las mismas condiciones del sistema).

4.2.2 Aire saturado.

Esto quiere decir que el vapor de agua está saturado. Es decir, que la presión parcial en la mezcla es igual a la presión de saturación correspondiente a la temperatura a la que se encuentra la mezcla.

Si a partir de este punto se aumenta la proporción de vapor de agua se llegará a la condensación o la formación de niebla.

Si por el contrario el aire está sobrecalentado, se podrá añadir más vapor de agua hasta llegar a la saturación.

4.2.3 Tipos de temperatura del aire.

a) Temperatura de bulbo seco (θ).

Es la temperatura tomada por un termómetro ordinario agitado en el aire, a la sombra de toda radiación térmica. Muchas veces se le nombra temperatura seca ó normal.

b) Temperatura de bulbo húmedo (θ_h ó θ').

Es la temperatura que se determina con un termómetro, que tiene el bulbo cubierto de una gasa empapada en agua.

Haciendo pasar el aire a una velocidad suficientemente elevada (siempre que el aire no esté saturado) se nota un descenso de la temperatura respecto a la indicada en un termómetro normal y que es producida por la evaporación del aire.

c) Temperatura de rocío (θ_r).

Es la temperatura a la cual el aire queda saturado por enfriamiento sin adición de vapor de agua y a presión constante. Cualquier disminución posterior de temperatura produce condensación, así se forma la niebla y el rocío. También puede decirse que es la temperatura a la que el vapor de agua de la atmósfera empieza a condensarse (la temperatura del termómetro seco y húmedo del psicrómetro son iguales).

4.2.4 Tensión de vapor (p_v)

La tensión del vapor de agua depende del número de moléculas presentes en un determinado volumen de agua que varía con la temperatura. Se mide en mm de Hg o en milibares (mb). 1mb = 0.75 mm de Hg. La tensión de vapor del agua contenida en el aire será igual a:

$$p_v = p_a - p_{va} \dots \dots (4.2)$$

Donde:

p_{va} = Presión parcial del aire seco.

p_a = Presión parcial de la mezcla (presión atmosférica).

4.2.5 Humedad relativa (e).

Al contenido de agua en el aire se le conoce como humedad relativa y es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene un metro cúbico de aire en condiciones determinadas de temperatura y presión. La humedad relativa de una muestra de aire depende de la temperatura y de la presión a la que se encuentre.

La humedad relativa del aire queda indicada por la relación entre la masa del vapor de agua contenida en cierto volumen de aire, con la masa máxima de éste mismo volumen si estuviese a la misma temperatura

$$e = m / m_s \dots \dots (4.3)$$

Esta magnitud se define como el valor de la relación parcial del vapor de agua a la tensión máxima de éste vapor si el aire estuviese saturado a dicha temperatura.

$$e = P_v / P_s \dots \dots (4.4)$$

4.2.6 Humedad Absoluta (w).

Humedad absoluta es el número de gramos de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire a una temperatura y presión determinadas. Se expresa en g (de vapor de agua)/m³ de aire a una presión y temperatura especificadas.

4.2.7 Volumen específico (v).

Por definición es el volumen ocupado, a la presión atmosférica normal de 1013 mb, por la mezcla de aire seco y de vapor de agua contenida en un kilogramo de aire seco.

4.2.8 Calor del aire húmedo.

Calor total es la cantidad de calor que debe facilitarse a un cuerpo para llevarlo a la temperatura 0°C, teniendo lugar ésta transformación bajo presión constante.

El calor total de la mezcla, será la suma de los calores totales de los componentes de dicha mezcla, ó sea:

$$\lambda = \lambda_a + w\lambda_v \dots \dots (4.5)$$

en cuya fórmula tenemos:

λ_a : Calor total de un Kg de aire seco a θ °C

λ_v : Calor total de un Kg de vapor de agua tomado a partir del agua líquida a 0 °C, y recalentado a θ °C

w : Cantidad de vapor de agua contenida en un Kg de aire seco (expresado en Kg).

En un ciclo de refrigeración, en que las transformaciones tienen lugar prácticamente a presión constante, puede admitirse que bajo dichas condiciones, la entalpía másica del aire es igual a su calor total, donde:

$$\lambda = h$$

4.3 CARTA PSICROMÉTRICA

Un diagrama psicrométrico permite conociendo las magnitudes características del aire húmedo, colocar el punto indicador del mismo sobre el diagrama y deducir en él las demás condiciones. Permiten igualmente reproducir gráficamente las evoluciones del aire durante un ciclo de refrigeración, de calefacción, de humidificación ó bien, de un ciclo completo de acondicionamiento del aire que comprenda todas las operaciones antes enumeradas. Existen diversos diagramas psicrométricos, que difieren simplemente en la selección de las magnitudes características usadas como ordenadas del mismo. Todos tienen por tanto, una particularidad en común: los valores de las magnitudes características del aire húmedo se relacionan con la cantidad de aire húmedo contenido en 1 Kg de aire seco. La figura 4.2 muestra a grandes rasgos una carta psicrométrica.

