



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TORRE DE  
ENFRIAMIENTO DE AGUA POR EVAPORACION DE TIRO  
INDUCIDO”**

**TESIS DE GRADO**  
**Previa la obtención del Título de:**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**VERONICA ELIZABETH PORTERO LOPEZ**  
**SANTIAGO ROLANDO VALAREZO TIXI**

**RIOBAMBA \*\*\* ECUADOR**  
**2012**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos primero a Dios, porque sin él no somos nada, solo el nos muestra el camino indicado y guía nuestros pasos para llevarnos a alcanzar nuestras metas y objetivos.

A nuestras familias que con su incondicional y permanente apoyo supieron ser un soporte invaluable en todo momento de nuestras vidas.

De igual manera expresamos nuestro agradecimiento a los Ingenieros: Hannibal Brito M. y César Avalos. Director y Miembro del Tribunal de Tesis, quienes aportaron con sus conocimientos, experiencia y esfuerzo para la culminación de este trabajo de investigación.

Por último, queremos dejar constancia de nuestro agradecimiento a todas y cada una de las personas que de una u otra forma han contribuido con la realización del presente trabajo.

Yo, Verónica Elizabeth Portero López, dedico este trabajo a Dios, a mis padres Fausto y Janeth, a mis hermanos Guadalupe, Fausto y José, que bajo todas las circunstancias me han apoyado y confiado en mí con amor, ejemplo, dedicación, comprensión y paciencia han sabido brindarme su incondicional apoyo para enfrentar los retos y culminar esta etapa de mi vida.

A todas las personas, amigos, compañeros profesores ya que de una u otra manera han contribuido en la realización de este trabajo de tesis

Yo, Santiago Rolando Valarezo Tixi, dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios por darme la fuerza necesaria para culminar mi vida estudiantil, a mis padres Fabián y Gloria, que con su sacrificio me han apoyado con mucho amor en este arduo camino, a mis hermanos Mauricio, Fabián y Belén, que han sido un pilar muy fundamental para no decaer en las circunstancias adversas de mi vida.

Y de manera muy especial para mi hija Macarena que es uno de los motivos que han hecho que le ponga todas las ganas para culminar con éxito.

## HOJA DE FIRMAS

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Yolanda Díaz <b>DECANA FAC. CIENCIAS</b>	-----	-----
Ing. Mario Villacrés <b>DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA</b>	-----	-----
Ing. Hanníbal Brito M. <b>DIRECTOR DE TESIS</b>	-----	-----
Ing. César Avalos <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	-----	-----
Lic. Carlos Rodríguez <b>DIRECTOR CENTRO DOCUMENTACIÓN</b>	-----	-----

## **HOJA DE RESPONSABILIDAD**

“Nosotros **VERÓNICA ELIZABETH PORTERO LÓPEZ** y **SANTIAGO ROLANDO VALAREZO TIXI** somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- H<sub>OH</sub>**: Altura de la unidad de transferencia (m)
- N<sub>OH</sub>**: Número de unidades de transferencia
- L**: Flujo total del líquido (Kg-mol/h m<sup>2</sup>)
- G<sub>v</sub>**: Flujo de aire(Kg/h m<sup>2</sup>)
- K<sub>ya</sub>**: Coeficiente volumétrico de transferencia de materia (Kg/h m<sup>3</sup>)
- dH**: Variación de la Entalpía(Kcal/Kg)
- H<sub>1</sub>**: Entalpía de entrada (Kcal/Kg)
- H<sub>2</sub>**: Entalpía de salida (Kcal/Kg)
- H**: Entalpía de aire saturado (Kcal/Kg)
- H\***: Entalpía de aire saturado
- ΔP**: Pérdida de presión
- U**: Velocidad del aire (m/s)
- g**: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- p<sub>total</sub>**: Presión atmosférica de Riobamba (mm Hg)
- Q**: Caudal del líquido (m<sup>3</sup>/h)
- S**: Área de la torre (m<sup>2</sup>)
- T**: Temperatura (°C)
- T<sub>e</sub>**= Temperatura de entrada del agua (°C)

$T_s$ = Temperatura de salida de agua ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_w$ = Temperatura de bulbo húmedo ( $^{\circ}\text{C}$ )

$Z$ : Altura de la torre (m)

$\phi_d$  : Diámetro de la tubería (m)

$C_{PL}$ : Capacidad calorífica (Kcal/Kg C)

$V$  = Volumen (L)

$t$ = Tiempo(s)

$P$  = Presión (mm Hg)

$\rho$ = Densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$P_w$  = Presión de Vapor de agua (mm Hg)

$G/L$  = Relación flujo aire y flujo líquido

## TABLA DE CONTENIDOS

Pp:

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN..... i

SUMARY..... ii

INTRODUCCIÓN..... iii

ANTECEDENTES..... vi

JUSTIFICACIÓN..... viii

OBJETIVOS..... x

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO..... 1

1.1 AGUA ..... 1

1.1.1. TIPOS DE AGUA..... 2

1.1.1.1. SEGÚN SU ESTADO FÍSICO..... 3

1.1.1.2. SEGÚN LA MICROBIOLOGÍA..... 3



**Pp:**

1.1.1.3. SEGÚN SU ORIGEN.....	3
1.1.2.ANÁLISIS QUÍMICOS QUE SE REALIZAN EN EL AGUA DE ENFRIAMIENTO.....	5
1.1.2.1. ALCALINIDAD.....	5
1.1.2.2. CONDUCTIVIDAD.....	5
1.1.2.3. CLORO RESIDUAL.....	6
1.1.1.4. DETERMINACIÓN DE DUREZAS.....	6
1.1.1.5. FOSFATOS.....	7
1.1.1.6. POTENCIAL HIDRÓGENO.....	7
1.1.1.7. SÍLICE.....	8
1.1.1.8. TURBIDEZ.....	8
1.2. TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	9
1.2.1. IMPORTANCIA DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	10
1.2.2. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO DE ENFRIAMIENTO.....	12
1.2.3. ENFRIAMIENTO DE AGUA POR EVAPORACION.....	14
1.2.4. TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	19
1.2.4.1. TORRE DE ENFRIAMIENTO ATMOSFÉRICA.....	20
1.2.4.1.1.. TORRE ATMOSFÉRICA SIN RELLENO.....	21
1.2.4.1.2. TORRE ATMOSFÉRICA CON RELLENO.....	22
1.2.4.2. TORRES DE TIRO NATURAL.....	22

Pp:

1.2.4.3. TORRES DE TIRO MECÁNICO.....	23
1.2.4.3.1. TORRES DE TIRO MECÁNICO FORZADO.....	24
1.2.4.3.2. TORRES DE TIRO MECÁNICO INDUCIDO.....	24
1.2.4.3.2.1. TORRES DE TIRO MECÁNICO INDUCIDO DE FLUJO EN CONTRACORRIENTE.....	25
1.2.4.3.2.2 TORRES. DE TIRO MECÁNICO INDUCIDO DE FLUJO CRUZADO.....	26
1.2.5. TEMPERATURA DEBULBO HÚMEDO.....	27
1.2.6. TEMPERATURA DE APROXIMACIÓN.....	27
1.2.7. RANGO DE ENFRIAMIENTO.....	27
1.2.8. RECIRCULACIÓN.....	28
1.2.9. AGUA DE REPOSICIÓN.....	28
1.2.10. PÉRDIDAS POR ARRASTRE.....	28
1.3. DISEÑO.....	28
1.3.1. DESARROLLO DE LA ECUACIÓN DE DISEÑO.....	28
1.3.2. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO.....	31
1.3.2.1. ELECCIÓN DE LA TORRE.....	32
1.3.2.2. PARTES CONSTITUTIVAS DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	32
1.3.3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA TORRE.....	32
1.3.4. $N_{OH}$ .....	33
1.3.5. $H_{OH}$ .....	33
1.3.6. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN.....	34
1.3.7. FLUJO TOTAL DEL LÍQUIDO (L).....	34

## **CAPÍTULO II**

2. PARTE EXPERIMENTAL.....	37
2.1. PLAN DE MUESTREO.....	37
2.2. METODOLOGÍA.....	38
2.2.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	38
2.2.2.1. MÉTODOS.....	38
2.2.2.1.1. MÉTODO INDUCTIVO.....	38
2.2.2.1.2. MÉTODO DEDUCTIVO.....	38
2.2.2.2. TÉCNICAS.....	38
2.3. DATOS EXPERIMENTALES.....	45
2.3.1. DIAGNÓSTICO.....	45
2.3.2. DATOS.....	46

## **CAPITULO III**

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA POR EVAPORACIÓN DE TIRO INDUCIDO.....	50
3.1. GENERALIDADES.....	50

3.2. CÁLCULOS.....	50
3.2.1. NOH.....	50
3.2.1.1. CÁLCULO DE h.....	50
3.2.2. H <sub>OH</sub> .....	51
3.2.2.1. CÁLCULO DE G.....	51
3.2.2.2 CÁLCULO DE K <sub>ya</sub> .....	51
3.2.3. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LA TORRE.....	52
3.2.4. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN.....	52
3.2.5. FLUJO TOTAL DEL LÍQUIDO.....	53
3.2.6 CÁLCULO DE Z.....	53
3.2 RESULTADOS.....	53
3.3. PROPUESTA DE DISEÑO.....	55
3.3.1. DISEÑO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	56
3.3.1. ANÁLISIS DE COSTOS.....	57
3.3.1.1 COSTOS DE INVERSIÓN.....	57
3.3.2. COSTOS DE OPERACIÓN.....	58

Pp:

3.3.3. COSTO TOTAL.....58

3.3.4. DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO.....58

#### **CAPITULO IV**

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....61

#### **CAPITULO V**

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....64

5.1. CONCLUSIONES.....64

5.2. RECOMENDACIONES.....65

BIBLIOGRAFÍA.....66

ANEXOS.....67

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación está enfocado al diseño y construcción de una torre de enfriamiento de agua por evaporación de tiro inducido, cuyo objetivo es reutilizar el agua que se consume y aprovechar la energía que sale con la misma, después de ciertos procesos de intercambio de calor mediante el enfriamiento de agua, para el Laboratorio de Química Industrial, de la Facultad de Ciencias.

El dimensionamiento del equipo se realizó a través de cálculos de ingeniería a partir de datos experimentales y variables de proceso obtenidos en los ensayos realizados en el equipo de enfriamiento existente. Con el diseño resultante de los cálculos de ingeniería se construyó el mismo con cuatro planchas de acrílico (40\*140) cm formando un paralelepípedo hueco de sección transversal cuadrangular de  $0,136 \text{ m}^2$  y una altura de 1,4 m; lo que da un volumen igual a  $0,16 \text{ m}^3$ ; un armazón de acero inoxidable, sistema de distribución de agua constituida por 4 aspersores de PVC sostenidos o acoplados a través de codos de  $90^\circ$ ; depósito de agua con una capacidad máxima de 25 litros; un extractor de aire; 4 ventiladores; bomba de 0,5 HP; tuberías; garruchas, utilizando la electricidad como fuente de energía.

Se realizó la validación del equipo, y se obtuvo un grado de enfriamiento que de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , en la salida de la torre, en un tiempo de 5 minutos, el cual, señala que es mejor el efecto de enfriamiento. El equipo tiene una eficiencia del 85 %, lo que indica que se cumple con el objetivo planteado, además nos ayuda en el control de la contaminación ambiental y en la protección del ambiente, con la reutilización del agua acondicionada debidamente.

Para evitar el deterioro del equipo y su mala manipulación se aconseja utilizar la guía de prácticas.

## SUMMARY

The present investigation work is focused on the design and construction of a water cooling tower through induced shot evaporation. Its objective is to re-use the water consumed and take advantage of the energy coming out, after certain heat exchange processes through the water cooling for the Industrial Chemistry Lab of the Faculty of Sciences. The equipment dimensions were determined through engineering calculi from experimental data and process variables obtained in the essays conducted in the existing cooling equipment. With the resulting design of the engineering calculi, the apparatus was constructed with deacrylic sheets (40X140cm) forming a vacuum cross-sectioned quadrangular parallelepipedon 0.136 m<sup>2</sup> and 1.4m high which gives a volume of 0.16 m<sup>3</sup>; a stainless steel assembly, water distribution system composed of 4 PVC sprinklers sustained or matched to 90° bends; water reservoir with 25 L maximum capacity; an air extractor; 4 fans; 0.5 HP pump; pulleys using the electricity as an energy source. The equipment ventilation was calculated and 15<sup>o</sup>C cooling degree was obtained at the tower output, in a 5 min period which points out that that the cooling effect is better. The equipment has 95% efficiency which shows that the objective has been met. Moreover it helps to control the environmental contamination and protects the environment with the re-use of the conditioned water. To avoid the equipment decay and its mishandling it is recommended to use the practice guide.

## INTRODUCCIÓN

Las máquinas y los procesos industriales, así como aquellos dedicados al confort humano, generan enormes cantidades de calor que deben ser continuamente disipadas si se quiere que esas máquinas y procesos operen eficientemente.

El uso principal del agua en la industria, es en la remoción del calor para condensar y enfriar varios productos. El agua después de haberse utilizado en esta forma, queda caliente y puede ser descargada, o enfriada y luego recirculada.

Si la planta industrial estuviera situada en la rivera del río, se podría usar está, como agua de enfriamiento previamente filtrada, pero como es de suponer esta contiene cantidades apreciables de sales disueltas, lo que implica que el uso continuo del agua del río produzca incrustaciones en la superficie de enfriamiento de los equipos, lo que trae como consecuencia el deterioro y aumento de costos en el mantenimiento industrial.

