

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“EVALUACIÓN ENERGETICA TORRE DE ENFRIAMIENTO 87 [MW]”**

**Memoria para optar al Título de:**  
**INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**ALUMNO : ÁLVARO SEBASTIÁN DONOSO MORALES**  
**PROFESOR GUÍA : YUNESKY MASIP M.**

**2018**

## **RESUMEN**

Con el objetivo de evaluar energéticamente la Torre de Enfriamiento Bac – Pritchard, comúnmente llamada Baltimore. Se realiza en Compañía Minera Anglo American Chile, División Fundición Chagres, un estudio que consta principalmente de:

- Levantamiento de información en la base de datos.
- Recuperación Información Técnica del Equipo.
- Entrevistas con operadores de terreno y de consola.
- Entrevista con proveedor.
- Evaluación capacidad de enfriamiento y entrega de resultados.

Lo anterior se rige principalmente a lo que establece el C.T.I por sus siglas en ingles Cooling Tower Intitute mediante el A.T.C (Acceptance Test Code)-105. Mediante este procedimiento se identifican oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética del equipo en tres instancias:

- Implementación eventualmente 1 ó 2 celdas adicionales.
- Instalar un control automatizado, con el fin de no utilizar ventiladores y bombas innecesariamente.
- Incorporar pauta de mantenimiento e instrucción al mantenimiento programado, para mejorar distribución del agua.

Este estudio involucra respaldo de literatura asociada al proceso en cuestión, como también la estructura que indica el CTI. Esta memoria además detalla y respalda las necesidades existentes que requiere la Torre de Enfriamiento para disipar energía, lo anterior en base a estudios históricos y justificación de cálculos acorde al marco teórico.

## INDICE

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN</b>                                                                            | <b>2</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                                                       | <b>1</b>  |
| <b>OBJETIVOS Y ALCANCE GENERALES</b>                                                      | <b>1</b>  |
| <b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>                                                              | <b>2</b>  |
| <b>CRITERIOS DE EVALUACIÓN</b>                                                            | <b>2</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>                   | <b>3</b>  |
| 1.1. RESEÑA COMPAÑÍA                                                                      | 4         |
| 1.2. PROCESO PIRO METALÚRGICO DE OBTENCIÓN DE COBRE ANÓDICO EN DIVISIÓN FUNDICIÓN CHAGRES | 6         |
| <b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO</b>                                                          | <b>8</b>  |
| 2.1. TORRES DE ENFRIAMIENTO                                                               | 9         |
| 2.1.1. Generalidades                                                                      | 9         |
| 2.1.2. Descripción                                                                        | 9         |
| 2.1.3. Torre de enfriamiento reseña impacto económico                                     | 10        |
| 2.1.4. Importancia del buen funcionamiento en torre de enfriamientos                      | 10        |
| 2.2. CLASIFICACIÓN TORRES DE ENFRIAMIENTO                                                 | 11        |
| 2.2.1. Torres de circulación natural                                                      | 11        |
| 2.2.2. Torres de enfriamiento de tiro mecánico                                            | 11        |
| 2.2.3. Tipo de empaque                                                                    | 15        |
| 2.3. FUNDAMENTOS                                                                          | 18        |
| 2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA                                     | 19        |
| 2.5. INTEGRAL DE MERKEL                                                                   | 22        |
| <b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b>                                        | <b>29</b> |
| 3.1. DESCRPCIÓN DE LAS INTALACIONES                                                       | 30        |
| 3.2. CARGA CALÓRICA TORRE DE ENFRIAMIENTO                                                 | 32        |
| 3.2.4. Resumen cargas calóricas                                                           | 33        |
| 3.2.5. Resumen Flujo Agua de Refrigeración                                                | 34        |

|                                                                          |                                                                                     |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3.                                                                     | DATOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS                                                          | 36        |
| 3.3.2.                                                                   | Presentación de datos obtenidos                                                     | 36        |
| 3.3.2.                                                                   | Condiciones de fabricante                                                           | 40        |
| 3.3.1                                                                    | Filosofía de control torre de enfriamiento Baltimore                                | 42        |
| <b>CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MEJORA Y EVALUACIÓN CAPACIDAD ENERGÉTICA</b> |                                                                                     | <b>44</b> |
| 4.1.                                                                     | PROPUESTA DE MEJORA                                                                 | 45        |
| 4.2.                                                                     | CÁLCULO EVALUACIÓN POR MERKEL                                                       | 46        |
| 4.3.                                                                     | CALCULO L/G                                                                         | 47        |
| 4.4.                                                                     | CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{op}$ | 48        |
| 4.4.1.                                                                   | Desarrollo de la integral                                                           | 49        |
| 4.4.2.                                                                   | Interpolación                                                                       | 52        |
| 4.4.3.                                                                   | Calculo entalpias por Integral de Merkel                                            | 52        |
| 4.5.                                                                     | OBTENCIÓN DE COEFICIENTES CLAVES $\left(\frac{L}{G}\right)_0$                       | 55        |
|                                                                          | Época de invierno                                                                   | 58        |
|                                                                          | Análisis de Datos                                                                   | 60        |
| <b>CAPITULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>                                  |                                                                                     | <b>61</b> |
| 5.1                                                                      | EVALUACIÓN ECONÓMICA MEDIANTE CALCULO DEL VAN Y TIR                                 | 62        |
| <b>CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>                        |                                                                                     | <b>65</b> |
| 6.1.                                                                     | CONCLUSIONES                                                                        | 66        |
| 6.2.                                                                     | RECOMENDACIONES                                                                     | 67        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                                                      |                                                                                     | <b>72</b> |
| <b>ANEXOS</b>                                                            |                                                                                     | <b>73</b> |
| ANEXO 1                                                                  | RESUMEN DE DATOS EN TABLAS Y GRAFICAS                                               | 74        |
| ANEXO 2                                                                  | PROPUESTA DE MANTENIMIENTO                                                          | 104       |
| ANEXO 3                                                                  | CURVAS CARACTERISTICAS                                                              | 119       |
| ANEXO 4:                                                                 | SUB ÍNDICES                                                                         | 127       |

## **INDICE DE FIGURAS**

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1: Empaque o relleno                                                   | 16 |
| Fig. 2: Empaque o relleno                                                   | 16 |
| Fig. 3: Tipo de empaque característico utilizado en Torres de Enfriamientos | 17 |
| Fig. 4: Transferencia masa líquida y gaseosa                                | 20 |
| Fig. 5: Fotografía para apreciar la mala distribución caída de agua         | 68 |
| Fig. 6: Mala distribución de agua a la llegada de la piscina                | 68 |
| Fig. 7: Fotografía presencias de material orgánico en los filtros           | 69 |
| Fig. 8: Empaque disponible en el mercado                                    | 70 |
| Fig. 9: Tipo de lavado de empaque                                           | 71 |

## **INDICE DE GRAFICOS**

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Grafico 1: Gráfico de funcionamiento torres de enfriamientos | 27 |
| Grafico 2: Temperatura entrada - verano                      | 37 |
| Grafico 3: Temperatura entrada – invierno                    | 37 |
| Grafico 4: Temperatura salida - verano                       | 38 |
| Grafico 5: Temperatura salida – salida                       | 38 |
| Gráfico 6: Sistema de enfriamiento con agua                  | 57 |
| Gráfico 7: Sistema de enfriamiento con agua (invierno)       | 59 |

## **INDICE DE ESQUEMAS**

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| Esquema 1: Organigrama Compañía                | 4  |
| Esquema 2: Mapa de ubicación Fundición Chagres | 5  |
| Esquema 3: Torre tiro forzado                  | 12 |
| Esquema 4: Torre tiro inducido                 | 14 |
| Esquema 5: Torre tiro cruzado                  | 15 |

## **INDICE DE DIAGRAMAS**

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Diagrama 1: Proceso de obtención del cobre Anódico División Fundición Chagres | 7  |
| Diagrama 2: Diagrama de flujo del caudal de enfriamiento                      | 35 |

## **ÍNDICE DE PLANOS**

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| Plano 1: Plano ubicación torre de enfriamiento | 31 |
|------------------------------------------------|----|

## **ÍNDICE DE TABLAS**

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1: Aporte calórico a la torre Baltimore             | 33 |
| Tabla 2: Completa de comportamiento                       | 39 |
| Tabla 3: Información completa de comportamiento           | 40 |
| Tabla 4: Variables de la torre Baltimore según fabricante | 41 |
| Tabla 5: Información completa de fabricante               | 41 |
| Tabla 6: Temperaturas equivalentes                        | 50 |
| Tabla 7: Cálculos en función de datos obtenidos           | 51 |
| Tabla 8: Interpolación de entalpías                       | 53 |
| Tabla 9: Desarrollo de la integral de Merkel (verano)     | 54 |
| Tabla 10: Interpolación de entalpías – invierno           | 54 |
| Tabla 11: Desarrollo de la integral de Merkel (invierno)  | 55 |
| Tabla 12: Ahorro anual en función de la energía           | 64 |
| Tabla 13: Cálculo VAN y TIR - Preventivo                  | 65 |
| Tabla 14: Cálculo VAN y TIR - Correctivo                  | 65 |

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de título se desarrolla en Anglo American, Operación Fundición Chagres, donde se estudia una Torre de enfriamiento Bac-Pritchard de 87 [MW], conocida en fundición Chagres como Torre Baltimore. Ésta se evaluará conforme al procedimiento establecido por el C.T.I (Cooling Tower Intitute) A.T.C (Acceptance Test Code)-105., que está fundamentado en el criterio de Merkel (Integral de Merkel).

El trabajo comprende la recopilación y análisis de datos, con los cuales se desarrollará una evaluación energética utilizando como procedimiento de cálculos, la ya mencionada Integral de Merkel. Además, este análisis establece antecedentes que sirven como base para efectuar cálculos de ahorros energéticos y económicos.

## **OBJETIVOS Y ALCANCE GENERALES**

Definir oportunidades de inversión en infraestructura de la torre, para ello se calcula la capacidad energética de la misma en condiciones favorables y desfavorables que presenta el ambiente y la operación de la torre. Lo anterior se compara con el nivel de rechazo de calor que tiene la fundición en los mismos escenarios. Para finalmente establecer oportunidades de mejoras por vías del mantenimiento y/o de operación de la torre Baltimore.



## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Para lograr determinar una evaluación energética inherente a la torre Baltimore y las oportunidades de inversión que ésta requiere, se desarrollarán distintas actividades, la cuales se enuncian a continuación:

- Revisión de biblioteca y archivos de la Compañía.
- Obtener datos de operación desde el sistema (SAP).
- Desarrollar entrevistas técnicas con los responsables de la torre; operadores de consola y de terreno.
- Reunión de trabajo con el vendor especialista de la torre.
- Utilizar criterio de Merkel para establecer capacidad de enfriamiento de la torre.
- Analizar información técnica y económica del equipo.
- Definir inversión de infraestructura y/o de mantenimiento para la torre.

## **CRITERIOS DE EVALUACIÓN**

- Se evaluará conforme al C.T.I (Cooling Tower Intitute) A.T.C (Acceptance Test Code)-105.
- La capacidad del ventilador se encuentra en el punto máximo

**CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

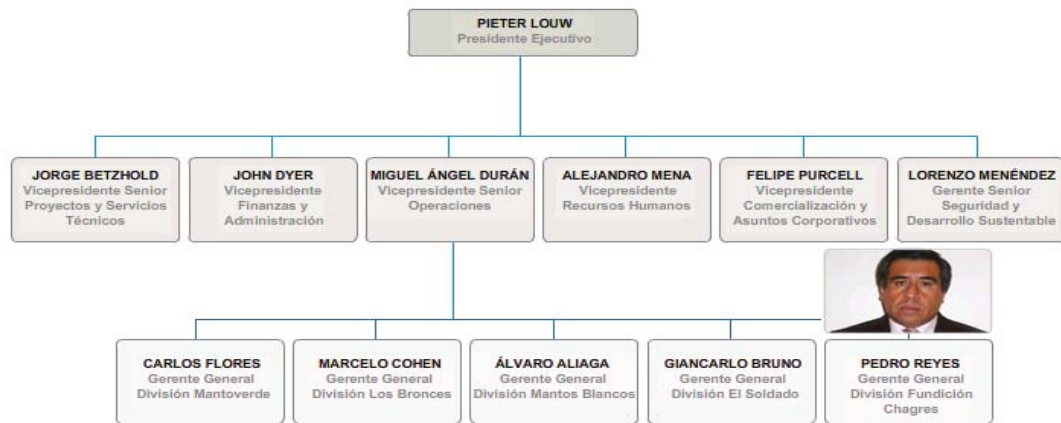
## 1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

A continuación, se presenta la Empresa donde se desarrolló la presente memoria. La idea es establecer el contexto empresarial donde se aplicó el estudio.

### 1.1. RESEÑA COMPAÑÍA

El grupo Anglo American P.L.C Es uno de los líderes mundiales en minería y de la extracción de recursos naturales en el mundo. Contando con más 160.000 trabajadores repartidos en las más de 120 operaciones que se encuentran repartidas a nivel mundial

De esta manera Anglo American chile forma parte de este grupo, subdividiéndose en divisiones. De la cual, división fundición Chagres es una de las cinco divisiones de anglo American chile.



Fuente: Anglo American

Esquema 1: Organigrama Compañía

La división Chagres Se encuentra ubicada en la V Región, en la comuna de Catemu, a 100 kilómetros al norte de Santiago y a 400 metros sobre el nivel del mar.

Su proceso productivo (fusión de concentrados de cobre) se realiza mediante el moderno horno flash, una tecnología que destaca por sus bajas emisiones y que hace de esta fundición la líder en materia medio ambiental en Chile.

En 2016 produjo 173.413 toneladas de cobre anódico y 499.243 toneladas de ácido sulfúrico. La División Fundición Chagres cuenta con una dotación de personal aproximada de 500 trabajadores, entre personal propio y contratistas de operación y proyectos, estables en operación. En 2016 culminó el proyecto de Optimización de la Fundición, el que permitió aumentar la producción de cobre y reducir las emisiones a la atmósfera



Fuente: Anglo American

Esquema 2: Mapa de ubicación Fundición Chagres

## **1.2. PROCESO PIRO METALÚRGICO DE OBTENCIÓN DE COBRE ANÓDICO EN DIVISIÓN FUNDICIÓN CHAGRES**

Para la extracción del cobre puro 99,999%, en la fundición de cobre Chagres se realiza uno de los procesos más conocidos, como lo es el piro metalúrgico, proceso fundamental para la obtención de un metal a partir de concentrado de cobre. Éste proceso produce ánodos de cobre en base a minerales sulfurados, es Fundición Chagres, la encargada de separar el Azufre y el hierro del cobre

Esta fundición se encuentra implementada para producir 170 Kilo toneladas App. En base el concentrado de cobre proveniente del soldado y las tórtolas. Como normalmente se trabaja con concentrados de diferentes procedencias, es necesario hacer un muestreo de ellos y clasificarlos de acuerdo con la concentración de cobre, hierro, azufre, sílice y porcentaje de humedad que tengan. Se hace pasar por el Horno flash de fusión, previamente secado en secadores, el objetivo de la fusión es lograr el cambio de estado que permite que el concentrado pase de estado sólido a estado líquido para que el cobre se separe de los otros elementos que componen el concentrado.

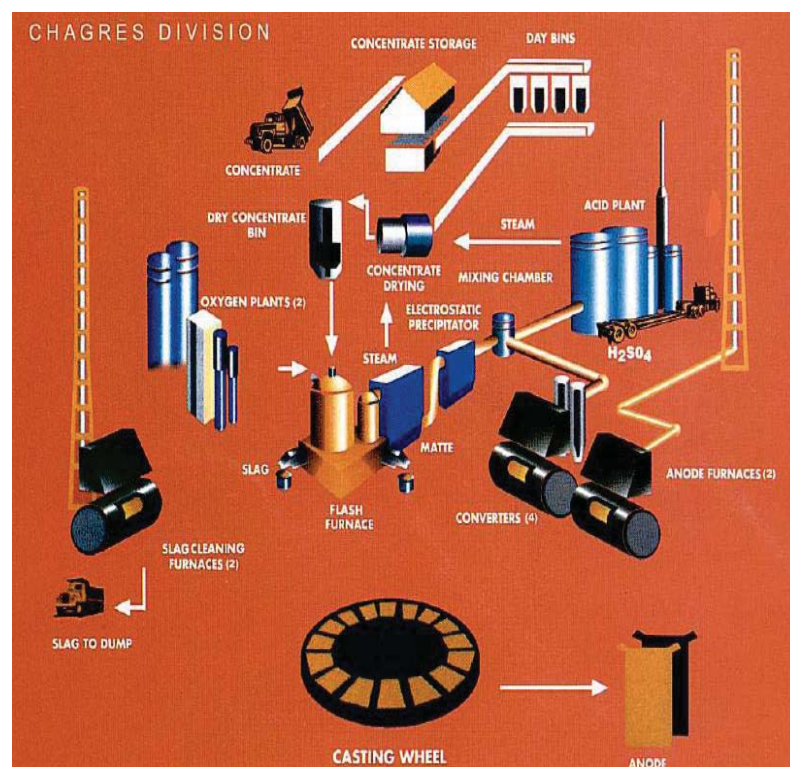
En la fusión el concentrado de cobre es sometido a altas temperaturas (1.200 °C). Para lograr el cambio de estado de sólido a líquido. Al estado líquido, los elementos que componen los minerales presentes en el concentrado se separan según su peso, quedando los más livianos en la parte superior del fundido, mientras que el cobre, que es más pesado se concentra en la parte baja. De esta forma es posible separar ambas partes vaciándolas por vías distintas. Después Mediante el proceso de conversión se trata el producto obtenidos en la fusión, para obtener cobre de alta pureza. Para esto se utilizan hornos convertidores convencionales llamados Pierce-Smith, en honor a sus creadores. Los gases generados en el proceso de fusión y conversión son enviados a la planta de ácido para su tratamiento.

El cobre en forma de eje proveniente de fusión es transportado, por intermedio de ollas a los convertidores donde se suministra aire enriquecido con oxígeno, de esta manera se obtiene una escoria rica en fierro (etapa soplado de

fierro) y (etapa soplado de cobre) así queda en el convertidor el cobre blíster (96% de pureza), de esta manera nuevamente el cobre es transportado en ollas hacia el horno refino en la cual el cobre blíster se oxida ( etapa de oxidación) para después en una posterior etapa, entrar a la reducción con petróleo. Una vez terminada esta etapa, se sangra hacia la rueda de moldeo produciendo ánodos de 278 a 412 Kg., cada uno según requerimientos. Las escorias generadas de los procesos unitarios son tratadas en el horno limpieza de escoria y el cobre que se rescata de ahí se incorpora al proceso en el convertidor.

Todos los gases  $\text{SO}_2$  generados del proceso de obtención de ánodos de cobre son direccionados hacia la planta de ácido para su tratamiento y conversión al ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$  el cual posee un valor comercial.

### DIAGRAMA N°1



Fuente: Anglo American.

Diagrama 1: Proceso de obtención del cobre Anódico División Fundición Chagres

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

## **2.1. TORRES DE ENFRIAMIENTO**

El presente marco teórico tiene por objetivo presentar los tipos de torre, clasificación, principios de funcionamiento y respaldar la ecuación de MERKEL, ecuación utilizada para determinar coeficiente de la torre de enfriamiento que posteriormente se utilizar en gráficas para determinar la capacidad energética de la torre.

### **2.1.1. Generalidades**

Las torres de enfriamientos son máquinas capaces de enfriar eficientemente grandes volúmenes de agua, poniéndola en contacto con aire atmosférico. Un pequeño porcentaje del agua es evaporado, expulsando consigo el calor a la atmósfera, como aire caliente y húmedo. La temperatura del agua desciende hacia el límite llamado **temperatura húmeda**, designada en inglés WBT, y en español, TH.

### **2.1.2. Descripción**

Las torres de enfriamiento tienen como finalidad enfriar una corriente de agua por vaporización parcial de esta con el consiguiente intercambio de calor sensible y latente de una corriente de aire seco y frío que circula por el mismo aparato.

Las torres pueden ser de muchos tipos, sin embargo, el enfoque se centra en un equipo de costo inicial bajo y de costo de operación también reducido. Con frecuencia la armazón y el empaque interno son de madera.

Es común la impregnación de la madera, bajo presión con fungicidas. Generalmente el entablado de los costados de la torre es de pino, poliéster reforzado con vidrio, o cemento.



### **2.1.3. Torre de enfriamiento reseña impacto económico**

El éxito económico de cualquier empresa requiere el uso eficiente de la energía consumida en los procesos de que se trate. La conservación de energía, consecuentemente, enfrenta un fuerte y oportuno incentivo para escudriñar el criterio de diseño y características de construcción y operación comúnmente usadas en estos procesos

### **2.1.4. Importancia del buen funcionamiento en torre de enfriamientos**

Todo proceso industrial genera calor en menor o mayor proporción, en la última se generan cantidades de energía que se hace necesario disipar, si se desea que los equipos operen en rangos aceptados por fabricantes, se deben disipar estas energías con métodos naturales o programados, los primeros son muy inestables debido a que las variables que interactúan en el proceso de enfriamiento, no existe un control sobre ella como es el viento que reina en un río, y/o océano las áreas de contacto para la transferencia de calor, también se torna inestable es por esto que se debe implementar una torre de enfriamiento o de refrigeración.

Las torres de refrigeración están diseñadas para disipar calor del fluido líquido, en relación al fluido gaseoso y su principio de funcionamiento se basa en el intercambio de calor sensible en un 20 % y calor latente en 80 % este proceso se lleve a cabo en la torre de enfriamiento cuando la gota se pone en contacto con el aire y de esta manera se evapora la capa superficial de la gota, para realizar este proceso se extrae el calor de la propia gota

## **2.2. CLASIFICACIÓN TORRES DE ENFRIAMIENTO**

No hay una clasificación universal. Las torres se pueden clasificar en diferentes formas según las características que se consideren y así se tiene:

### **2.2.1. Torres de circulación natural**

Están en función del ambiente, que reina en el lugar físico donde se encuentra emplazada la Torre De Enfriamiento

#### **2.2.1.1. Atmosféricas**

El movimiento del aire depende del viento y del efecto aspirante de las boquillas aspersores. Se usan en pequeñas instalaciones. Depende de los vientos predominantes para el movimiento del aire.

#### **2.2.1.2. Tiro natural**

El flujo de aire necesario se obtiene como resultado de la diferencia de densidades, entre el aire más frío del exterior y húmedo del interior de la torre. Utilizan chimeneas de gran altura para lograr el tiro deseado. Debido al inmenso tamaño de estas torres (152 m alto y 121 m de diámetro), se utilizan por lo general para flujos de agua por encima de 45.000 M3/h. Son ampliamente utilizadas en las centrales térmicas.

### **2.2.2. Torres de enfriamiento de tiro mecánico**

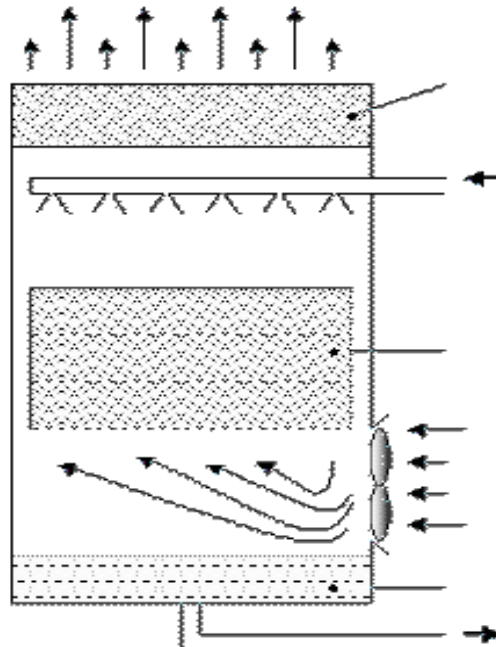
Las torres de tiro mecánico proporcionan un control total sobre el caudal de aire suministrado. Se trata de torres compactas, con una sección transversal y una altura de bombeo pequeñas en comparación con las torres de tiro natural. En estas

torres se puede controlar de forma precisa la temperatura del agua de salida, y se pueden lograr valores de acercamiento muy pequeños (hasta de 1 o 2 °C, aunque en la práctica acostumbra a ser de 3 o 4 °C).

Si el ventilador se encuentra situado en la entrada de aire, el tiro es forzado. Cuando el ventilador se ubica en la zona de descarga del aire, se habla de tiro inducido.

#### 2.2.2.1. Torres de tiro forzado

En las torres de tiro forzado el aire se descarga a baja velocidad por la parte superior de la torre (Esquema 3). Estas torres son, casi siempre, de flujo a contracorriente. Son más eficientes que las torres de tiro inducido, puesto que la presión dinámica convertida a estática realiza un trabajo útil.



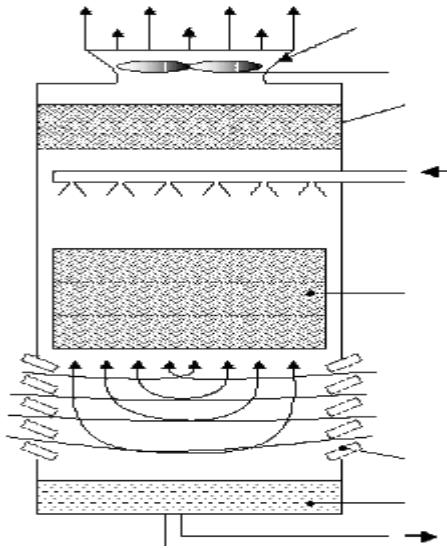
Fuente: Literatura transferencia de calor (*Torre de tiro forzado*)

Esquema 3: Torre tiro forzado

El aire que se mueve, es aire frío de mayor densidad que en el caso de tiro inducido. Esto también significa que el equipo mecánico tendrá una duración mayor que en el caso de tiro inducido, ya que el ventilador trabaja con aire frío y no saturado, menos corrosivo que el aire caliente y saturado de la salida, Como inconveniente debe mencionarse la posibilidad de que exista recirculación del aire de salida hacia la zona de baja presión, creada por el ventilador en la entrada de aire.