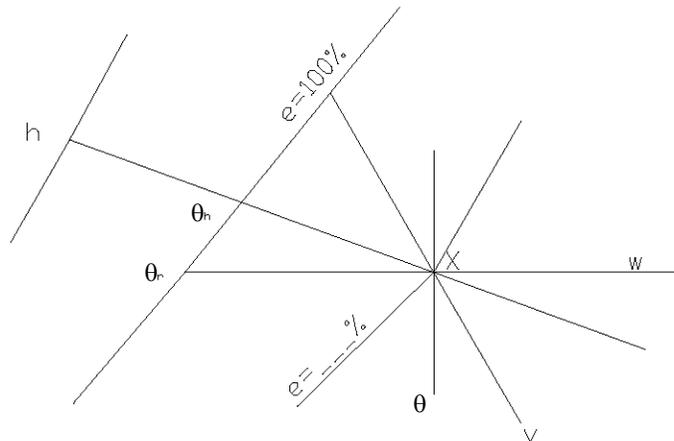


Figura 4.3 Lectura de la carta psicrométrica.

a) Temperatura de bulbo seco (θ).

Bajemos desde x una perpendicular al eje de las abscisas y obtendremos el valor de θ sobre éste eje, debiendo notar que, debajo del eje de las abscisas, existe una línea paralela graduada en temperatura Fahrenheit.

b) Temperatura de bulbo húmedo (θ_h).

Se conduce desde x una línea paralela al haz de líneas de temperatura húmeda constante y obtendremos el valor de θ_h en la intersección de dicha paralela con la línea de saturación $e = 100\%$.

c) Temperatura de rocío (θ_r).

Trazando desde x una línea paralela al eje de las abscisas, se encuentra el valor θ_r en la conjunción de dicha paralela con la línea de saturación $e = 100\%$

d) Contenido de agua (w).

Prolongando hacia la derecha la paralela anteriormente trazada desde x , obtendremos el contenido de agua del aire húmedo sobre la escala vertical, a la derecha del diagrama.

e) Entalpía del aire húmedo (h).

Conduzcamos desde x una línea paralela al haz de líneas correspondientes a las temperaturas húmedas, prolongándola después desde $e = 100\%$ hasta su intersección con la escala de entalpías. El valor obtenido sobre escala nos dará el de la entalpía h_s , correspondiente al aire saturado a temperatura de θ° C. Para obtener el valor real de h de la entalpía del aire representado por x, nos hará falta añadir ó deducir, el valor indicado sobre la curva de corrección de entalpías que pasa por x, ó calcular la variación sufrida interpolando entre las dos curvas que encuadran x.

f) Grado higrométrico (e).

El valor de e en x será dado por la lectura directa de la curva que pasa por x, ó por interpolación de los valores de dos curvas de grado higrométrico que encuadren x.

g) Volumen específico (v).

Dirijamos desde x una línea paralela al haz de líneas relativas al volumen específico constante y obtengamos el valor de v por interpolación (eventual), entre los valores v referidos en el extremo inferior de dichas líneas – por debajo de la escala Fahrenheit de las temperaturas secas.

h) Factor de calor sensible.

El valor de éste factor se utiliza cuando, en el curso de un cambio, el aire húmedo alcanza simultáneamente la variación de su entalpía y la modificación del contenido de agua. La cifra de ésta escala representa la pendiente de la transformación alcanzada por el aire.

El origen de esta escala de la pendiente, es el punto O (origen) y se halla situado en la conjunción de la curva $e = 50\%$ y de la temperatura seca 24° C; se indica por medio de un pequeño círculo sobre el diagrama

4.4 DISEÑO DEL DISPOSITIVO.

Después de la investigación realizada y presentada en los capítulos anteriores, se puede establecer que el condensador de humedad ambiental está basado en el ciclo de Carnot y su finalidad es la condensación de la humedad ambiental para obtener agua que pueda utilizarse para labores domésticas y de este modo, economizar el consumo que se hace de la red.

Este dispositivo, está constituido por los siguientes componentes.

- * Compresor
- * Evaporador.
- * Tubo capilar.
- * Condensador.
- * Deshidratador..
- * Ventilador
- * Gabinete.

4.4.1 Cálculos de diseño.

En éste apartado, se realizan los cálculos necesarios para llevar a cabo la construcción del diseño.

1) Ventilador (extractor de aire).

Primero, se calcula el caudal que maneja el ventilador, para obtener la cantidad de aire que va a circular, utilizando la ecuación:

$$Q = VA.....(4.6)$$

Donde:

Q = Caudal en m³/s

V = Velocidad en m/s

A = Área en m²

La velocidad fue medida experimentalmente con un anemómetro, dando un valor de 4.48 m/s.

A continuación, se procede a calcular el área del ventilador con la ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4}(D_2^2 - D_1^2) \dots \dots \dots (4.7)$$

Donde:

$$D_1 = 7.5\text{cm} = 0.075\text{m}$$

$$D_2 = 19.68\text{cm} = 0.1968\text{m}$$

El diámetro 1 corresponde a la circunferencia que hay entre las aspas, mientras que el diámetro 2 es la longitud entre las aspas.