Por otro lado, como el agua calentada se la retorna al río, se presenta el problema de la contaminación térmica que puede ser tan grave como cualquier otra forma de contaminación, ya que el agua tibia estimula el crecimiento anormal de algas, que en cierto modo consumen el oxígeno de uso animal.

En cambio si el agua usada para el enfriamiento es agua potable, la de consumo humano, es evidente que la disponibilidad es cada vez menor a más que relativamente costosa. Por lo tanto, se ve la necesidad inmediata a nivel industrial de economizar el agua; de esta manera resultaría absurdo su uso ilimitado como medio de enfriamiento, ya que la institución que la suministra no permite que el agua usada para estos fines sea descargada a los sumideros.

En cualquier caso, se ve la necesidad de optar algún método que permita enfriar agua a menor costo, sin que se produzcan efectos secundarios; así, aprovechando la técnica de enfriamiento por evaporación, la cual, se basa en que para enfriar el agua, se evapora una



pequeña cantidad de está, absorbiendo el calor latente del resto del agua la cual se enfría; la evaporación, se produce poniendo en contacto directo aire de humedad relativa baja con el agua caliente a enfriarse.

Estas torres regulan el proceso de enfriamiento mediante la evaporación controlada, reduciendo así la cantidad de agua consumida. Esto se logra cuando a la gota que se pone en contacto con el aire, se le evapora la película exterior, requiriendo para este proceso de absorber calor, el cual se toma de la propia gota, enfriándola consecuentemente.

Es decir, el enfriamiento se realiza tanto por calor sensible (cambio de temperatura) como por calor latente (cambio de estado físico).

El objeto que se persigue en la torre es que la gota este el mayor tiempo posible en contacto con el aire, lo cual se logra con la altura de la misma y además interponiendo obstáculos, que la van deteniendo y al mismo tiempo la van fragmentando facilitando más el proceso evaporativo. En los nuevos sistemas los obstáculos en lugar de romper la gota, hacen que se forme una película muy delgada en donde se lleva a cabo el mismo proceso.

Para la determinación de las condiciones de operación del equipo, los métodos a utilizarse es inductivo y deductivo, de igual manera se realiza el análisis del agua usando técnicas conocidas para la determinación de: conductividad, pH, dureza, sólidos totales, toda esta metodología planteada nos ayuda para el mejor funcionamiento de la torre.

Puede afirmarse que una torre de enfriamiento es un dispositivo que transpira, esto es, libera calor a los alrededores por evaporación el cual se enfría porque las moléculas de agua de mayor temperatura se escapan mientras que el agua que se enfría permanece en la torre.

En términos generales, se puede decir que la capacidad de enfriamiento de una torre es una combinación de todas las variables involucradas en el diseño y selección de la misma y nos

indica la cantidad de agua que enfría en condiciones de operación comparada con las condiciones de diseño, esto es entonces, el equivalente de la eficiencia térmica.

De acuerdo a los cálculos de Ingeniería y dimensionamiento del equipo la opción más idónea, fue una torre de enfriamiento la cual está constituida de acrílico que utiliza electricidad como fuente de energía para la bomba de 0,5 HP.

En el presente trabajo investigativo se determinó las condiciones adecuadas de operación del equipo, donde su eficiencia es de 94,6 %, determinando la altura de la torre de 1,36m.

## ANTECEDENTES

Los procesos de enfriamiento por agua son los más antiguos y simples que se conocen, todo lo que se requiere para enfriar agua es exponer su superficie al aire. Algunos de estos procesos son lentos, como el enfriamiento de agua de la superficie de un estanque, mientras otros son relativamente rápidos, como cuando se rocía agua al aire. Todos estos procesos comprenden la exposición de la superficie del agua al aire con grado de eficiencia que varía.

Un gran número de procesos industriales consumen agua, ya sea en estado de vapor o líquido para ser usada en calefacción o enfriamiento, y una vez utilizada se la desecha, el agua y el aire son suministros de bajo costo, no obstante cuando se los requiere en grandes cantidades el costo es elevado, es por este motivo que se utilizan las torres de enfriamiento ya que permite la recuperación de materia y energía; toda vez que en plantas industriales de tamaño muy grandes, el desecho de agua representa un alto porcentaje de los costos de operación.

La transmisión de calor comprende una transmisión de calor latente debido al cambio de estado, de líquido a vapor de una pequeña porción del agua, y una transmisión del calor sensible debido a la diferencia de las temperaturas del agua y el aire caliente.

El enfriamiento se lo lleva a efecto poniendo en íntimo contacto una corriente de aire, cuya temperatura de bulbo húmedo sea inferior a la del agua, en estas condiciones el agua se enfría por evaporación, dado que la temperatura del aire que recibe calor sensible, es inferior.

En el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química, existen torres de enfriamiento de tipo atmosférico y de tiro forzado, lamentablemente el primero de estos se encuentra en pésimas condiciones, el cual se lo considera ya obsoleto, la eficiencia de la torre de tiro forzado no se encuentra en su total eficiencia, lo cual los datos obtenidos de esta no son los reales, con el cual no se puede realizar un adecuado trabajo técnico – práctico a nivel de laboratorio.

## JUSTIFICACIÓN

El agua y el aire son materias de bajo costo, no obstante cuando se manipulan en grandes cantidades como en muchas operaciones de enfriamiento de agua, es esencial, el uso de equipos de costo inicial y operación bajos. Por esta razón se usa con frecuencia instalaciones de gran escala. Además en el diseño y operación de modernas plantas químicas, un factor muy importante es la temperatura del agua del proceso disponible, en la planta química dicha temperatura fija las condiciones de operación de los condensadores de los procesos de destilación y evaporación. El diseño y construcción de equipos para comprobar diferentes procesos y operaciones industriales, son de gran importancia tanto para el que lo realiza y para el país al que pertenece, ya que permite una aplicación intensa de los conocimientos de ingeniería, para la solución de problemas prácticos; además que constituye una especie de aporte a la tarea de crear y utilizar tecnología propia, desechando de esta manera parte de la tecnología extranjera .

Por este motivo se ha visto la necesidad del diseño y construcción del mencionado equipo para el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para satisfacer los requerimientos dentro del laboratorio y así poder dar un adecuado manejo y utilización de equipos pilotos a los estudiantes y así mismo capacitarlos para que puedan defenderse a futuro en un excelente campo laboral, se busca ampliar el conocimiento de los fundamentos y métodos de Humidificación empleados más comúnmente en la industria, así como la aplicación de dichos conceptos para la realización de diseños básicos que dependen de la dirección y velocidad de transferencia de masa y energía que se determinan mediante ecuaciones de

balance de masa y energía que combinadas nos conducen a una ecuación conocida como Ecuación de Diseño.

La posibilidad de conseguir temperaturas de enfriamiento de agua en nuestra zona climática de hasta +25°C o inferiores, permite el empleo de intercambiadores de calor intermedios, lo que significa que el fluido procesado puede enfriarse en circuito cerrado hasta 30°C o menos.

El enfriamiento evaporativo utilizado en las instalaciones frigoríficas y de aire acondicionado con condensación por agua, es una tecnología respetuosa con el entorno, que produce un impacto ambiental reducido en varios aspectos.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Realizar el Diseño y Construcción de una Torre de Enfriamiento de Agua por Evaporación de tiro inducido

### **ESPECÍFICOS**

- Realizar la toma de datos experimentales y la identificación de las variables del proceso para optimizar el rendimiento del equipo.
- Dimensionar la Torre de Enfriamiento de Agua por Evaporación de tiro inducido, teniendo en cuenta el tipo de materiales, control y presupuesto requerido.
- Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño de una Torre de Enfriamiento y su respectivo dimensionamiento, en base al diseño de ingeniería.
- Ejecutar el ensamblaje y armado del equipo.
- Verificar el óptimo funcionamiento del equipo

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**



## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. AGUA**

“El agua es uno de los recursos naturales más fundamentales, y junto con el aire, la tierra y la energía constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo. La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas. Hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda.

El agua es uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza y cubre aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie de la tierra. Sin embargo, en contra de lo que pudiera parecer, diversos factores limitan la disponibilidad de agua para uso humano. Más del 97% del agua total del planeta se encuentra en los océanos y otras masas salinas, y no están disponibles para casi ningún propósito. Del 3% restante, por encima del 2% se encuentra en estado sólido, hielo, resultando prácticamente inaccesible. Por tanto, podemos terminar diciendo que para el hombre y sus actividades industriales y agrícolas, sólo resta un 0,62 % que se encuentra en lagos, ríos y agua subterráneos. La cantidad de agua disponible es ciertamente escasa, aunque mayor problema es aún su distribución irregular en el planeta.

El uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen y en los ecosistemas en donde se utilizan. El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas

residuales. Si se entiende por desarrollo sostenible aquel que permita compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas.

Hay que considerar también que el hombre influye sobre el ciclo del agua de dos formas distintas, bien directamente mediante extracción de las mismas y posterior vertido de aguas contaminadas como se ha dicho, o bien indirectamente alterando la vegetación y la calidad de las aguas.

Nuestro mundo por muchos años ha sido descuidado y maltratado por nosotros los seres humanos. La industrialización y el modernismo son algunos factores que ayudan a la contaminación de nuestro ambiente.

Para resolver el problema que existe hoy en día con el agua, que como dijimos anteriormente es un recurso que aunque nuestro planeta está formado en su mayoría por esta, solo un pequeño porcentaje es la que podemos utilizar y la estamos destruyendo poco a poco debido también al aumento de la población y descuido del hombre.

### **1.1.1. TIPOS DE AGUA**

El agua se puede presentar en tres estados siendo una de las pocas sustancias que pueden encontrarse en sus tres estados de forma natural. El agua adopta formas muy distintas sobre la tierra: como vapor de agua, conformando nubes en el aire; como agua marina, eventualmente en forma de icebergs en los océanos; en glaciares y ríos en las montañas, y en los acuíferos subterráneos su forma líquida.

El agua puede disolver muchas sustancias, dándoles diferentes sabores y olores. Como consecuencia de su papel imprescindible para la vida, el ser humano entre otros muchos

animales ha desarrollado sentidos capaces de evaluar la potabilidad del agua, que evitan el consumo de agua salada o putrefacta.

Los humanos también suelen preferir el consumo de agua fría a la que está tibia, puesto que el agua fría es menos propensa a contener microbios. El sabor perceptible en el agua de deshielo y el agua mineral se deriva de los minerales disueltos en ella; de hecho el agua pura es insípida. Para regular el consumo humano, se calcula la pureza del agua en función de la presencia de toxinas, agentes contaminantes y microorganismos. El agua recibe diversos nombres, según su forma y características.

#### **1.1.1.1. “SEGÚN SU ESTADO FÍSICO:**

- Hielo (estado sólido)
- Agua (estado líquido)
- Vapor (estado gaseoso)

#### **1.1.1.2. SEGÚN LA MICROBIOLOGÍA**

- Agua potable
- Agua residual
- Agua lluvia o agua de superficie

#### **1.1.1.3. SEGÚN SU ORIGEN**

- **Aguas Residuales Urbanas:**

Son los vertidos que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos.

Los aportes que generan esta agua son:

Aguas negras o fecales

Aguas de lavado doméstico

Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas

Aguas de lluvia y lixiviados

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc.

- **Aguas Residuales Industriales:**

Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

A veces, las industrias no emite vertidos de forma continua, si no únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año,

dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día.

Estas son más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar. Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.<sup>1</sup>

### **1.1.2. ANÁLISIS QUÍMICOS QUE SE REALIZAN EN EL AGUA DE ENFRIAMIENTO.**

#### **1.1.2.1. “Alcalinidad.**

Se refiere a la capacidad del agua para neutralizar ácidos. La presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos es la causa más común de la alcalinidad de las aguas naturales. Los niveles y tipos de alcalinidad dependen directamente del origen del agua. Las aguas naturales de superficie y de pozo contienen generalmente menos alcalinidad que las aguas fecales o residuales los niveles de alcalinidad indican la presencia de un residuo fuertemente alcalino.

#### **1.1.2.2. Conductividad.**

La conductividad es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica y está directamente relacionada con la concentración de sustancias ionizadas en el agua. Se usa generalmente para determinar la pureza del agua desmineralizada y los sólidos totales disueltos. Debido a la conductancia tan alta que tienen por unidad de paso los iones hidrógeno u oxidrilo, como en el caso de las calderas se acostumbra casi

---

<sup>1</sup>AGUA. 2011: <http://es.wikipedia.org/wiki/Agua>

siempre a neutralizar las muestras antes de medir la corriente eléctrica con el fin de evitar lecturas erróneas demasiadas altas. La muestra se neutraliza añadiendo 3 gotas de solución indicadora de fenolftaleína a 50 ml de muestra y titular gota a gota con ácido sulfúrico de 0,02N hasta que el color rosa desaparezca.

### **1.1.2.3. Cloro Residual.**

Es cloro es añadido a los suministros públicos de agua potable, el efluente de plantas de tratamiento de aguas fecales y a las piscinas para destruir bacterias. El cloro puede estar presente en el agua como cloro libre disponible y como cloro combinado disponible. Además ambas formas pueden coexistir en la misma agua y pueden ser determinadas como cloro total disponible. El cloro libre está presente como ion hipocloroso o hipoclorito; y el cloro combinado existe como monocloramina, decloramina y otros derivados del cloro. Las muestras en que va a analizarse el contenido de cloro no deben exponerse a la luz de sol antes del análisis.