#### 2.2.2.2. Torres de flujo a contracorriente

El flujo a contracorriente significa que el aire se mueve verticalmente a través del relleno, de manera que los flujos de agua y de aire tienen la misma dirección, pero sentido opuesto (Esquema 4). La ventaja que tiene este tipo de torres es que el agua más fría se pone en contacto con el aire más seco, lográndose un máximo rendimiento. En éstas, el aire puede entrar a través de una o más paredes de la torre, con lo cual se consigue reducir en gran medida la altura de la entrada de aire. Además, la elevada velocidad con la que entra el aire hace que exista el riesgo de arrastre de suciedad y cuerpos extraños dentro de la torre. La resistencia del aire que asciende contra el agua que cae se traduce en una gran pérdida de presión estática y en un aumento de la potencia de ventilación en comparación con las torres de flujo cruzado

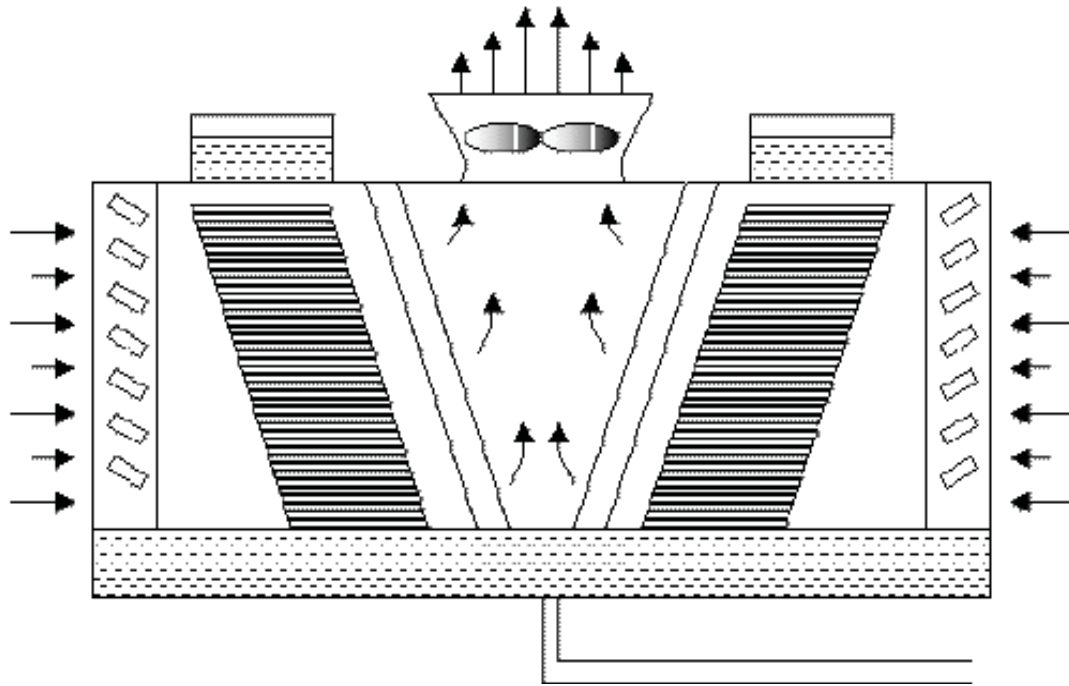


Fuente: Literatura transferencia de calor (Torre de flujo a contracorriente, tiro inducido)

Esquema 4: Torre tiro inducido

#### 2.2.2.3. Torres de flujo cruzado

En las torres de flujo cruzado, el aire circula en dirección perpendicular respecto al agua que desciende (Esquema 5). Estas torres tienen una altura menor que las torres de flujo a contracorriente, ya que la altura total de la torre es prácticamente igual a la del relleno. El mantenimiento de estas torres es menos complicado que en el caso de las torres a contracorriente, debido a la facilidad con la que se pueden inspeccionar los distintos componentes internos de la torre. La principal desventaja de estas torres es que no son recomendables para aquellos casos en los que se requiera un gran salto térmico y un valor de acercamiento pequeño, puesto que ello significará más superficie transversal y más potencia de ventilación, que en el caso de una torre de flujo a contracorriente.



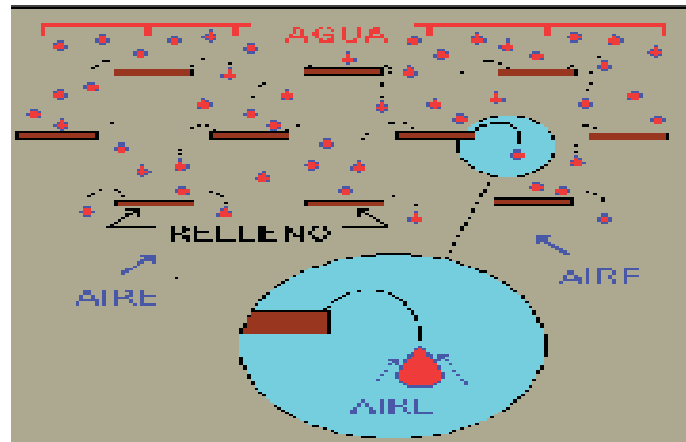
Fuente: Literatura transferencia de calor (*Torre de flujo cruzado, tiro inducido*)

Esquema 5: Torre tiro cruzado

### 2.2.3. Tipo de empaque

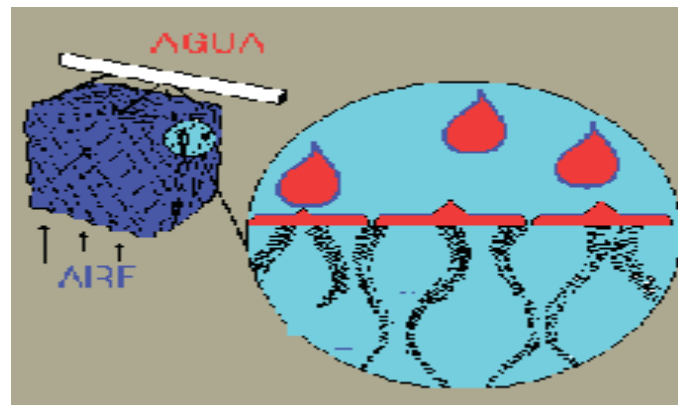
El empaque es un elemento que se encuentra entre los difusores de agua caliente y la base de la torre y su propósito es aumentar la superficie de contacto entre el agua caliente y el aire que la enfría.

Cabe destacar que mientras mayor tiempo se encuentre la gota en contacto con el fluido refrigerante (en este caso en aire) y los obstáculos como el relleno, facilita más el proceso Evaporación. 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 como se ilustra a continuación.



Fuente: Literatura transferencia de calor Relleno con forma de salpiqueo para Torre De Enfriamiento

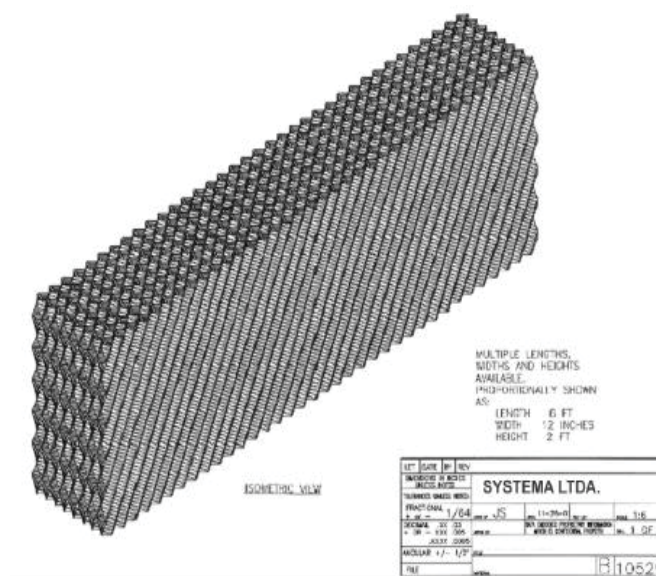
Fig. 1: Empaque o relleno



Fuente: Literatura transferencia de calor, Relleno con forma de película para Torre De Enfriamiento Existente en la Torre Baltimore

Fig. 2: Empaque o relleno

SALPIQUE (SPLASH FILL), de rendimiento térmico relativamente bajo y el de Película de PCV Poli cloruro de Vinilo o PVC (del inglés Polyvinyl Chloride)



Fuente: Literatura SYSTEM LTDA.

Fig. 3: Tipo de empaque característico utilizado en Torres de Enfriamientos

#### 2.2.3.1. Por el tipo de estructura

Este tipo de clasificación se debe principalmente al tipo de estructura de la cual está hecha Madera, concreto, acero, Etc.

#### Enfriamiento por evaporación

Los principios de enfriamiento del agua se encuentran en los más antiguos que se conoce. Por lo común, el agua se enfría exponiendo su superficie al aire. Algunos de estos procesos son lentos, como el enfriamiento de agua en la superficie de un estanque; otros son comparativamente rápidos, como el rociado del agua al



aire. Todos estos procesos implican la exposición de la superficie del agua al aire en diferentes grados.

El proceso de transferencia de calor comprende:

- Transferencia de calor latente debido a la evaporación de una porción pequeña de agua
- Transferencia de calor sensible debido al delta temperatura que existe en agua de entrada

Aproximadamente el 80% de dicha transferencia de calor se debe al calor latente

### **2.3. FUNDAMENTOS**

El proceso de transferencia de calor que se produce para enfriamiento de agua, cualquiera fuese su tipo, es el resultado de la interacción entre el medio gaseoso refrigerante (aire) y el fluido a enfriar (agua).

En las torres el agua se encuentra en contacto directo con el aire que la enfría y el proceso de transferencia de calor se realiza en parte por intercambio de calor sensible entre la fase líquida y la gaseosa, pero en mayor medida por la formación de vapor de agua en la interface líquido/gas y su posterior difusión en el aire que la circunda.

El proceso de transferencia de masa entre el líquido y el aire, está íntimamente conectado con el de transferencia de calor. En efecto, con el cambio de fase desde líquido a vapor se absorbe calor lo cual da lugar a gradientes de temperatura en el aire adyacente a la superficie líquida. En muchos casos prácticos,

las condiciones en que se desarrollan ambos procesos son tales que puede suponerse que la difusividad térmica y el coeficiente de difusión másico son iguales, es decir el número de Lewis es igual a la unidad.

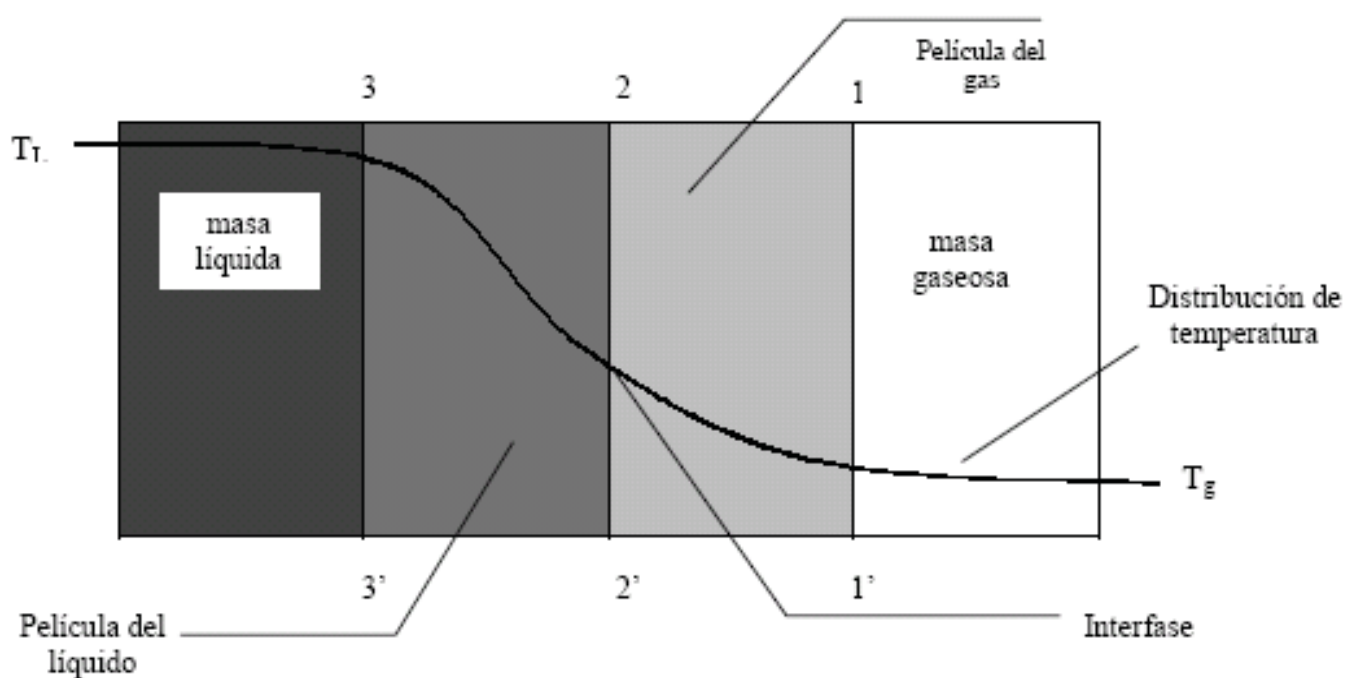
## **2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA**

El estudio del proceso de enfriamiento en una torre, implica el análisis del intercambio de calor por contacto directo entre un líquido (agua) y un gas (aire). Comparado con el de transferencia de calor entre un gas y un medio líquido a través de una pared rígida que los separa, el caso de la torre es más complejo porque es difícil evaluar la superficie real de transferencia.

No obstante, mediante la formulación de esquemas idealizados descriptivos del proceso y de algunas hipótesis justificadas por el relativo buen funcionamiento del esquema, es posible arribar a un procedimiento de cálculo que permite evaluar rápidamente si la torre puede satisfacer el servicio requerido.

Un esquema idealizado del fenómeno de transferencia que tiene lugar entre la masa líquida y la gaseosa en una torre de enfriamiento se muestra en la Figura 4.

Puede suponerse que a uno y otro lado de la interface 2-2' se forman una película de aire y otra de agua. Los gradientes de temperatura existentes en ambas películas promueven la transferencia de calor necesaria para producir la evaporación y difusión de una pequeña porción del agua que está en circulación.



Fuente: Literatura John Perry Manual del ingeniero químico

Fig. 4: Transferencia masa líquida y gaseosa

La hipótesis de la película líquida permite, en cualquier sección de la torre, expresar la transferencia de calor desde la corriente líquida a una temperatura local media  $T_L$  hacia la interface con temperatura  $T_i$  de la siguiente forma:

$$W_L \times C_L \times d_L = h_L \times a_H \times S_0 \times dZ \times (T_L - T_i) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde;

$W_L$  = Caudal másico del líquido [Kg/s]

$C_L$  = Calor específico del agua. [KJ/ (Kg °C)]

$h_L =$  Coeficiente de transmisión de calor entre la interface y la masa de agua.  
[KJ/ (m<sup>2</sup> °C)]

$a_H =$  Superficie de transferencia total de calor por unidad de volumen de torre.  
[1/m]

$S_0 =$  Superficie total de la sección transversal de la torre [m<sup>2</sup>]

$T_L =$  Temperatura del Líquido [°C]

$T_i =$  Temperatura de la Interfaz [°C]

$Z =$  Altura del relleno de la torre [m]

A su vez la película del lado del aire permite expresar la transferencia de calor desde la interface hacia la masa gaseosa con temperatura local media  $T_2$  como:

$$W_L \times C_s \times d_g = h_g \times a_H \times S_0 \times dZ \times (T_g - T_i) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde;

$C_s =$  Calor húmedo [KJ/ (Kg °C)]

$h_g =$  Coeficiente de transmisión de calor entre la interface y la masa gaseosa.  
[KJ/ (m<sup>2</sup> °C)]

$T_g =$  Temperatura del Gas [°C]

Por otra parte, el vapor de agua que se forma en la interface se difunde hacia la masa gaseosa. Dicha difusión, en cualquier sección de la torre, es

proporcional a la humedad específica del aire saturado en contacto con la interface  $X_i$ , menos la humedad específica de la masa de aire  $X_g$ . Resulta entonces:

$$W_L \times dX_w = K'_g \times a_M \times S_0 \times dZ \times (X_w - X_g) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde;

$K'_g$  = Coeficiente de transferencia másica a través de la película gaseosa basado en la diferencia absoluta de humedades entre la interface y la masa gaseosa. [Kg de vapor condensado/ (Hr. m<sup>2</sup>)]

$aM$  = Superficie de transferencia total de masa por unidad de volumen de torre. [1/m]

$X_i$  = Humedad absoluta en la interface ([Kg. de Agua/ Kg de aire seco])

$X_g$  = Humedad absoluta del Aire ([Kg. de vapor/ Kg de aire seco])

## 2.5. INTEGRAL DE MERKEL

El proceso de transferencia de masa entre el líquido y el aire está íntimamente vinculado con el de transferencia de calor entre ambos medios. En muchos casos prácticos las condiciones en que se desarrollan ambos procesos son tales que puede suponerse que las difusividades térmica y másica son iguales, es decir el número de Lewis es igual a uno ( $Le = 1$ ).

Si además de  $Le = 1$ , se acepta que  $aM = a_H = a$  se demuestra que las ec. 2 y 3 pueden combinarse para obtener:

$$W_g \times di_g = K_g \times a \times S_0 \times dZ \times (i_i - i_g)$$

Ecuación 4

Donde;

$a_H$  = Superficie de transferencia total de calor por unidad de volumen de torre.  
[1/m]

$aM$  = Superficie de transferencia total de masa por unidad de volumen de torre.  
[1/m]

$a$  = Superficie de transferencia equivalente por unidad de volumen de torre.  
[1/m]

Como no puede conocerse con exactitud la temperatura de la interface agua-aire, ya que resulta muy difícil de determinar experimentalmente, se acepta que sea igual a la temperatura local media  $T_L$  del líquido. Entonces la ec. 4 se escribe:

$$W_g \times di_g = K_g \times a_M \times S_0 \times dZ \times (i_L - i_g)$$

Ecuación 5

Donde;

$i_L$  = Entalpía específica del aire húmedo a la temperatura del líquido. [KJ/Kg]

$i_g$  = Entalpía del aire húmedo [KJ/Kg]

$K_g$  = Coeficiente de transferencia másica a través de la película gaseosa.  
[Kg de vapor condensado/ (Hr. m<sup>2</sup>)]

Nótese que suponer  $T_i = T_L$  implica aceptar que  $h_L \times a_H$ , es infinito, lo cual, lógicamente no es cierto. Además, la utilización en la ec. 5 de un coeficiente de

transferencia de masa aparente  $K_g$  distinto del verdadero  $K'_g$  es permisible, siempre que exista entre ambos una relación constante.

Si la cantidad de agua que se evapora es pequeña comparada con el total de agua que se desea enfriar ( $\approx 2\%$ ), siguiendo el análisis puede suponerse que:

Donde;

$$W_g \times di_g \approx W_L \times C_L \times dT_L \quad \text{Ecuación 6}$$

Si se tiene en cuenta esta última expresión, la ec. 5 se puede escribir:

$$\left( \frac{K_G \times a \times S_0 \times Z}{W_L} \right) \times dZ = C_L \times \frac{dT_L}{(i_L - i_g)} \quad \text{Ecuación 7}$$

E integrando se obtiene la expresión de Merkel:

$$\frac{K_g a S_0 Z}{W_L \times C_L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{i_L - i_g} = \frac{KaV}{L} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde;

$$\frac{KaV}{L} = \text{Coef. funcionamiento} [-] \quad \text{Ecuación 9}$$

No es casual que la simplificación de Merkel ( $Le = 1$ ) funcione razonablemente bien, ello es así como consecuencia de que el  $C_p$  del aire es aproximadamente 0.24 y el calor sensible transferido en una torre de contacto

directo es solamente una cuarta parte del calor transferido por evaporación. De esta manera para transferir un número dado de calorías de calor sensible, se requiere un potencial cuatro veces mayor que para transferir igual número de calorías mediante la transferencia de masa. Por ello, aunque se cometa un error del 50% en el coeficiente de transferencia de calor, esto influirá solamente en un 10% de error en el total. Evidentemente si el fluido al cual se transfiere calor tiene un  $C_p$  más alto, la situación no será tan simple.

El término independiente se elige igual a la entalpía del aire a la entrada de la torre, la cual es dato o puede determinarse en función de sus propiedades psicométricas. La ec. 8 relaciona el cambio de entalpía en la masa de aire con el cambio de temperatura del agua, por lo tanto, define la "línea de operación del aire" que acompaña al agua.

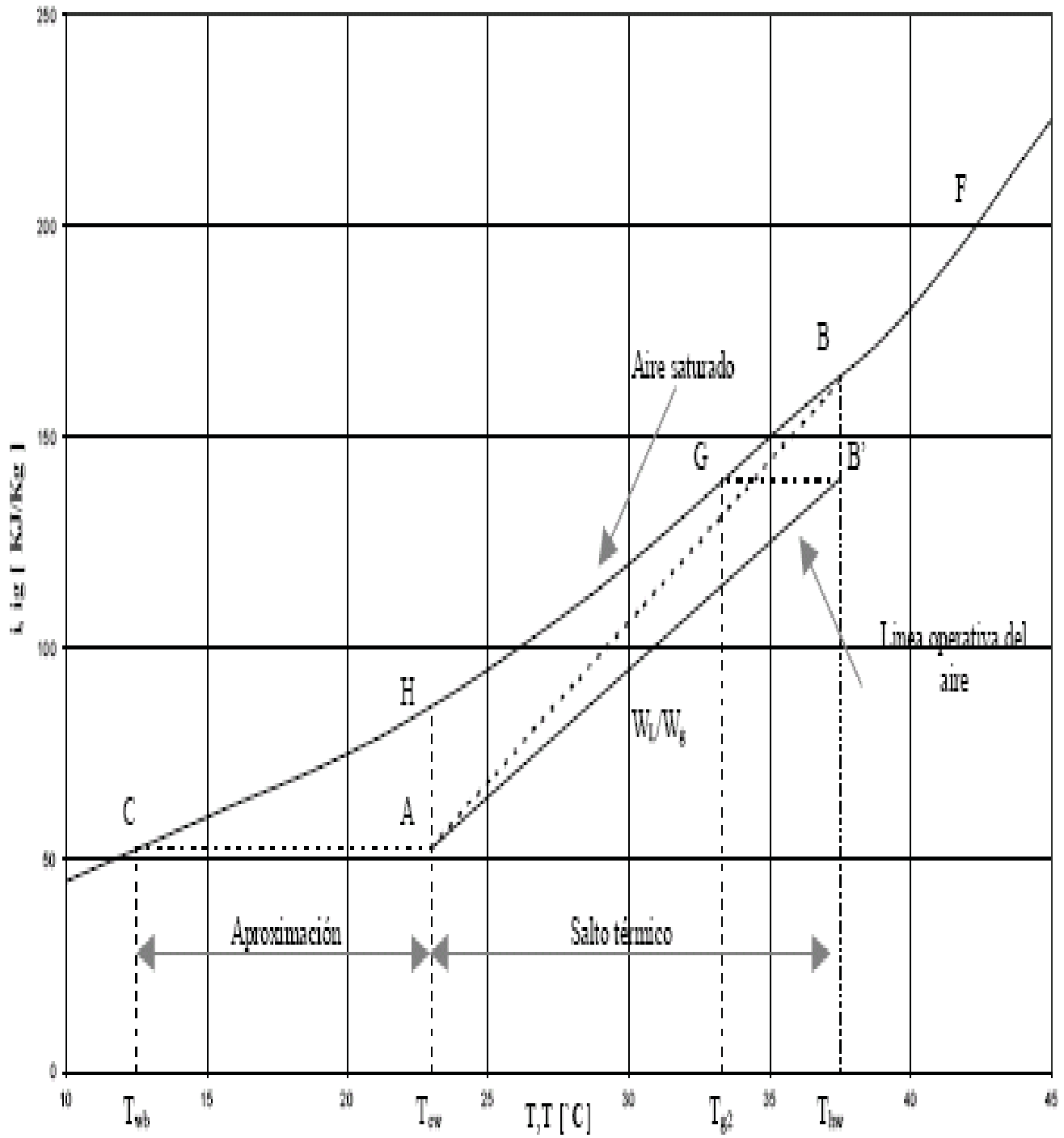
El diagrama entálpico del Grafico 1 ha sido incorporado con el propósito de facilitar la interpretación física de la integral ec. 8. Con la curva CF se granean las entalpías  $i_L$  del aire saturado en función de la temperatura,  $T_L$ , del agua. De conformidad con las hipótesis formuladas, la saturación del aire puede darse únicamente sobre la interface agua-aire. El punto C corresponde a la temperatura de bulbo húmedo  $T_{wb}$  del aire que entra a la torre. En la parte inferior de la torre, el agua enfriada puede poseer una temperatura  $T_{cw}$  igual o menor que la temperatura de bulbo seco del aire con el que se pone en contacto, pero no más abajo que el bulbo húmedo de este aire.

El aire a la temperatura  $T_{cw}$  se representa por el punto "A" el cuál posee la misma entalpía que el aire saturado (temp.  $T_{wb}$ )- A la diferencia entre las temperaturas del aire  $T_{wb}$  y  $T_{cw}$  se la denomina aproximación y a la diferencia entre la temperatura de entrada del agua  $T_{h_m}$  y la de salida  $T_{cw}$  se la denomina salto térmico.

El aire que deja la torre adquiere la entalpía que resulta de introducir en la ec. 8 la temperatura  $T_{hw}$ , es decir la correspondiente a la del agua caliente que entra por la parte superior. Cuando el contenido de humedad con que sale el aire más se aproxime al de saturación, mejor será la performance térmica de la torre, ya que en principio se generaría un número de unidades de difusión superior. Del



gráfico 1 se desprende que dicha saturación se consigue con la línea de operación que une "A" con "B", que además es la de mayor pendiente (máximo valor de  $WL/Wg$ ). Pero por estar "B" sobre la curva de aire saturado, dicha operación es posible.



Fuente: Literatura John Perry Manual del ingeniero químico

Gráfico 1: Gráfico de funcionamiento torres de enfriamientos

Únicamente con una torre de altura infinita. Por lo tanto, es necesario disminuir la relación agua-aire y conseguir una línea menos empinada como la AB'.

El área encerrada entre la curva de saturación  $i_L$  (TL) y la línea de operación is (TL) cuyos vértices son A.B', B y H, es indicativa del potencial que promueve la transferencia de calor total entre el agua y el aire.

Por lo anteriormente expuesto, se utilizará para evaluar la torre Baltimore, se la relación que estableció Merkel en su análisis y las variables que interactúan en la transferencia de calor, ecuación y grafico 1.