Sustituyendo valores:

$$A = \frac{\pi}{4} \left((0.1968)^2 - (0.075)^2 \right) = 0.02602\text{m}^2$$

sustituyendo en la ecuación 4.6

$$Q = \left(4.48 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (0.02602\text{m}^2) = 0.115 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Con el valor del caudal, se puede calcular el flujo másico, que es la cantidad de aire necesaria para que el sistema trabaje correctamente:

$$\dot{m} = \rho Q \dots \dots \dots (4.8)$$

Donde:

m = Flujo másico en kg/s

ρ = Densidad del aire en kg/m³

Tomado de tablas, la densidad del aire es de 1.204 kg/m³

Con estos datos, se tiene que el flujo másico es igual a:

$$m = \left(1.204 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \left(0.115 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = 0.138 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

2) Carga de refrigeración

La carga de refrigeración es la remoción de calor ó el calor que debe extraerse con el equipo de refrigeración, para calcularla, se utilizó la siguiente expresión:

$$Q' = \dot{m}C_p\Delta T \dots\dots\dots(4.9)$$

Donde:

Q' = Calor en Kcal/s

Cp = Peso específico del aire en KJ/kg °K

ΔT = Diferencia de temperaturas en °K

Según las tablas, el valor del peso específico del aire es de 1.005 KJ/kg °K y para la diferencia de temperaturas, estamos tomando un valor promedio de 21°C para la temperatura ambiente, que es a la que va a entrar el aire al dispositivo, mientras que la temperatura de salida la estamos considerando a 10°C.

Sustituyendo en la ecuación tenemos:

$$Q' = \left(0.138 \frac{Kg}{s}\right) \left(1.005 \frac{KJ}{Kg^\circ K}\right) (294 - 283) = 1.53 \frac{Kcal}{s}$$

convirtiendo éste valor a kW:

$$\left(1.53 \frac{Kcal}{s}\right) \left(\frac{1kW}{860Kcal}\right) = 0.00178 \frac{kW}{s} \approx 1.78 \frac{W}{s}$$

3) Velocidad de entrada.

Es la velocidad a la cual el ventilador succiona el aire hacia el interior y se calcula con la expresión:

$$V_E = \frac{Q}{3600sxA} \dots\dots\dots(4.10)$$

Convirtiendo el caudal a m³/h:

$$\left(0.115 \frac{m^3}{s}\right) \left(\frac{3600s}{1h}\right) = 414 \frac{m^3}{h}$$

Donde:

V_E = Velocidad de entrada

A = Área en m²

D = 0.3 m (calculado en base al diámetro de las aspas del ventilador)

Calculando el área:

$$A = \pi r^2 = 0.090m^2$$

sustituyendo valores:

$$V_E = \frac{414 \frac{m^3}{h}}{3600 \times 0.090} = 1.27 \frac{m}{s}$$

4) Dimensión de la abertura de entrada.

La dimensión de la abertura de entrada necesaria para un sistema de ventilación, se expresa con la ecuación:

$$\frac{Q}{\text{No. de aberturas} \times \text{velocidad de entrada} \times 3600s} \times \frac{100}{\text{área libre}\%} = \text{Superficie de abertura en } m^2 \dots (4.11)$$

sustituyendo valores en la ecuación 4.11:

$$\frac{414 \frac{m^3}{h}}{1 \times 1.64 \times 3600s} = 0.0071 m^2$$

5) Velocidad de salida.

Es la velocidad de salida del aire y se expresa:

$$V_s = \frac{Q}{3600sxA} - \% \text{ de obstrucción de aire a la salida...} (4.12)$$

En este caso, estamos tomando un porcentaje de 50% considerando la obstrucción del evaporador, entonces tenemos que la velocidad de salida teóricamente es:

$$V_E = \frac{414 \frac{m^3}{h}}{3600 \times 0.090} = 1.27 \frac{m}{s} - 50\% = 0.635 \frac{m}{s}$$

6) Volumen de aire en el espacio interior del diseño.

$$L \times A \times h \times \text{renovaciones de aire} = \text{Cantidad de aire en el espacio...} (4.13)$$

Donde:

L = largo

A = Ancho

h = Altura

Las renovaciones de aire se basan en la cantidad de gente que se encuentra en el espacio interior, así como de los equipos que generan calor, por lo tanto para este caso solo se tomará en cuenta una renovación de aire.

Sustituyendo tenemos:

$$0.70 \times 0.50 \times 0.50 = 0.175 \text{ m}^3/h$$

7) Distancia entre ventilador y evaporador.

Es la distancia máxima para que el aire no pierda fuerza al llegar al evaporador y con esto se pueda llevar a cabo la condensación, se calcula con la ecuación

$$X = \frac{K\sqrt{QV_E}}{60V} \dots(4.14)$$

Donde:

X = Distancia en m

V = Velocidad del ventilador

K = Coeficiente de salida (constante).*

* Este valor no se toma en cuenta en este caso porque el valor de la velocidad de salida es muy pequeño.

Sustituyendo en 4.14:

$$X = \frac{\sqrt{(414)(1.64)}}{60(4.48)} = 0.096m \approx 10cm$$

8) Longitud del ducto.

$$D = \left(4Hx \frac{W}{\pi}\right)^{1/2} \dots 4.15$$

Donde:

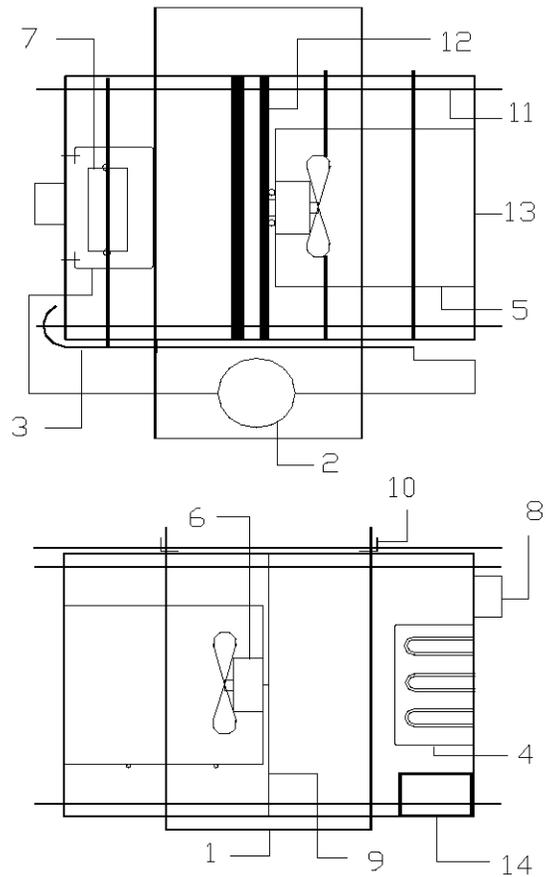
D = Diámetro del ducto.