### **1.1.1.4. Determinación de Durezas.**

Se define la dureza como la característica el agua que representa la concentración total de calcio y magnesio expresada como su equivalente en carbonato de calcio. Cuando estén presentes otros iones metálicos polivalentes en cantidades significativas, también se determina y se registran como dureza. La dureza del agua se definió originalmente como su capacidad para precipitar jabón y se medía de acuerdo con la cantidad de una solución valorada de jabón que se necesitaba para producir una espuma estable; sin embargo los iones calcio y magnesio son la causa principales de la dureza del agua.

#### **1.1.1.5. Fosfatos.**

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y aguas residuales casi exclusivamente como fosfato. Los fosfatos son muy usados en los sistemas de tratamiento de aguas municipales y privadas, y se agrupan comúnmente en tres tipos:

- ✓ Ortofosfatos.
- ✓ Fosfatos condensados
- ✓ Fosfatos orgánicos.

Los fosfatos condensados son las formas corrientemente usadas en tratamientos de aguas y calderas y en la formulación de detergentes. Se emplean casi universalmente como compuestos químicos que evitan la formación de depósitos en las calderas. Los resultados de las pruebas se utilizan para regular el tratamiento químico del agua y para interpretar el efecto de los fosfatos sobre la alcalinidad del agua interna de las calderas.

#### **1.1.1.6. Potencial Hidrógeno.**

El pH de una solución es un medidor de la efectividad de la concentración de iones hidrógeno, o más específicamente la actividad del ion hidrógeno. El pH nos da una medida de la acidez o alcalinidad. Se expresa como el logaritmo del inverso de la concentración de los iones hidrógeno y tiene valores de 0 a 14.

$$pH = \frac{1}{\log[H^+]} \qquad \text{Ec. [1.1.1.6-1]}$$

Un pH con valor de 7 indica que el agua es neutra, con valores del pH menores que 7 indican acidez y valores del pH sobre 7 indican alcalinidad.

El pH es una medida muy importante para el control de la corrosión y formación de incrustaciones. Un pH bajo da origen a corrosión y un pH alto puede causar precipitación de  $\text{CaCO}_3$  como incrustación.

#### **1.1.1.7. Sílice.**

La sílice existe normalmente como óxidos ( $\text{SiO}_2$ ) o como silicato ( $\text{SiO}_3$  y  $\text{SiO}_4$ ). Es el elemento en segundo lugar en abundancia en la naturaleza y está presente en la mayoría de las aguas. No tiene efectos tóxicos conocidos y se usa para formar recubrimientos interiores de protección en tuberías para inhibir la corrosión.

La determinación de cantidades del orden de trazas de sílice ha llegado a ser muy importante en la operación de plantas de producción de energía eléctrica por vapor. La sílice en el agua de alimentación de las calderas puede recubrir las aspas de las turbinas y disminuir la eficiencia del intercambio de calor. En la desmineralización de agua, la sílice es una de las primeras impurezas que deja pasar una unidad agotada.

#### **1.1.1.8. Turbidez.**

La turbidez del agua se debe a la presencia de sólidos suspendidos que están dispersos en ella, tales como la arcilla, limo, materia orgánica finalmente dividida, plancton, y otros organismos microscópicos, provocando una reducción de su transparencia. Por lo tanto, la medición de la turbidez indica el grado de opacidad o dispersión de la luz a causa de los sólidos suspendidos. Se debe entender que la turbiedad es una expresión de la propiedad óptica de una muestra, que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan en línea recta a través de ella”<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA\_2011:[http://es.wikipedia.org/wiki/Análisis del Agua](http://es.wikipedia.org/wiki/Análisis_del_Agua)



## **1.2.TORRES DE ENFRIAMIENTO**

“Las torres de enfriamiento esencialmente son equipos utilizados para conservar o recuperar el agua. El agua caliente proveniente del condensador es descargada sobre la parte superior de la torre de enfriamiento desde donde cae o bien es atomizada o rociada hacia el depósito inferior de la torre. Se reduce la temperatura del agua cediendo esta su calor al aire que está circulando a través de la torre.

Aunque se tiene algo de transferencia de calor sensible del agua hacia el aire, el efecto de enfriamiento en la torre de enfriamiento casi es el resultado de la evaporación de una parte del agua cuando esta cae a través de la torre .El calor para vaporizar la parte de agua que se evapora es obtenido del resto de la masa del agua, de tal manera que se reduce la temperatura de dicha masa de agua, el vapor resultante del proceso de evaporación es sacado por aire que circula a través de la torre.Debido a que tanto la temperatura como el contenido de humedad de aire se aumentan a medida que el aire pasa a través de la torre de enfriamiento depende en gran parte de la temperatura del bulbo húmedo que llega a la torre. Mientras menor sea la temperatura del bulbo húmedo del aire que llega a la torre será más efectiva la torre de enfriamiento.

Otros factores que influyen en las características de las torres de enfriamiento son :

- La cantidad de superficie de agua expuesta y el periodo de exposición
- La velocidad del aire que está pasando a través de la torre
- La dirección del flujo de aire con relación a la superficie de agua expuesta(paralela ,transversal o en sentido opuesto)

La superficie de agua expuesta incluye la superficie del agua en el depósito de la torre todas las superficies humedecidas de la torre y la superficie combinada de agua cayendo a gotitas a través de la torre.

Teóricamente, la temperatura más baja a la cual el agua puede ser enfriada en una torre de enfriamiento, es la temperatura del bulbo húmedo del aire que llega a la torre, en cuyo caso quedaría saturado el vapor del agua del aire a la salida. Además, el aire que sale de la torre siempre estará un poco debajo de las condiciones de saturación.

La diferencia de temperatura entre la temperatura del agua que está saliendo de la torre y la temperatura del bulbo húmedo del aire que está entrando a la torre, se le llama "acercamiento" de la torre. Como regla general permaneciendo sin variar las demás condiciones a mayor cantidad de agua circulada sobre la torre, se aproximara más el valor de la temperatura del agua de salida a la temperatura del bulbo húmedo del aire. Sin embargo la cantidad de agua que económicamente pueda circularse sobre la torre algunas veces estas limitada por los requerimientos de potencia en la bomba.

A la reducción de temperatura experimentada por el agua que está pasando a través de la torre (la diferencia de temperatura entre el agua a la entrada y a la salida) se le llama rango de la torre. Naturalmente que, para mantener el equilibrio entre el sistema de agua del condensador, el rango de la torre deberá ser siempre igual al aumento de la temperatura del agua en el condensador<sup>3</sup>.

### **1.2.1. IMPORTANCIA DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO**

Un gran número de procesos industriales consumen agua, sea en forma de vapor o en forma líquida para ser usada en calefacción o enfriamiento; una vez que ha sido

---

<sup>3</sup> ROY J.DOSSAT., Principios deRefrigeración ,Primera Edición, Continental S.A. PP :332-336

utilizada se la desecha, lo que ocasiona como es lógico la pérdida de materia y energía. Por este motivo se ha llevado a cabo el diseño de diferentes sistemas de recuperación de calor y reutilización del agua acondicionada debidamente.

En la actualidad existen diversos aparatos para el acondicionamiento del agua, siendo los más comunes las Torres o Columnas de Enfriamiento, que sirven para poner en contacto el agua y el aire por circulación, a través de elementos que crean una gran superficie y favorecen el fenómeno de transporte de materia y energía.

El agua que contienen las torres de enfriamiento está contaminada, esto a pesar del uso de diferentes químicos. Además de la infección microbiana, literalmente hay ciertos componentes que se forman y muchos de ellos son cancerígenos. Cuando el agua de enfriamiento es tratada químicamente, se requieren diferentes tipos de control tales como: pH, Incrustaciones Corrosión y Microbiológico. Con el agua tratada químicamente, el control biológico es el más difícil de alcanzar.

Las recomendaciones sobre el tipo y cantidad de químicos a usar, son dadas por un representante de una compañía química. Si los problemas persisten, especialmente en áreas con clima cálido y soleado, generalmente se recomiendan más purgas y mayor adición de químicos. El costo del agua hoy en día no permite que se vote al drenaje. Mediante este fenómeno el agua se evapora parcialmente, cede calor latente y recibe o cede calor sensible, lo que produce una disminución de su temperatura.

Todos los métodos para enfriar el agua por el procedimiento de ponerla en contacto con aire, entrañan la subdivisión del agua en forma tal que presente la mayor superficie posible.

### **1.2.2. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO DE ENFRIAMIENTO**

“Para una operación adecuada, todas las plantas de vapor, ya sea plantas que operen a base de combustibles fósiles necesitan de un sistema de circulación de agua para remover el exceso de calor del sistema de vapor a fin de condensarlo y transferir aquel calor al medio ambiente. En todos los casos en que exista transferencia de masa, debe transferirse también calor.

El calor latente del agua es tan grande que, la evaporación de pequeñas cantidades origina grandes efectos de enfriamiento; generalmente en este caso el régimen de transferencia de masa es pequeño, y el nivel de temperatura es bajo. El enfriamiento se lleva a efecto poniendo en íntimo contacto con una corriente de aire, cuya temperatura de bulbo húmedo sea inferior a la del agua. En estas condiciones el agua se enfría por evaporación, dado que la temperatura del aire que recibe calor sensible es inferior.

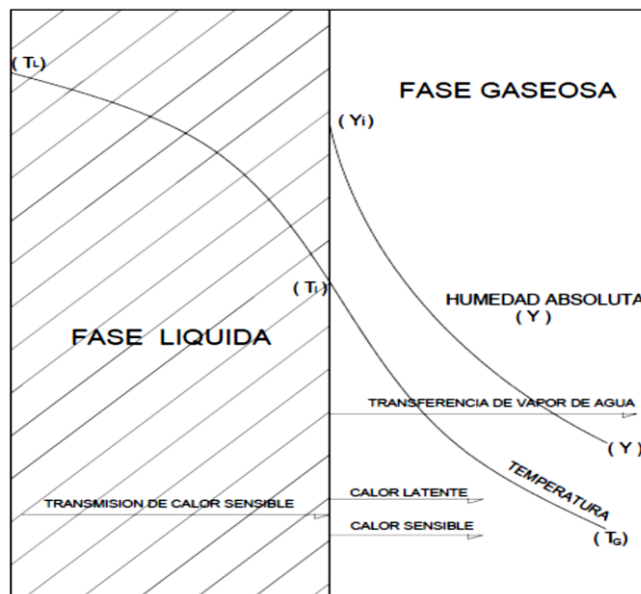
A medida que asciende la temperatura del aire aumenta su humedad y desciende la temperatura del agua. La temperatura límite de enfriamiento del agua, es la temperatura del bulbo húmedo del aire, correspondientes a las condiciones de entrada de la torre.

En esta operación un 2% de agua, de entrada se evapora por cada 10 grados de enfriamiento que experimenta la misma.

Los fenómenos de transferencia se efectúan en mayor o menor proporción simultáneamente. Por ejemplo; cuando un componente es transferido entre dos fases líquidas, se transfiere igualmente la diferencia de los calores de disolución. Cuando un componente condensable se transfiere de una fase gaseosa a una fase líquida, existe transferencia de calor de condensación. Si los fenómenos anteriormente citados se

llevan a cabo entre fases que se mueven, hay también transferencia de la cantidad de movimiento.

Por lo general el fenómeno de transferencia se caracteriza por su cinética, es decir, por la velocidad con la cual se transporta el calor, la masa o la cantidad de movimiento; esto a su vez depende de las respectivas gradientes de temperatura, del potencial químico, de concentración másica o diferencias de viscosidad.



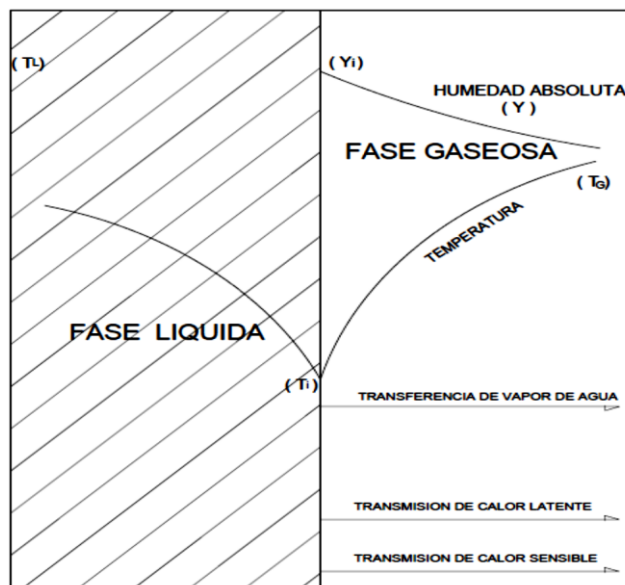
**Fig. 1.2.2.-1 Condiciones en una Torre de Enfriamiento**

Si apreciamos la Fig. 1.2.2.-1, esta nos muestra una operación de enfriamiento de agua , en la cual dicha agua se pone en contacto con una mezcla fría gas-vapor . La masa y el calor se transfieren hacia la fase gaseosa; por lo tanto la Fig. 1.2.2.-1 es una neta apreciación de las condiciones de una torre de enfriamiento. Además podemos anotar que las cantidades de calor y de masa transferidas serán positivas.

Puede ocurrir también que el calor sensible y el calor latente, se transfieren en direcciones opuestas. Esto sucede generalmente en la parte inferior de la torre de

enfriamiento de agua, en donde se enfría por debajo de la temperatura de bulbo húmedo del aire. La Figura 1.2.2.-1 nos muestra las condiciones para la transferencia en direcciones opuestas de los calores latente y sensible.