### **CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

### **3. RECOPILACIÓN DE DATOS**

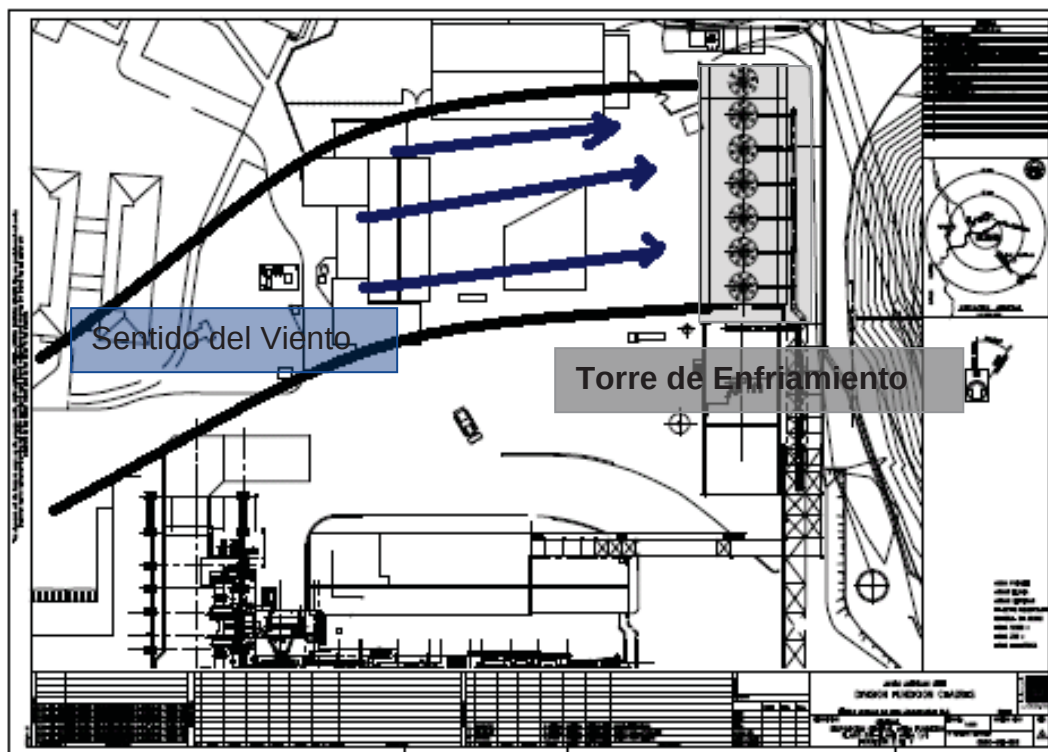
En el presente capítulo se presentará una descripción del circuito, carga calórica e instalaciones que interactúan con la torre, estas infraestructuras en su conjunto abarcan la totalidad de la carga calórica que la fundición entrega a la torre, datos con los cuales opera, y finalmente datos con los cuales se desarrolló la evaluación.

#### **3.1. DESCRPCIÓN DE LAS INTALACIONES**

La Torre De Enfriamiento que se estudia en la presente memoria, se encuentra ubicada en el “sector planta de agua” al interior de la fundición, el flujo de aire circula desde la parte inferior hacia los ventiladores que están dispuestos en la zona superior de la torre, por lo tanto, el aire es inducido, lo cual coincide con el curso natural que sigue el aire desde sector bodega hacia Escorial según muestra el plano 1.

## PLANO N°1

### PLANO UBICACIÓN TORRE DE ENFRIAMIENTO



Leyenda: plano de ubicación de la torre de enfriamiento Baltimore y dirección del viento

Plano 1: Plano ubicación torre de enfriamiento

La Torre De Enfriamiento Baltimore actualmente consta de 6 celdas de enfriamiento, dispuestas desde planta de agua, hacia edificio de proyectos (norte a sur), por cada celda circula un flujo de agua y un caudal de aire a contra flujo, el agua es enfriada nominalmente próxima a una Temperatura de bulbo húmedo del aire, la cual, es llamada aproximación, a su vez el delta temperatura del agua de entrada y el agua de salida es llamado rango. Bajo estas condiciones de

funcionamiento la Torre De Enfriamiento tiene una cierta capacidad de extracción de calor, (Fabricante estipula que una celda debe quedar stand-by y su operación estará en función de las condiciones operacionales de la fundición o cambios estacionales que presente la zona de Catemu.

El principal circuito de agua de enfriamiento de la Fundición Chagres está formado por la Torre de Enfriamiento Baltimore, TAG 6000-1701-00 que enfría equipos tales como: Horno Fusión Flash, Convertidores Pierce Smith (CPS), Planta de Ácido Áreas de Contacto y Limpieza de Gases, y equipos menores, retornando como agua tibia a la torre de enfriamiento.

El sistema de distribución y retorno del agua de enfriamiento consiste en una red de cañerías en diámetros que varían desde 42" hasta arranques de 2" y menores. El sistema de impulsión está formado por 4 bombas verticales TAG 6000-1509-01/04 Que impulsan agua desde la piscina de almacenamiento adosada a la torre de enfriamiento. Cada bomba es capaz de impulsar  $1.950 \text{ m}^3/\text{h}$  por diseño, con lo que el conjunto tiene una capacidad total de impulsión de  $7.800 \text{ m}^3/\text{h}$  aproximadamente. El balance actual del circuito de agua fría de la Fundición Chagres se ha desarrollado en consideración a los requerimientos de los distintos sistemas y a la capacidad de los intercambiadores de calor existentes y temperaturas de entrada y salida disponible de cada uno de los equipos.

### **3.2. CARGA CALÓRICA TORRE DE ENFRIAMIENTO**

En la presente descripción se indicarán las cargas calóricas que actúan sobre la torre de enfriamiento, tabla 1. Además de un esquema referencial que se complementa con los flujos de agua que utiliza cada equipo para su refrigeración, diagrama 2.

### 3.2.4. Resumen cargas calóricas

A continuación, se presenta una tabla que resume todas las cargas calóricas que recibe la torre de enfriamiento.

|                                  | Circuito Primario |                 |                      | Circuito Secundario |                 |                       |                          | Transferencia de Calor |        |
|----------------------------------|-------------------|-----------------|----------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|--------|
|                                  | Diseño<br>CHEP    | Caudal<br>Medio | $\Delta T$<br>Diseño | Diseño<br>CHEP      | Caudal<br>Medio | $\Delta T$            |                          |                        |        |
|                                  | $m^3/h$           | $m^3/h$         | $^{\circ}C$          | $m^3/h$             | $m^3/h$         | Diseño<br>$^{\circ}C$ | Operación<br>$^{\circ}C$ | Operación<br>MW        | Mcal/h |
| Chaquetas Horno Flash            | 600               | 649             | 10                   | 690                 | 399             | 10                    | 6,0                      | 2,8                    | 2.394  |
| Spray HF                         | 200               | 188             | 10                   | 230                 | 205             | 10                    | 9,0                      | 2,1                    | 1.845  |
| Condensador Caldera              | 600               | (4)             | 20                   | 900                 | 644             | 10                    | 5,0                      | 3,7                    | 3.220  |
| Planta de Ácido Área Contacto    | (5)               | (4)             | (5)                  | 4.900               | 4.045           | 10                    | 9,2                      | 43,3                   | 37.214 |
| Planta de Ácido Área Limpieza    | 680               | (4)             | 18                   | 800                 | 949             | 9                     | 14,0                     | 15,4                   | 13.286 |
| Campanas CPS                     | 270               | (4)             | 8                    | 270                 | 189             | 10                    | 14,4                     | 3,2                    | 2.722  |
| Equipos Menores                  |                   |                 |                      |                     |                 |                       |                          |                        |        |
| Compresores Elliott              | (6)               | (6)             | (6)                  | 126                 | 182             | 10                    | 9,2                      | 1,9                    | 1.674  |
| Compresores Atlas Copco          |                   |                 |                      | 64                  | 56              |                       |                          | 0,6                    | 515    |
| Sopladores GHH                   |                   |                 |                      | 28                  |                 |                       |                          |                        |        |
| Unidad Hidráuliza                |                   |                 |                      | 7                   |                 |                       |                          |                        |        |
| Equipos Caldera                  |                   |                 |                      | 22                  | -               | 10                    | -                        |                        |        |
| HVAC                             |                   |                 |                      | 15                  | 65              | 10                    | 9,2                      | 0,7                    | 598    |
| Rodillos + Compresor Horno Flash |                   |                 |                      | 20                  | 24              | 10                    | 9,2                      | 0,3                    | 221    |
| Water Chiller Sub Estación       |                   |                 |                      | 70                  | 55              | 10                    | 1,5                      | 0,1                    | 82,5   |
| Electrica Horno Flash N°9        |                   |                 |                      |                     |                 |                       |                          |                        |        |
| Total                            |                   |                 |                      | (3) 8.142           | 6.813           | 74,2 (2) 63.772       |                          |                        |        |

Fuente: Memoria de cálculo N°CAL-6150-FS-006 REV-1 (aporte energético hacia la torre de enfriamiento)

Tabla 1: Aporte calórico a la torre Baltimore

(1) Según Auditoría Hidráulica Desarrollada por Bermat S.A. en septiembre de 2014.

(2) Transferencia de Calor Global estimada a partir de la suma de cada equipo enfriado con un  $\Delta T$  ponderado de  $9,3^{\circ}C$  y promedio medido de  $\Delta T$   $8,6^{\circ}C$  equivalente a 74,2 MW y 63.772 Mcal/h apr.



(3) *Caudal total de diseño, representando la suma de caudal de cada uno de los equipos del circuito enfriamiento secundario.*

(4) *Datos no medidos durante Auditoría Bermat septiembre 2014.*

(5) *Datos de diseño globales de planta de contacto no incluidos por existir recirculaciones internas de ácido no reflejando  $\Delta t$  y caudal de ácido representativo.*

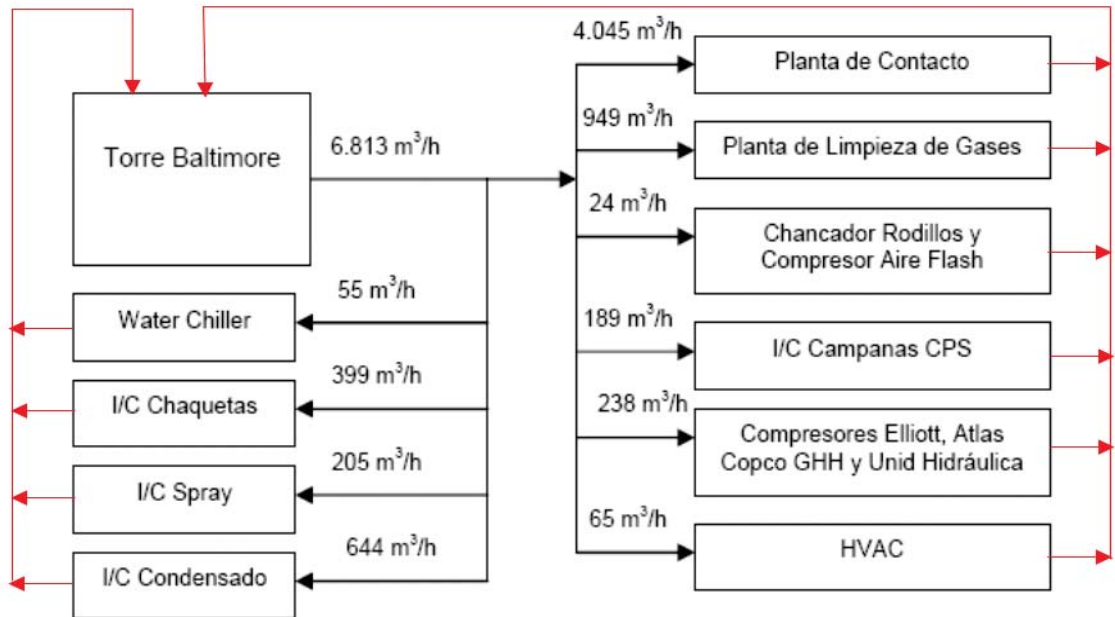
(6) *Circuito caliente de equipos menores enfriados con aceite en algunos casos y otro enfriamiento directo con agua.*

### **3.2.5. Resumen Flujo Agua de Refrigeración**

La Torre de enfriamiento Baltimore consta actualmente de seis módulos, cada uno de los cuales tiene una capacidad para 1.500 m<sup>3</sup>/h de agua, que se enfría nominalmente de 36 a 26°C, para una temperatura de bulbo húmedo de 16°C. En dichas condiciones la capacidad de extracción de calor desde el agua por módulo es de 14.6 MW. Dado que por diseño se contempló un módulo permanezca en reserva dependiendo del tipo de estación climatológica, ya sea verano o invierno, la operación del 6º módulo queda en condición de stand-by.

El diagrama 2 muestra un esquema de las instalaciones. Lo anterior se complementa con los caudales de agua que utiliza cada equipo a refrigerar. El circuito de agua de enfriamiento de la Fundación Chagres se caracteriza por ser un circuito cerrado según se muestra a continuación.

Esquema Referencia - Flujo Agua de Refrigeración Torre de enfriamiento



Fuente: Memoria de cálculo N°CAL-6150-FS-006 REV-1(Flujo agua de refrigeración desde la torre de enfriamiento Baltimore hacia equipos y/o procesos)

Diagrama 2: Diagrama de flujo del caudal de enfriamiento

A continuación, otros datos relevantes de diseño de la torre de enfriamiento en cuestión:

- Temperatura de entrada del agua: 36°C
- Temperatura de salida del agua: 26 °C
- Temperatura de bulbo húmedo del aire: 16 °C
- Numero de Módulos en Operación: 5 (más uno Stand-by)
- Caudal diseño: 1.500 m³/h/módulo
- Transferencia de Calor: 17,5 MW/módulo

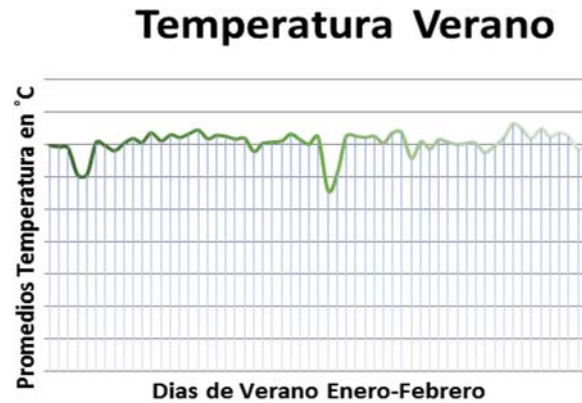
### **3.3. DATOS OBTENIDOS Y ANÁLISIS**

En este sub capítulo, junto con presentar el resumen de los datos obtenidos y que posteriormente se utilizarán como base para el cálculo de la integral de Merkel ( $KaV/L$ ), también se presenta una filosofía de operación y control que impera hoy en la torre.

También se realizarán transformaciones de unidades para utilizar las cartillas técnicas y curvas características de los equipos, dado que éstos se encuentran en sistema ingles de medida, no obstante, al cabo de cada análisis se desarrollan las transformaciones de unidades correspondientes al sistema internacional, sistema con el cual se presentarán los resultados, recomendaciones y conclusiones

#### **3.3.2. Presentación de datos obtenidos**

La variable que entrega la fundición al proceso de enfriamiento es la cantidad de calor que rechaza, que se ve representada en caudales másico de agua como lo representa el diagrama 2, a una determinada temperatura como lo resumen los siguientes gráficos; gráfico 2 - Temperatura entrada en verano, y el gráfico 3 – temperatura entrada invierno. También se presenta el resumen de las temperaturas de agua de salida en época de verano e inviernos, como lo indican los gráficos 4 y 5 respectivamente.



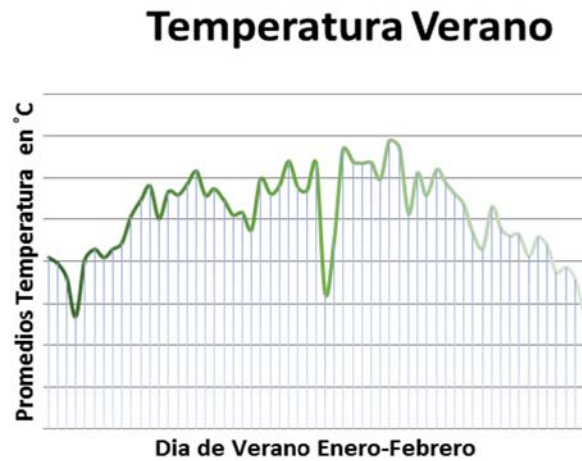
Leyenda: datos existentes en base de datos P.H.D. número de T.A.G. TIT6198.PV  
donde se aprecia la continuidad de la variable

Grafico 2: Temperatura entrada - verano



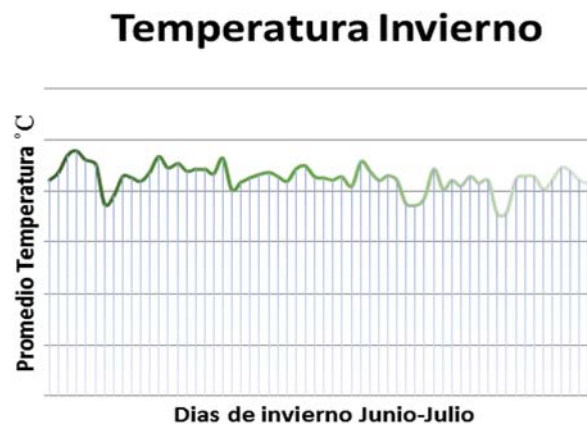
Leyenda: datos existentes en base de datos P.H.D. número de T.A.G. TIT6198.PV  
los pick que se observan en la variación de temperatura corresponden a la variación  
de caudal en el sistema.

Grafico 3: Temperatura entrada – invierno



Leyenda: datos existentes en base de datos P.H.D. número de T.A.G. TIT6216.PV

Grafico 4: Temperatura salida – verano



Leyenda: datos existentes en base de datos P.H.D. número de T.A.G. TIT6216.PV

Grafico 5: Temperatura salida – Invierno

La obtención de los datos utilizados para el desarrollo de presente estudio comprenden principalmente los de fabricante, datos recolectados por sistema P.H.D. (process history data). A continuación, datos obtenidos desde el proceso.

a. Datos de comportamiento actual verano

Datos extraídos del sistema P.H.D. y calculados conforme al código

| Variables                    | Asignación | Métrico Internacional    | Métrico Ingles |
|------------------------------|------------|--------------------------|----------------|
| Caudal Recirculación         | Flujo      | 915.45 m <sup>3</sup> /h | 4031 USGPM     |
| Temperatura de agua caliente | T.A.C      | 35.26 °C                 | 95.4679°F      |
| Temperatura de agua Fría     | T.A.F      | 24.11 °C                 | 75.398°F       |
| Temperatura de Bulbo Húmedo  | T.B.H      | 18,2 °C                  | 64.75°F        |
| humedad relativa             | Hr.        |                          | 76.48 %        |
| Potencia Ventilador          | P          | 74 kW                    | 100 hp         |
| Rango                        | R          | 11.15 °C                 | 20.06 °F       |
| Aproximación                 | Apr.       | 5.91 °C                  | 10.639 °F      |
| Capacidad Energética         | Q          |                          |                |
| <b>KaV/L</b>                 |            | <b>[-]</b>               | <b>2.2</b>     |

Leyenda: En base a los datos presentados en las tablas de fabricantes N°1, y datos extraídos del sistema P.H.D. se calcularon los datos restantes KaV/l y L/G

Tabla 2: Completa de comportamiento

b. Datos comportamiento Actual Invierno

Datos extraídos del sistema P.H.D. y calculados conforme al código

| Variables                    | Asignación | Métrico Internacional    | Métrico Ingles |
|------------------------------|------------|--------------------------|----------------|
| Caudal Recirculación         | Flujo      | 962.69 m <sup>3</sup> /h | 4235.8 USGPM   |
| Temperatura de agua caliente | T.A.C      | 30.78 °C                 | 87.404°F       |
| Temperatura de agua Fría     | T.A.F      | 21.28 °C                 | 70.304°F       |
| Temperatura de Bulbo Húmedo  | T.B.H      | 7.3°C                    | 45.14°F        |
| Humedad Relativa             | Hr.        |                          | 83.02          |
| Potencia Ventilador          | P          | 74 kW                    | 100 hp         |
| Rango                        | R          | 9.50 °C                  | 17.101 °F      |
| Aproximación                 | Apr.       | 13.98°C                  | 25.164°F       |
| Capacidad Energética         | Q          |                          |                |
| <b>KaV/L</b>                 |            | <b>[-]</b>               | <b>1.09</b>    |

Leyenda: En base a los datos presentados en las tablas de fabricantes N°1, y datos extraídos del sistema P.H.D. se calcularon los datos restantes KaV/l y L/G

Tabla 3: Información completa de comportamiento

**3.3.2. Condiciones de fabricante**

A continuación, se presenta un resumen de los datos obtenidos desde cartillas del fabricante “CERTIFIED PERFORMANCE CURVES FOR CHAGRES COPPER SMELTER CHILE, MODEL CF-2345-6 COOLING TOWER de Bac-Pritchard, Inc”. Son:

| Variables                    | Asignación | Métrico Internacional  | Métrico Ingles |
|------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Caudal Recirculación         | Flujo      | 1500 m <sup>3</sup> /h | 33023 USGPM    |
| Temperatura de agua caliente | T.A.C      | 36 °C                  | 96.8°F         |
| Temperatura de agua Fría     | T.A.F      | 26 °C                  | 78.8°F         |
| Temperatura de Bulbo Húmedo  | T.B.H      | 16 °C                  | 60.8°F         |
| Potencia Ventilador          | P          | 74 kW                  | 100 hp         |
| Rango                        | R          | 10 °C                  | 18 °F          |
| Aproximación                 | Apr.       | 10 °C                  | 18 °F          |
| Capacidad Energética         | Q          | 17,4 MW /celda         | 59,537 MBTU    |

Leyenda: Datos extraídos de la documentación existente en archivo técnico volumen 216 y 217 proporcionados por el fabricante

Tabla 4: Datos de la torre Baltimore según fabricante

Los datos que se presenta a continuación constan de archivos existentes en la fundición, recuperación de datos por parte del fabricante y datos calculados (integral de Merkel, KaV/L)

| Variables                    | Asignación | Métrico Internacional  | Métrico Ingles |
|------------------------------|------------|------------------------|----------------|
| Caudal Recirculación         | Flujo      | 1500 m <sup>3</sup> /h | 33023 USGPM    |
| Temperatura de agua caliente | T.A.C      | 36 °C                  | 96.8°F         |
| Temperatura de agua Fría     | T.A.F      | 26 °C                  | 78.8°F         |
| Temperatura de Bulbo Húmedo  | T.B.H      | 16 °C                  | 60.8°F         |
| Potencia Ventilador          | P          | 74 kW                  | 100 hp         |
| Rango                        | R          | 10 °C                  | 18 °F          |
| Aproximación                 | Apr.       | 10 °C                  | 18 °F          |

Leyenda: Datos extraídos de la documentación y calculados

Tabla 5: Información completa de fabricante



| Variables            | Asignación              | Métrico Internacional | Métrico Ingles |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|----------------|
| Capacidad Energética | Q                       | 17,4 /celda MW        | 59,537 MBTU    |
| KaV/L                |                         | [-]                   | 1.46           |
| L/G                  | Lb de agua / Lb de aire |                       | 1.3            |

Leyenda: Datos del fabricante calculados.

Tabla 5: Información completa de fabricante

### 3.3.1 Filosofía de control torre de enfriamiento Baltimore

La Torre de Enfriamiento es responsable de disipar el rechazo de calor de la fundición por intermedio de los actuales ventiladores, empaque, circulación de aire a contra flujo, salto de agua, y entre otros componentes menores.

Para establecer una filosofía de operación, se realizaron entrevistas con operadores de terreno y operadores de consola, pertenecientes al proceso de suministro de agua, proceso que controla actualmente el funcionamiento de la torre.

En estas entrevistas se analizó el funcionamiento actual de la torre, variables de control, mantenimiento y bajo que parámetros se activan o se desactivan módulos de enfriamiento. Estas entrevistas se realizaron siempre bajo la información que el rechazo de calor de la fundición normalmente es cercano a 74,2 MW teórico, y que cada módulo tiene la capacidad de disipación calórica de 17,5 y que en su conjunto alcanza 87 MW con un módulo stand-by.

En todos los procesos unitarios de la fundición existen operadores a cargo, donde cuentan con equipos mecánicos para llevar a cabo dichos procesos, tales equipos deben ser refrigerados producto de su liberación de calor, esto es posible mediante intercambiadores de calor que interactúan con el agua de la torre Baltimore. También existen equipos refrigerados directamente con el agua proveniente de la torre.

Estos equipos cuentan con medidores de temperaturas o sistemas de seguridad, los cuales, están en función de la temperatura de trabajo del equipo,

cuando estos medidores o sistemas de seguridad indican que el trabajo desarrollado por este equipo es alto en términos de temperatura, el operador del proceso lo identifica y procede a solicitar la puesta en marcha de una celda adicional a las que ya se encuentran en funcionamiento, de esta manera se pretende dar un control al alza de temperatura que se produjo en el equipo. El requerimiento anterior lo realiza el operador de cada subproceso a través del operador de consola quien en sus controles y pantallas visualiza parámetros de la torre Baltimore y los del proceso en cuestión.

El operador de consola una vez recibido el requerimiento desde operador de del subproceso en terreno y corroborando la información mediante los indicadores de monitoreo de los equipos, procede a la acción de poner en marcha una celda adicional al proceso de enfriamiento.

El criterio de control que impera en la torre de enfriamiento se encuentra en función de las distintas áreas que refrigera, es decir, al criterio de los distintos operadores de los subprocesos y finalmente del operador de consola.

Las fluctuaciones de la temperatura de salida están en función de la puesta marcha o detención de uno o más módulos (ventilador), ya que la distribución de caudal se encuentra habilitada para todas las celdas, no obstante, los pick fuera de rango que se observan, son por cambio de flujo, puesta en marcha o desafiliación de algún sub proceso.

Se ratifica que no existe un control automatizado de la torre, quedando en función de las temperaturas que el operador de terreno visualice en terreno de los distintos sub procesos. Esta práctica deja de considerar que el alza de temperatura pudiera ser a cusa de alguna falla de equipo del sub proceso.

**CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE MEJORA Y EVALUACIÓN CAPACIDAD**  
**ENERGÉTICA**

#### 4. PROPUESTA DE VALOR EVALUACIÓN CAPACIDAD ENERGETICA

En este capítulo nace la propuesta de mejora que se llevara a cabo en este estudio, lo anterior a raíz del cálculo paso a paso de la capacidad energética de la torre. Esto se desarrolla en condiciones ambientales favorable y desfavorables; verano e invierno respectivamente. Para llevar adelante este procedimiento, es necesario desarrollar principalmente la integral de Merkel, la cual se iguala al coeficiente  $KaV/l$ , dato principal para utilizar las curvas características de la torre y lograr con ello identificar el L/G de la torre. Con estos datos se procede a calcular la capacidad real de la torre.