W = Ancho del ducto

$$D = \left(4(0.30)x \frac{0.30}{\pi}\right)^{1/2} = 0.338m \approx 34cm$$

4.4.2 Dibujo de conjunto.

En la figura 4.4, se presenta el dibujo de conjunto del dispositivo diseñado, incluyéndose la lista de materiales.



14	1	RECIPIENTE PARA AGUA	PLÁSTICO	
13	1	GABINETE	PLÁSTICO	
12	3	PLACA AISLANTE	UNICEL	
11	6	ESPÁRRAGOS 3/16"	ACERO	
10	2	ÁNGULOS	ALUMINIO	
9	7	ESPÁRRAGOS 5/16"	ACERO	
8	1	CAJA DE APAGADORES	PLÁSTICO	
7	1	RESISTENCIA	CRISTAL	
6	1	VENTILADOR	ACERO	
5	1	DUCTO	PLÁSTICO	
4	1	EVAPORADOR	ACERO	
3	1	CONDENSADOR	ACERO	
2	1	COMPRESOR	ACERO	
1	1	BASE DEL GABINETE	ALUMINIO	
No.	CANT.	DESIGNACIÓN	MATERIAL	OBSERV.
Esc:	1:10	FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES (QUAUTILAN)	12-10-05	F.E. MEDINA I M. RAMÍREZ A
Acot:	mm			Rev: F.D.C.R.
CONDENSADOR DE HUMEDAD				Fig. 4.4

CAPÍTULO 5. FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO.

En éste capítulo se determinarán los pasos a seguir para la construcción del dispositivo, empezando por los datos técnicos de cada componente del sistema, continuando con el procedimiento que debe seguirse para el armado correcto, así como las herramientas que se van a utilizar en dicho proceso de fabricación.

5.1 DATOS TÉCNICOS DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA.

5.1.1 Compresor

Compresor hermético Tanto el motor como el compresor están dentro de la misma carcasa y es inaccesible. Van enfocados a pequeños equipos de carga crítica; la figura 5.1 muestra un compresor de éste tipo.



Figura 5.1 Compresor hermético

Dimensiones:

Peso aproximado: 4 a 5 kg

Potencia: 1/8 hp

Voltaje: 127 V

Fases: 1

Frecuencia: 60 Hz

5.1.2 Condensador.

Este elemento tiene las siguientes características:

- El condensador tiene la función de poner en contacto los gases que provienen del compresor con un medio para licuarlo.

- Una parte de condensador tiene la función de quitar el calor sensible, cuando se llega a la temperatura de condensación ya no se puede enfriar más y empezamos a condensar.
- Suele ser un 30% más grande que el evaporador.
- Si el condensador fuera demasiado grande no se tendría suficiente presión de alta y no se podría empujar el líquido hacia el evaporador.

Dimensiones: 70 cm x 50 cm Aprox.

Peso 1.5 kg

5.1.3 Deshidratador

La cantidad de humedad que puede haber en la instalación depende del tipo de refrigerante y de la temperatura de evaporación.

La cantidad máxima de humedad que son capaces de absorber los refrigerantes viene dada en "partes por millón" (ppm).

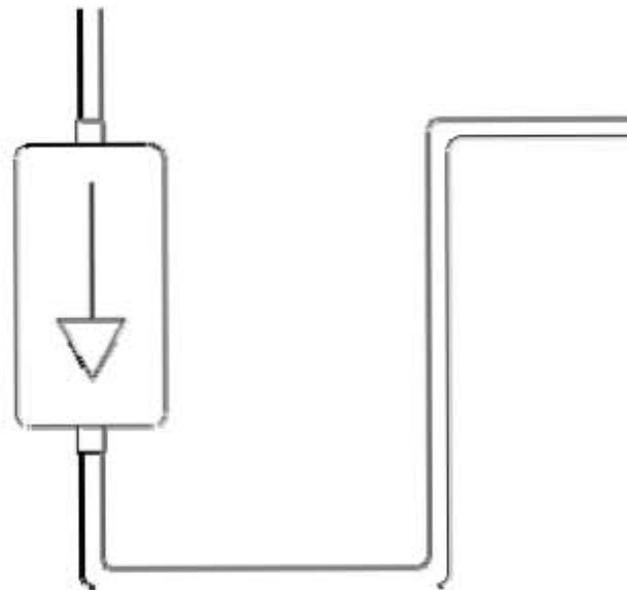


Figura 5.2 Filtro deshidratador

Existen básicamente dos tipos de filtro deshidratador:

Los que se descomponen, que son bastante absorbentes pero tienen el inconveniente que se descomponen cuando se saturan.