Puesto que en estas operaciones, las razones de cambio y las cantidades, tanto de las transferencias de calor como de masa son sustanciales, deben escribirse paralelamente a los balances de entalpía y a las ecuaciones de velocidad de transferencia de masa



**Fig.1.2.2-2 Condiciones para la Transmisión de Calores Latente y Sensible en Direcciones Opuestas**

### 1.2.3. ENFRIAMIENTO DE AGUA POR EVAPORACIÓN.

En las torres de enfriamiento en las que el agua está más caliente que el aire, el calor quitado al agua y transmitido al aire es la suma del calor sensible y del calor latente de evaporación. El calor sensible es pequeño en relación al calor latente transmitido. Es evidente que el agua no puede enfriarse por debajo de la temperatura de bulbo húmedo

del aire que entra. Dicha temperatura o sea, la temperatura de saturación adiabática, representa la mínima que el agua puede alcanzar con un tiempo infinito de contacto entre el agua y el aire en una torre de enfriamiento.

Para que tome lugar mayor evaporación, más calor debe ser removido. El calor restante es absorbido por el aire debido a su incremento de temperatura pero éste intercambio de calor sensible es menor comparado con el componente latente proporcionado por el cambio de fase del agua.

Para que la evaporación se lleve a cabo se coloca agua caliente con el aire del medio ambiente que debe tener una humedad relativa baja, se lo realiza en equipos u otros elementos expuestos al ambiente.

Si desea reducir la temperatura de grandes cantidades de agua de un modo controlado y eficiente, las torres de enfriamiento sirven para este propósito ya que los parámetros que intervienen en ellas están diseñados para que cumplan su función específica. Una torre de enfriamiento de uso convencional funciona como sigue:

Por una tubería situada en la parte superior de la torre que va conectada a un distribuidor circula el agua caliente a una temperatura, luego es distribuida en pequeñas gotas en dispositivos diseñados para éste propósito, éstos dispositivos vienen en rellenos de diferente tipos y cantidades, variando desde maderas curadas hasta materiales de fibrocemento, polivinilcloruro (PVC), cerámica, etc.; los cuales son ubicados en forma de mallas o en forma de paneles que le dan ciertas desviación a la trayectoria de la corriente de agua al pasar por ellas y además se obtienen en área de máxima transferencia con el aire atmosférico, el cual entra por la parte inferior de la torre debido

a la succión que realiza el ventilador desde la parte superior con una temperatura de bulbo seca y de una humedad absoluta  $\psi$  kg de vapor de agua / kg de aire seco.

Cuando se produce el descenso de la temperatura del agua dentro de la torre, al pasar por ella, sólo una pequeña fracción de agua se pierde por evaporación en el fenómeno de transferencia de calor, la mayor parte del agua que se pierde por evaporación es por transferencia de masa, la cual se produce cuando el aire que circula en contracorriente entra en contacto con el agua llevando consigo parte de ésta hasta el medio ambiente. El remanente del agua al llegar al final de la torre se la recoge en un colector o sumidero para ser succionada por una bomba para ser usada vuelta en el proceso.

A la diferencia de temperatura que existe a la entrada y salida de la torre se le llama rango de enfriamiento. Si se enfría agua con aire dentro de una torre como es nuestro caso, la cuestión aquí es saber si la temperatura final del agua alcanzará realmente la temperatura deseada.

El enfriamiento de agua que ha sido empleada en los procesos tales como el de refrigeración se realiza con el fin de llevar el agua a su temperatura primitiva para que pueda entrar nuevamente a prestar servicio en el proceso fabril. Este enfriamiento se lleva a efecto poniéndola en íntimo contacto con una corriente de aire cuya temperatura húmeda sea inferior a la del agua. En estas condiciones el agua se enfría por evaporación, y también por transmisión de calor sensible al aire si la temperatura de este es inferior.

A medida que asciende la temperatura del aire aumenta su humedad y desciende la temperatura del agua. La temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura humedad del aire correspondiente a las condiciones de entrada a la torre por la parte



inferior de la misma, ya que el contacto se efectúa en contracorriente. Una pequeña fracción del agua se evapora, cifrándose la operación en un 2% del agua de entrada por cada 10 ° C de enfriamiento de la misma.

Los cálculos necesarios referentes a las torres de enfriamiento de aguas aplicadas en un elemento de torre de altura nos lleva a las siguientes ecuaciones:

1) Por aplicación de un balance de materia

$$dL = G dY \quad \text{Ec. [1.2.3-1]}$$

2) Por aplicación de balance entálpico

$$G di = Lc_L dt_L \quad \text{Ec. [1.2.3-2]}$$

3) Por aplicación de la ecuación general de transmisión del calor desde el líquido a la interfase

$$\frac{dt_L}{t_L - t_i} = \frac{h_L a}{Lc_L} dz \quad \text{Ec. [1.2.3-3]}$$

4) Por aplicación de la ecuación general de transmisión del calor desde la interfase al gas .

$$\frac{dt_G}{t_i - t_G} = \frac{h_G a}{Gc_G} dz \quad \text{Ec. [1.2.3-4]}$$

5) Por aplicación de la ecuación general de transporte de materia desde la interfase al gas

$$\frac{dY}{Y_i - Y} = \frac{k_Y a}{G} dz \quad \text{Ec. [1.2.3-5]}$$

Combinando las ecuaciones anteriores se llega a la expresión

$$\frac{di}{i_i - i} = \frac{k_Y a}{G} dz \quad \text{Ec. [1.2.3-6]}$$

Por integración de esta expresión, suponiendo que  $k_Y$  permanece constante, se puede determinar la altura necesaria de torre, resultando:

$$z = \frac{G}{k_Y a} \int_{i_1}^{i_2} \frac{di}{i_i - i} \quad \text{Ec. [1.2.3-7]}$$

El valor de la integral

$$N_i = \int_{i_1}^{i_2} \frac{di}{i_i - i} \quad \text{Ec. [1.2.3-8]}$$

Se denomina número de elementos de transmisión  $N_i$  y el termino

$$H_i = \frac{G}{k_Y a} \quad \text{Ec. [1.2.3-9]}$$

Recibe el nombre de altura de elemento de transmisión.

Como en la Ec.[1.2.3-8] aparecen las condiciones de interfase como en la práctica suele sustituirse la entalpía del gas en la interfase  $i_i$  ,por la entalpía del aire saturado a la temperatura del líquido, a la vez que el coeficiente de transporte  $k_Y$  se sustituye por el coeficiente global  $K_Y$ . En estas condiciones nos quedan las expresiones:

$$N_{oi} = \int_{i_1}^{i_2} \frac{di}{i^* - i} \quad \text{Ec. [1.2.3-10]}$$

$$H_{oi} = \frac{G}{K_Y a} \quad \text{Ec. [1.2.3-11]}$$

$$z = N_{oi} H_{oi} \quad \text{Ec. [1.2.3-12]}$$

También deducimos de las ecuaciones generales las expresiones

$$\frac{i - i_i}{t_L - t_i} = \frac{h_L}{k_Y} \quad \text{Ec. [1.2.3-13]}$$

$$\frac{i - i_i}{t_G - t_i} = \frac{di}{dt_G} \quad \text{Ec. [1.2.3-14]}^4$$

#### 1.2.4. TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

“Como ya se dijo, una torre de enfriamiento es un equipo destinado al enfriamiento evaporativo del agua, siendo esto conseguido, por un intercambio de calor latente resultante de la evaporación del agua, y parte por transferencia de calor sensible.

A continuación se menciona la clasificación de torres de enfriamiento más empleadas:

- a) Torre atmosférica (Tiro Natural)
  - Enfriamiento por rociado, sin relleno
  - Enfriamiento por rociado, con relleno
- b) Torre de tiro natural (chimenea)
- c) Torre de tiro mecánico inducido o forzado
  - Flujo Contracorriente
  - Flujo Cruzado

---

<sup>4</sup>TREYBALL, R. Operaciones de Transferencia de Masa, 2da Ed, Mc Graw-Hill, PP:205-208

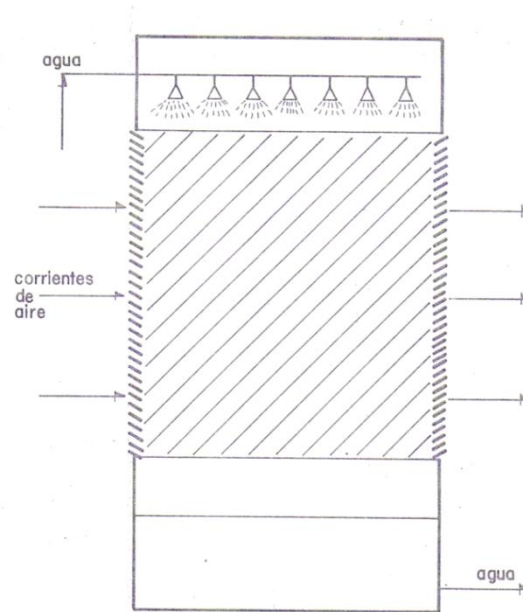
#### **1.2.4.1. TORRE DE ENFRIAMIENTO ATMOSFÉRICA**

Es una torre en la cual el movimiento de aire a través de la misma es función única de las condiciones atmosféricas. El viento generalmente sopla en una dirección próxima a la horizontal y el agua cae verticalmente. Por lo tanto, en una torre atmosférica, en donde el flujo de aire es cruzado con el flujo de agua. Algunas de las ventajas de este tipo son las siguientes:

- a) No posee partes mecánicas
- b) Bajo costo de manutención
- c) No está sujeta a recirculación del aire usado
- d) Largos periodos de operación sin dificultades

Algunas de las desventajas son:

- a) Alto costo de bombeo
- b) Grandes dimensiones de la torres, debido a la imposición de una construcción estricta.
- c) Puede ser construida en área abierta, esto es en donde no ocurre perturbaciones de circulación de aire.
- d) La temperatura de agua fría varía en función de la dirección de la velocidad del viento.
- e) Debe ser dispuesta de acuerdo con la dirección predominante del viento.
- f) El flujo de aire debe ser restringido a fin de limitar las pérdidas aumentando en consecuencia las dimensiones de la torre.



**Fig. 1.2.4.1.-1 Torre de Enfriamiento de Tipo Atmosférico**

#### **1.2.4.1.1. TORRE ATMOSFÉRICA SIN RELLENO**

El agua es distribuida en la parte superior de la misma a través de eyectores, rociando el agua en pequeñas partículas a fin de proporcionar un mayor contacto entre el agua y el aire. El agua desciende libremente, siendo recogida fría en un tanque en base de la torre.

Es indicada para pequeñas instalaciones, como Centrales Eléctricas con motores a Diesel, pequeños frigoríficos, etc., puesto que la operación es muy simple, no requiere atención durante su operación. Tiene las siguientes desventajas:

- Para la atomización del agua, es requerida elevada presión de recirculación de la bomba.
- Los eyectores para la atomización del agua tienden normalmente a taponarse, desbalanceando la densidad de la lluvia.
- Las pérdidas por arrastre debido al viento son muy altas.

#### **1.2.4.1.2. TORRE ATMOSFÉRICA CON RELLENO**

Es análoga a la anterior, pero con relleno interno generalmente de madera, proporcionando así una mayor distribución del agua y una superficie mojada adicional. El agua cae a través del relleno y aire atraviesa la torre lateralmente, en toda su altura.

#### **1.2.4.2. TORRES DE TIRO NATURAL**

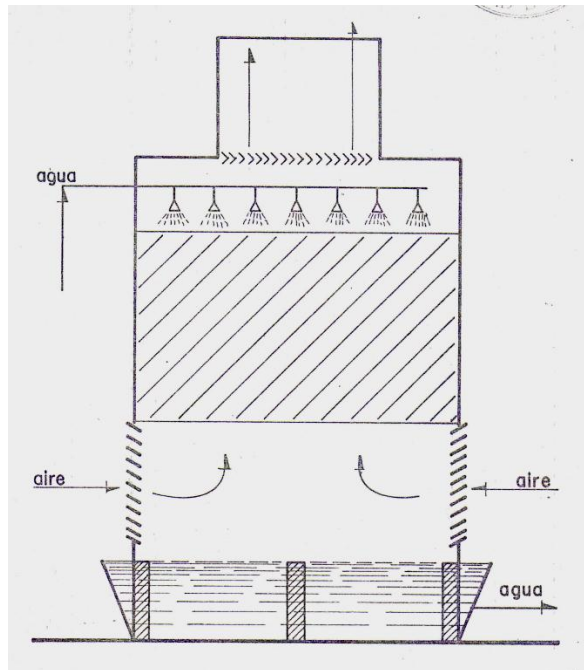
Estas torres son construidas con una chimenea situada en la parte superior del relleno, a fin de proporcionarle a la misma el tiro. Estas torres son muy usadas en países donde la temperatura del bulbo húmedo esta generalmente debajo de 68°F (20°C), el caso de Canadá y el Norte de Europa, donde este tipo es predominante.

Ventajas de las torres de tiro natural

- Los ventiladores proporcionan un mejor control del movimiento del aire que las torres de enfriamiento de tiro natural.

Desventajas de las torres de tiro natural

- La recirculación y la formación de neblina son problemas comunes para las torres de enfriamiento hiperbólicas accionadas con ventiladores.



**Fig. 1.2.4.2.-1 Torre de Enfriamiento de Tiro Natural**

### **1.2.4.3. TORRE DE TIRO MECÁNICO**

El tiro, es un flujo de aire a través de la torre, conseguido por medio de la instalación de un ventilador. En estas torres las condiciones de proyecto pueden ser conseguidas aproximadamente con precisión durante la operación de la torre con velocidad y cantidad de aire, etc.