##### 4.1. PROPUESTA DE MEJORA

En numerosas ocasiones la torre de enfriamiento no se encuentra en la planificación programada de mantenimiento, lo que realmente se encuentra en la programación son los motores, reductores, ventiladores, y por diversas razones no se hace mantenimiento al empaque que es el responsable de la evaporación eficiente del agua.

La principal razón del por qué, no se aplica un mantenimiento integral a la torre de enfriamiento, gravita en la falta de conocimiento respecto a la funcionalidad del **empaque**, también por la falta de accesibilidad a éste. En otras ocasiones la falta de mantenimiento es intencional, se evitan costos y tiempo en el mantenimiento del equipo.

Por lo anterior, se realizará una evaluación de la capacidad energética que tiene la torre, donde esta evaluación determinará fundamentalmente la capacidad de enfriamiento real que posee la torre en condiciones de verano e invierno. A su vez esta capacidad radica en la **eficiencia que tiene el empaque para producir la película de agua que se necesita para la evaporación de la misma.**

En consecuencia, el cálculo siguiente permitirá saber si la torre se encuentra operando dentro de los rangos establecidos por el fabricante y/o si es necesario incorporar 1 ó 2 celdas adicionales que permitan enfriar un mayor caudal de agua proveniente del proceso, o establecer medidas a tomar respecto al empaque y sistema de distribución de agua que tiene implementado hoy la torre

#### 4.2. CÁLCULO EVALUACIÓN POR MERKEL

Previamente al desarrollo de este método, se debe tomar lectura de los datos históricos de operación en la torre de enfriamiento, indicados en capítulos anteriores y para mayor detalle verificar los anexos de data recopilada y graficas que acompañan este estudio.

En este capítulo se proporciona la descripción detallada del método de Merkel. El % de capacidad de enfriamiento por el método de curvas características (criterio de Merkel), está dado por la siguiente ecuación:

$$\%Cap.-enfriamiento = \left[ \frac{\left(\frac{L}{G}\right)_0}{\left(\frac{L}{G}\right)_{Diseño}} \right] \times 100[\%]$$

Ecuación 11

Donde;

$$\left(\frac{L}{G}\right)_0 = f\left(\Delta T; \left(\frac{KaV}{L}\right)\right) \Rightarrow grafica[-]$$

Ecuación 11.1

Relación corregida del flujo de agua con respecto al flujo de aire seco, este valor se determina en una gráfica, donde se ingresa con el valor del (KaV/L) y el

salto término de la torre, vale decir, la diferencia de la temperatura de agua caliente entrante y la temperatura de agua fría saliente de la torre.

Donde, además;

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{diseño} = 1,43[-]$$

Ecuación 11.2

Relación de diseño del flujo de agua con respecto al flujo de aire seco, % de cap.- enfriamiento = % de capacidad de la torre, expresada en (%)

#### 4.3. CALCULO L/G

A continuación, se desarrolla completamente el cálculo para determinar la capacidad porcentual de enfriamiento que cuenta realmente la torre, por el método de curvas características, criterio de Merkel.

Se detalla en la ecuación 11, ésta relación se encuentra en función de las temperaturas del bulbo húmedo y la temperatura de salida (10 °C), llamada

aproximación, y del coeficiente  $\left(\frac{KaV}{L}\right)_{op}$ , por lo tanto, para el cálculo de tal coeficiente, se debe desarrollar la integral de Merkel.

#### 4.4. CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$\underline{\left( \frac{KaV}{L} \right)_{op}}$$

El método de Merkel representa el perfil de temperaturas en la torre para,  $(h_w - h_a)$  para calcular la transferencia de calor, se utilizará la ecuación “ecuación de Merkel” descrita en el marco teórico del capítulo anterior, tomando la igualdad que nos interesa. La integral se resuelve por el criterio de Merkel, evaluando los incrementos de temperaturas, se estiman cuatro puntos en la torre; a éstas temperaturas se calcula la entalpía de la mezcla de aire - agua y posteriormente se calcula la entalpía de la corriente de aire. cabe destacar que, para efectos de facilitar el desarrollo del cálculo, se hará un cambio en la designación de entalpías, pasando de  $i$  entalpía específica, por la designación  $h$ , el procedimiento es el siguiente:

$$\int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{h_L - h_g} = \frac{KaV}{L}$$

Ecuación 12

Donde;

$$T_1 = T^{\circ} \text{ salida}$$

$$T_2 = T^{\circ} \text{ salida}$$

$$h_L = \text{entalpía} - \text{liquido} [BTU / Lb]$$

$$h_g = \text{entalpía} - \text{gas} [BTU / Lb]$$

#### 4.4.1. Desarrollo de la integral

$$\left( \frac{KaV}{L} \right) = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{h_L - h_g} = \frac{T_1 - T_2}{4} \times \left( \frac{1}{\Delta h_{g1}} + \frac{1}{\Delta h_{g2}} + \frac{1}{\Delta h_{g3}} + \frac{1}{\Delta h_{g4}} \right)$$

Determinando el perfil de temperaturas;

$$T_1 = TAF + 0,1(TAC - TAF) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$T_2 = TAF + 0,4(TAC - TAF) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$T_3 = TAC - 0,4(TAC - TAF) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$T_4 = TAC - 0,1(TAC - TAF) \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde;

$T_1$  = Temperatura estimada, del perfil de temperatura, en grados  $[^{\circ} F]$

$T_2$  = Temperatura estimada, del perfil de temperatura, en grados  $[^{\circ} F]$

$T_3$  = Temperatura estimada, del perfil de temperaturas, en grados  $[^{\circ} F]$

$T_4$  = Temperatura estimada, del perfil de temperaturas, en grados  $[^{\circ} F]$

$TAC$  = Temperatura de agua caliente  $[^{\circ} F]$

$TAF$  = Temperatura de agua fría  $[^{\circ} F]$

$TBH$  = Temperatura de bulbo húmedo  $[^{\circ} F]$



Adquiriendo datos de tabla;

| Tabla Temperturas equivalentes |       |       |            |
|--------------------------------|-------|-------|------------|
| Verano                         |       |       |            |
| Designación                    | ° C   | °F    | $\Delta T$ |
| TAC                            | 35,26 | 96,8  | 18         |
| TAF                            | 24,11 | 78,8  |            |
| TBH                            | 18,8  | 64,76 | 14,04      |
| Invierno                       |       |       |            |
| Designación                    | ° C   | °F    | $\Delta T$ |
| TAC                            | 30,78 | 87,4  | 17,1       |
| TAF                            | 21,28 | 70,3  |            |
| TBH                            | 7     | 45,14 | 25,2       |

Fuente: Elaboración Propia, (cálculos en función de datos obtenidos)

Tabla 6: Temperaturas equivalentes

Luego:

Sustituyendo se encuentra la temperatura que aplicará a cada gradiente, donde variará la mezcla de vapor de agua-gas y al desarrollo de la integral de Merkel.

| Resultado Obtenido |          |      |        |           |
|--------------------|----------|------|--------|-----------|
| Items              | Verano   | TAF  | Const. | (TAC-TAF) |
| $T_1$ °F           | 80,6     | 78,8 | 0,1    | 18        |
| $T_2$ °F           | 86       | 78,8 | 0,4    | 18        |
| $T_3$ °F           | 89,6     | 96,8 | 0,4    | 18        |
| $T_4$ °F           | 95       | 96,8 | 0,1    | 18        |
|                    | Invierno | TAF  | Const. | (TAC-TAF) |
| $T_1$ °F           | 72,0     | 70,3 | 0,1    | 17,1      |
| $T_2$ °F           | 77,1     | 70,3 | 0,4    | 17,1      |
| $T_3$ °F           | 80,6     | 87,4 | 0,4    | 17,1      |
| $T_4$ °F           | 85,7     | 87,4 | 0,1    | 17,1      |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7: Cálculos en función de datos obtenidos

Ahora;

Con ayuda de literatura (*Cengel termodinámica, sexta edición, pág. 960-966*) se asignará la entalpía para cada gradiente de temperatura en liquido saturado, cabe señalar que para las temperaturas que no estén asignadas en literatura se interpolará para obtener el resultado de entalpías requeridas, también se efectuará el cálculo de la integral de Merkel, de forma tal que, al resolver la integral se obtenga el resultado (KaV/L), lo anterior se realizará para verano e invierno, por ser las condiciones extremas de funcionamiento en la Torre.

Para asignar las entalpias a cada temperatura, se debe interpolar para cada gradiente y estación (verano/invierno).

#### 4.4.2. Interpolación

$$h_2 = h_1 + \left( \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1} \right) \times (h_3 - h_1)$$

Ecuación 17

Donde;

$h =$  Entalpía Incógnita. (BTU/Lbm)

$T =$  Temperatura Relacionas a la interpolación.

#### 4.4.3. Cálculo entalpías por Integral de Merkel

También algunos cálculos son directos, de tablas y otros por cálculos; como  $h_{gi}$ =entalpía del aire o gas a temperatura del bulbo húmedo, para calcular las entalpias del aire en los gradientes de temperaturas, la cual está dada por la siguiente relación;

$$h_{gi} = h_{gas} @TBH$$

Ecuación 18

Donde;

$h_{gi}$ = entalpía del gas a temperatura de bulbo húmedo. (BTU/Lbm)

Además de debe calcular la entalpía del aire en los gradientes de temperaturas, que están dados por;

$$h_{g2} = h_{gi} + (TAC - TAF) \times (L / G)_{Op}$$

Ecuación 19

Donde;

$h_{g2}$  = Entalpía (BTU/Lbm)

$$h_{1gas} = h_{gi} + 0,1 \times (TAC - TAF) \times (L/G)_{Op}$$

$$h_{2gas} = h_{gi} + 0,4 \times (TAC - TAF) \times (L/G)_{Op}$$

$$h_{3gas} = h_{g2} - 0,1 \times (TAC - TAF) \times (L/G)_{Op}$$

$$h_{4gas} = h_{g2} - 0,4 \times (TAC - TAF) \times (L/G)_{Op}$$

| Interpolación de Entalpías |       |                |                |        |                |
|----------------------------|-------|----------------|----------------|--------|----------------|
| N°                         | T     | h              | N°             | T      | h              |
| 1                          | 75,00 | 43,07          | 1              | 85,00  | 53,06          |
| 2                          | 75,40 | h <sub>2</sub> | 2              | 87,44  | h <sub>2</sub> |
| 3                          | 80,00 | 48,07          | 3              | 90,00  | 58,05          |
| h <sub>2</sub>             |       | 43,47          | h <sub>2</sub> |        | 55,50          |
| N°                         | T     | h              | N°             | T      | h              |
| 1                          | 75,00 | 43,07          | 1              | 90,00  | 58,05          |
| 2                          | 77,41 | h <sub>2</sub> | 2              | 93,46  | h <sub>2</sub> |
| 3                          | 80,00 | 48,07          | 3              | 95,00  | 63,04          |
| h <sub>2</sub>             |       | 45,48          | h <sub>2</sub> |        | 61,50          |
| N°                         | T     | h              | N°             | T      | h              |
| 1                          | 80,00 | 48,07          | 1              | 95,00  | 63,04          |
| 2                          | 83,43 | h <sub>2</sub> | 2              | 95,47  | h <sub>2</sub> |
| 3                          | 85,00 | 53,06          | 3              | 100,00 | 68,03          |
| h <sub>2</sub>             |       | 51,49          | h <sub>2</sub> |        | 63,51          |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Interpolación de entalpías

Datos obtenidos para el cálculo de Merkel;

Los datos obtenidos; algunos son directos de tablas y otros por cálculos; como h<sub>g</sub>

Está dada por;

| Desarrollo Integral de Merkel |       |                      |                  |                |       |
|-------------------------------|-------|----------------------|------------------|----------------|-------|
| Item                          | T °F  | h Líquido<br>BTU/Lbm | h Gas<br>BTU/Lbm | Δ h<br>BTU/Lbm | 1/ Δh |
| <b>T2 Salida</b>              | 75,40 | 43,47                |                  |                |       |
| <b>T1</b>                     | 77,41 | 45,48                | 32,61            | 12,86          | 0,08  |
| <b>T2</b>                     | 83,43 | 51,49                | 40,78            | 10,71          | 0,09  |
| <b>T3</b>                     | 87,44 | 55,50                | 46,23            | 9,27           | 0,11  |
| <b>T4</b>                     | 93,46 | 61,50                | 54,40            | 7,11           | 0,14  |
| <b>T1 Entrada</b>             | 95,47 | 63,51                |                  |                |       |
|                               |       |                      | Σ                |                | 0,42  |
|                               |       |                      | KaV/L            |                | 2,106 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Desarrollo de la integral de Merkel (verano)

Ahora para invierno;

| Interpolación de Entalpías                                                                                                                                                                                   |       |                |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------|----------------|-------|--------------------------------------------------------------|---|-------|----------------|-------|-------|----------------|---|-------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|----|---|---|---|-------|-------|---|-------|----------------|---|-------|-------|
| <table><tr><th>N°</th><th>T</th><th>h</th></tr><tr><td>1</td><td>70,00</td><td>38,08</td></tr><tr><td>2</td><td>70,30</td><td>h<sub>2</sub></td></tr><tr><td>3</td><td>75,00</td><td>43,07</td></tr></table> |       |                | N°             | T     | h                                                            | 1 | 70,00 | 38,08          | 2     | 70,30 | h <sub>2</sub> | 3 | 75,00 | 43,07 | <table><tr><th>N°</th><th>T</th><th>h</th></tr><tr><td>1</td><td>80,00</td><td>48,07</td></tr><tr><td>2</td><td>80,56</td><td>h<sub>2</sub></td></tr><tr><td>3</td><td>85,00</td><td>53,06</td></tr></table> |  |  | N° | T | h | 1 | 80,00 | 48,07 | 2 | 80,56 | h <sub>2</sub> | 3 | 85,00 | 53,06 |
| N°                                                                                                                                                                                                           | T     | h              |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 1                                                                                                                                                                                                            | 70,00 | 38,08          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 2                                                                                                                                                                                                            | 70,30 | h <sub>2</sub> |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 3                                                                                                                                                                                                            | 75,00 | 43,07          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| N°                                                                                                                                                                                                           | T     | h              |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 1                                                                                                                                                                                                            | 80,00 | 48,07          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 2                                                                                                                                                                                                            | 80,56 | h <sub>2</sub> |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 3                                                                                                                                                                                                            | 85,00 | 53,06          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| <table><tr><td>h<sub>2</sub></td><td>38,38</td></tr></table>                                                                                                                                                 |       |                | h <sub>2</sub> | 38,38 | <table><tr><td>h<sub>2</sub></td><td>48,63</td></tr></table> |   |       | h <sub>2</sub> | 48,63 |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| h <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                               | 38,38 |                |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| h <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                               | 48,63 |                |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| <table><tr><th>N°</th><th>T</th><th>h</th></tr><tr><td>1</td><td>70,00</td><td>38,08</td></tr><tr><td>2</td><td>72,01</td><td>h<sub>2</sub></td></tr><tr><td>3</td><td>75,00</td><td>43,07</td></tr></table> |       |                | N°             | T     | h                                                            | 1 | 70,00 | 38,08          | 2     | 72,01 | h <sub>2</sub> | 3 | 75,00 | 43,07 | <table><tr><th>N°</th><th>T</th><th>h</th></tr><tr><td>1</td><td>85,00</td><td>53,06</td></tr><tr><td>2</td><td>85,69</td><td>h<sub>2</sub></td></tr><tr><td>3</td><td>90,00</td><td>58,05</td></tr></table> |  |  | N° | T | h | 1 | 85,00 | 53,06 | 2 | 85,69 | h <sub>2</sub> | 3 | 90,00 | 58,05 |
| N°                                                                                                                                                                                                           | T     | h              |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 1                                                                                                                                                                                                            | 70,00 | 38,08          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 2                                                                                                                                                                                                            | 72,01 | h <sub>2</sub> |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 3                                                                                                                                                                                                            | 75,00 | 43,07          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| N°                                                                                                                                                                                                           | T     | h              |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 1                                                                                                                                                                                                            | 85,00 | 53,06          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 2                                                                                                                                                                                                            | 85,69 | h <sub>2</sub> |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 3                                                                                                                                                                                                            | 90,00 | 58,05          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| <table><tr><td>h<sub>2</sub></td><td>40,09</td></tr></table>                                                                                                                                                 |       |                | h <sub>2</sub> | 40,09 | <table><tr><td>h<sub>2</sub></td><td>53,75</td></tr></table> |   |       | h <sub>2</sub> | 53,75 |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| h <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                               | 40,09 |                |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| h <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                               | 53,75 |                |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| <table><tr><th>N°</th><th>T</th><th>h</th></tr><tr><td>1</td><td>75,00</td><td>43,07</td></tr><tr><td>2</td><td>77,14</td><td>h<sub>2</sub></td></tr><tr><td>3</td><td>80,00</td><td>48,07</td></tr></table> |       |                | N°             | T     | h                                                            | 1 | 75,00 | 43,07          | 2     | 77,14 | h <sub>2</sub> | 3 | 80,00 | 48,07 | <table><tr><th>N°</th><th>T</th><th>h</th></tr><tr><td>1</td><td>85,00</td><td>53,06</td></tr><tr><td>2</td><td>87,40</td><td>h<sub>2</sub></td></tr><tr><td>3</td><td>90,00</td><td>58,05</td></tr></table> |  |  | N° | T | h | 1 | 85,00 | 53,06 | 2 | 87,40 | h <sub>2</sub> | 3 | 90,00 | 58,05 |
| N°                                                                                                                                                                                                           | T     | h              |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 1                                                                                                                                                                                                            | 75,00 | 43,07          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 2                                                                                                                                                                                                            | 77,14 | h <sub>2</sub> |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 3                                                                                                                                                                                                            | 80,00 | 48,07          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| N°                                                                                                                                                                                                           | T     | h              |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 1                                                                                                                                                                                                            | 85,00 | 53,06          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 2                                                                                                                                                                                                            | 87,40 | h <sub>2</sub> |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| 3                                                                                                                                                                                                            | 90,00 | 58,05          |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| <table><tr><td>h<sub>2</sub></td><td>45,21</td></tr></table>                                                                                                                                                 |       |                | h <sub>2</sub> | 45,21 | <table><tr><td>h<sub>2</sub></td><td>55,46</td></tr></table> |   |       | h <sub>2</sub> | 55,46 |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| h <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                               | 45,21 |                |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |
| h <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                               | 55,46 |                |                |       |                                                              |   |       |                |       |       |                |   |       |       |                                                                                                                                                                                                              |  |  |    |   |   |   |       |       |   |       |                |   |       |       |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Interpolación de entalpías – invierno

| Desarrollo Integral de Merkel |       |                      |                  |                |       |
|-------------------------------|-------|----------------------|------------------|----------------|-------|
| Item                          | T °F  | h Líquido<br>BTU/Lbm | h Gas<br>BTU/Lbm | Δ h<br>BTU/Lbm | 1/ Δh |
| <b>T2 Salida</b>              | 70,30 | 38,38                |                  |                |       |
| <b>T1</b>                     | 72,01 | 40,09                | 20,28            | 19,81          | 0,05  |
| <b>T2</b>                     | 77,14 | 45,21                | 28,17            | 17,04          | 0,06  |
| <b>T3</b>                     | 80,56 | 48,63                | 33,43            | 15,20          | 0,07  |
| <b>T4</b>                     | 85,69 | 53,75                | 41,32            | 12,43          | 0,08  |
| <b>T1 Entrada</b>             | 87,40 | 55,46                |                  |                |       |
|                               |       |                      |                  | Σ              | 0,26  |
|                               |       |                      |                  | <b>KaV/L</b>   | 1,09  |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 11: Desarrollo de la integral de Merkel (invierno)

#### 4.5. OBTENCIÓN DE COEFICIENTES CLAVES $\left(\frac{L}{G}\right)_0$

Para obtener este coeficiente, se utilizará el **gráfico de curvas características** que trae la torre de enfriamiento y elaborado por el fabricante, en este caso representado por los gráficos 6 y 7. Éste **relaciona el termino KaV/L** (línea azul, motivo de la integral de Merkel), la aproximación de la torre (línea marrón, dato conocido) y la relación L/G real (línea roja).

Esta gráfica se utilizará en dos ocasiones; para análisis de invierno y verano. Por las ordenadas se encuentra el termino KaV/L, el cual se calcula con el procedimiento antes detallado (integral de Merkel) para ambos escenarios, y la función corresponde a la **aproximación**; la cual, pertenece al diferencial de temperatura del bulbo húmedo y la temperatura de agua fría (dato conocido). Con estos antecedentes ingresamos al gráfico y encontramos la intersección de ambas curvas, para luego encontrar en la abscisa la **relación real de L/G**.

Esta curva puede llamarse también, según literatura, “Curva de Requerimientos de diseño” puesto que es una medida de dificultad de la torre para alcanzar los requerimientos de diseño.

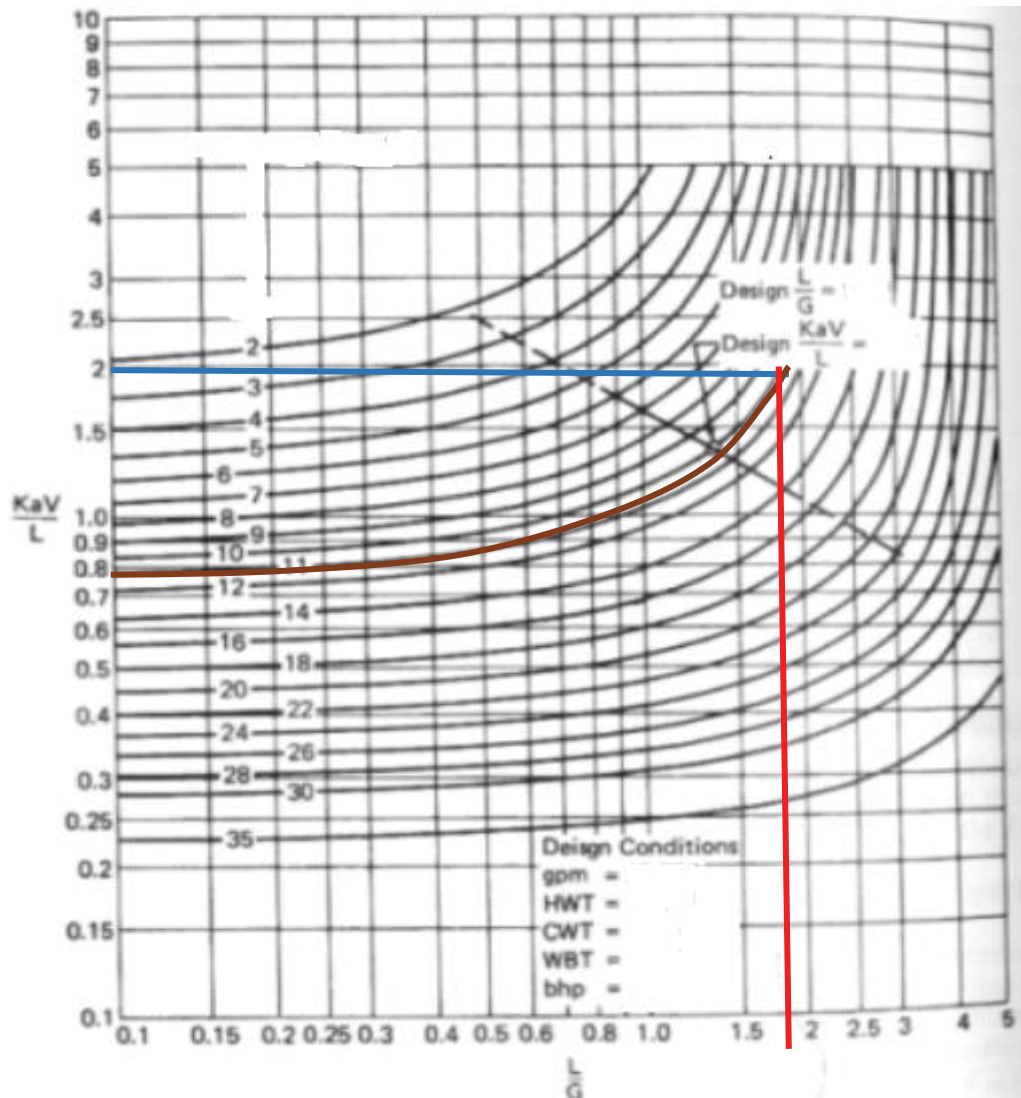
Según lo expuesto anteriormente, **la intersección de la curva “aproximación” y la curva del  $KaV/L$  localiza el punto de la relación  $L/G$  real**. El fabricante predice que, cuando se conoce  $KaV/L$ , la aproximación existente; dadas las condiciones ambientales reinantes en el lugar, se encuentra la relación  $L/G$  real mediante el gráfico 6 y 7 y se puede determinar la capacidad de enfriamiento de la torre mediante el siguiente procedimiento:

### **Época de verano**

Una vez obtenidos los datos  $KaV/L$  la aproximación, más los datos de fabricantes se ingresará al gráfico para Obtener  $\left(\frac{L}{G}\right)_0$

Obtener valor de grafica  $\left(\frac{L}{G}\right)_0 = 1,72$ .

### Sistemas de enfriamiento tipo



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6: Curva Característica - Sistema de enfriamiento con agua

Reemplazando en verano

$$\%Cap. - enfriamiento = \left[ \frac{1,72}{1,43} \right] \times 100[\%]$$

$$\%Cap. - enfriamiento = 120,27[\%]$$



Por lo tanto, la capacidad de enfriamiento de la Torre en verano es de un 120,27 %.