Los que no se descomponen (silicagel, etc), estos cuando se saturan no se descomponen, simplemente no aceptan más humedad.

5.1.4 Tubo capilar.

El tubo capilar es el dispositivo de expansión y es aquel, que permite el paso del refrigerante líquido al evaporador. Consiste en un tubo de longitud grande, cuyo diámetro es considerablemente más pequeño que el que se usa para la línea de líquido del sistema.

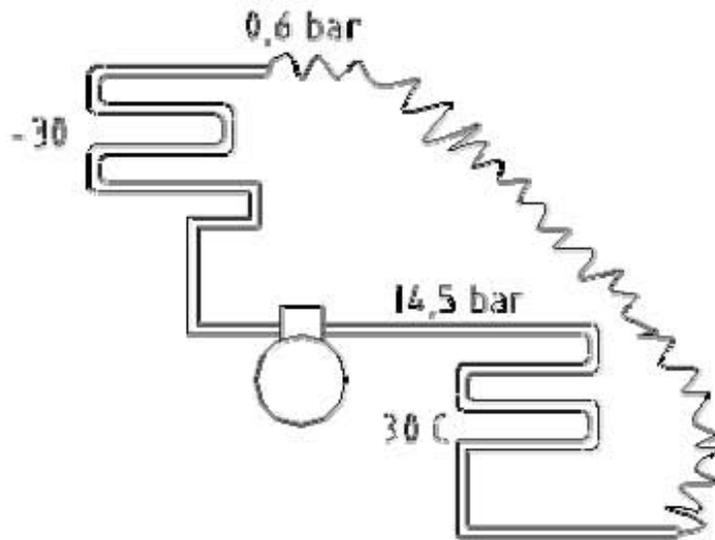


Figura 5.3 Tubo capilar

Éste tipo de elemento se utiliza generalmente en aparatos de poca potencia frigorífica. La principal ventaja del capilar, consiste en su sencillez por su falta absoluta de mecanismos; como desventaja se puede mencionar su menor rendimiento con respecto a otras válvulas.

5.1.5 Evaporador.

El evaporador es el lugar de la instalación donde se produce el intercambio térmico entre el refrigerante y el medio a enfriar. En los evaporadores inundados la transmisión de calor es uniforme, en los secos es una mezcla de gas y líquido pulverizado. La figura 5.4 muestra la clasificación de los diferentes tipos de evaporadores.

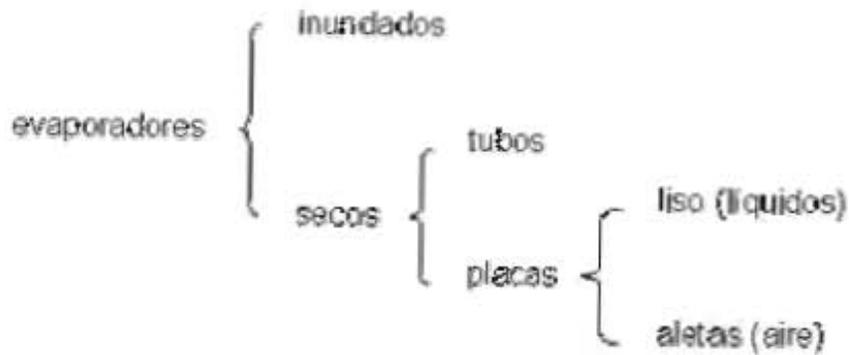


Figura 5.4 clasificación de los evaporadores.

5.1.6 Resistencia de deshielo.

La función de esta resistencia, es acelerar el proceso de deshielo del evaporador, con la finalidad de que se lleve a cabo más rápido la condensación.

Peso aproximado: 150 g

Potencia:

Voltaje: 127 V

Tamaño: 15 cm

Material: Cristal y aluminio

5.1.7 Ventilador (y caja)

Datos del ventilador:

Dimensiones: 19.63 cm de diámetro entre aspas

Potencia: 1/40 Hp

Voltaje 127 V

Frecuencia 60 Hz

Velocidad del aire que maneja (v): 4.48 m/s

Caudal (Q): 0.115 m³/s

Datos del gabinete terminado:

Dimensiones: 50 x 70 x 50 cm

Material: Plástico rígido

Peso: 3 kg.

Base: Aluminio

5.2 MATERIALES EMPLEADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN

Tuberías.

Las tuberías de cobre para refrigeración a diferencia del que se usa para otros fines se sirven limpio de impurezas y cerrado por los dos extremos.

Se puede encontrar en rollos o en barras:

La tubería en rollos se denomina recocido, esta clase de tubo permite ser doblado y suele venir en rollos de 25 m. Estos tubos no deben estirarse o curvarse más de lo necesario ya que se endurecerá.

El que se consigue en barras se denomina estirado, no tiene ductilidad, por lo tanto ,no se puede doblar y solo se utiliza sólo en tramos rectos.

:

Tabla5.1 Diámetros de tubo que se emplean en refrigeración

<i>Denominacion del tubo</i>	7/8"	1"	1 1/8"	1 3/8"	1 5/8"
Diámetro nominal mm.	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"
Diámetro exterior mm.	22,22	25,4	28,57	34,92	41,28
Espesor mm.	1,14	1,2	1,27	1,4	1,52
Peso por metro Kg.	0,594	0,689	0,975	1,315	1,696
Sección interior cm ³	3,122	4,16	5,32	8,107	11,4

Tabla 5.2 Características generales de los tubos de cobre

	<i>Estirado</i>	<i>Recocido</i>
Peso especifico (kg/dm ³)	8.9	8.9
Temperatura de fusión (°C)	1083	1083
Calor especifico	0.092	0.092
Temperatura de recocido (°C)	-	500
Temperatura de forja (°C)	750-900	750-900
Alargamiento (%)	3 a 5	28 a 30

a) Plástico rígido transparente.