Algunas ventajas de las torres de aire, etc.

- Fácil control de la temperatura del agua fría.
- Pequeña área ocupada.
- Baja carga total (head) de la bomba, necesaria.
- No existen restricciones para la localización de la torre; pequeña aproximación y gran “rango” son posibles.

Algunas desventajas de este tipo de torre son:

- Grandes cantidades de energía necesarias para la operación de los ventiladores.
- Está sujeta a fallas mecánicas y a la recirculación del aire utilizado.
- Altos costos de manutención.

#### **1.2.4.3.1. TORRE DE TIRO MECÁNICO FORZADO**

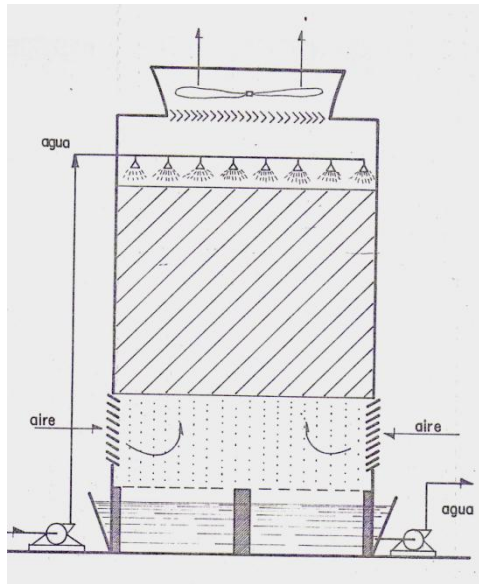
En este tipo de torre, los ventiladores se encuentran instalados en la parte inferior de la misma, impulsando el aire hacia adentro de la torre. Sus principales desventajas son:

- Están más sujetas al problema de la recirculación del aire saturado debido a la zona de baja presión a la entrada del aire.
- Dimensión limitada de los ventiladores (máximo 12 pies), aumentando por tanto el número de los mismos y consecuentemente el número de motores, reductores, etc. En torres de tiro inducido se puede utilizar hasta 60 pies.

#### **1.2.4.3.2. TORRE DE TIRO MECÁNICO INDUCIDO**

Este tipo de torre podrá ser clasificada conforme al sentido del flujo del aire en: torre de tiro inducido de flujo en contracorriente, y torre de tiro inducido de flujo cruzado.





**Fig.1.2.4.3.2.-1 Torre de Enfriamiento con Flujo de Aire Inducido**

#### **1.2.4.3.2.1. TORRE DE TIRO MECÁNICO INDUCIDO DE FLUJO EN CONTRACORRIENTE**

En este tipo de torre, la admisión del aire se efectúa por la base de la torre, subiendo en contracorriente con el agua que es distribuida desde la parte superior de la torre. La distribución del agua es administrada a través de celdas formando una especie de red en la parte superior de la torre. Estas celdas están provistas de varios orificios distribuidores que proporcionan una densidad de lluvia constante a través del relleno de contacto.

Su principal ventaja es que el agua más fría entra en contacto con el aire más seco y el agua más caliente entra en contacto con el aire más húmedo, obteniéndose por tanto un máximo rendimiento. Sus desventajas son las siguientes:

- Un área restringida en la base y altas velocidades del aire en la entrada, aumentando la potencia del ventilador.
- La resistencia del flujo de aire contra el flujo de agua produce mayor pérdida de carga, aumentando en consecuencia la potencia del ventilador.
- La velocidad del aire a través del relleno no es uniforme, habiendo poco movimiento en las paredes.
- El sistema de distribución del agua no es accesible para la manutención durante la operación.

#### **1.2.4.3.2.2. TORRE DE TIRO MECÁNICO INDUCIDO DE FLUJO CRUZADO**

En este tipo de torre el aire es admitido horizontalmente en toda la altura de la misma, y el agua cae horizontalmente a través del relleno de contacto. El aire es extraído por los ventiladores instalados en la parte superior de la torre. Sus principales ventajas son:

- Baja pérdida de carga de aire, por tanto menos potencia de los ventiladores.
- Arreglos simples par la distribución del agua.
- Fácil acceso al sistema de distribución cuando la torres en operación.
- La altura del relleno de contacto es prácticamente la altura de la torre.

Sus desventajas son:

- Una mayor tendencia a la formación de algas en los sistemas de distribución, debido a su exposición a la atmósfera.
- Necesita de grandes correcciones a ser aplicadas, debido a la distribución de las temperaturas a los largo de la torre, principalmente donde tenemos grandes “rangos” y

pequeñas aproximaciones, casos en que a veces, este tipo de torre necesita mayor área y menor potencia de los ventiladores, que el tipo de torre con flujo en contracorriente.”<sup>5</sup>

### **1.2.5. TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO**

Es la temperatura de equilibrio obtenida en la superficie del agua cuando está expuesta al aire, de tal forma que el calor transferido por el aire al agua será igual al calor latente necesario de vaporización del agua. La temperatura de bulbo húmedo es obtenida revistiendo el bulbo del termómetro con un algodón húmedo.

Indicamos la temperatura de bulbo húmedo por  $T_{BH}$ . Su valor es teóricamente, la menor temperatura que podremos obtener en una torre de enfriamiento.

### **1.2.6. TEMPERATURA DE APROXIMACIÓN**

“El agua no puede enfriarse por debajo de la temperatura húmeda del aire y en la práctica la temperatura del agua de salida excede en 2 a 3 °C la temperatura de bulbo húmedo del aire. A esta diferencia de temperatura se conoce con el nombre de Temperatura de Aproximación

### **1.2.7. RANGO DE ENFRIAMIENTO**

Es el rango de temperatura entre la entrada y salida del agua de la torre.  $Rango = T_{le} - T_{ls}$  (debe estar alrededor de 16 °C)

---

<sup>5</sup> TORRE DE ENFRIAMIENTO\_2011:<http://es.wikipedia.org/wiki/TorresdeEnfriamiento>

### 1.2.8. RECIRCULACIÓN

Refleja la fracción del aire saliente de la torre que regresa a ponerse en contacto con la alimentación del aire.

### 1.2.9. AGUA DE REPOSICIÓN

Es la cantidad de agua que hay que adicionar al sistema de enfriamiento para reponer las pérdidas por arrastre en la parte superior de la torre .Se agrega el porcentaje de evaporación cada disminución de 2 a 3° C, es decir, del 2 al 3% que se evapora por cada 10°C de enfriamiento.

### 1.2.10. PÉRDIDAS POR ARRASTRE

Es la cantidad de agua que en forma de finas gotas está siendo arrastra por el vapor por la parte superior de la torre.”<sup>6</sup>

## 1.3. DISEÑO

### 1.3.1. DESARROLLO DE LA ECUACIÓN DE DISEÑO

“Las ecuaciones para el balance de entalpía y las ecuaciones de transporte 1.3.1-1,1.3.1-2 y 1.3.1-3,

$$G' dH_G = G' C_p dT_G + G' \lambda_o dY \quad \text{Ec. [1.3.1-1]}$$

$$(G' / A) C_p dT_G = h_c a (T_i - T_G) dz \quad \text{Ec. [1.3.1-2]}$$

$$(G' / A) \lambda_o dY = \lambda_o k_Y a (Y_i - Y) dz \quad \text{Ec.[1.3.1-3]}$$

---

<sup>6</sup> BRITO H, “Texto Básico de Operaciones Unitarias III”,2006, PP 6-7

Pueden ser combinadas para obtener una ecuación de diseño. Estas ecuaciones relacionaran el cambio de temperatura en la fase gaseosa y la humedad molar con las proporciones de calor y de masa transferidas de o hacia la fase gaseosa, así pues tenemos:

Para la fase gaseosa:

$$(G' / A)dH_G = h_C a(T_i - T_G)dz + \lambda o k_Y a(Y_i - Y)dz \quad \text{Ec. [1.3.1-4]}$$

Separando la  $k_Y a$ , de la derecha de la ecuación , y designando  $(h_C/k_Y C_p)$  como  $r$  , la relación psicométrica será :

$$(G' / A)dH_G = k_Y a((C_p r T_i + \lambda o Y_i) - (C_p r T_G + \lambda o Y))dz \quad \text{Ec. [1.3.1-5]}$$

Colocando a  $r$  dentro de esta ecuación, se hace la suposición de que  $a$ , el área por volumen unitario de la torre, es la misma para la transferencia de calor y para la transferencia de masa. Esto se cumple solo a proporciones altas del líquido, tales que el empaque de la torre este completamente húmedo .Si  $r=1$  como acontece en el sistema aire agua, bajo condiciones normales, los términos de los paréntesis en la ecuación 1.3.1-5, son las entalpías definidas por la ecuación.

$$H = C_p(T_G - T_o) + Y\lambda o \quad \text{Ec. [1.3.1-6]}$$

$$H = \text{Kcal / Kg gas seco}$$

Ecuación que representa la entalpía de la mezcla por kilogramo de gas seco.

$$(G' / A)dH_G = k_Y a(H_i - H_G)dz \quad \text{Ec. [1.3.1-7]}$$

Integrando tenemos:

$$\int_{H_{G1}}^{H_{G2}} \frac{G' dH_G}{Ak_Y a(H_i - H_G)} = \int_0^z dz = z \quad \text{Ec. [1.3.1-8]}$$

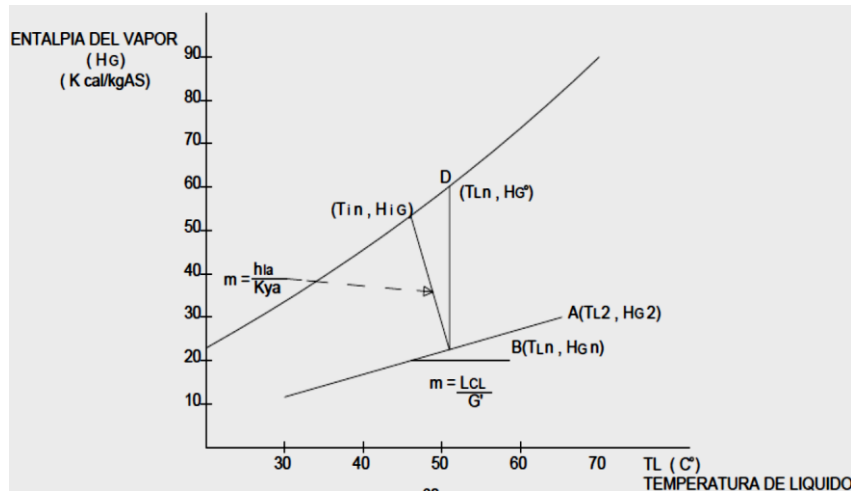
Que es una ecuación de diseño en la cual la fuerza directriz o potencial de transferencia, esta expresada como diferencia de entalpías.

La entalpía es una propiedad termodinámica extensiva y como tal, no puede ser una fuerza directriz para ninguna operación de transferencia. Por lo que el tratamiento matemático que conduce a la ecuación 1.3.1-8.

- a) En los balances de energía, el flujo másico total por unidad de tiempo es constante. El término de entalpía es entonces entalpía específica, basada en una masa determinada de material.
- b) En la ecuación básica del diseño 1.3.1-5, la fuerza directriz es una función de T y de Y, que son las propiedades que controlan la transferencia de calor y masa.

Solamente en el caso particular en el que  $r = 1$ , pueden ser sustituidas T y Y por H. En todos los otros casos, la ecuación 1.3.1-8 puede escribirse así:

$$\frac{G' d(C_p T_G + \lambda_o Y)}{Ak_Y a((C_p r T_i + \lambda_o Y_i) - (C_p r T_G + \lambda_o Y))} = dz \quad \text{Ec. [1.3.1-9]}$$



**Diagrama 1.3.1-1 Representación Gráfica de una Operación de Contacto adiabático Gas-Líquido**

### 1.3.2. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO

Se tomara en cuenta todas las consideraciones , limitaciones y alcances que tendrá la torre ,como por ejemplo, si es torre tipo planta piloto o tipo industrial , si será fácil de desmontar para hacer cambios en su estructura , si será en ciclo cerrado y régimen continuo o todo lo contrario, etc.

Como el equipo en construcción servirá para ser utilizado como material de enseñanza debe cumplir con los siguientes requisitos:

- ✓ El tamaño del equipo es de planta piloto (nivel de laboratorio) sirviendo de esta manera la proyección de torres a nivel industrial.
- ✓ Es de un manejo sencillo para fines didácticos
- ✓ Es totalmente fácil de desmontar para poder apreciar sus partes constitutivas.
- ✓ El régimen de enfriamiento de agua debe ser continuo y no en ciclo cerrado por no poseer los materiales necesarios.

- ✓ Posee todos los elementos para medir las variables
- ✓ Los costos de construcción y operación, deben ser bajos y su funcionamiento y rendimiento óptimos.”<sup>7</sup>

### **1.3.2.1. ELECCIÓN DE LA TORRE**

La torre a construirse será de las siguientes características: Torre de tiro inducido en contracorriente. Se ha elegido esta clase de torre porque origina una mayor transferencia de masa a menores unidades de transferencia.