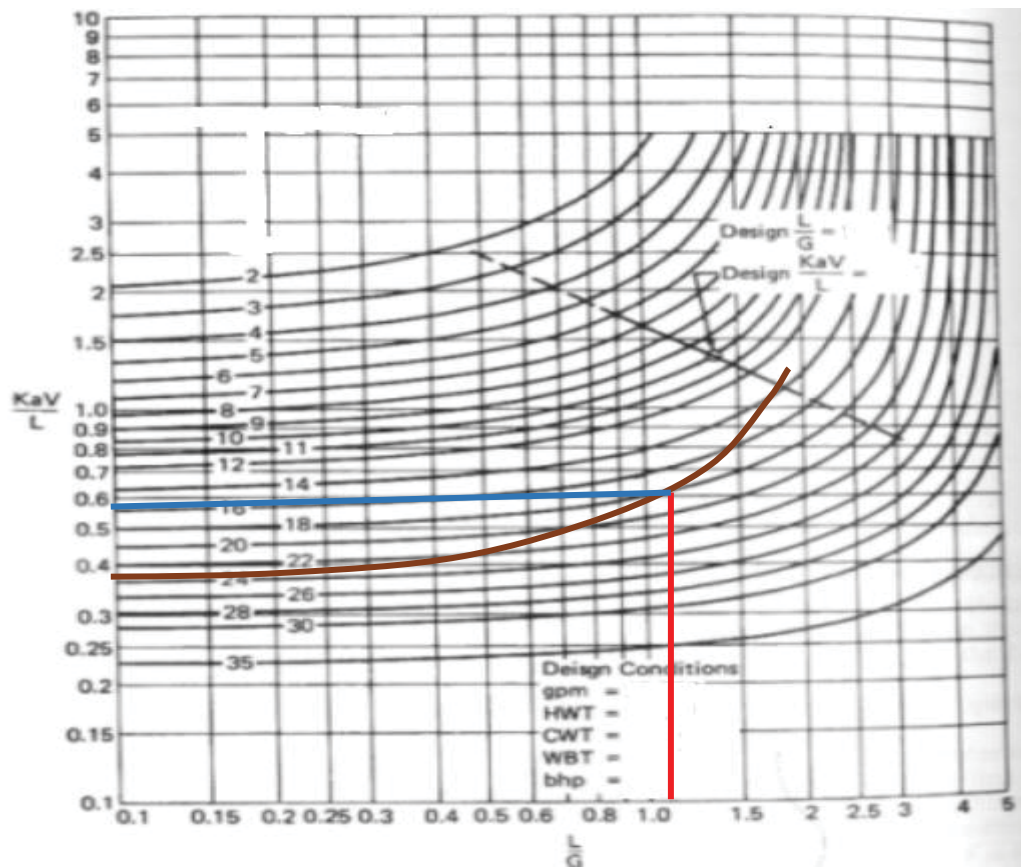
### **Época de invierno**

Una vez obtenidos los datos  $KaV/L$  y la aproximación, más los datos de fabricantes se ingresará al gráfico para Obtener  $\left(\frac{L}{G}\right)_0$

Obtener valor de grafica  $\left(\frac{L}{G}\right)_0 = 1,37$

Reemplazando en invierno

## Sistemas de enfriamiento



Fuente: Elaboracion propia

Gráfico 7: Curva Característica - Sistema de enfriamiento con agua (invierno)

Invierno:

$$\%Cap. - enfriamiento = \left[ \frac{1,37}{1,43} \right] \times 100 [\%]$$

$$\%Cap. - enfriamiento = 95,80 [\%]$$

Por lo tanto, la capacidad de enfriamiento de la Torre en invierno es de un 95,80 %.

## Análisis de Datos

Para ambas estaciones del año la torre presenta distintos regímenes de operación, sobre la base de la carga calórica que aporta la función es la misma (74,2 MW) durante todo el año y acompañado de los datos del fabricante; cada celda de la torre es capaz de disipar energía por 17,4 MW, lo que por aritmética;  $17,4 \times 5$  celdas, es igual a 87 MW, esta capacidad para disipar calor que cuenta la torre, supera largamente el rechazo de calor que mantiene prácticamente constante la fundición durante todo el año.

En este entendido y dado los resultados que se presentan en esta memoria y que a continuación se presentan:

- Capacidad de enfriamiento en verano equivale a 120 %
- Capacidad de enfriamiento en verano equivale a 96 %

Nos permite entender que la torre se ve afectada en su capacidad principalmente por dos factores:

- Humedad relativa del aire, estos dado que la transferencia de calor se produce principalmente por evaporación.
- Los equipos, componente y elementos que cuenta la torre para facilitar esta transferencia de calor.

De esta manera y a contar de ahora se extrapolarán los datos primordiales para responder y sustentar los objetivos planteados en un comienzo.

**CAPITULO 5: EVALUACIÓN ECONÓMICA**

## 5.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA MEDIANTE CALCULO DEL VAN Y TIR

Para comenzar este capítulo se despejará uno de los objetivos planteados al principio de este estudio. Se tomará en consideración lo establecido en el capítulo 4, donde en términos energéticos, se determina que la torre de enfriamiento actual cuenta con la capacidad de enfriamiento para el rechazo de calor que produce en total la fundición, por lo tanto, **se descarta la inversión por 3 MUS\$ para incorporar 2 módulos adicionales a los existentes.**

Ahora bien, para las otras dos alternativas de inversión por vías del mantenimiento; preventivo y correctivo respectivamente, se relazará un análisis VAN (valor actual neto) y TIR (tasa interna de retorno).

La idea es saber la viabilidad de cada opción, lo anterior en función de la inversión y ahorro en términos de energía que no se utilizará, y por tanto flujos de dinero que no se desembolsaran por concepto de ventiladores stand-by.

| Ahorro Anual      | I Semestre | Unidad | II Semestre | Unidad | Costo kW | Unidad |
|-------------------|------------|--------|-------------|--------|----------|--------|
| <b>38.325.000</b> | 40         | kWh    | 30          | kWh    | 125      | CLP    |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 12: Ahorro anual en función de la energía

Para el cálculo de ambas alternativas mediante el **VAN** se pronostica una tasa de interés simple de  $r$  de 0,14, lo que normalmente aplica una entidad financiera para obtener beneficio sin mayor riesgo asociado. Para el cálculo del **TIR**, se despejará  $r$  en la misma relación, llevando el  $VAN = 0$ .

En la tabla 13 se presenta el cálculo del VAN y el TIR para la opción de mantenimiento preventivo (limpieza de empaque y sistema de difusores). Así mismo en la tabla 14 se presenta el cálculo para la opción del mantenimiento correctivo (reemplazo del empaque y difusores)

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Q_n}{(1+r)^n}$$

| ANÁLISIS ECÓNOMICO |                |            |            |            |            |
|--------------------|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Inversiones        | Periodo (años) |            |            |            |            |
| Inverson Inicial   | 1              | 2          | 3          | 4          | 5          |
| (97.957.644)       | 38.325.000     | 38.325.000 | 38.325.000 | 38.325.000 | 38.325.000 |

|            |            |            |      |
|------------|------------|------------|------|
| <b>VAN</b> | 33.615.184 | <b>TIR</b> | 0,28 |
| <b>r</b>   | 0,14       |            |      |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 13: Cálculo VAN y TIR - Preventivo

| ANÁLISIS ECÓNOMICO |                |            |            |            |            |
|--------------------|----------------|------------|------------|------------|------------|
| Inversiones        | Periodo (años) |            |            |            |            |
| Inverson Inicial   | 1              | 2          | 3          | 4          | 5          |
| (259.836.660)      | 38.325.000     | 38.325.000 | 38.325.000 | 38.325.000 | 38.325.000 |

|            |               |            |       |
|------------|---------------|------------|-------|
| <b>VAN</b> | (128.263.832) | <b>TIR</b> | -0,09 |
| <b>r</b>   | 0,14          |            |       |

Fuente. Elaboración propia

Tabla 14: Cálculo VAN y TIR - Correctivo

Tomando en consideración las directrices que normalmente la industria miera aplica, vale decir una inversión evaluada a 5 años, es posible establecer que la inversión de la alternativa del mantenimiento preventivo, es la viable; tabla 13.

**CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## 6.1. CONCLUSIONES

La torre de enfriamiento Bac-Pritchard (Baltimore) en consideraciones de diseño, y contractada en condiciones de operación normal, permite relacionar cargas calóricas máximas que rechaza la fundición con lo que realmente es capaz de disipar la torre.

En este contexto, es necesario establecer que la torre de enfriamiento cumple con el objetivo de enfriar el agua proveniente del proceso, de manera eficaz, o sea, sin aprovechar al máximo los recursos involucrados, como equipos, recursos energéticos y medios ambientales, mediante las **Recomendaciones** operacionales que más abajo se establecen, es posible mejorar la eficiencia del equipo.

Siguiendo con el análisis, en verano la torre de enfriamiento se encuentra trabajando a un **120,27%**, lo que indica que podría enfriar un **20,27%** más del rechazo de calor diseñado, es decir, puede llegar a disipar un rechazo de calor **104,8 MW**.

En invierno la torre de enfriamiento se encuentra trabajando a un **95,80%**, lo que indica que podría enfriar un **4,20%** menos del rechazo de calor diseñado, es decir, puede llegar a disipar un rechazo de calor **83,5 MW**.

Con esta información y tomando en cuenta la potencial inversión de **incorporar 1 ó 2 celdas de enfriamiento por 3 MUS\$** para la torre de refrigeración, la cuales aportarían **34,8 MW** más al poder de refrigeración que cuenta actualmente la torre, se puede indicar que esta implementación no se ve justificada en términos energéticos, ya que, la fundición lo máximo que libera son **74,2 MW** y la torre de enfriamiento en cargas extremas y en condiciones adversas es capaz de refrigerar **83, 5 MW**.

También es posible concluir que la torre de enfriamiento se encuentra operando bajo su capacidad nominal en condiciones desfavorables, en invierno alcanza un **95,80%**. No así en verano donde alcanza un **120,26%**; para esto existen dos causas principales: la primera es a raíz de la atmosfera circundante, en invierno mejora su capacidad de refrigeración sensible, sin embargo, no es considerable,

debido a que el principio de funcionamiento es por transferencia de **calor latente en un 80 %**, es decir, si evapora enfría, como en invierno la humedad relativa del aire es alta, ésta afecta al traspaso de masa del agua al aire, por lo tanto, en invierno la capacidad de la torre es baja en comparación al verano.

También es posible mejorar la eficiencia de la torre de enfriamiento contando con un plan de mantenimiento integral, donde abarque todos los componentes de la Torre Baltimore, debido a que la ineficiencia pasa por la suciedad de componentes críticos como **empaques y difusores**. Esto acompañado de una inapropiada filosofía de operación, hacen que la torre funcione bajo su rendimiento.

Finalmente, más abajo se detallan las oportunidades de mejoras y también las recomendaciones para mejorar la eficiencia de la torre, donde al implementar estas recomendaciones se reduce en un 40@30 [kWh] dependiendo de la estación invierno o verano. Esto representa un ahorro de hasta 960 [kW] diarios, que significa un ahorro de \$38.000.000 CLP anuales (*tomando en cuenta que el costo de 1 kW es de 125 pesos*).

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Se observa mala distribución de agua. En la caída desde los difusores hacia las piscinas, pasando por el empaque, sin embargo, se puede atribuir a suciedad del empaque y/o a difusores tapados, lo cual dificulta la generación de película de agua y en consecuencia su evaporación y enfriamiento.



Fuente:

Fig. 5: Fotografía para apreciar la mala distribución caída de agua



Fuente:

Fig. 6: Mala distribución de agua a la llegada de la piscina

En la fotografía se aprecia la caída de flujos anormales de agua, ésta se concentra en flujos uniformes lo que afecta el intercambio de calor.



Fuente: Fotografía en terreno

Fig. 7: Fotografía presencias de material orgánico en los filtros

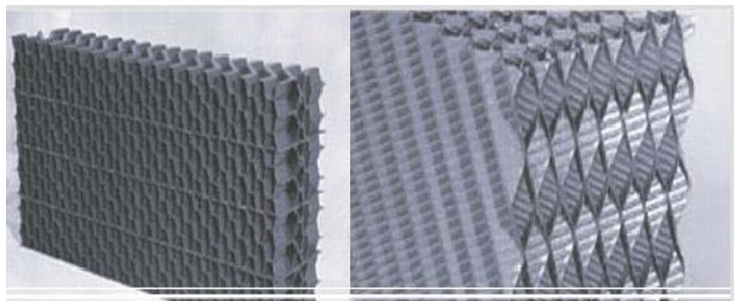
También el material orgánico en exceso presente en las instalaciones de la Torre, dificultan la transferencia de calor, para solucionar esto se debe lavar en alta presión todo el sistema de agua existente en la torre.

La razón de no invertir en un mantenimiento adecuado en la torre de enfriamiento, es delicada y no se debe mirar superficialmente, ya que, estos equipos funcionan todo el año y corresponden a equipos críticos dentro de los procesos productivos, y pueden generar cuantiosas pérdidas de la producción. Este supuesto ahorro de recursos y tiempo se puede traducir en cuantiosas pérdidas monetarias producto de un colapso inesperado de la torre de enfriamiento, también se debe tomar en cuenta que desde su instalación en el año 1994 hasta la fecha no se ha efectuado un mantenimiento integral.

La situación de ausencia de mantenimiento en la que se encuentran las torre de enfriamientos, en el mayor de las ocasiones es producto de que el encargado de mantenimiento es transitorio y se producen rotaciones en el cargo y este no necesita mayores complicaciones o aumentar costos de mantenimiento, esto acompañado de que las torres de refrigeración resisten y resisten y la ineficiencia de esta no se aprecia a simple vista, no existe una real conciencia de mantenimiento, solamente surge la preocupación cuando colapsa la temperatura de salida.

Como el empaque es responsable de aumentar la superficie de contacto del agua con respecto al aire y retener el máximo tiempo el agua entre sus cavidades, el cual aporta el 80% de la eficiencia de la torre, la eficiencia de la torre se ve notoriamente disminuida cuando se producen incrustaciones de material extraño en las paredes como, algas, lodo, incrustaciones metálicas, etc. afectando de esta manera la transferencia de calor por evaporación, en consecuencia, la capacidad energética de la torre, para evitar estas complicaciones se recomienda lo siguiente:

- Lavado de empaque y posibles sustituciones
- Implementar un plan de mantenimiento
- Capacitar operadores de la torre de enfriamiento
- Automatizar la operación de la torre de enfriamiento



Fuente: Elaboración propia

Fig. 8: Empaque disponible en el mercado





Fuente: Elaboracion propia

Fig. 9: Tipo de lavado de empaque

## **BIBLIOGRAFÍA**

PERRY, R. (1992). **Manual del ingeniero químico**. Sexta Edición. Editorial Mc Graw-Hill. México.

YUNUS A. CENGEL, Michael A. Boles **Termodinámica** Sexta Edición.

FOUST, A. (1960). **Principios de las operaciones unitarias**. Primera Edición, Editorial CECSA, México.

HIMMELBLAU, David. (2000). **Balances de materia y energía**. Cuarta edición, Editorial Prentice-Hall, España.

INCROPERA, F. y DEWITT, D. (1999). **Fundamentos de Transferencia de Calor**. Cuarta edición, Editorial Prentice-Hall, México.

LUDWIG, E. (1965). **Process design for chemical and petrochemical plants**. Segunda edición, Editorial Gulf Publishing.

MC CABE, W. y SMITH, J. (2002). **Operaciones Unitarias en Ingeniería Química**. Sexta edición, Editorial Mc Graw-Hill, México.

NAGHI NAMAKFOROOSH, MOHAMMAD (2005). **Metodología de la investigación**. Segunda edición, Editorial Limusa, México.

TREYBAL, Robert. (1999). **Operaciones de Transferencia de Masa**. Segunda edición, Editorial Mc. Graw-Hill, México.

## **PÁGUINAS WEB**

<https://www.baltimoreaircoil.eu/es/productos/torres-de-enfriamiento>

<http://dimec.uchile.cl/web/investigacion/fluidos/>

<https://www.hd.ind.br/>

<http://www.cti.org/certification.php>

**ANEXOS**



## **ANEXO 1 RESUMEN DE DATOS EN TABLAS Y GRAFICAS**

El resumen se efectuó a partir de datos obtenidos de P.H.D., (programa de adquisición datos de operación de la planta.), con el fin de utilizar los resultados obtenidos para realizar la evaluación de la torre de enfriamiento

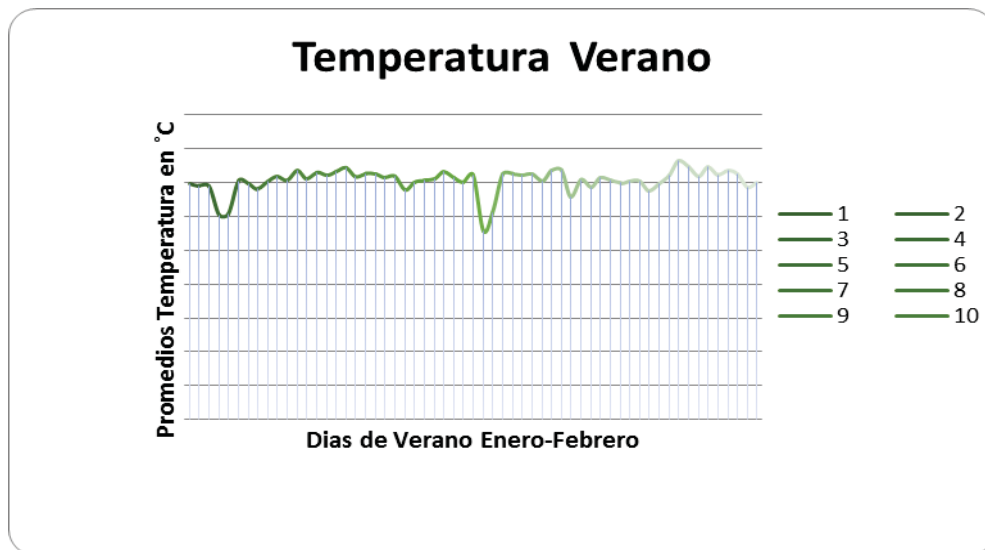
### **<sup>1</sup>Resumen datos P.H.D. VERANO Promedios**

| <b>DATOS TEMPERATURA DE ENTRADA EN °C</b> |       |            |       |            |       |            |       |
|-------------------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| Fecha                                     | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C |
| 01/01/2007                                | 34,82 | 16/01/2007 | 36,54 | 31/01/2007 | 27,80 | 15/02/2007 | 35,23 |
| 02/01/2007                                | 34,55 | 17/01/2007 | 37,15 | 01/02/2007 | 30,46 | 16/02/2007 | 35,22 |
| 03/01/2007                                | 34,44 | 18/01/2007 | 35,90 | 02/02/2007 | 36,20 | 17/02/2007 | 33,76 |
| 04/01/2007                                | 30,23 | 19/01/2007 | 36,35 | 03/02/2007 | 36,31 | 18/02/2007 | 34,84 |
| 05/01/2007                                | 30,42 | 20/01/2007 | 36,28 | 04/02/2007 | 36,16 | 19/02/2007 | 36,10 |
| 06/01/2007                                | 35,25 | 21/01/2007 | 35,82 | 05/02/2007 | 36,28 | 20/02/2007 | 38,26 |
| 07/01/2007                                | 34,80 | 22/01/2007 | 35,98 | 06/02/2007 | 35,26 | 21/02/2007 | 37,28 |
| 08/01/2007                                | 34,08 | 23/01/2007 | 33,97 | 07/02/2007 | 36,76 | 22/02/2007 | 35,90 |
| 09/01/2007                                | 35,22 | 24/01/2007 | 35,09 | 08/02/2007 | 36,82 | 23/02/2007 | 37,39 |
| 10/01/2007                                | 35,88 | 25/01/2007 | 35,29 | 09/02/2007 | 32,89 | 24/02/2007 | 36,11 |
| 11/01/2007                                | 35,28 | 26/01/2007 | 35,57 | 10/02/2007 | 35,42 | 25/02/2007 | 36,72 |
| 12/01/2007                                | 36,77 | 27/01/2007 | 36,57 | 11/02/2007 | 34,34 | 26/02/2007 | 36,22 |
| 13/01/2007                                | 35,51 | 28/01/2007 | 35,75 | 12/02/2007 | 35,75 | 27/02/2007 | 34,31 |

| DATOS TEMPERATURA DE ENTRADA EN °C |       |            |       |            |       |                 |              |
|------------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------|--------------|
| Fecha                              | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha           | T° °C        |
| 14/01/2007                         | 36,52 | 29/01/2007 | 35,06 | 13/02/2007 | 35,33 | 28/02/2007      | 34,95        |
| 15/01/2007                         | 36,15 | 30/01/2007 | 36,15 | 14/02/2007 | 34,93 | <b>Promedio</b> | <b>35,26</b> |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 1: Datos temperatura de entrada en °C



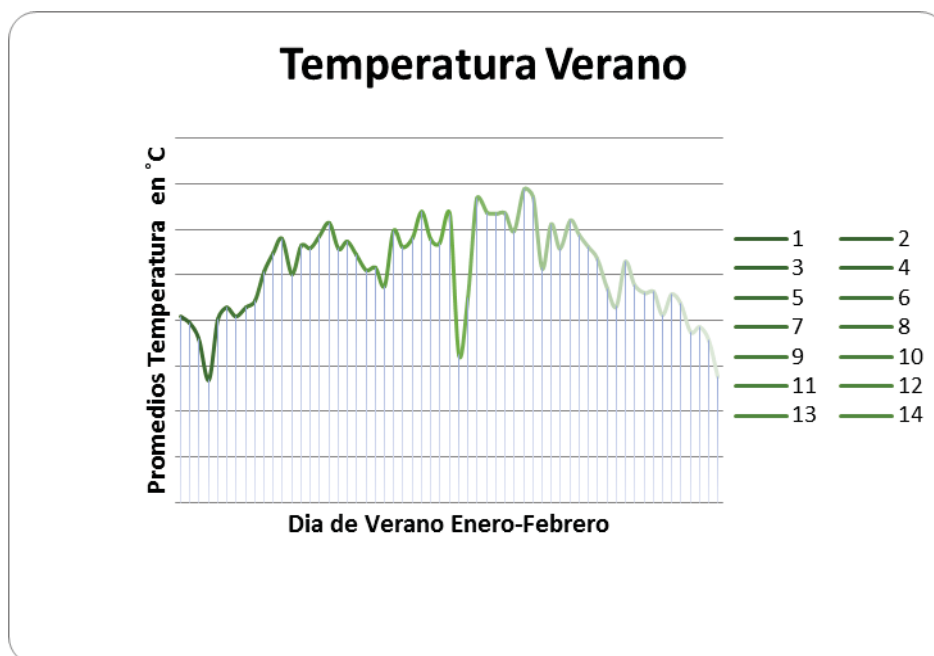
Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 1: Temperatura verano

| DATOS TEMPERATURA DE SALIDA EN °C |       |            |       |            |       |                 |              |
|-----------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------|--------------|
| Fecha                             | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha           | T° °C        |
| 01/01/2017                        | 23,10 | 16/01/2017 | 24,86 | 31/01/2017 | 22,25 | 15/02/2017      | 24,35        |
| 02/01/2017                        | 22,94 | 17/01/2017 | 25,15 | 01/02/2017 | 23,48 | 16/02/2017      | 23,68        |
| 03/01/2017                        | 22,60 | 18/01/2017 | 24,58 | 02/02/2017 | 25,68 | 17/02/2017      | 23,31        |
| 04/01/2017                        | 21,69 | 19/01/2017 | 24,74 | 03/02/2017 | 25,38 | 18/02/2017      | 24,29        |
| 05/01/2017                        | 23,03 | 20/01/2017 | 24,44 | 04/02/2017 | 25,36 | 19/02/2017      | 23,78        |
| 06/01/2017                        | 23,29 | 21/01/2017 | 24,11 | 05/02/2017 | 25,36 | 20/02/2017      | 23,59        |
| 07/01/2017                        | 23,09 | 22/01/2017 | 24,17 | 06/02/2017 | 24,96 | 21/02/2017      | 23,63        |
| 08/01/2017                        | 23,30 | 23/01/2017 | 23,76 | 07/02/2017 | 25,89 | 22/02/2017      | 23,13        |
| 09/01/2017                        | 23,43 | 24/01/2017 | 24,96 | 08/02/2017 | 25,70 | 23/02/2017      | 23,58        |
| 10/01/2017                        | 24,07 | 25/01/2017 | 24,60 | 09/02/2017 | 24,15 | 24/02/2017      | 23,37        |
| 11/01/2017                        | 24,47 | 26/01/2017 | 24,81 | 10/02/2017 | 25,12 | 25/02/2017      | 22,75        |
| 12/01/2017                        | 24,79 | 27/01/2017 | 25,40 | 11/02/2017 | 24,58 | 26/02/2017      | 22,86        |
| 13/01/2017                        | 24,02 | 28/01/2017 | 24,78 | 12/02/2017 | 25,20 | 27/02/2017      | 22,57        |
| 14/01/2017                        | 24,66 | 29/01/2017 | 24,70 | 13/02/2017 | 24,87 | 28/02/2017      | 21,76        |
| 15/01/2017                        | 24,60 | 30/01/2017 | 25,33 | 14/02/2017 | 24,61 | <b>Promedio</b> | <b>24,11</b> |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 2: Datos temperatura de salida en °C