Se empleó este material con la finalidad de que se pueda observar el proceso de condensación y el trabajo del equipo, además de que es un buen aislante conservando la temperatura del interior.

b) Espárragos (5/16" y 3/16").

Sirven para la fijación del dispositivo y ayudan a disminuir vibraciones en el equipo durante la operación.

c) Triplay (50x50cm).

Se colocó en la parte frontal y posterior y sirve para contrarrestar el peso del ventilador y ayuda a la fijación del evaporador proporcionando mayor firmeza al gabinete.

d) Ángulos y placa de aluminio de aluminio.

Son la base del gabinete y ayudan a fijar el compresor

5.2.1 Material eléctrico.

- Apagadores.
- Placa para apagadores (3 unidades).
- Chalupa.
- Cable THW calibre 14.
- Extensión eléctrica.
- Zapatas.
- Extensión eléctrica.
- Manguera de nivel.
- Termostato.

5.2.2 Herramientas utilizadas.

- Remachadora.
- Taladro (portátil y de banco).

- Sierra caladora.
- Abocardadores.
- Boquilla para soplete.
- Sierra de banco.
- Esmeril.
- Dobladora de tubos.
- Cortatubos.
- Manómetros.
- Varios: Martillo, pinzas, desarmadores, navaja, escuadra, llaves para tuercas, lápices, puntos, flexómetro, cinta para ducto, cinta de aislar y limadoras
- Soldadura, silicón, gas refrigerante, pasta para soldar, aceite para compresor, válvula pivote, termómetro, tanque de acetileno.

5.3 CONSTRUCCIÓN.

Para la construcción de este diseño, se emplearon los materiales y la herramienta antes mencionados, a continuación se describen a grandes rasgos los procedimientos empleados para llegar al diseño final, el cual consiste en la fijación y firmeza de todos los componentes que son los siguientes:

- Corte del plástico a la medida deseada
- Perforación de escuadras para la fijación del gabinete.
- Corte de espárragos para mayor firmeza del gabinete
- Corte de Triplay para un mayor soporte del gabinete.
- Corte de tubos de cobre.
- Doblado de tubos de cobre
- Abocardado de tubos de cobre.
- Unión de los tubos de cobre por medio de soldadura de fósforo.
- Vacío del sistema.
- Carga de gas refrigerante.

5.4 SECUENCIA DE ARMADO.

Tomando como base los cálculos realizados en el capítulo anterior y siguiendo el diseño realizado se efectúa la siguiente secuencia

Paso 1

Los componentes de refrigeración utilizados fueron limpiados exteriormente y posteriormente pintados para tener una mejor presentación y un buen funcionamiento (condensador, compresor)



Paso 2

Se cortó el plástico rígido a las medidas requeridas y después se procedió a unirlo con escuadras de aluminio utilizando la herramienta indicada.



Paso 3

Esta fotografía muestra el gabinete ya armado, listo para colocar el siguiente componente (ventilador), así como la base del gabinete



Paso 4

Se muestra el ventilador ya colocado y funcionando y se procede a poner la base para el compresor.



Paso 5

A continuación se colocan los espárragos para darle una mayor firmeza al gabinete.



Paso 6

Como siguiente punto se procedió a instalar la fuente frigorífica (evaporador).



Paso 7

El siguiente paso fue la colocación del condensador y del compresor.



Paso 8

Se sueldan los componentes instalados.



Paso 9

Se instala el sistema eléctrico y se hacen pruebas de arranque del sistema.



Paso 10

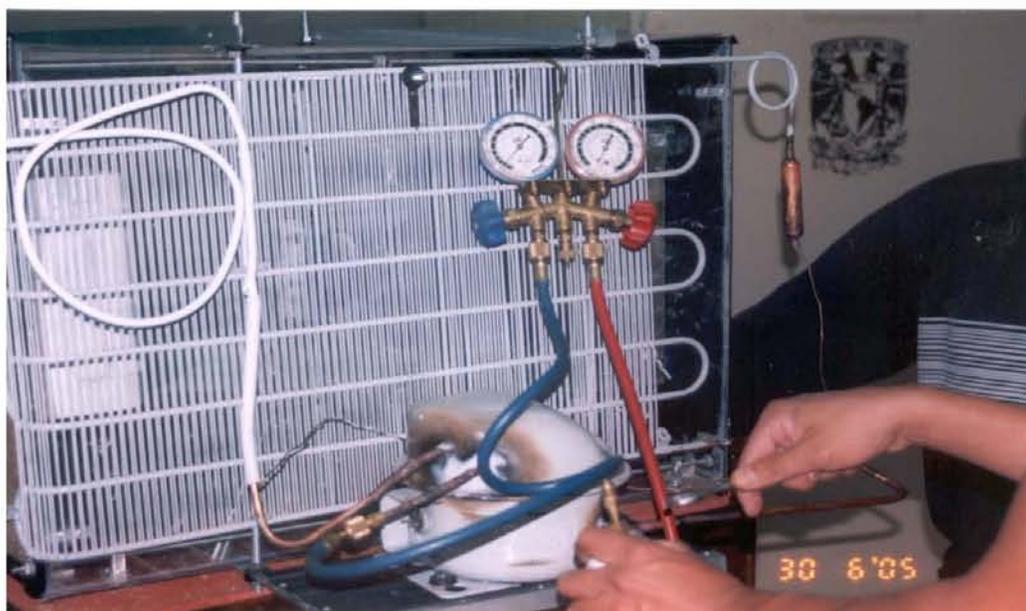
Se instala la resistencia de deshielo junto al evaporador para acelerar el proceso de condensación.