### **1.3.2.2. PARTES CONSTITUTIVAS DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO**

Una torre de enfriamiento consta entre otras, de las siguientes partes constitutivas:

- Estructura Básica de la Torre
- Sistema de Distribución del Agua
- El equipo mecánico de movimiento del aire
- El depósito de agua enfriada

### **1.3.3. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA TORRE**

“La altura de la torre ( $Z$ ) es igual al producto del número de unidades de transferencia por la altura de la unidad de transferencia, así:

$$Z = N_{OH} * H_{OH} \quad \text{Ec. [1.3.3-1]}$$

---

<sup>7</sup>McCABE, W.; SMITH, J. y HARRIOT, P. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 4<sup>ta</sup>. ed. México, Continental, 1970. Pp. 657-666



Dónde:

Z=Altura de la torre

$N_{OH}$  = número de unidades de transferencia referidos a las entalpías

$H_{OH}$ = altura de la unidad de transferencia referidos a las entalpías

#### 1.3.4. $N_{OH}$

El número de unidades de transferencia referido a las entalpías se puede calcular mediante el método de integración numérica o gráfica. La ecuación nos da el número de unidades de transferencia del líquido es:

$$N_{OH} = \int_{H_1}^{H_2} \frac{dH}{H^* - H} \text{ Ec. [1.3.4-1]}$$

Dónde:

$N_{OL}$  = Número de unidades de transferencia referido a las entalpías

dH= Variación de la entalpía

$H_1$  =Entalpía de entrada

$H_2$ = Entalpía de salida

$H^*$  = Entalpía de vapor saturado

H=Entalpía de aire saturado

#### 1.3.5. $H_{OH}$

El  $H_{OH}$  depende directamente del  $K_G$  refleja relaciones cinéticas, además si el  $H_{OG}$  es más pequeño la torre también, se lo toma como criterio de eficiencia de una torre. Es la altura de la unidad de transferencia y es equivalente al número de platos (m).

$$H_{OH} = \frac{Gv}{K_Y a} \quad \text{Ec. [1.3.5-1]}$$

Dónde:

$H_{OH}$ =altura de las unidades de transferencia referido a las entalpías

$Gv$ = flujo del aire ( $\text{Kg /h m}^2$ )

$K_Y a$  = coeficiente volumétrico de transferencia de materia ( $\text{Kg /h m}^3$ )

### 1.3.6. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN

Para torres a nivel de laboratorio, Smith y Willianson recomiendan el uso de las siguientes expresiones para calcular la perdida de presión que se origina.

$$\Delta P = (9,85 Z + 5) \frac{U^2}{2g} \quad \text{Ec. [1.3.6-1]}$$

Dónde:

$\Delta P$  = perdida de presión (metros de aire)

$Z$  = altura de la torre (m)

$U$  = velocidad del aire (m/seg )

$g$  = aceleración de la gravedad ( $\text{m/seg}^2$ )

### 1.3.7. FLUJO TOTAL DEL LIQUIDO (L)

Es la cantidad del líquido L que baja a lo largo de la torre por unidad de tiempo y área de sección normal al flujo ( $\text{Kg-mol/h.m}^2$ ). Esta ecuación es aplicada en el diseño de

torres de destilación, y enfriamiento de agua.

$$L = \frac{\rho^* Q}{M_{\text{agua}}} \quad \text{Ec. [1.3.7-1]}$$

Dónde:

L: Flujo total del líquido (Kg-mol/h.m<sup>2</sup>)

$\rho_{\text{agua}}$ : Densidad del agua (Kg/m<sup>3</sup>)

Q: Caudal del líquido (agua) (m<sup>3</sup>/s)

$M_{\text{agua}}$ : Peso molecular del agua (Kg/Kg-mol)<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup>OCON, P. y TOJO, J. Problemas de Ingeniería Química. México, Aguilar, 1980. Pp. 217-225

# **CAPÍTULO II**

## **PARTE EXPERIMENTAL**

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

El plan y el procedimiento de diseño consisten en tomar en cuenta una serie de pasos y alternativas que deben discutirse y analizarse sucesivamente.

Se tomó en cuenta todas las consideraciones, limitaciones y alcances que tendrá la torre, como por ejemplo, si es torre de tipo planta piloto o tipo industrial, si será fácil de desmontar para hacer cambios en su estructura, si será en ciclo cerrado y régimen continuo o todo lo contrario, etc.

Como el equipo en construcción servirá para ser utilizado como material de enseñanza debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El tamaño del equipo es de planta piloto (nivel de laboratorio) sirviendo de esta manera la proyección de la torre a nivel industrial.
- Es suficientemente versátil y poder hacer así los respectivos cálculos.
- Es totalmente fácil de desmontar para poder apreciar sus partes constitutivas.
- Posee todos los elementos para medir las variables (termómetros).
- Los costos de construcción y operación, son bajos y su funcionamiento y rendimiento son óptimos.

### **2.1.PLAN DE MUESTREO**

Para el muestreo correspondiente se procedió a fijar las condiciones de operación del equipo el caudal del agua, las temperaturas en la salida de la torre.

El muestreo se ha efectuado con un método simple, con frecuencia de 2 veces por día, por el lapso de 5 días con un total de 10 ensayos. Los ensayos se realizaron en la torre

de enfriamiento tomando las temperaturas a la salida de la torre en un rango de 10 min por cada 160 minutos que dura el ensayo. Para el análisis del enfriamiento del agua se tomó la temperatura del bulbo húmedo como parámetro de referencia para determinar y verificar si las condiciones fijadas son satisfactorias para la obtención de los resultados deseados.

## **2.2.METODOLOGÍA.**

### **2.2.1 MÉTODOS Y TÉCNICAS**

#### **2.2.2.1 MÉTODOS**

##### **2.2.2.1.1 MÉTODO INDUCTIVO**

Para el dimensionamiento de la torre de enfriamiento de tiro inducido se comenzó utilizando las torres de enfriamiento de tipo atmosférico y de tiro forzado, que se encuentran en el laboratorio, también se realizó el análisis del agua que se utiliza para el enfriamiento, luego de lo cual, se calculó los valores correspondientes para el diseño, construcción que nos servirá para la validación de su funcionamiento.

##### **2.2.2.1.2 MÉTODO DEDUCTIVO**

Una vez obtenido la validación definitiva del equipo procedimos a realizar ensayos para obtener valores que posteriormente son necesarios para los cálculos de los parámetros como es la temperatura de entrada y salida, las presiones de las mismas, etc.

#### **2.2.2.2 TÉCNICAS**

Es indispensable en el proceso de la investigación científica, ya que integra la estructura por medio de la cual se organiza el diseño, a través de formas generales la cual permitirá

la recopilación de información para enunciar las teorías que se basan en el estudio de los fenómenos y procesos.

Se realiza mediante el empleo y análisis de los distintos diagramas los cuales serán una ayuda dentro de la investigación del diseño y construcción.

**TABLA 2.2.2.2-1**

**DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD DEL AGUA**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>TÉCNICA</b>
<p>Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Conductímetro.</li><li>• Vasos de precipitación de varios volúmenes.</li><li>• Embudos de filtración simple.</li><li>• Papel filtro cuantitativo de filtración lenta.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Encender el equipo.</li><li>• Disponga el electrodo al aire y presione CAL. Espere hasta que se calibre el primer punto.</li><li>• Introducir el electrodo en el Estándar de 1413 uS/cm o 12.88 mS/cm. Presione tecla CAL. Espere hasta que se calibre el segundo punto. Registrar el valor.</li><li>• Enjuagar el electrodo con agua destilada y secarlo completamente.</li></ul>

Fuente: Libro Rojo., LABSU



**TABLA 2.2.2.2-2**  
**DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>TÉCNICA</b>
<p>Determinación de la dureza de carbonatos y dureza total mediante titulación.</p> <p><b>Dureza de carbonatos:</b> parte de la dureza total causada por los iones térreos alcalinos equivalente a carbonatos y bicarbonatos.</p> <p><b>Dureza total:</b> concentración total de iones de carbonatos, sulfatos, cloruros, nitratos, fosfatos, calcio y magnesio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bureta de 50 ml. <math>\pm 0.1</math> ml.</li> <li>• Balanza analítica capas de pesar hasta 0.1 mg.</li> <li>• ErlenMeyer de 250 ml.</li> <li>• Soporte universal y pinza de bureta.</li> <li>• Pipetas de 25 ml.</li> <li>• Frascos y goteros.</li> </ul>	<p><b>Dureza de carbonatos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 100 ml de muestra</li> <li>• 3 gotas de fenolftaleína</li> <li>• Titular con HCl 0,1 M</li> <li>• Añadir 2 gotas de indicador mixto</li> <li>• Seguir titulando con HCl 0,1 M</li> </ul> <p><b>Dureza total</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 ml de tampón</li> <li>• Dos gotas de indicador negro de eriocromo-T</li> <li>• Titular con EDTA 0,01 M</li> </ul> <p><b>Estándar de CaCO<sub>3</sub></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 ml de estándar</li> <li>• 1 ml de tampón</li> <li>• Dos gotas de indicador negro de eriocromo-T</li> <li>• Titular con EDTA 0,01 M</li> </ul>

Fuente: Libro Rojo., LABSU

**TABLA 2.2.2.2-3**

**DETERMINACION DE SÓLIDOS TOTALES**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>TÉCNICA</b>
Determinación gravimétrica de sólidos totales, suspendidos y disueltos. Determinación volumétrica de sólidos sedimentables.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balanza de precisión</li><li>• Placas de evaporación o vasos de precipitación</li><li>• Estufa secadora</li><li>• Desecador</li><li>• Agua Residual</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Calentar y secar durante una hora a 105°C; guardar en el desecador y pesar inmediatamente antes de usarlo.</li><li>• Pasar un volumen exactamente determinado al vaso de precipitación, evaporar la muestra en la estufa a 95-98°C, secar el residuo durante una hora más a 105°C.</li><li>• Enfriar en el desecador y pesar exactamente. El peso del residuo debe estar entre 25 - 200 mg,</li><li>• Repetir el secado de la muestra a 105°C hasta obtener un peso constante.</li></ul>

Fuente: Libro Rojo., LABSU

**TABLA 2.2.2.2-4**

**Determinación del pH**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>TÉCNICA</b>
<p>El pH de una muestra se determina electrométricamente usando en combinación un electrodo de vidrio con uno de referencia, o un electrodo internamente combinado. La fuente de medición es calibrada usando una serie de soluciones estándares de pH conocido.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• pH-Metro</li><li>• Vasos de precipitación de varios volúmenes.</li><li>• Embudos de filtración simple</li><li>• Papel filtro cuantitativo de filtración lenta</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Encender el equipo, Tecla ON/OFF. Permita que se estabilice por unos minutos.</li><li>• Enjuagar el electrodo con agua destilada.</li><li>• Introducir el electrodo en el Estándar pH 7. Presione tecla CAL. Espere hasta que se calibre el primer punto.</li><li>• Enjuagar el electrodo con agua destilada.</li><li>• Introducir el electrodo en el Estándar pH 4.</li></ul>

Fuente: Libro Rojo, LABSU

**TABLA 2.2.2.2-5**

**DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN**

<b>FUNDAMENTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>TÉCNICA</b>	<b>CÁLCULO</b>
<p>Constituye una operación no adiabática , el agua caliente fluye a contracorriente del aire, el agua caliente entra por la parte superior de la torre cayendo por las mallas y sale por la parte inferior</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Torre de Enfriamiento De Tiro Inducido</li> <li>• Probeta de 500 ml</li> <li>• Termómetro.</li> <li>• Flexómetro</li> <li>• Cronómetro</li> <li>• Calibrador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las válvulas deberán estar cerradas completamente cerradas.</li> <li>• Colocar el líquido en el calentador de agua.</li> <li>• Encender el calentador mediante el interruptor del tablero de control.</li> <li>• Tomar la temperatura.</li> <li>• Accionar el venterol.</li> <li>• Accionar la bomba para que el agua vaya a la parte superior de la torre de enfriamiento</li> <li>• Tomar la temperatura a la salida de la torre de enfriamiento.</li> <li>• Medir el volumen</li> </ul> <p>Tomar el tiempo</p>	$Z = N_{OH} * H_{OH}$ <p><b>Dónde:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Z= Altura de la torre</li> <li>• N<sub>OH</sub>= Número de unidades de transferencia referido a las entalpías.</li> </ul> <p>H<sub>OH</sub>= Altura de unidades de transferencia referido a las entalpías.</p>

Fuente: Técnicas de laboratorio de transferencia de Masa.

## **2.3.DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.3.1 DIAGNÓSTICO**

Un gran número de procesos industriales consumen agua, sea en forma de vapor o en forma líquida para ser usada en calefacción o enfriamiento; una vez que ha sido utilizada se la desecha, lo que ocasiona como es lógico la pérdida de materia y energía. El agua que contienen las torres de enfriamiento está contaminada a pesar del uso de diferentes químicos. Además de la infección microbiana, literalmente hay ciertos componentes que se forman y muchos de ellos son cancerígenos.

Por esta razón se ve la necesidad como estudiantes de la Escuela de Ingeniería Química, conscientes de los problemas ambientales de realizar un estudio preliminar de tratamiento del agua para reducir la contaminación del ambiente.

Para el dimensionamiento de nuestro equipo, se utilizó la torre de enfriamiento de tipo atmosférico que está totalmente desmantelada y la torre de tiro forzado en la que su funcionamiento no es el adecuado, ambas torres se encuentran en el laboratorio de Ingeniería Química, mismas que se encuentran deterioradas, y no se puede obtener valores reales acordes a las necesidades requeridas en cada una de las prácticas realizadas.

Por esta razón es importante realizar el Diseño y Construcción de una Torre de enfriamiento de tiro inducido para que este sea eficiente y didáctico en el proceso de enfriamiento del agua, para que posteriormente sea utilizado por los estudiantes. Esta servirá para la formación científica y técnica del estudiante que recibirá a nivel de laboratorio permitiendo llevar sus conocimientos teóricos a las aplicaciones prácticas.