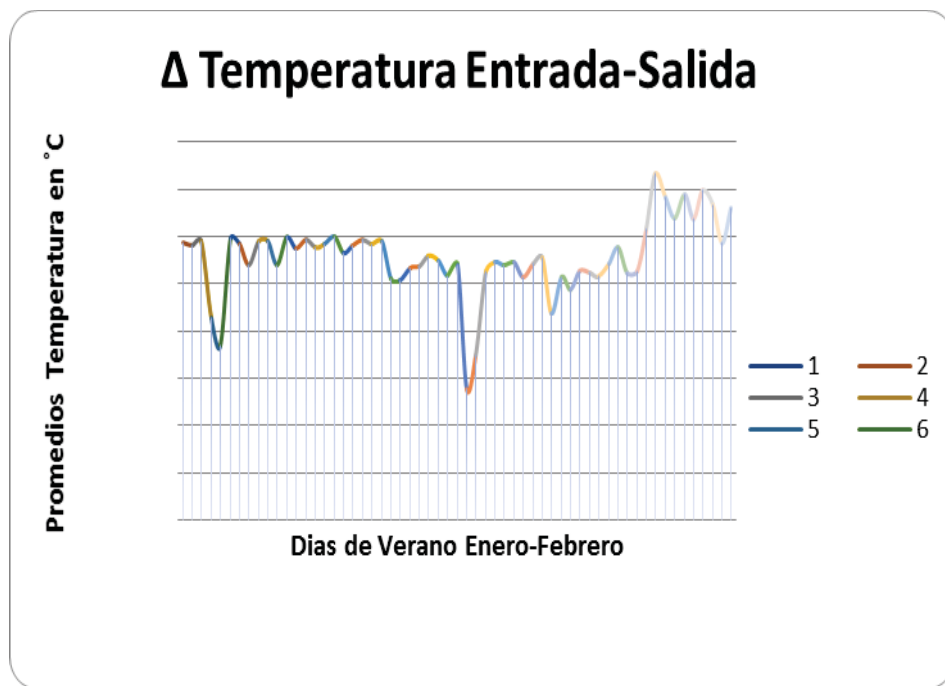
Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 2: Temperatura verano

| <b>Δ TEMPERATURA ENTRADA-SALIDA EN °C</b> |       |            |       |            |       |                 |              |
|-------------------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------|--------------|
| Fecha                                     | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha           | T° °C        |
| 01/01/2017                                | 11,72 | 16/01/2017 | 11,68 | 31/01/2017 | 5,55  | 15/02/2017      | 10,88        |
| 02/01/2017                                | 11,62 | 17/01/2017 | 12,00 | 01/02/2017 | 6,97  | 16/02/2017      | 11,54        |
| 03/01/2017                                | 11,84 | 18/01/2017 | 11,32 | 02/02/2017 | 10,52 | 17/02/2017      | 10,45        |
| 04/01/2017                                | 8,54  | 19/01/2017 | 11,60 | 03/02/2017 | 10,93 | 18/02/2017      | 10,54        |
| 05/01/2017                                | 7,38  | 20/01/2017 | 11,84 | 04/02/2017 | 10,81 | 19/02/2017      | 12,32        |
| 06/01/2017                                | 11,96 | 21/01/2017 | 11,71 | 05/02/2017 | 10,92 | 20/02/2017      | 14,67        |
| 07/01/2017                                | 11,70 | 22/01/2017 | 11,81 | 06/02/2017 | 10,30 | 21/02/2017      | 13,65        |
| 08/01/2017                                | 10,78 | 23/01/2017 | 10,21 | 07/02/2017 | 10,87 | 22/02/2017      | 12,77        |
| 09/01/2017                                | 11,79 | 24/01/2017 | 10,14 | 08/02/2017 | 11,12 | 23/02/2017      | 13,81        |
| 10/01/2017                                | 11,80 | 25/01/2017 | 10,68 | 09/02/2017 | 8,74  | 24/02/2017      | 12,75        |
| 11/01/2017                                | 10,81 | 26/01/2017 | 10,76 | 10/02/2017 | 10,30 | 25/02/2017      | 13,97        |
| 12/01/2017                                | 11,98 | 27/01/2017 | 11,18 | 11/02/2017 | 9,76  | 26/02/2017      | 13,37        |
| 13/01/2017                                | 11,49 | 28/01/2017 | 10,97 | 12/02/2017 | 10,54 | 27/02/2017      | 11,74        |
| 14/01/2017                                | 11,86 | 29/01/2017 | 10,36 | 13/02/2017 | 10,46 | 28/02/2017      | 13,19        |
| 15/01/2017                                | 11,55 | 30/01/2017 | 10,82 | 14/02/2017 | 10,31 | <b>Promedio</b> | <b>11,12</b> |

Fuente; Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 3: Δ Temperatura entrada-salida en °C



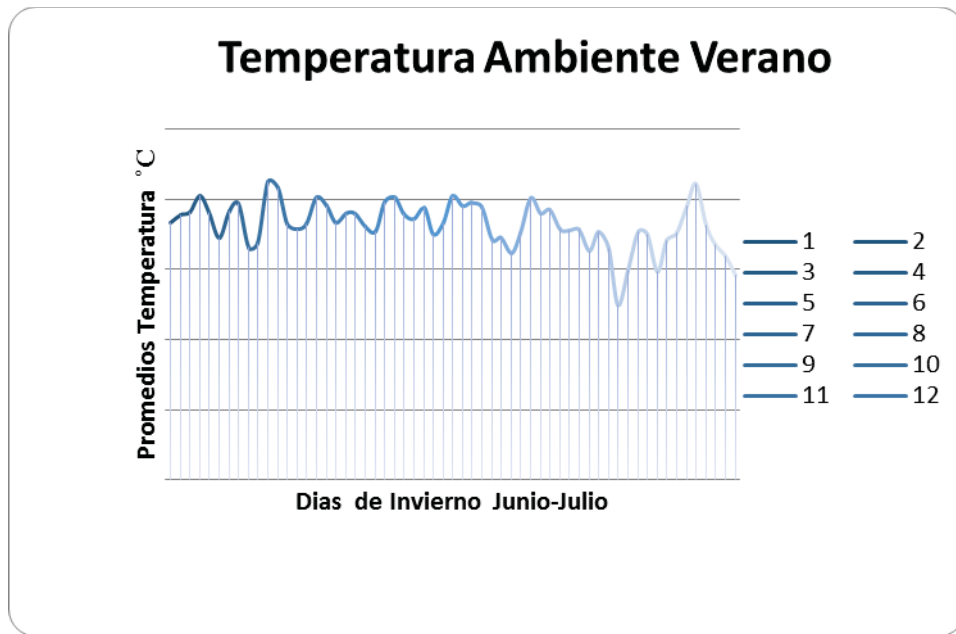
Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 3:  $\Delta$  Temperatura entrada-salida en °C

| DATOS TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO EN °C |       |            |       |            |       |                 |             |
|-----------------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------|-------------|
| Fecha                                   | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha           | T° °C       |
| 01/01/2017                              | 18,3  | 16/01/2017 | 20,1  | 31/01/2017 | 19,5  | 15/02/2017      | 16,5        |
| 02/01/2017                              | 18,9  | 17/01/2017 | 19,5  | 01/02/2017 | 19,8  | 16/02/2017      | 12,4        |
| 03/01/2017                              | 19,1  | 18/01/2017 | 18,4  | 02/02/2017 | 19,5  | 17/02/2017      | 14,9        |
| 04/01/2017                              | 20,3  | 19/01/2017 | 19,0  | 03/02/2017 | 17,1  | 18/02/2017      | 17,7        |
| 05/01/2017                              | 19,1  | 20/01/2017 | 19,0  | 04/02/2017 | 17,3  | 19/02/2017      | 17,5        |
| 06/01/2017                              | 17,2  | 21/01/2017 | 18,1  | 05/02/2017 | 16,2  | 20/02/2017      | 14,8        |
| 07/01/2017                              | 19,2  | 22/01/2017 | 17,7  | 06/02/2017 | 17,6  | 21/02/2017      | 17,0        |
| 08/01/2017                              | 19,7  | 23/01/2017 | 19,8  | 07/02/2017 | 20,1  | 22/02/2017      | 17,6        |
| 09/01/2017                              | 16,6  | 24/01/2017 | 20,2  | 08/02/2017 | 19,0  | 23/02/2017      | 19,5        |
| 10/01/2017                              | 16,9  | 25/01/2017 | 18,9  | 09/02/2017 | 19,3  | 24/02/2017      | 21,1        |
| 11/01/2017                              | 21,2  | 26/01/2017 | 18,6  | 10/02/2017 | 17,9  | 25/02/2017      | 18,2        |
| 12/01/2017                              | 20,8  | 27/01/2017 | 19,4  | 11/02/2017 | 17,8  | 26/02/2017      | 16,8        |
| 13/01/2017                              | 18,2  | 28/01/2017 | 17,5  | 12/02/2017 | 17,8  | 27/02/2017      | 16,0        |
| 14/01/2017                              | 17,8  | 29/01/2017 | 18,4  | 13/02/2017 | 16,3  | 28/02/2017      | 14,6        |
| 15/01/2017                              | 18,2  | 30/01/2017 | 20,2  | 14/02/2017 | 17,7  | <b>Promedio</b> | <b>18,8</b> |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 4: Datos temperatura de bulbo húmedo en °C



Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

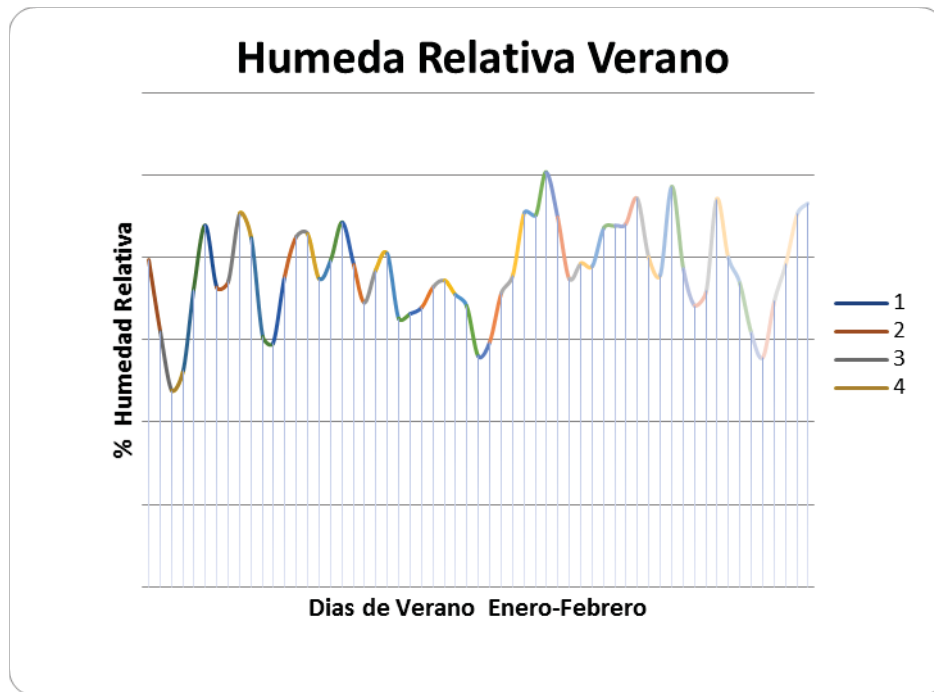
Grafico 4: Temperatura ambiente verano



| DATOS HUMEDAD RELATIVA EN % |    |            |    |            |     |                 |             |
|-----------------------------|----|------------|----|------------|-----|-----------------|-------------|
| Fecha                       | %  | Fecha      | %  | Fecha      | %   | Fecha           | %           |
| 01/01/2017                  | 79 | 16/01/2017 | 75 | 31/01/2017 | 59  | 15/02/2017      | 76          |
| 02/01/2017                  | 62 | 17/01/2017 | 79 | 01/02/2017 | 71  | 16/02/2017      | 97          |
| 03/01/2017                  | 48 | 18/01/2017 | 89 | 02/02/2017 | 76  | 17/02/2017      | 77          |
| 04/01/2017                  | 52 | 19/01/2017 | 78 | 03/02/2017 | 91  | 18/02/2017      | 68          |
| 05/01/2017                  | 72 | 20/01/2017 | 69 | 04/02/2017 | 90  | 19/02/2017      | 72          |
| 06/01/2017                  | 88 | 21/01/2017 | 77 | 05/02/2017 | 101 | 20/02/2017      | 94          |
| 07/01/2017                  | 73 | 22/01/2017 | 81 | 06/02/2017 | 90  | 21/02/2017      | 80          |
| 08/01/2017                  | 74 | 23/01/2017 | 65 | 07/02/2017 | 75  | 22/02/2017      | 74          |
| 09/01/2017                  | 91 | 24/01/2017 | 66 | 08/02/2017 | 79  | 23/02/2017      | 62          |
| 10/01/2017                  | 85 | 25/01/2017 | 68 | 09/02/2017 | 78  | 24/02/2017      | 56          |
| 11/01/2017                  | 61 | 26/01/2017 | 73 | 10/02/2017 | 87  | 25/02/2017      | 69          |
| 12/01/2017                  | 59 | 27/01/2017 | 74 | 11/02/2017 | 88  | 26/02/2017      | 79          |
| 13/01/2017                  | 75 | 28/01/2017 | 71 | 12/02/2017 | 88  | 27/02/2017      | 91          |
| 14/01/2017                  | 85 | 29/01/2017 | 68 | 13/02/2017 | 94  | 28/02/2017      | 93          |
| 15/01/2017                  | 86 | 30/01/2017 | 56 | 14/02/2017 | 80  | <b>Promedio</b> | <b>72,6</b> |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 5: Datos humedad relativa en %



Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

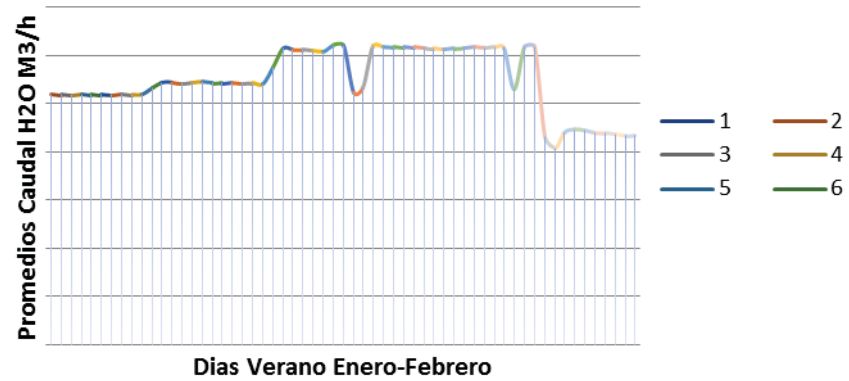
Grafico 5: Humedad relativa verano

| DATOS CAUDAL RECIRCULACION EN M3/h |         |            |         |            |         |                 |                |
|------------------------------------|---------|------------|---------|------------|---------|-----------------|----------------|
| Fecha                              | M3/h    | Fecha      | M3/h    | Fecha      | M3/h    | Fecha           | M3/h           |
| 01/01/2017                         | 5209,63 | 16/01/2017 | 5450,47 | 31/01/2017 | 5228,73 | 15/02/2017      | 6166,97        |
| 02/01/2017                         | 5201,99 | 17/01/2017 | 5423,07 | 01/02/2017 | 5332,22 | 16/02/2017      | 5304,73        |
| 03/01/2017                         | 5196,25 | 18/01/2017 | 5437,62 | 02/02/2017 | 6200,98 | 17/02/2017      | 6174,24        |
| 04/01/2017                         | 5206,35 | 19/01/2017 | 5444,00 | 03/02/2017 | 6193,26 | 18/02/2017      | 6171,14        |
| 05/01/2017                         | 5194,93 | 20/01/2017 | 5442,23 | 04/02/2017 | 6191,13 | 19/02/2017      | 4324,88        |
| 06/01/2017                         | 5190,63 | 21/01/2017 | 5441,82 | 05/02/2017 | 6180,69 | 20/02/2017      | 4089,38        |
| 07/01/2017                         | 5188,52 | 22/01/2017 | 5422,72 | 06/02/2017 | 6170,24 | 21/02/2017      | 4406,48        |
| 08/01/2017                         | 5194,01 | 23/01/2017 | 5765,07 | 07/02/2017 | 6163,95 | 22/02/2017      | 4461,38        |
| 09/01/2017                         | 5184,92 | 24/01/2017 | 6157,01 | 08/02/2017 | 6162,35 | 23/02/2017      | 4437,53        |
| 10/01/2017                         | 5189,08 | 25/01/2017 | 6136,91 | 09/02/2017 | 6160,55 | 24/02/2017      | 4389,75        |
| 11/01/2017                         | 5328,21 | 26/01/2017 | 6133,80 | 10/02/2017 | 6163,90 | 25/02/2017      | 4383,89        |
| 12/01/2017                         | 5433,60 | 27/01/2017 | 6098,33 | 11/02/2017 | 6164,75 | 26/02/2017      | 4358,30        |
| 13/01/2017                         | 5442,88 | 28/01/2017 | 6082,67 | 12/02/2017 | 6169,72 | 27/02/2017      | 4345,92        |
| 14/01/2017                         | 5424,09 | 29/01/2017 | 6216,20 | 13/02/2017 | 6167,53 | 28/02/2017      | 4349,24        |
| 15/01/2017                         | 5444,21 | 30/01/2017 | 6197,94 | 14/02/2017 | 6178,62 | <b>Promedio</b> | <b>5492,74</b> |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 6: Datos caudal recirculación en M<sup>3</sup>/h

### Caudal Enfriamiento Verano



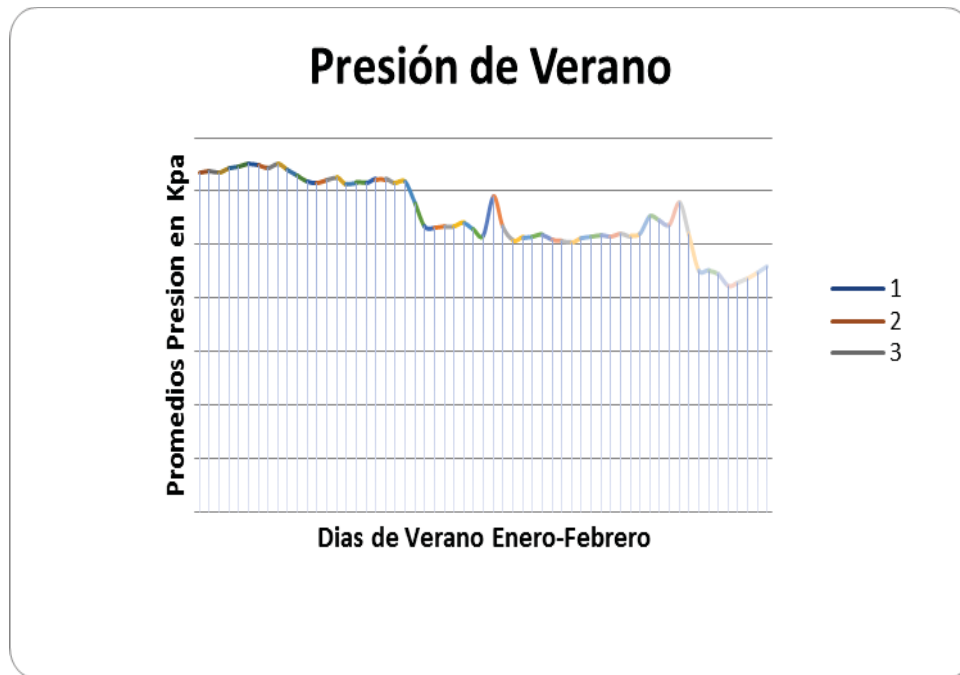
Fuente; Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 6: Caudal enfriamiento verano

| DATOS PRESION FUNCIONAMIENTO EN KPa. |       |            |       |            |       |                 |               |
|--------------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------|---------------|
| Fecha                                | KPa.  | Fecha      | KPa.  | Fecha      | KPa.  | Fecha           | KPa.          |
| 01/01/2017                           | 317,6 | 16/01/2017 | 306,5 | 31/01/2017 | 295,6 | 15/02/2017      | 260,0         |
| 02/01/2017                           | 319,1 | 17/01/2017 | 308,1 | 01/02/2017 | 266,7 | 16/02/2017      | 276,4         |
| 03/01/2017                           | 317,7 | 18/01/2017 | 308,0 | 02/02/2017 | 254,1 | 17/02/2017      | 272,3         |
| 04/01/2017                           | 322,0 | 19/01/2017 | 311,3 | 03/02/2017 | 257,4 | 18/02/2017      | 268,3         |
| 05/01/2017                           | 323,1 | 20/01/2017 | 311,3 | 04/02/2017 | 257,9 | 19/02/2017      | 289,5         |
| 06/01/2017                           | 325,4 | 21/01/2017 | 307,6 | 05/02/2017 | 259,6 | 20/02/2017      | 259,7         |
| 07/01/2017                           | 323,6 | 22/01/2017 | 309,2 | 06/02/2017 | 254,4 | 21/02/2017      | 225,6         |
| 08/01/2017                           | 321,9 | 23/01/2017 | 288,0 | 07/02/2017 | 253,7 | 22/02/2017      | 226,2         |
| 09/01/2017                           | 325,8 | 24/01/2017 | 266,9 | 08/02/2017 | 252,6 | 23/02/2017      | 222,2         |
| 10/01/2017                           | 320,6 | 25/01/2017 | 265,6 | 09/02/2017 | 256,2 | 24/02/2017      | 211,2         |
| 11/01/2017                           | 314,5 | 26/01/2017 | 267,0 | 10/02/2017 | 257,7 | 25/02/2017      | 214,4         |
| 12/01/2017                           | 309,1 | 27/01/2017 | 267,1 | 11/02/2017 | 259,2 | 26/02/2017      | 218,8         |
| 13/01/2017                           | 308,2 | 28/01/2017 | 270,6 | 12/02/2017 | 258,1 | 27/02/2017      | 224,7         |
| 14/01/2017                           | 310,9 | 29/01/2017 | 264,1 | 13/02/2017 | 260,5 | 28/02/2017      | 229,6         |
| 15/01/2017                           | 312,7 | 30/01/2017 | 258,8 | 14/02/2017 | 258,2 | <b>Promedio</b> | <b>277,68</b> |

Fuente; Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 7: Datos presión funcionamiento en KPa



Fuente; Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 7: Presión de verano

| Ventiladores | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | Promedio |
|--------------|------|------|------|------|------|------|----------|
| Potencia KW  | 35,4 | 13,3 | 39,0 | 37,9 | 38,1 | 37,7 | 33,6     |
| Potencia HP  | 47,8 | 18,0 | 52,7 | 51,2 | 51,5 | 50,9 | 45,4     |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: Datos obtenidos de PHD Potencia en verano

| DATOS CONDUCTIVIDAD FUNCIONAMIENTO EN [microsimens/cm] |       |            |       |            |       |                 |             |
|--------------------------------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------|-------------|
| Fecha                                                  | ms/cm | Fecha      | ms/cm | Fecha      | ms/cm | Fecha           | ms/cm       |
| 01/01/2017                                             | 1257  | 16/01/2007 | 1308  | 31/01/2017 | 1020  | 15/02/2017      | 1248        |
| 02/01/2017                                             | 1320  | 17/01/2007 | 1231  | 01/02/2017 | 751   | 16/02/2017      | 1159        |
| 03/01/2017                                             | 1234  | 18/01/2007 | 1254  | 02/02/2017 | 950   | 17/02/2017      | 1016        |
| 04/01/2017                                             | 1229  | 19/01/2007 | 1180  | 03/02/2017 | 1156  | 18/02/2017      | 1091        |
| 05/01/2017                                             | 866   | 20/01/2007 | 1383  | 04/02/2017 | 1296  | 19/02/2017      | 1145        |
| 06/01/2017                                             | 1033  | 21/01/2007 | 1331  | 05/02/2017 | 1350  | 20/02/2017      | 1171        |
| 07/01/2017                                             | 1197  | 22/01/2007 | 1077  | 06/02/2017 | 1317  | 21/02/2017      | 1241        |
| 08/01/2017                                             | 1338  | 23/01/2007 | 1238  | 07/02/2017 | 1244  | 22/02/2017      | 1311        |
| 09/01/2017                                             | 1421  | 24/01/2007 | 1354  | 08/02/2017 | 1308  | 23/02/2017      | 1379        |
| 10/01/2017                                             | 1307  | 25/01/2017 | 1274  | 09/02/2017 | 1127  | 24/02/2017      | 1305        |
| 11/01/2017                                             | 1131  | 26/01/2017 | 1341  | 10/02/2017 | 1158  | 25/02/2017      | 1345        |
| 12/01/2017                                             | 1311  | 27/01/2017 | 1242  | 11/02/2017 | 1125  | 26/02/2017      | 1121        |
| 13/01/2017                                             | 1341  | 28/01/2017 | 1312  | 12/02/2017 | 1149  | 27/02/2017      | 1043        |
| 14/01/2017                                             | 1201  | 29/01/2017 | 1421  | 13/02/2017 | 1185  | 28/02/2017      | 1127        |
| 15/01/2017                                             | 1353  | 30/01/2017 | 1319  | 14/02/2017 | 1198  | <b>Promedio</b> | <b>1218</b> |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 9: Datos conductividad funcionamiento en [microsimens/cm]



Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 8: Conductividad verano

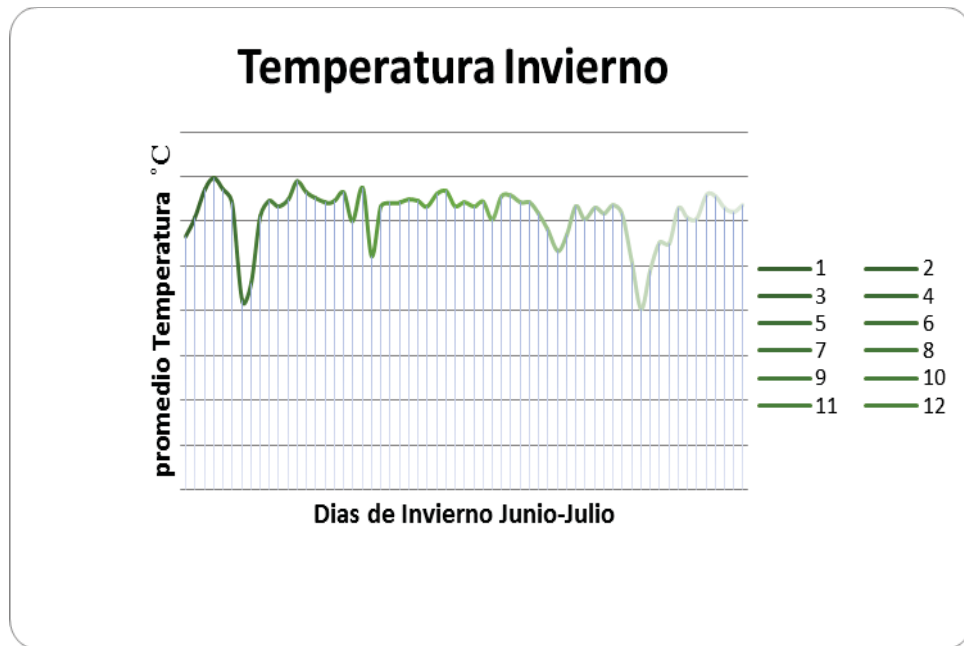
Datos invierno.