Paso 11

Para una mejor eficiencia, se debe hacer vacío al sistema purgándolo por medio de un compresor y con la ayuda de unos manómetros conectados a un filtro deshidratador.





Paso 12

Posteriormente se hace la carga del gas refrigerante y así poder echar a andar el sistema refrigeración y al mismo tiempo se revisa que no haya fugas de gas en las uniones con agua y observando que la presión de los manómetros sea constante.





Paso 13

Finalmente se colocan placas de unicel en el interior para un mejor aislamiento junto con una mica para regular la entrada del aire y un tramo de tela que servirá como filtro para retener impurezas. Después de sellar la tapa y se pinta para tener un mejor acabado.





5.5 COSTOS.

En este apartado se detallan los costos de los materiales empleados para la construcción del dispositivo, en la tabla 5.3 se muestran la cantidad de material y el costo del mismo.

Tabla 5.3 Costos

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Freón 12	2	\$ 63.90 Pza	127.80
Tubo de cobre	5 m	\$ 21.50 m	107.50
Motor	1	\$ 111.00	\$111.00
Tanque de acetileno	1	\$ 77.00	\$ 77.00
Termostato	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Termómetro	1	\$ 42.50	\$ 42.50
Evaporador	1	\$ 145.00	\$145.00
Aspas para motor	1	\$ 13.50	\$ 13.50
Tubo capilar	1	\$ 10.93	\$ 10.93
Filtro deshidratador	1	\$ 8.63	\$ 8.63

Tabla 5.1 continuación

Filtro deshidratador con apéndices	1	\$ 20.00	\$ 20.00
Válvula pivote	3	\$ 11.50	\$ 34.50
Barras para soldar	10	\$ 3.00	\$ 30.00
Plástico rígido	2 hojas	\$ 170.00	\$ 340.00
Ángulos de aluminio	6.00 m	\$ 70.00	\$ 70.00
Remaches	4 paquetes	\$ 12.00	\$ 48.00
Escuadras de aluminio	50 pzas.	\$ 1.50	\$ 60.00
Silicón	2	\$ 35.00	\$ 70.00
Espárragos 5/16"	7 pzas.	\$ 8.00	\$ 56.00
Espárragos 3/16"	7 Pzas	\$ 4.00	\$ 28.00
Compresor 1/8 Hp	1	\$ 500.00	\$ 500.00
Condensador	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Placa de aluminio	1	\$ 20.00	\$ 20.00
Placas de unigel	3	\$ 5.00	\$ 15.00
Tuercas 3/16 y 5/16	50	\$ 0.50	\$ 25.00
Empaques	50	\$ 1.00	\$ 50.00
Triplay	2	\$ 20.00	\$ 40.00
Cinta para ductos	2	\$ 10.00	\$ 20.00
Bolsas de plástico	2	\$ 5.00	\$ 10.00
Tornillos	20	\$ 1.00	\$ 20.00
Resistencia de deshielo	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Charola.	1	\$ 15.00	\$ 15.00
Pintura en aerosol	2	\$ 35.00	\$ 70.00

Tabla 5.1 continuación

Extensión eléctrica	1	\$ 13.00	\$ 13.00
Cable cal. 14	4m	\$ 2.50	\$ 10.00
Manguera 3/8 Diam.	2m	\$ 3.00	\$ 6.00
Apagador sencillo	3	\$ 5.00	\$ 15.00
Placa para apagadores 2 unidades.	1	\$ 7.00	\$ 7.00
Chalupa de plástico	1	\$ 8.00	\$ 8.00
Zapatitas	10	\$ 0.50	\$ 5.00
		TOTAL	\$ 2599.36

CAPITULO 6.

OPERACIÓN DEL DISPOSITIVO.

Una vez realizada la construcción del dispositivo en base al diseño realizado, el siguiente procedimiento es la operación, para ello se realizaron las diferentes pruebas de medición para comprobar su correcto funcionamiento y eficiencia en diferentes horarios del día, con diferentes temperaturas y grados de humedad (ver carta psicrométrica en apéndice A).

Dichas mediciones fueron las siguientes:

- Entrada de aire del gabinete
- Salida de aire del gabinete
- Temperatura interior del gabinete.
- Temperatura exterior del gabinete.
- Cantidad de agua extraída

La figura 6.1 muestra el diseño terminado en el cual se realizaron las mediciones:



Figura 6.1 Dispositivo para condensación de humedad ambiental.

Teniendo en cuenta los datos anteriores, se hicieron las mediciones siguientes

1. Velocidad de entrada = 1.27 m/s
2. Velocidad de salida = 0.984 m/s
3. Temperatura interior de refrigeración = -10 °C
4. Temperatura ambiente = 23 °C
5. Humedad relativa = 50%

6.1 PROCEDIMIENTO.

El sistema de refrigeración trabaja durante 20 minutos para que este llegue a su estado óptimo de refrigeración que es una temperatura de – 10 °C.