### 2.3.2 DATOS

**TABLA 2.3.2-1**

#### **DATOS EXPERIMENTALES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO**

<b>Torre de Enfriamiento</b>		
$\emptyset_{\text{Torre}}$ (m)	$\Phi_{\text{ducto}}$ (m)	(z) m
0,61	0,25	0,80

Fuente: PORTERO V./ VALAREZO S., 2012

**TABLA 2.3.2-2**

#### **DATOS EXPERIMENTALES PARA FIJAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA TORRE**

<b>N</b>	<b>T(°C)entrada</b>	<b>T(°C)salida</b>
<b>1</b>	70	60
<b>2</b>	68	57
<b>3</b>	65	53
<b>4</b>	60	50
<b>5</b>	55	44
<b>6</b>	50	39
<b>7</b>	45	34
<b>8</b>	40	30
<b>9</b>	35	24
<b>10</b>	30	20

Fuente: PORTERO V./ VALAREZO S., 2012

**TABLA 2.3.2-3**

**DATOS EXPERIMENTALES PARA FIJAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA TORRE**

<b>Velocidad. Del viento</b>	3,2	m/s
<b>Diámetro</b>	0,26	M
<b>Bandejas</b>	4	Bandejas
<b>Área de transferencia</b>	0,64	$m^2$
<b>T</b>	21	°C
<b>Tw</b>	19	°C

Fuente: PORTERO V./ VALAREZO S., 2012

**2.4 DATOS ADICIONALES**

**TABLA 2.4-1**

**DATOS ADICIONALES PARA FIJAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA TORRE**

<b>P(mm Hg)</b>	<b><math>\rho</math> (Kg/ m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\rho</math> (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>T<sub>aire</sub>(C)</b>	<b>P<sub>w</sub> (mm Hg)</b>
540	997,95	1,25	44,5	16,48

Fuente: SEPARATA DE OPERACIONES BÁSICAS INGENIERIA QUIMICA .,2006

**TABLA 2.4-2**

**DATOS ADICIONALES PARA FIJAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN  
DE LA TORRE**

<b>N</b>	<b>T(°C)entrada</b>	<b>P<sub>w</sub> (mm Hg)</b>
<b>1</b>	70	233,75
<b>2</b>	68	214,24
<b>3</b>	65	187,32
<b>4</b>	60	144,38
<b>5</b>	55	118,04
<b>6</b>	50	92,51
<b>7</b>	45	71,88
<b>8</b>	40	55,32
<b>9</b>	35	42,17
<b>10</b>	30	31,88

Fuente: SEPARATA DE OPERACIONES BÁSICAS INGENIERIA QUIMICA ..2006



# **CAPÍTULO III**

**CÁLCULOS Y**

**RESULTADOS**

### **3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA POR EVAPORACIÓN DE TIRO INDUCIDO**

#### **3.1. GENERALIDADES**

Cuando en una planta química se requiere de grandes caudales de agua en el proceso de refrigeración, se hace una necesidad imperiosa la construcción de una torre de enfriamiento, tomando en cuenta principalmente el aspecto económico enfocado desde el punto de vista de los costos ocasionados en la construcción de la torre y los costos para hacerla funcionar. Se llega a un balance económico se justificará plenamente la construcción de la misma, de lo contrario se desechará el agua caliente y se utilizará nueva agua para el proceso, por ejemplo una planta química o una industria, que requiere una considerable caudal de agua fría para ser utilizada como refrigerante en aparatos de intercambio de calor. Puede ocurrir que dicha planta este ubicada en algún lugar donde el agua es escasa, y por tanto sus instalaciones deben incluir una torre de enfriamiento que permita reutilizar el agua.

#### **3.2. CÁLCULOS**

##### **3.2.1. $N_{OH}$**

##### **3.2.1.1. CÁLCULO DE $h$**

$$h = \frac{b - a}{N}$$

$$h = \frac{41,2 - 16,27}{4}$$

$$h = 0,002$$

De acuerdo a la ecuación 1.3.4-1 tenemos:

$$N_{OH} = \int_{H_1}^{H_2} \frac{dH}{H^* - H}$$

$$N_{OH} = \frac{h}{2} (f_0 + 2f_1 + 2f_2 + 2f_3 + f_4)$$

$$NOH = \frac{6.23}{2} \{0,024 + 2(0,026) + 2(0,028) + 2(0,043) + 2(0,048) + 2(0,053) + 2(0,058) + 0,061\}$$

$$NOH = 5,01$$

### 3.2.2. $H_{OH}$

#### 3.2.2.1. CÁLCULO DE G

$$G = L * 1,22$$

$$G = 0,184 * 1,22$$

$$G = 0,2123 \frac{Kg}{h}$$

#### 3.2.2.2 CÁLCULO DE $K_{ya}$

$$K_{ya} = \frac{NOH * G}{V}$$

$$K_{ya} = \frac{1,85 * 0,22}{5,2 * 10^{-4}}$$

$$K_{ya} = 5972,75 \frac{Kg}{m^3 h}$$

De acuerdo a la ecuación 1.3.5-1

$$H_{OH} = \frac{Gv}{K_y a}$$

$$H_{OH} = \frac{1194,55}{5972,75}$$

$$H_{OH} = 2,07 * 10^{-3} m$$

### 3.2.3. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LA TORRE

$$A = \frac{G}{Gv}$$

$$A = \frac{792}{5800}$$

$$A = 1,77 * 10^{-4} m^2$$

### 3.2.4. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE PRESIÓN

Podemos aplicar la formula 1.3.6-1

$$\Delta P = (9,85 (1,2) + 5) \frac{(2,5)^2}{2(9,8)}$$

$$\Delta P = 16,82 \left( \frac{6,25}{19,6} \right)$$

$$\Delta P = 16,82(0,318)$$

$$\Delta P = 5,36 m$$

### 3.2.5. FLUJO TOTAL DEL LÍQUIDO

De acuerdo a la ecuación 1.3.7-1 tenemos:

$$L = \rho * Q$$

$$L = 997,95 * 0,664$$

$$L = 662,63 \text{ Kg / h}$$

### 3.2.6 CÁLCULO DE Z

En base a la ecuación 1.3.3-1tenemos :

$$Z = N_{OH} * H_{OH}$$

$$Z = 5,01 * 0,2$$

$$Z = 1,36m$$

## 3.2 RESULTADOS

**Tabla 3.2-1**

**RESULTADOS DE TORRE DE ENFRIAMIENTO**

<b>T °C</b>	<b>Pw</b>	<b>Pv</b>	<b>y</b>	<b>H*</b>	<b>H</b>	<b>H*-H</b>	<b>1/(H*-H)</b>
48	83,71	82,71	0,111651	91,06769	70,70247	20,36522223	0,049103
47	79,6	78,6	0,105162	85,75726	69,48247	16,27478909	0,061445
46	75,65	74,65	0,099033	80,74466	68,26247	12,48218659	0,080114
45	71,88	70,88	0,093279	76,04167	67,04247	8,999194694	0,111121
44	68,26	67,26	0,08784	71,59864	65,82247	5,776167442	0,173125
43	64,8	63,8	0,082719	67,41718	64,60247	2,814706419	0,355277
42	61,5	60,5	0,077902	63,48716	63,38247	0,104692634	9,55177
41	58,34	57,34	0,073352	59,77594	21,06753	38,70841562	0,025834

Fuente: PORTERO V./ VALAREZO S., 2012

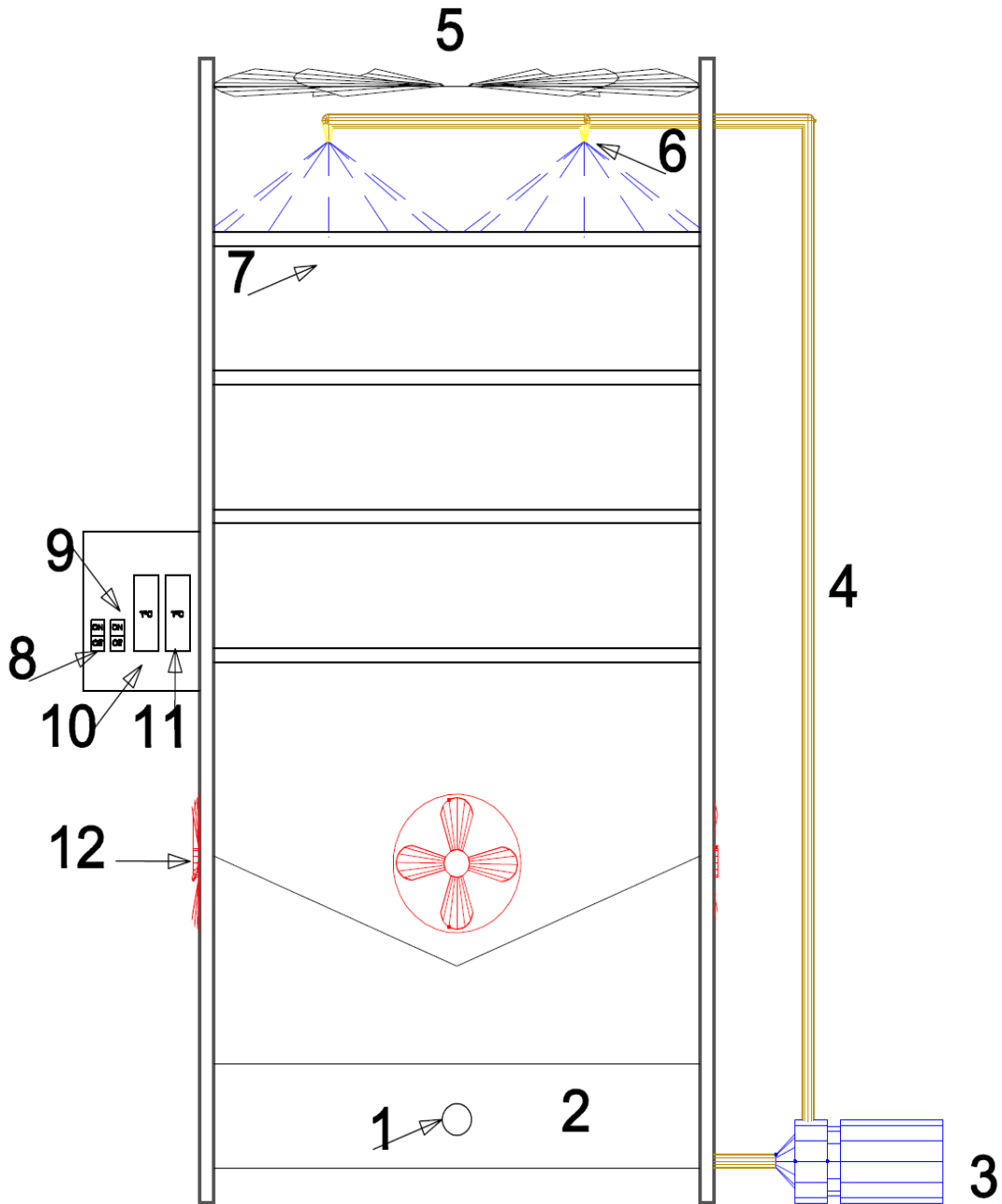
### 3.3. PROPUESTA DE DISEÑO

**TABLA 3.3-1**  
**DIMENSIONAMIENTO DE LA TORRE**

DESCRIPCIÓN	VARIABLE	INDICADOR
<b>DEPOSITO DE AGUA</b>		
Volumen	0,25	m <sup>3</sup>
Altura	0,20	m
Material	Acero AISI 304	--
<b>DISTRIBUIDOR DEL AGUA</b>		
Diámetro del orificio del interior	0,0025	m
Diámetro del distribuidor (aspersores)	0,0025	m
Material	PVC	
Gv	1194,555	Kg/hm <sup>2</sup>
G	0,2123	Kg/s
L	662,63	Kg/h
H <sub>OH</sub>	0,2	m
Kya	5972,777	Kg/hm <sup>3</sup>
N <sub>OH</sub>	5,01	m
H	0,002	
Z	1,56	m
A	0,4	m
B	0,4	m
BOMBA	0,5	HP
RESISTENCIA	30-80	°C

Fuente: PORTERO V./ VALAREZO S., 2012

### 3.3.1. DISEÑO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO



- |                       |                                  |                              |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|
| 1. Resistencia        | 5. Extractor de vapor            | 9. Int. Bomba y ventiladores |
| 2. Recipiente de agua | 6. Aspersores                    | 10. Temperatura entrada      |
| 3. Bomba              | 7. Malla                         | 11. Temperatura salida       |
| 4. Tubería            | 8. Interruptor de la resistencia | 12. Ventiladores             |



### 3.3.1. ANÁLISIS DE COSTOS

#### 3.3.1.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión hacen referencia a todos los materiales, equipos adquiridos para la construcción de la Torre de Enfriamiento de tiro inducido, además los costos de transporte. En la tabla 3.11.1-1 se detallan cada uno.

**TABLA. 3.3.1.1-1**

#### **COSTOS DE INVERSIÓN**

<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Plancha de acero inoxidable AISI 304 (1,5 mm)	1	100	100
Plancha de Acrílico (3mm)	2	200	400
Resistencia eléctrica	1	24	24
Bomba	1	60	60
Switch ON/OFF (caja fusible)	1	20	20
Switch ON/OFF	2	3	6
Extractor	1	100	100
Alambres, remaches, tuercas	-	80	80
Gasfitería	-	250	250
Enchufe (bifásico)	1	3	3
Sensor de temperatura	2	50	100
Ventiladores	4	30	120
Transporte	-	300	300
<b>TOTAL</b>			<b>\$1563</b>

**Fuente:**PORTERO V./ VALAREZO S., 2012

### 3.3.2. COSTOS DE OPERACIÓN

Para estimar los costos de operación es importante conocer las condiciones de operación del equipo.