| DATOS TEMPERATURA DE ENTRADA EN °C |       |            |       |            |       |                 |              |
|------------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------|--------------|
| Fecha                              | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha           | T° °C        |
| 01/06/2017                         | 28,36 | 17/06/2017 | 32,23 | 03/07/2017 | 32,16 | 19/07/2017      | 25,30        |
| 02/06/2017                         | 30,36 | 18/06/2017 | 33,19 | 04/07/2017 | 30,17 | 20/07/2017      | 20,25        |
| 03/06/2017                         | 33,64 | 19/06/2017 | 30,04 | 05/07/2017 | 32,85 | 21/07/2017      | 24,46        |
| 04/06/2017                         | 34,82 | 20/06/2017 | 33,73 | 06/07/2017 | 32,94 | 22/07/2017      | 27,54        |
| 05/06/2017                         | 33,59 | 21/06/2017 | 26,13 | 07/07/2017 | 32,07 | 23/07/2017      | 27,47        |
| 06/06/2017                         | 32,16 | 22/06/2017 | 31,62 | 08/07/2017 | 32,10 | 24/07/2017      | 31,42        |
| 07/06/2017                         | 21,09 | 23/06/2017 | 32,11 | 09/07/2017 | 30,81 | 25/07/2017      | 30,44        |
| 08/06/2017                         | 23,03 | 24/06/2017 | 32,14 | 10/07/2017 | 29,07 | 26/07/2017      | 30,28        |
| 09/06/2017                         | 30,49 | 25/06/2017 | 32,45 | 11/07/2017 | 26,73 | 27/07/2017      | 32,95        |
| 10/06/2017                         | 32,31 | 26/06/2017 | 32,30 | 12/07/2017 | 28,46 | 28/07/2017      | 32,79        |
| 11/06/2017                         | 31,68 | 27/06/2017 | 31,67 | 13/07/2017 | 31,69 | 29/07/2017      | 31,47        |
| 12/06/2017                         | 32,47 | 28/06/2017 | 33,05 | 14/07/2017 | 30,19 | 30/07/2017      | 31,10        |
| 13/06/2017                         | 34,44 | 29/06/2017 | 33,34 | 15/07/2017 | 31,51 | 31/07/2017      | 31,87        |
| 14/06/2017                         | 33,24 | 30/06/2017 | 31,73 | 16/07/2017 | 30,92 | <b>Promedio</b> | <b>30,78</b> |
| 15/06/2017                         | 32,60 | 01/07/2017 | 32,13 | 17/07/2017 | 31,76 |                 |              |
| 16/06/2017                         | 32,06 | 02/07/2017 | 31,66 | 18/07/2017 | 30,84 |                 |              |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 10: Datos temperatura de entrada en °C



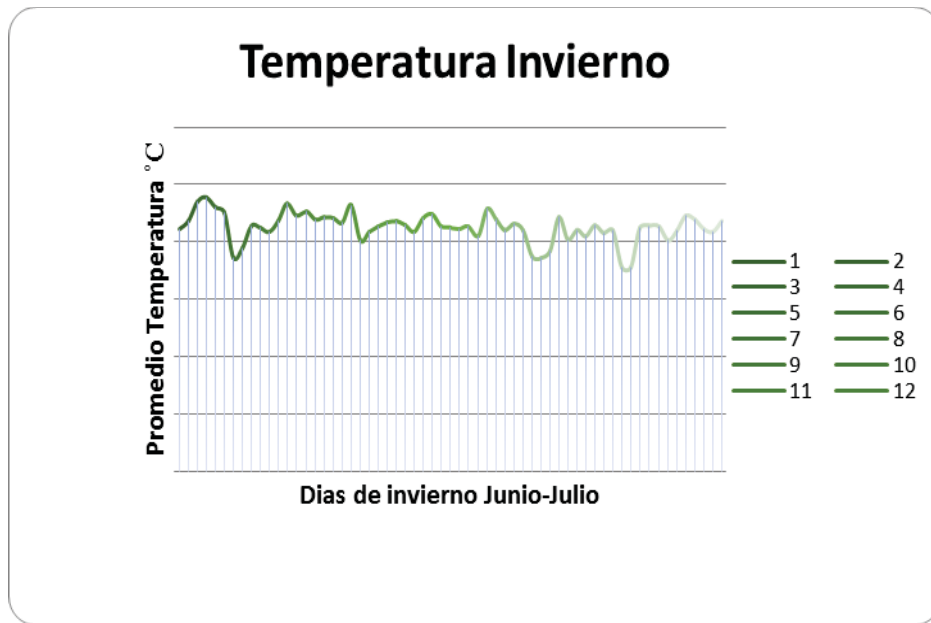
Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 9: Temperatura invierno

| DATOS TEMPERATURA DE SALIDA EN °C |       |            |       |            |       |                       |       |
|-----------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------------|-------|
| Fecha                             | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha                 | T° °C |
| 01/06/2017                        | 21,08 | 17/06/2017 | 22,16 | 03/07/2017 | 21,36 | 19/07/2017            | 21,03 |
| 02/06/2017                        | 21,82 | 18/06/2017 | 22,12 | 04/07/2017 | 20,48 | 20/07/2017            | 17,83 |
| 03/06/2017                        | 23,52 | 19/06/2017 | 21,68 | 05/07/2017 | 22,86 | 21/07/2017            | 17,82 |
| 04/06/2017                        | 23,92 | 20/06/2017 | 23,20 | 06/07/2017 | 21,97 | 22/07/2017            | 21,19 |
| 05/06/2017                        | 23,03 | 21/06/2017 | 20,12 | 07/07/2017 | 21,06 | 23/07/2017            | 21,42 |
| 06/06/2017                        | 22,59 | 22/06/2017 | 20,82 | 08/07/2017 | 21,56 | 24/07/2017            | 21,38 |
| 07/06/2017                        | 18,68 | 23/06/2017 | 21,33 | 09/07/2017 | 21,05 | 25/07/2017            | 20,15 |
| 08/06/2017                        | 19,49 | 24/06/2017 | 21,67 | 10/07/2017 | 18,73 | 26/07/2017            | 21,02 |
| 09/06/2017                        | 21,42 | 25/06/2017 | 21,80 | 11/07/2017 | 18,58 | 27/07/2017            | 22,31 |
| 10/06/2017                        | 21,25 | 26/06/2017 | 21,42 | 12/07/2017 | 19,19 | 28/07/2017            | 21,90 |
| 11/06/2017                        | 20,91 | 27/06/2017 | 20,92 | 13/07/2017 | 22,15 | 29/07/2017            | 21,10 |
| 12/06/2017                        | 21,84 | 28/06/2017 | 22,11 | 14/07/2017 | 20,19 | 30/07/2017            | 20,88 |
| 13/06/2017                        | 23,36 | 29/06/2017 | 22,42 | 15/07/2017 | 21,03 | 31/07/2017            | 21,81 |
| 14/06/2017                        | 22,31 | 17/06/2017 | 21,38 | 16/07/2017 | 20,47 | <b>Promedio 21,28</b> |       |
| 15/06/2017                        | 22,67 | 18/06/2017 | 21,27 | 17/07/2017 | 21,42 |                       |       |
| 16/06/2017                        | 21,96 | 19/06/2017 | 21,11 | 18/07/2017 | 20,79 |                       |       |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 11: Datos temperatura de salida en °C



Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 10: Temperatura invierno

| <b>Δ TEMPERATURA ENTRADA-SALIDA EN °C</b> |       |            |       |            |       |                 |             |
|-------------------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------|-------------|
| Fecha                                     | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha           | T° °C       |
| 01/06/2017                                | 7,28  | 17/06/2017 | 10,07 | 03/07/2017 | 10,80 | 19/07/2017      | 4,27        |
| 02/06/2017                                | 8,54  | 18/06/2017 | 11,07 | 04/07/2017 | 9,69  | 20/07/2017      | 2,42        |
| 03/06/2017                                | 10,12 | 19/06/2017 | 8,36  | 05/07/2017 | 9,99  | 21/07/2017      | 6,65        |
| 04/06/2017                                | 10,89 | 20/06/2017 | 10,53 | 06/07/2017 | 10,97 | 22/07/2017      | 6,36        |
| 05/06/2017                                | 10,56 | 21/06/2017 | 6,01  | 07/07/2017 | 11,01 | 23/07/2017      | 6,05        |
| 06/06/2017                                | 9,57  | 22/06/2017 | 10,79 | 08/07/2017 | 10,54 | 24/07/2017      | 10,05       |
| 07/06/2017                                | 2,41  | 23/06/2017 | 10,78 | 09/07/2017 | 9,76  | 25/07/2017      | 10,28       |
| 08/06/2017                                | 3,54  | 24/06/2017 | 10,48 | 10/07/2017 | 10,33 | 26/07/2017      | 9,26        |
| 09/06/2017                                | 9,08  | 25/06/2017 | 10,65 | 11/07/2017 | 8,15  | 27/07/2017      | 10,64       |
| 10/06/2017                                | 11,05 | 26/06/2017 | 10,88 | 12/07/2017 | 9,27  | 28/07/2017      | 10,89       |
| 11/06/2017                                | 10,76 | 27/06/2017 | 10,76 | 13/07/2017 | 9,54  | 29/07/2017      | 10,37       |
| 12/06/2017                                | 10,63 | 28/06/2017 | 10,93 | 14/07/2017 | 10,00 | 30/07/2017      | 10,23       |
| 13/06/2017                                | 11,08 | 29/06/2017 | 10,91 | 15/07/2017 | 10,48 | 31/07/2017      | 10,06       |
| 14/06/2017                                | 10,93 | 17/06/2017 | 10,35 | 16/07/2017 | 10,45 | <b>Promedio</b> | <b>9,50</b> |
| 15/06/2017                                | 9,93  | 18/06/2017 | 10,86 | 17/07/2017 | 10,34 |                 |             |
| 16/06/2017                                | 10,10 | 19/06/2017 | 10,56 | 18/07/2017 | 10,05 |                 |             |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 12: Δ Tempe °C

### $\Delta$ Temperatura Entrada-Salida



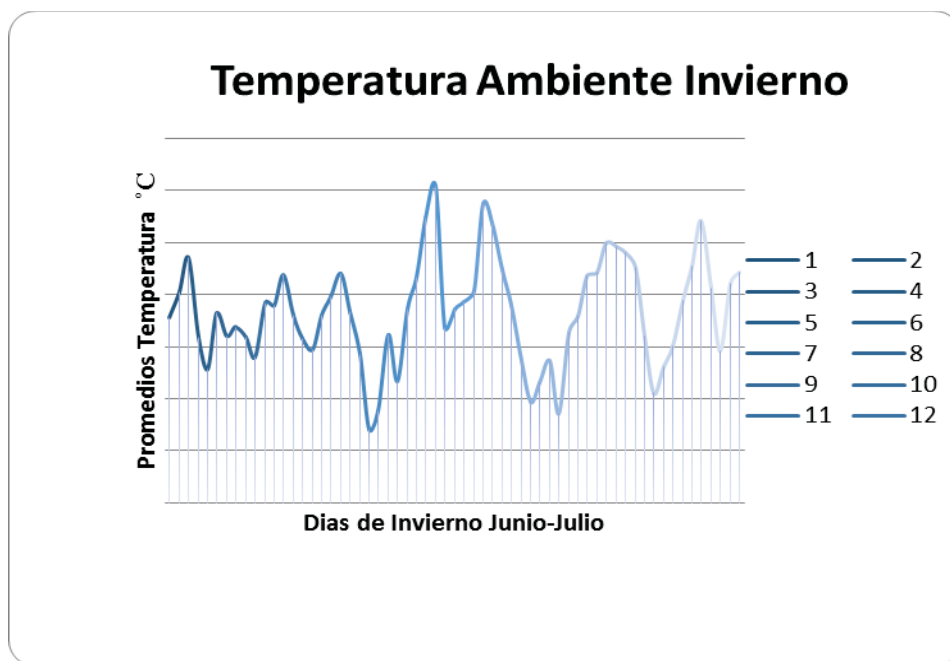
Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 11:  $\Delta$  Temperatura entrada-salida

| DATOS TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO EN °C |       |            |       |            |       |                 |            |
|-----------------------------------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------|------------|
| Fecha                                   | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha      | T° °C | Fecha           | T° °C      |
| 01/06/2017                              | 7,1   | 17/06/2017 | 7,2   | 03/07/2017 | 8,2   | 19/07/2017      | 9,6        |
| 02/06/2017                              | 8,1   | 18/06/2017 | 7,9   | 04/07/2017 | 11,5  | 20/07/2017      | 9,0        |
| 03/06/2017                              | 9,4   | 19/06/2017 | 8,8   | 05/07/2017 | 10,7  | 21/07/2017      | 6,4        |
| 04/06/2017                              | 6,3   | 20/06/2017 | 7,3   | 06/07/2017 | 8,9   | 22/07/2017      | 4,2        |
| 05/06/2017                              | 5,1   | 21/06/2017 | 5,7   | 07/07/2017 | 7,6   | 23/07/2017      | 5,2        |
| 06/06/2017                              | 7,3   | 22/06/2017 | 2,8   | 08/07/2017 | 5,5   | 24/07/2017      | 6,0        |
| 07/06/2017                              | 6,4   | 23/06/2017 | 3,5   | 09/07/2017 | 3,9   | 25/07/2017      | 7,8        |
| 08/06/2017                              | 6,8   | 24/06/2017 | 6,4   | 10/07/2017 | 4,6   | 26/07/2017      | 9,1        |
| 09/06/2017                              | 6,4   | 25/06/2017 | 4,7   | 11/07/2017 | 5,4   | 27/07/2017      | 10,8       |
| 10/06/2017                              | 5,6   | 26/06/2017 | 7,4   | 12/07/2017 | 3,4   | 28/07/2017      | 8,2        |
| 11/06/2017                              | 7,7   | 27/06/2017 | 8,7   | 13/07/2017 | 6,5   | 29/07/2017      | 5,8        |
| 12/06/2017                              | 7,6   | 28/06/2017 | 10,9  | 14/07/2017 | 7,2   | 30/07/2017      | 8,4        |
| 13/06/2017                              | 8,7   | 29/06/2017 | 12,1  | 15/07/2017 | 8,7   | 31/07/2017      | 8,9        |
| 14/06/2017                              | 7,2   | 17/06/2017 | 6,8   | 16/07/2017 | 8,9   | <b>Promedio</b> | <b>7.0</b> |
| 15/06/2017                              | 6,3   | 18/06/2017 | 7,4   | 17/07/2017 | 10,0  |                 |            |
| 16/06/2017                              | 5,9   | 19/06/2017 | 7,7   | 18/07/2017 | 9,9   |                 |            |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 13: Datos temperatura de bulbo húmedo en °C



Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

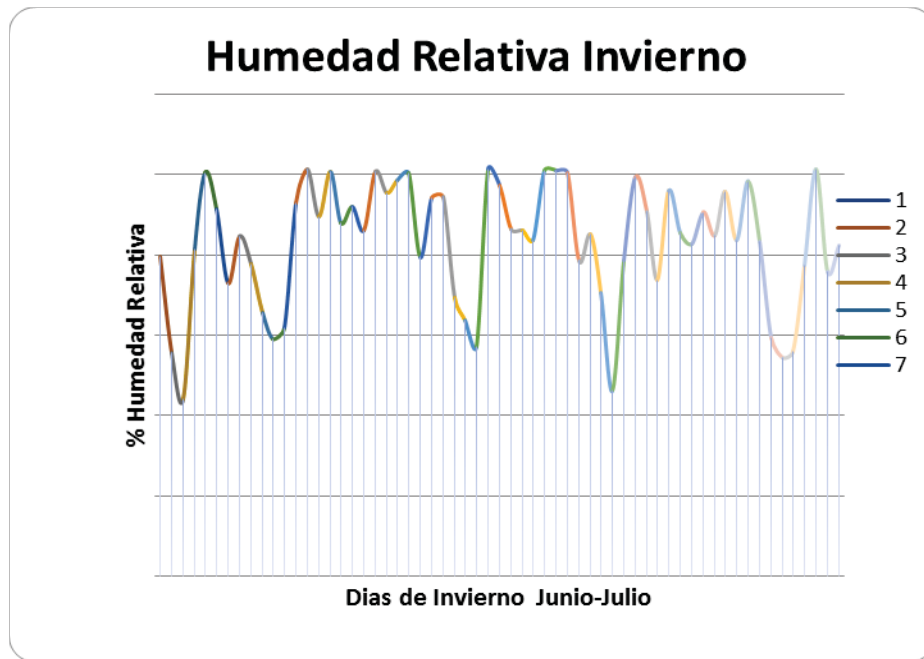
Grafico 12: Temperatura ambiente invierno



| DATOS HUMEDAD RELATIVA EN % |     |            |     |            |     |                 |              |
|-----------------------------|-----|------------|-----|------------|-----|-----------------|--------------|
| Fecha                       | %   | Fecha      | %   | Fecha      | %   | Fecha           | %            |
| 01/06/2017                  | 79  | 17/06/2017 | 88  | 03/07/2017 | 86  | 19/07/2017      | 91           |
| 02/06/2017                  | 56  | 18/06/2017 | 92  | 04/07/2017 | 84  | 20/07/2017      | 85           |
| 03/06/2017                  | 44  | 19/06/2017 | 86  | 05/07/2017 | 101 | 21/07/2017      | 96           |
| 04/06/2017                  | 81  | 20/06/2017 | 101 | 06/07/2017 | 101 | 22/07/2017      | 84           |
| 05/06/2017                  | 100 | 21/06/2017 | 95  | 07/07/2017 | 100 | 23/07/2017      | 98           |
| 06/06/2017                  | 91  | 22/06/2017 | 99  | 08/07/2017 | 78  | 24/07/2017      | 83           |
| 07/06/2017                  | 73  | 23/06/2017 | 100 | 09/07/2017 | 85  | 25/07/2017      | 59           |
| 08/06/2017                  | 85  | 24/06/2017 | 79  | 10/07/2017 | 71  | 26/07/2017      | 54           |
| 09/06/2017                  | 78  | 25/06/2017 | 94  | 11/07/2017 | 46  | 27/07/2017      | 56           |
| 10/06/2017                  | 66  | 26/06/2017 | 94  | 12/07/2017 | 78  | 28/07/2017      | 77           |
| 11/06/2017                  | 59  | 27/06/2017 | 69  | 13/07/2017 | 99  | 29/07/2017      | 101          |
| 12/06/2017                  | 62  | 28/06/2017 | 64  | 14/07/2017 | 91  | 30/07/2017      | 76           |
| 13/06/2017                  | 93  | 29/06/2017 | 57  | 15/07/2017 | 74  | 31/07/2017      | 82           |
| 14/06/2017                  | 101 | 17/06/2017 | 101 | 16/07/2017 | 96  | <b>Promedio</b> | <b>83.02</b> |
| 15/06/2017                  | 90  | 18/06/2017 | 97  | 17/07/2017 | 85  |                 |              |
| 16/06/2017                  | 101 | 19/06/2017 | 86  | 18/07/2017 | 83  |                 |              |
|                             |     |            |     |            |     |                 |              |

Fuente; Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 14: Datos humedad relativa en %



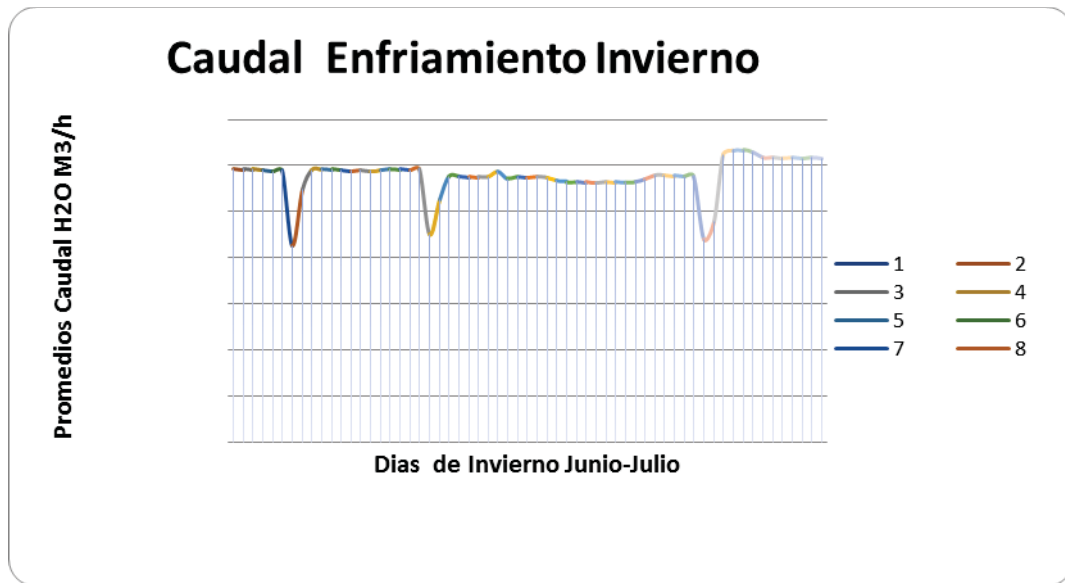
Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 13: Humedad relativa invierno

| DATOS QAUDAL RECIRCULACION EN M3/h |         |            |         |            |         |                 |                |
|------------------------------------|---------|------------|---------|------------|---------|-----------------|----------------|
| Fecha                              | M3/h    | Fecha      | M3/h    | Fecha      | M3/h    | Fecha           | M3/h           |
| 01/06/2017                         | 5922,49 | 17/06/2017 | 5919,28 | 03/07/2017 | 5746,04 | 19/07/2017      | 4390,12        |
| 02/06/2017                         | 5919,86 | 18/06/2017 | 5917,01 | 04/07/2017 | 5667,32 | 20/07/2017      | 4778,87        |
| 03/06/2017                         | 5916,33 | 19/06/2017 | 5901,03 | 05/07/2017 | 5657,06 | 21/07/2017      | 6247,25        |
| 04/06/2017                         | 5903,86 | 20/06/2017 | 5920,75 | 06/07/2017 | 5657,94 | 22/07/2017      | 6344,17        |
| 05/06/2017                         | 5883,81 | 21/06/2017 | 4522,21 | 07/07/2017 | 5642,08 | 23/07/2017      | 6345,77        |
| 06/06/2017                         | 5893,02 | 22/06/2017 | 5253,55 | 08/07/2017 | 5635,94 | 24/07/2017      | 6297,82        |
| 07/06/2017                         | 4266,06 | 23/06/2017 | 5768,12 | 09/07/2017 | 5642,71 | 25/07/2017      | 6169,76        |
| 08/06/2017                         | 5485,42 | 24/06/2017 | 5775,11 | 10/07/2017 | 5642,07 | 26/07/2017      | 6177,46        |
| 09/06/2017                         | 5915,90 | 25/06/2017 | 5770,36 | 11/07/2017 | 5641,21 | 27/07/2017      | 6167,44        |
| 10/06/2017                         | 5926,24 | 26/06/2017 | 5754,67 | 12/07/2017 | 5647,75 | 28/07/2017      | 6169,22        |
| 11/06/2017                         | 5920,14 | 27/06/2017 | 5753,71 | 13/07/2017 | 5698,11 | 29/07/2017      | 6156,42        |
| 12/06/2017                         | 5910,27 | 28/06/2017 | 5875,03 | 14/07/2017 | 5792,51 | 30/07/2017      | 6170,48        |
| 13/06/2017                         | 5903,34 | 29/06/2017 | 5715,77 | 15/07/2017 | 5792,91 | 31/07/2017      | 6165,14        |
| 14/06/2017                         | 5905,36 | 17/06/2017 | 5751,22 | 16/07/2017 | 5781,27 | <b>Promedio</b> | <b>5776,19</b> |
| 15/06/2017                         | 5899,39 | 18/06/2017 | 5748,07 | 17/07/2017 | 5776,01 |                 |                |
| 16/06/2017                         | 5904,31 | 19/06/2017 | 5757,74 | 18/07/2017 | 5767,26 |                 |                |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 15: Datos caudal recirculación en M<sup>3</sup>/h



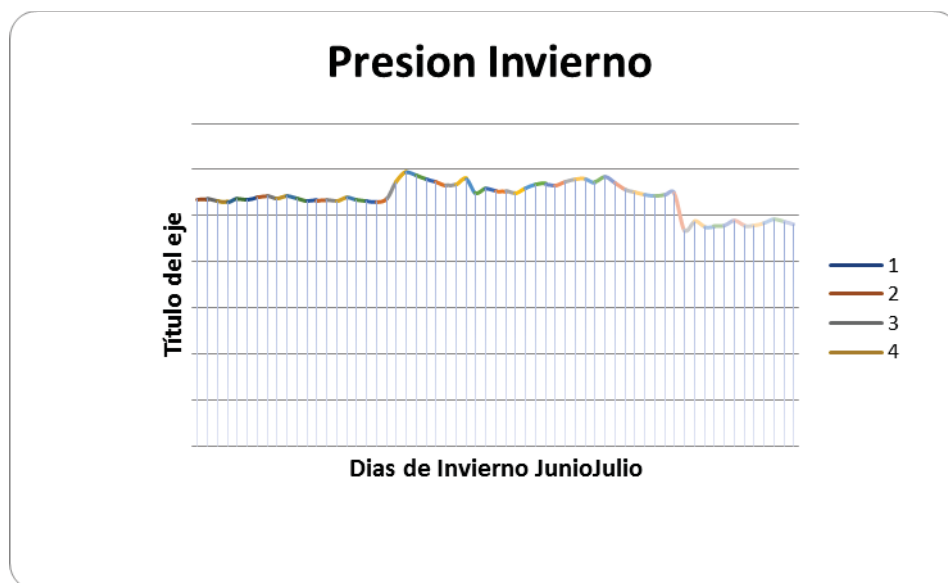
Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 14: Caudal enfriamiento invierno

| DATOS PRESION FUNCIONAMIENTO EN KPa. |      |            |      |            |      |                 |            |
|--------------------------------------|------|------------|------|------------|------|-----------------|------------|
| Fecha                                | KPa. | Fecha      | KPa. | Fecha      | KPa. | Fecha           | KPa.       |
| 01/06/2017                           | 269  | 17/06/2017 | 267  | 03/07/2017 | 275  | 19/07/2017      | 274        |
| 02/06/2017                           | 268  | 18/06/2017 | 266  | 04/07/2017 | 280  | 20/07/2017      | 235        |
| 03/06/2017                           | 265  | 19/06/2017 | 265  | 05/07/2017 | 284  | 21/07/2017      | 244        |
| 04/06/2017                           | 265  | 20/06/2017 | 269  | 06/07/2017 | 285  | 22/07/2017      | 238        |
| 05/06/2017                           | 269  | 21/06/2017 | 287  | 07/07/2017 | 283  | 23/07/2017      | 239        |
| 06/06/2017                           | 268  | 22/06/2017 | 297  | 08/07/2017 | 287  | 24/07/2017      | 239        |
| 07/06/2017                           | 269  | 23/06/2017 | 294  | 09/07/2017 | 290  | 25/07/2017      | 245        |
| 08/06/2017                           | 272  | 24/06/2017 | 289  | 10/07/2017 | 290  | 26/07/2017      | 240        |
| 09/06/2017                           | 269  | 25/06/2017 | 287  | 11/07/2017 | 286  | 27/07/2017      | 240        |
| 10/06/2017                           | 271  | 26/06/2017 | 283  | 12/07/2017 | 292  | 28/07/2017      | 242        |
| 11/06/2017                           | 268  | 27/06/2017 | 284  | 13/07/2017 | 286  | 29/07/2017      | 247        |
| 12/06/2017                           | 266  | 28/06/2017 | 290  | 14/07/2017 | 278  | 30/07/2017      | 243        |
| 13/06/2017                           | 267  | 29/06/2017 | 275  | 15/07/2017 | 276  | 31/07/2017      | 240        |
| 14/06/2017                           | 267  | 17/06/2017 | 279  | 16/07/2017 | 273  | <b>Promedio</b> | <b>270</b> |
| 15/06/2017                           | 266  | 18/06/2017 | 277  | 17/07/2017 | 271  |                 |            |
| 16/06/2017                           | 270  | 19/06/2017 | 277  | 18/07/2017 | 272  |                 |            |

Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Tabla 16: Datos presión funcionamiento en KPa.