Llegado a este punto, se acciona el ventilador en intervalos de cuatro minutos y trabajando este por 50 segundos para que el sistema de refrigeración no sufra aumento de calor y con esto se mantenga enfriando a una temperatura constante.

Después de una hora de trabajo del sistema de refrigeración en conjunto con el ventilador, este se apaga y se acciona la resistencia de deshielo, con la finalidad de que la humedad que se retuvo en el evaporador en forma de escarcha, se obtenga en forma líquida

El resultado de la condensación de humedad es la suma de las entradas de aire obtenidas por el ventilador.

Se realizaron en una hora trece entradas de aire con una duración de cincuenta segundos por cuatro minutos de recuperación del sistema.

Con esto se tiene que el tiempo total de recuperación de humedad ambiental fue de 10 minutos reales, obteniendo la cantidad de 100 mililitros.

TABLA 6.1 RESULTADOS DE LA PRUEBA.

INTERVALOS DE TIEMPO	ENTRADA DE AIRE	SALIDA DE AIRE	TEMPERATURA INTERIOR	TEMPERATURA EXTERIOR	HUMEDAD RELATIVA
30 MINUTOS	0	0	-10 °C	23 °C	50 %
34 MINUTOS	1.27 m/s	0.984 m/s	-10 °C	23 °C	50 %
38 MINUTOS Y 50 SEGUNDOS	1.27 m/s	0.984 m/s	-10 °C	23 °C	50 %
43 MINUTOS Y 40 SEGUNDOS	1.27 m/s	0.984 m/s	-10 °C	23 °C	50 %
48 MINUTOS Y 30 SEGUNDOS	1.27 m/s	0.984 m/s	-10 °C	23 °C	50 %
53 MINUTOS Y 20 SEGUNDOS	1.27 m/s	0.984 m/s	-10 °C	23 °C	50 %
58 MINUTOS Y 10 SEGUNDOS	1.27 m/s	0.984 m/s	-10 °C	23 °C	50 %

El tiempo real de condensación fue de 10 minutos.

NOTA. Después de 58 minutos y 10 segundos y bajo las condiciones descritas en la tabla, se obtuvieron 100 ml de agua al activar la resistencia de deshielo.

CONCLUSIONES.

Después del trabajo realizado, se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. Este proyecto tiene como fin la recuperación y reciclaje de agua que se encuentra en el medio ambiente en forma de vapor por medio del sistema de condensación de humedad.
2. La realización de este proyecto es de gran importancia, ya que debido al crecimiento acelerado de la población, la escasez de agua es cada vez mayor y por consiguiente más difícil de obtener.
3. Este sistema de condensación puede resultar muy útil en zonas urbanas como la ciudad de México, porque traer el agua de regiones lejanas tiene consecuencias de tipo social, ya que se están dando conflictos en las regiones de las que se extrae el agua, así como de tipo económico en vista de que se requiere de una mayor infraestructura para que el agua recorra grandes distancias.
4. La cantidad de agua obtenida varía de acuerdo al ambiente en el que el dispositivo se encuentre operando, siendo las condiciones más idóneas durante las mañanas y en las tardes, cuando la radiación solar es menor.
5. La velocidad a la que el aire choca con el evaporador debe reducirse para que este pueda enfriar correctamente y con esto pueda captar la humedad contenida en el mismo y de este modo pueda depositarse en la superficie del evaporador.
6. La resistencia de deshielo ayuda a tener una mayor eficiencia en el sistema.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Aire acondicionado y refrigeración.
Burgess H. Jennings, Samuel R. Lewis.
Cía. editorial continental. México 1988.
2. Calefacción, ventilación y aire acondicionado. Análisis y diseño.
Faye C. McQuiston.
Limusa Wiley. México 2003.
3. Formulario del frío.
P. J. Rapin.
Editorial Marcombo. México 2001
4. Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración.
Eduardo Hernández Goribar.
Editorial Limusa. México 1980.
5. Guía práctica de la ventilación.
Woods of Colchester LTD.
Editorial Blume. Madrid 1970
6. Instalaciones de aire acondicionado y refrigeración.
Néstor P. Quadri.
Librería y editorial Alsina. Buenos Aires 2002.
7. Instalaciones frigoríficas (tomos 1 y 2).
P. J. Rapin.
Editorial Marcombo. España 1993.
8. La contaminación ambiental en México.
Blanca Elena Jiménez Cisneros.
Editorial Limusa. México 2001.
9. La contaminación en México.
Francisco Vizcaíno Murray.
Fondo de cultura económica. México 1980.
10. Manual de aire acondicionado y refrigeración.
Néstor P. Quadri.
Librería y editorial Alsina. Buenos Aires 1999.

11. Modern refrigeration and air conditioning.
Andrew D. Althouse.
The goodheart - Willcox company inc. Estados Unidos 1992.
12. Principios de refrigeración.
R. Warren Marsh.
Editorial Diana. México 1990.
13. Refrigeration and airconditioning technology.
William C. Whitman.
Delmar Publisher Inc. Estados Unidos 1991.
14. Termodinámica.
William Z. Black.
Cía. editorial continental. México 1997.
15. Termodinámica.
Kenneth Wark Jr.
McGraw - Hill. México 1991.
16. Tratado de refrigeración automática.
José Alarcón Creus.
Editorial Marcombo. México 2000.
17. www.cna.gob
18. www.monografias.com

APÉNDICE A.

CARTA PSICROMÉTRICA.