**TABLA. 3.3.2-1**

#### **COSTOS DE OPERACIÓN**

<b>Denominación</b>	<b>Costo</b>
Construcción de la torre	550
Mantenimiento	50
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 600</b>

**Fuente:** PORTERO V./, VALAREZO S., 2012

### 3.3.3. COSTO TOTAL

Es la suma de los dos costos

$$C_T = C_i + C_o \quad \text{Ec. 3.11.3-1}$$

$$C_T = 1563 + 600$$

$$C_T = 2163 \text{ dólares}$$

### 3.3.4. DEPRECIACIÓN DEL EQUIPO

El costo total de la construcción de la torre de enfriamiento de tiro inducido es de 2163 dólares; tomando en cuenta que su vida útil es de 10 años.

En la Ley del Impuesto sobre la Renta se establecen los siguientes porcentajes de depreciación:

- 10% Maquinaria y equipo
- 5% Construcciones
- 25% para vehículos de transporte
- 30% para equipo de cómputo electrónico
- 10% para mobiliario y equipo de oficina

✓ 2163 DEL EQUIPO A DEPRECIAR

✓ 10% PORCENTAJE DE DEPRECIACIÓN

$$2163 * 10\% = 216,3$$

✓ 12 MESES A DEPRECIAR

$$216,3/12 = \$ 18,025$$

✓ 120 MESES COMO LIMITE MÁXIMO

$$216,3/120 = 1,8025 \text{ CADA MES}$$

# **CAPÍTULO IV**

## **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

### **DE RESULTADOS**

#### 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La torre y sus máximas posibilidades de enfriamiento coinciden con la diferencia entre la temperatura de entrada del agua y la de bulbo húmedo del aire a la salida, estas diferencias serán más amplias en la medida en que el aire entre menos húmedo. La eficacia de esta torre es de 95% y depende del grado de acercamiento entre la verdadera temperatura del agua a la salida y la obtenida teóricamente, este punto coincide con la menor temperatura que puede alcanzar el agua teóricamente.

Hay que tener en cuenta que la velocidad de transferencia de masa decrece a lo largo de la torre hasta que llega un momento en que se anula, la práctica se la realizó con las siguientes condiciones de operación:  $T_e$ : 48 °C;  $T_s$ : 41 °C;  $T$ : 21 °C;  $T_w$ : 19 °C.

Para el enfriamiento las variaciones en la temperatura de entrada y de salida son sumamente importantes, pues es necesario percatarnos de la eficiencia de la torre en esta etapa, para comparar los datos obtenidos con la torre anterior, el coeficiente de transferencia de masa de la torre no siempre es constante, pues varía de acuerdo al caudal de agua, a mayor caudal de agua existe menor enfriamiento, por lo tanto el coeficiente de transferencia de masa será proporcional al caudal y al  $N_{OH}$ , si el flujo del líquido y  $N_{OH}$  son altos, el coeficiente será alto y viceversa.

Observando los resultados obtenidos se puede decir que se ha cumplido con el objetivo planteado, ya que se logró enfriar una cantidad determinada de agua, en una temperatura promedio de 15 ° en un periodo de 5 minutos, lo que nos da una eficiencia de 95 %, además hay un mínimo consumo de energía y el porcentaje de enfriamiento que se encontró fue mayor al de la torre anterior.

El equipo aporta a disminuir la contaminación del ambiente, pues la importancia de su construcción, radica en la reutilización del agua que se consume y desecha en los sumideros, evitando que se vierta agua caliente en el entorno, se aprovecha también la energía con la que sale el agua después de un procesos de intercambio de calor, de esta manera existe ahorro económico, además se ha utilizado un material que es 100 % reciclable como lo es el acrílico.

# **CAPÍTULO V**

## **CONCLUSIONES Y**

## **RECOMENDACIONES**

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- El coeficiente de transferencia de masa de  $5972,75 \text{ Kg/m}^3\text{s}$ , mismo que nos indica la existencia de transferencia de masa y energía adecuada para el enfriamiento de agua.
- El área de transferencia determinada es de  $0,64 \text{ m}^2$ , mismo que nos garantiza el enfriamiento del agua.
- El caudal del agua es de  $2,5 \text{ Kg/h}$  de líquido, que es lo idóneo para el proceso y obtener un óptimo y buen rendimiento de ella.
- El diseño de la torre para el óptimo funcionamiento es de  $:N_{OH} :5,01$ ;  $H_{OH} :0,2$  y  $Z: 1,56$  por lo que los valores de sección de la torre y cantidad de agua evaporada , corresponden al tamaño del equipo



## 5.2. RECOMENDACIONES

- Debido a que los objetivos de este trabajo son de aplicarlo en la enseñanza de operaciones unitarias, hay que tener cuidado en el manejo del equipo, se recomienda utilizar la Guía de Prácticas, para prevenir algún tipo de daño en el equipo.
- Obtener mayores rendimientos y proyectarlos a nivel industrial, se puede aumentar o disminuir la altura de la torre.
- Realizar el proceso en el menor tiempo así se evitara las pérdidas por arrastre de vapor.
- Verificar que todas conexiones de funcionamiento del equipo estén en buen estado.
- Para un buen desempeño del equipo darle el respectivo mantenimiento luego de cada práctica realizada.
- Para descargar el agua utilizada hacia el medio ambiente se debe dar un tratamiento previo, para evitar contaminación térmica.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- **BRITO**., G., Texto básico de operaciones unitarias III.,  
Riobamba- Ecuador., 2006., Pp. 6-7.
- 2.- **McCABE**., W., y otros., Operaciones unitarias de ingeniería  
química., 4ª. Ed., México D.F- México., Continental., 1970.,  
Pp. 657- 666.
- 3.- **OCON**., P., y **TOJO**., J., Problemas de ingeniería química.,  
México D.F- México., Aguilar., 1980., Pp. 217- 225.
- 4.- **ROY**., D., Principios de refrigeración., trad. Armando G.,  
México D.F – México., 1980., Continental S.A., Pp. 332.
- 5.- **TREYBAL**., R., Operaciones de transferencia de masa.,  
México D.F- México., McGraw – Hill., 1988., Pp. 205 –  
208.

## BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

### 6.- AGUA

[www.es.wikipedia.org /Agua.](http://www.es.wikipedia.org/Agua)

2011- 11- 09

### 7.- ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA

[www.es.wikipedia.org /Análisis químico del agua.](http://www.es.wikipedia.org/Análisis químico del agua)

2011- 11-10.

### 8. TORRES DE ENFRIAMIENTO

[www.es.wikipedia.org /Torres de enfriamiento.](http://www.es.wikipedia.org/Torres de enfriamiento)

2011- 12- 04.

# **ANEXOS**

**ANEXO I**

**PARTES DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO**



**A**



**B**

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b> <input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA          DE CHIMBORAZO          FACULTAD DE CIENCIAS          ESCUELA DE ING. QUÍMICA          REALIZADO POR:          Verónica Portero          Santiago Valarezo</b>	<b>PARTES DE LA TORRE DE          ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO</b>		
A. Extractor  B. Ventilador			<b>Lámina</b> 1-10	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b> 2012/01/17

## ANEXO II

### BOMBA



A



B

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Verónica Portero Santiago Valarezo	BOMBA		
A. Bomba  B. Especificaciones de la bomba	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar		Lámina 2-10	Escala	Fecha 2012/01/17

**ANEXO III**  
**ESTRUCTURA DE LA TORRE**



**A**



**B**

<b>NOTAS</b>	<p align="center"><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por certificar</td> <td><input type="checkbox"/> Por eliminar</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Por aprobar</td> <td><input type="checkbox"/> Para información</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Aprobado</td> <td><input type="checkbox"/> Por calificar</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar	<p align="center"> <b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Verónica Portero Santiago Valarezo</b> </p>	<b>ESTRUCTURA DE LA TORRE</b>		
<input type="checkbox"/> Por certificar		<input type="checkbox"/> Por eliminar									
<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información										
<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar										
<p>A. Termostato.</p> <p>B. Malla.</p>	Lámina 3-10	Escala	Fecha 2012/01/17								

**ANEXO IV**  
**ESTRUCTURA DE LA TORRE**



**A**



**B**

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Verónica Portero Santiago Valarezo	ESTRUCTURA DE LA TORRE		
A. Soldando la torre  B .Estructura de la torre.	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar		Lámina 4-10	Escala	Fecha 2012/01/17

**ANEXO V**  
**MALLAS**



**A**



**B**

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Verónica Portero Santiago Valarezo</b>	<b>MALLAS</b>		
A: Elaboración de la malla. B: Bandeja de malla terminada	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar		<b>Lámina</b> 5-10	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b> 2012/01/17



**ANEXO VI  
ASPERSORES**



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Verónica Portero Santiago Valarezo</b>	<b>ASPERSORES</b>		
	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> minar <input type="checkbox"/> Por aprobar <b>Aprobado</b>	<b>Por</b>  <input type="checkbox"/> Para información <b>Por calificar</b>	<b>Lámina</b> 6-10	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b> 2012/01/17

**ANEXO VII**

**PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**



**A**



**B**

<b>NOTAS</b>	<p style="text-align: center;"><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"><input type="checkbox"/> Por certificar</td> <td style="width: 50%; border: none;"><input type="checkbox"/> Por eliminar</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por aprobar</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Para información</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Aprobado</td> <td style="border: none;"><input type="checkbox"/> Por calificar</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> Por certificar	<input type="checkbox"/> Por eliminar	<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Verónica Portero Santiago Valarezo</b></p>	<b>PRUBAS DE FUNCIONAMIENTO</b>		
<input type="checkbox"/> Por certificar		<input type="checkbox"/> Por eliminar									
<input type="checkbox"/> Por aprobar	<input type="checkbox"/> Para información										
<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por calificar										
<p>A. Estructura de la torre</p> <p>B. Prueba de aspersores</p>	<p><b>Lámina</b> 7-10</p>	<p><b>Escala</b></p>	<p><b>Fecha</b> 2012/01/17</p>								

## ANEXO VIII

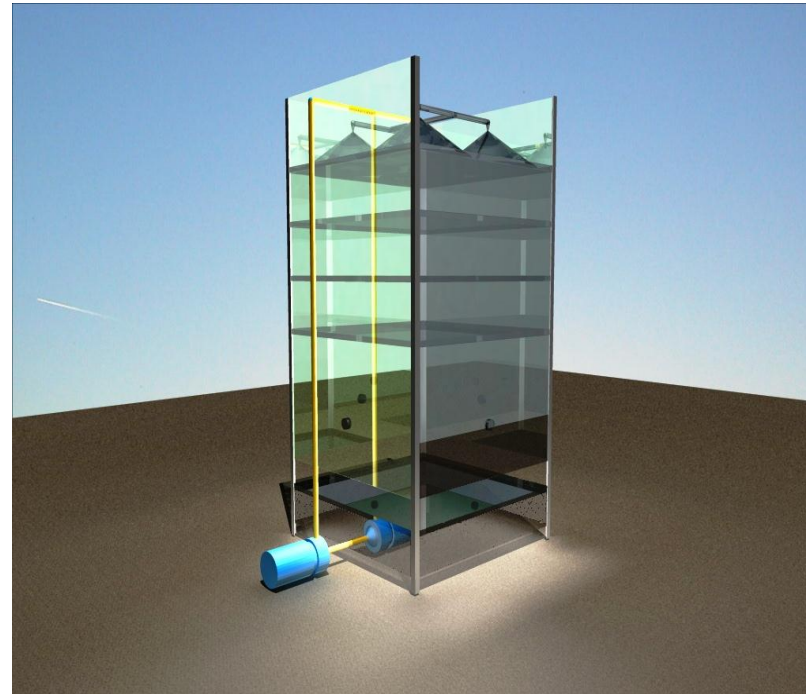
### TORRE TERMINADA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Verónica Portero Santiago Valarezo	TORRE TERMINADA		
	<input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar		Lámina 8-10	Escala	Fecha 2012/01/17

**ANEXO IX**

**TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO  
INDUCIDO**



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>  <input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Verónica Portero Santiago Valarezo</b>	<b>TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO</b>		
			<b>Lámina</b> 9-10	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b> 2012/01/17

## ANEXO X

### HOJA DE ANALISIS TÉCNICO DEL AGUA

LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**

*Solicitado por:* Sr. Santiago Valarezo y Verónica Portero

*Fecha de análisis:* 11 de enero de 2012

*Fecha de entrega de resultados:* 11 de enero del 2012

*Tipo de muestra:* Agua de abastecimiento de la ESPOCH.

*Localidad:* ESPOCH Riobamba

Código: LAT/FQ-007--12

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.45
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	1004
Dureza	mg/L	200	624.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	622.5

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

*Observaciones:* Agua muy dura

Atentamente,

Dra. Giraldo Alvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.



<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>  <input type="checkbox"/> Por certificar <input type="checkbox"/> Por eliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Para información <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por calificar	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA REALIZADO POR: Verónica Portero Santiago Valarezo</b>	<b>HOJA DE ANALISIS TÉCNICO DEL AGUA</b>			
			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Lámina 10-10</td> <td style="width: 33%;">Escala</td> <td style="width: 33%;">Fecha 2012/01/17</td> </tr> </table>	Lámina 10-10	Escala	Fecha 2012/01/17
Lámina 10-10	Escala	Fecha 2012/01/17				