Fuente: Elaboración Propia, (datos obtenidos de PHD)

Grafico 15: Presión invierno

| Ventiladores | 1    | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    | Promedio |
|--------------|------|------|-----|------|------|------|----------|
| Potencia KW  | 34,6 | 36,4 | 0,1 | 31,2 | 24,4 | 34,6 | 26,9     |
| Potencia HP  | 46,7 | 49,2 | 0,1 | 42,1 | 33,0 | 46,7 | 36,3     |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17: Datos obtenidos de PHD

**ANEXO 2 PROPUESTA DE MANTENIMIENTO**

**PROPUESTA Nª 733 CHAGRES/MP:**  
**“MANTENIMIENTO TORRE DE ENFRIAMIENTO”**



SYSTEMA LTDA.

SERVICIOS Y SUMINISTROS TORRES DE ENFRIAMIENTO Y MEDIO  
AMBIENTE

## **INTRODUCCION**

### **CARTA DE PRESENTACION**

### **PROPUESTA TECNICA PARA MANTENCION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO**

Mantenición Preventiva

Mantenición Correctiva

### **MANTENCION PREVENTIVA PROPUESTA POR SYSTEMA LTDA.**

PROCEDIMIENTO LIMPIEZA DE PISCINA DE HORMIGÓN.

PROCEDIMIENTO LIMPIEZA DE PANELES DE RELLENOS Y CORTAGOTAS

SEGURIDAD

### **ALCANCES Y CONSIDERACIONES**

Evaluación de condiciones de operación de las torres de enfriamiento.

### **MANTENCION CORRECTIVA PROPUESTA POR SYSTEMA LTDA.**

**CERTIFICADO DE INSPECCION Y CUMPLIMIENTO DE NUESTRAS  
MATERIAS PRIMAS POCEDENTES DE USA**

**EXPERIENCIA DE SYSTEMA LTDA. EN EL AREA DE TORRES DE  
ENFRIAMIENTO.**

**CLIENTES ATENDIDOS POR SYSTEMA LTDA.**

**FICHAS TECNICAS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS OFRECIDOS POR  
SYSTEMA LTDA.**



## **INTRODUCCIÓN**

El presente documento tiene por objeto presentar nuestra propuesta de mantención preventiva y correctiva para la torre de enfriamiento de la Fundación Chagres.

Nuestra amplia experiencia en torres de enfriamiento, nos permite entregar un servicio de calidad y la adecuada capacidad técnica para solucionar problemas relacionados con la operación de estos equipos.

Es por esto que la presente propuesta no sólo entrega información técnica referente al servicio que ofrecemos, sino que también describe procedimientos utilizados en la ejecución de rutinas de mantención. De esta manera se puede evaluar y comparar nuestro servicio ofrecido con otros de la competencia.

**Las torres de enfriamiento constan de varios componentes, de los cuales lejos el más importante es el relleno. El cual otorga mayor superficie de contacto entre agua y aire y aumenta los tiempos de residencia del agua para favorecer el intercambio térmico, sin entorpecer el paso del aire a través del medio <sup>1</sup>.**

**La incidencia de este componente en estos equipos llega a ser hasta de un 70%.**

***Lo cual deja claro que la mantención de una torre de enfriamiento no puede estar exenta del lavado o el reemplazo de estos una vez terminada su vida útil.***

## **CARTA DE PRESENTACION**

SYSTEMA Ltda., es una empresa dedicada a entregar servicios y suministros en el área de torres de enfriamiento.

Entre sus servicios se encuentran: Limpieza, mantención y recambio de paneles y suministros varios para los equipos de enfriamiento, tales como torres de enfriamiento evaporativas, condensadores evaporativos y otros.

También fabricamos rellenos evaporativos laminares y eliminadores de gotas en material PVC auto extingible en las dimensiones requeridas para cada cliente según sus necesidades.

Nuestros materiales provenientes de USA, son de excelente calidad y cuentan con el respaldo y certificación del "Cooling Technology Institute".

Systema Ltda., cuenta con profesionales y técnicos altamente capacitados en sus áreas de ejecución y con amplia experiencia en el tema, los cuales han sido pioneros en Chile, tanto en servicios, como en la fabricación de suministros para torres de enfriamiento.

A diferencia de nuestra competencia, Systema Ltda. entrega un servicio de postventa durante toda la vida útil de sus productos y garantía extendida.

En caso de requerir una consulta o inspección en su planta, la realizamos sin costo alguno para nuestros clientes, de tal manera de asesorarlos de la mejor manera posible en la solución de sus problemas.

Atte.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be a stylized name, possibly "R. Silva", written over a light blue horizontal line.

**TIBOR RIMLER E.**

**PROYECTOS Y VENTAS**

**SYSTEMA LTDA.**

**ALCANCES Y CONSIDERACIONES**

**El procedimiento de limpieza descrito brevemente en esta propuesta, es solo aplicable para rellenos de cualquier material cuya configuración sea en panel, paquete, pack o splash tipo barra y grilla.**

**Esto deja afuera el relleno laminar de hojas o laminas sueltas.**

**Por condiciones de seguridad, el lavado de láminas sueltas en torres de grandes dimensiones es evitado, ya que se generan situaciones de alto riesgo al retirar e instalar dichas láminas.**

**Otro factor importante es el tiempo necesario para las faenas, el cual es duplicado o triplicado cuando se lavan laminas sueltas.**

La efectividad del lavado de los rellenos y el resultado de la limpieza general de la torre dependen de los siguientes factores <sup>2</sup>:

- 1. Tipo de relleno**
- 2. Material constituyente del relleno**
- 3. Tamaño de los paneles de relleno**
- 4. Configuración del relleno (forma)**
- 5. Grado de obstrucción de los canales del relleno**
- 6. Grado de cristalización de las láminas del relleno**
- 7. Tiempo de vida de las láminas de relleno**
- 8. Ubicación de los rellenos dentro de la torre**
- 9. Tipo y tamaño de torre de enfriamiento**

## **10. Tiempo disponible para el lavado**

De acuerdo a lo anterior, cabe señalar que nunca un lavado tiene 100% de efectividad, debido a que todos los factores mencionados, juegan un rol importante. Sin embargo, el factor más determinante es el grado de cristalización de las láminas, las cuales no resistirán un lavado si están altamente cristalizadas, lo que generará el colapso de éstas y desintegración de las mismas **MANTENCION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO**

### **PROPUESTA TÉCNICA**

#### **Mantenimiento Preventiva**

Consiste en seguir un procedimiento útil y eficaz para reducir los riesgos en resultados, costos operacionales, aumentar la vida de los equipos.

a. **MANTENCION PREVENTIVA PROPUESTA POR SYSTEMA LTDA.**

Consiste básicamente en los siguientes puntos:

- 1. Limpieza de piscina de hormigón.**
- 2. Limpieza interior de torre de enfriamiento**
- 3. Limpieza de toberas.**
- 4. Limpieza de todas las unidades de rellenos evaporativos y corta gotas de cada celda de la torre de enfriamiento.**
- 5. Evaluación de las condiciones de operación de cada torre de enfriamiento para la identificación de posibles problemas.**

Cada punto a su vez consta de una serie de procedimientos que se describen en forma breve a continuación.

b. PROCEDIMIENTO LIMPIEZA DE PISCINA DE HORMIGÓN.

- Previo a la limpieza de la piscina de cada celda, se deben sellar las entradas de agua que comunican la piscina de cada celda.
- Posteriormente se debe bombear el agua de la piscina a tratar para dejar la menor cantidad de agua posible.
- Luego, se debe proceder al retiro de lodos con escobillones, palas y baldes, evitando de esta manera contaminar la piscina general con suciedad arrastrada por el hidrolavado.
- La limpieza de una piscina de hormigón de grandes dimensiones se realiza principalmente con agua a alta presión mediante el uso de mangueras de incendio con pitones para control de salida de agua definida. Con esto se remueven casi todo tipo de incrustaciones, sales, lodos, algas y cualquier otro tipo de suciedad altamente adherida, sin embargo, la aplicación del chorro de agua debe ser dirigido en diversos ángulos y controlando la forma y precisión del chorro de agua, el cual en algunos casos debe ser abierto como abanico y en otros muy cerrado para concentrar la fuerza en un punto.
- El hidrolavado se realiza en varias etapas para conseguir el máximo de remoción y de humectación de la suciedad.
- Para lavar las zonas altas de la piscina de hormigón, se utiliza un andamio de dos cuerpos.

Con respecto a los lavados químicos, estos solo son efectivos cuando las incrustaciones no son muy grandes, y deben ser aplicados al agua para que lave la torre una y otra vez durante la operación, o mediante bomba para recirculación. Sin embargo, es un riesgo, porque los productos químicos pueden dañar las superficies de los equipos, bombas, hormigón, etc. y generan RILES.

c. PROCEDIMIENTO LIMPIEZA DE PANELES DE RELLENOS Y CORTAGOTAS

Cuando la torre es pequeña, los rellenos son retirados y dispuestos en el exterior de ésta, para posteriormente proceder a limpiarlos uno por uno.

Sin embargo, cuando las torres son de tamaños considerables (sobre 4 m x 4 m de lado y lado) es recomendable el retiro parcial de unidades de rellenos, para de esta manera solo dejar el espacio suficiente al interior de la torre para realizar las labores de limpieza, de este modo se evita el traslado de los rellenos desde un lado a otro y consecuentemente los golpes y caídas de los paneles, ya que con el peso que adquieren al estar sucios, son fácilmente desarmables o terminan destrozados.

El lavado de rellenos y corta gotas se realiza uno por uno por todas las caras que poseen los paneles, prestando especial atención a los orificios que son los que se obstruyen.

El lavado del relleno debe ser con hidrolavadora o mangueras de incendio con pitón de alta presión, ya que de esta manera el chorro de agua es dirigido al interior de los canales para obtener el máximo de remoción y limpieza. Cuando se lava con grandes caudales de agua, poca presión y precisión, como es el caso de las mangueras sin pitones adecuados, lo único que se consigue es desarmar los rellenos y corta gotas.

Para realizar la limpieza de los rellenos, se deben crear zonas de seguridad y de lavado, dentro de cada celda. Los técnicos se desplazarán sobre los rellenos ubicados en la zona de seguridad. Los paneles que serán lavados serán ubicados en la zona de lavado la cual consta de tablones dispuestos transversalmente en donde son dejados los paneles para recibir lavado.

Esto se repite al menos 4 veces alternando las zonas de seguridad y de lavado hasta completar la limpieza de todos los rellenos y corta gotas.

En forma simultánea al lavado de los rellenos, se lavan las paredes internas de la torre y las toberas de distribución de agua.

Finalmente se debe tener ciertas precauciones al instalar nuevamente los rellenos y corta gotas, ya que si son mal instalados producen la pérdida de eficiencia

de la torre, porque se retiene menor tiempo el agua al interior de los rellenos y se producen salpicaduras a través de los corta gotas.

d. SEGURIDAD

En cada labor se debe usar los elementos de seguridad acordes con cada faena.

Todos los técnicos calificados para la faena de limpieza portaran:

- **Overol antiácido**
- **Casco de seguridad con barboquejo**
- **Antiparras de protección completa**
- **Protectores auditivos (para zonas que lo requieran)**
- **Guantes del tipo mallaflex**
- **Zapatos de seguridad con caña**
- **Botas de agua con punta de metal incorporada**
- **Trajes de agua impermeables de PVC**
- **Arnés de seguridad de cuerpo entero para el trabajo en el interior de la torre**
- **Mascara con filtro para gases, vapores y polvo.**

**Para el lavado de los rellenos, se crearán zonas de seguridad, las cuales constarán de tabloncillos atravesados sobre los rellenos, fijados con amarras de cuerda de poliéster trenzado de alta resistencia.**

**Se instalarán cabos de vida a lo largo y ancho de cada celda para generar las zonas de seguridad. De esta manera cada trabajador se amarrará con su arnés a los cabos de vida.**

**Para la operación de las mangueras de alta presión, se utilizarán dos operarios, uno para controlar el pitón y dirección de la salida de agua, y otro para soportar y mantener bajo control el resto de la manguera.**

En algunos casos es necesario el uso de fajas de protección lumbar

e. TORRES DE ENFRIAMIENTO 2008. LAVADO DE RELLENOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

¿ES REALMENTE EFECTIVO?

<http://torresdeenfriamiento.blogspot.com/>

**Evaluación de condiciones de operación de las torres de enfriamiento.**

La evaluación es realizada cada vez que se realiza una mantención preventiva o correctiva del equipo, de tal manera de poder identificar problemas inmediatos o futuros de cada parte del equipo. De esta manera se puede programar una mantención correctiva o preventiva para cada problema en particular.

Mantención correctiva propuesta por Systema LTDA.

Consiste básicamente en el reemplazo de piezas defectuosas de rellenos o eliminadores de gotas de cada celda de la torre, así como también de toberas de distribución de agua, previamente autorizado y programado por el personal correspondiente de la Fundación.

Systema Ltda. es fabricante de rellenos y corta gotas en PVC e importador de toberas e inyectores de agua para torres de enfriamiento.

Nuestros rellenos son fabricados con material proveniente desde USA. Y son preparados a medida de acuerdo a los requerimientos de cada torre de enfriamiento.

**Systema Ltda. cuenta con la capacidad técnica y económica para entregar excelentes servicios y productos, en tiempos de respuesta casi inmediatos, prestando asesorías técnicas a nuestros clientes de tal manera de entregar soluciones ágiles a sus problemas. Mantención Correctiva**

Es una actividad no planificada y Consiste en intervenir exclusivamente después de presentarse la anomalía. Esta es la forma primaria de mantenimiento y



no es aplicada como política única en ninguna instalación importante. Tiene dos formas de intervención: Correctivos Programado (reparación) y el Correctivo no programado (Averías).

Este tipo de Mantenición se basa en corregir la falla cuando esta se produce, es decir se espera que la maquina se descomponga o falle, para hacer solo las reparaciones necesarias. Aunque la mayoría de las veces este tipo de Mantenición es mal aplicada, es correcto utilizarla en los siguientes casos:

- Si la falla de los equipos no influye en la productividad
- Si la falla no afecta a partes o piezas importantes
- Si se dispone de repuestos en bodega y estos son de bajo costo
- Si se dispone de mano de obra en todo momento

El objetivo de este tipo de mantenimiento es llevar los equipos a sus condiciones originales, después de una falla, por medio de restauración o reemplazo de piezas, componentes, elementos, partes de equipos o instalaciones, debido a desgaste, daño o rotura.

a. CERTIFICADO DE INSPECCION Y CUMPLIMIENTO DE NUESTRAS MATERIAS PRIMAS POCEDENTES DE USA

Nuestros productos provenientes de USA cuentan con los parámetros de calidad exigidos por el mercado internacional, prueba de esto es un certificado de nuestro proveedor, el cual fue enviado con nuestras materias primas en nuestra última importación. Este se encuentra adjunto a la propuesta.

b. EXPERIENCIA DE SYSTEMA LTDA. EN EL AREA DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.

Systema Ltda. es una empresa especializada en el área de enfriamiento, desempeñándose exclusivamente en torres de enfriamiento y condensadores evaporativos.

Como empresa, Systema Ltda tiene cerca de dos años de actividades, sin embargo, los profesionales y técnicos que la constituyen, tienen vasta experiencia en sus áreas.

El jefe técnico de nuestra empresa, Ignacio Rojas Miranda, tiene más de 17 años de experiencia en equipos de enfriamiento, siendo pionero en la fabricación de rellenos y corta gotas en Chile, junto con los servicios de mantención de torres de enfriamiento en terreno.

Se desempeñó en nuestra actual empresa competidora Pfenniger S.A. durante 11 años, en el cargo de Jefe de Producción y Jefe de Faenas en Terreno.

Además, es quien capacitó a los otros técnicos que actualmente se desempeñan en dicha empresa.

Ha participado en montajes a lo largo de todo Chile a diversas escalas, desde torres modulares pequeñas, a grandes torres como las de Codelco y Enami.

Uno de los más destacados fue el que tuvo a cargo en Coca Cola Planta de San Joaquín, en donde se realizó un montaje de torres con helicóptero y grúa.

También se desempeñó como técnico en la Empresa Tekfusión S.A. en donde fabricó rellenos y corta gotas para torres de enfriamiento y módulos coalescedores para la Minería por 4 años.

Por otro lado, nuestro encargado de ventas en el área de enfriamiento, Tibor Rimler Escudero posee una formación profesional.

Graduado de la Universidad de Chile en la facultad de Ciencias, como Biólogo con especialización en Medio Ambiente, se desempeña actualmente en el área de medio ambiente y torres de enfriamiento en Systema Ltda.

Su experiencia en Tekfusión S.A., empresa en donde se desempeñó por más de 4 años, abarca desde la preparación y evaluación de proyectos, preparación de

propuestas y licitaciones, ventas, soporte técnico administrativo, en las áreas de suministros y proyectos para la minería y torres de enfriamiento.

También ha participado en capacitaciones para Aguas Andinas, Cambell HVAC Chile Ltda.

El resto del personal de esta área, lo constituyen técnicos calificados, entrenados en mantención y servicios de limpieza para torres de enfriamiento.

En el área de gestión ambiental y levantamiento de información biótica se encuentran los Biólogos Ambientales Pamela Vázquez y Ricardo Manríquez.

c. CLIENTES ATENDIDOS POR SYSTEMA LTDA.

Entre los clientes de Systema Ltda., se cuentan grandes empresas de diversos sectores industriales, tales como cerveceras, fábricas de bebidas, fábricas de plásticos, fabricantes de soldadura, edificios, frigoríficos, fábricas de Aluminio, Exportadores de frutas y otros.

Entre ellos se pueden contar:

Dole Chile S.A.

Goldenfrost S.A.

ADS Chile Ltda.

FrioS.A. (Frigorífico Ohiggins S.A.)

CCU Renca

CCU Quilicura

Watts S.A. (Planta Lonquén)

MADECO S.A.

Versval Ltda.

Fibertower Ltda.





### ANEXO 3 CURVAS CARACTERISTICAS

#### DATOS TORRE DE ENFRIAMIENTO BAC PRITCHARD (BALTIMORE)

##### Datos performance

B  
A BAC-PRITCHARD, INC.  
C

TAG 6000-1701-001

INQUIRY & BID FORM (CTI TYPE)

PAGE 1  
CF-2345-6

CUSTOMER: COMPANIA MINERA DISPUTADA  
SANTIAGO, CHILE

MANUFACTURER:  
BAC-PRITCHARD, INC.  
P.O. BOX 7322  
BALTIMORE, MD 21207

P.O. NO. 6017-1/4511CHXP

BAC NO. 92-5595-PA

GENERAL:  
SUPPLY  
TOWER MODEL  
TYPE

4 CELLS (5 PLUS 1 SPARE)  
CF-2345-6  
MECHANICAL DRAFT COUNTERFLOW CONCRETE  
STRUCTURE

DESIGN & OPERATING CONDITIONS: - (5 CELLS)

CIRCULATING WATER FLOW 33023 USGPM (1500 M<sup>3</sup>/H/CELL)

HOT (INLET) WATER TEMPERATURE 96.8 DEGREES F (36 DEG.C)

COLD (OUTLET) WATER TEMPERATURE 78.8 DEGREES F (26 DEG.C)

WET BULB TEMPERATURE 60.8 DEGREES F (16 DEG.C)

TOWER PUMP HEAD (CENTERLINE OF INLET) 3.5' (10.5 KPA), PLUS STATIC LIFT

TOTAL FAN POWER (DRIVER OUTPUT) 500 BHP (375 KW)

DRIFT LOSS .013% OF CIRCULATING FLOW

EVAP. LOSS AT DESIGN CONDITIONS 1.47% OF CIRCULATING FLOW (AIR INLET  
DRY BULB TEMP. = 70.8 DEG. F)

DESIGN WIND LOAD BY OTHERS

DESIGN SEISMIC LOAD BY OTHERS

TOWER SITE AT GRADE

ELEVATION ABOVE SEA LEVEL 1378' (420M)

TOWER EXPOSURE OPEN & UNOBSTRUCTED

STRUCTURAL DETAILS: (6 CELLS)

NUMBER OF CELLS 6

FANS PER CELL 1

TOTAL NUMBER OF FANS 6

NOMINAL CELL DIMEN., LENGTH X WIDTH 23' X 45' (7010 X 13716)

OVERALL TOWER DIMENSION, L X W 138' X 45' (42060 X 13716), PLUS  
HEIGHT -- BASIN CURB TO FAN DECK SEE DRAWINGS CONCRETE WALLS

FAN STACK HEIGHT 6' (1829)

OVERALL TOWER HEIGHT SEE DRAWINGS

INSIDE BASIN DIMENSIONS, L X W SEE DRAWINGS

Fuente: Manual torre de enfriamiento

Fig.1: Datos generales

|                                   |                                                       |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|
| B                                 |                                                       |
| A BAC-PRITCHARD, INC.             |                                                       |
| C                                 |                                                       |
| INQUIRY & BID FORM (CTI TYPE)     |                                                       |
| PAGE 2<br>CF-2345-6               |                                                       |
| HOT WATER INLET:                  |                                                       |
| NUMBER                            | 6                                                     |
| NOMINAL DIAMETER                  | 18" (450)                                             |
| DESCRIPTION                       | CLASS 125 FF FLANGE PER ANSI B16.1-75                 |
| HEIGHT ABOVE BASIN CURB           | SEE DRAWINGS                                          |
| ACCESS TO TOP OF TOWER            | BY OTHERS, IF REQUIRED                                |
| MATERIALS OF CONSTRUCTION:        |                                                       |
| STRUCTURE                         | CONCRETE                                              |
| CASING                            | CONCRETE                                              |
| FILLING                           | SHEETS OF RIGID POLYVINYL CHLORIDE (PVC)              |
| FILLING SUPPORT                   | FILL IS SUPPORTED BY TYPE 304 STAINLESS STEEL MEMBERS |
| DRIFT ELIMINATORS                 | PVC, EASILY HANDLED SECTIONS                          |
| FAN STACKS                        | MOLDED FRP, VELOCITY RECOVERY TYPE                    |
| LOUVERS                           | NOT REQUIRED WITH EXTENDED BASINS                     |
| PARTITIONS                        | CONCRETE, BETWEEN CELLS, & WINDWALLS                  |
| FAN DECK                          | CONCRETE                                              |
| WATER DISTRIBUTION:               |                                                       |
| TYPE                              | PRESSURIZED PVC CENTRAL HEADER AND BRANCH SYSTEM      |
| SPRAY NOZZLES                     | ABS PLASTIC                                           |
|                                   |                                                       |
| HANDRAIL, STAIRWAYS, & LADDERS    | BY OTHERS, IF REQUIRED                                |
|                                   |                                                       |
| BOLTS, NUTS, AND WASHERS          | TYPE 304 STAINLESS STEEL                              |
| MECHANICAL EQUIPMENT BASEPLATES   | TYPE 304 STAINLESS STEEL                              |
| MECHANICAL EQUIPMENT BEARING PADS | CONCRETE, BY OTHERS, ON FAN DECK                      |
| COLD WATER BASIN:                 |                                                       |
| BASIN/PLENUM ACCESSES             | CONCRETE                                              |
|                                   | BY OTHERS, AS REQUIRED                                |
| BASIN ACCESSORIES                 | BY OTHERS                                             |

Fuente: Manual torre de enfriamiento

Fig. 2: Datos generales 2

|                                 |                                                           |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| B<br>A BAC-PRITCHARD, INC.<br>C |                                                           |
| INQUIRY & BID FORM (CTI TYPE)   |                                                           |
|                                 | PAGE 3<br>CF-2345-6                                       |
| GEAR OIL & VENT LINES           | 304 STAINLESS STEEL                                       |
| MECHANICAL EQUIPMENT:           |                                                           |
| FANS                            | 6                                                         |
| NUMBER                          | 6                                                         |
| MODEL                           | AFT-18H-8                                                 |
| MANUFACTURER                    | HUDSON PRODUCTS CORP                                      |
| DIAMETER                        | 18" (548mm)                                               |
| NUMBER OF BLADES                | 8 PER FAN                                                 |
| FAN SPEED                       | 194 RPM                                                   |
| TIP SPEED                       | 10970 FPM (55.7 M/S)                                      |
| POWER PER FAN                   | 100.0 BHP (75 KW)                                         |
| BLADE MATERIAL                  | FIBERGLASS REINFORCED EPOXY (FRE)                         |
| HUB MATERIAL                    | HOT-DIP GALVANIZED STEEL, COAL TAR                        |
| TOTAL STATIC PRESSURE           | .509 INCHES H2O EPOXY FINISH                              |
| VELOCITY PRESSURE               | .299 INCHES H2O (INCLUDES<br>RECOVERED VELOCITY PRESSURE) |
| AIR DELIVERY PER FAN            | 53675B ACFM                                               |
| FAN STATIC EFFICIENCY           | 55.4%                                                     |
| SPEED REDUCER:                  |                                                           |
| NUMBER                          | 6                                                         |
| TYPE                            | RIGHT ANGLE, SPIRAL BEVEL, HELICAL                        |
| MODEL                           | A-1110                                                    |
| MANUFACTURER                    | AMARILLO GEAR CO                                          |
| REDUCTION RATIO                 | 7.5:1                                                     |
| AGMA MECHANICAL POWER RATING    | 200 HP MINIMUM (150 KW)                                   |
| SERV. FAC. AT DRIVER RATED H.P. | 2.3                                                       |
| NUMBER OF REDUCTIONS            | 2                                                         |
| DRIVE SHAFT:                    |                                                           |
| NUMBER                          | 6                                                         |
| TYPE                            | FULL FLOATING, NON-LUBRICATED,<br>FLEXIBLE COUPLING       |
| MODEL                           | A5-35E                                                    |
| MANUFACTURER                    | DANA CORP                                                 |
| RATED POWER                     | 200 HP (150 KW)                                           |
| DRIVE SHAFT MATERIAL            | 304 STAINLESS STEEL                                       |
| COUPLING MATERIAL               | FLEXIBLE PACKS                                            |
| DRIVER:                         |                                                           |
| NUMBER                          | 6                                                         |
| KIND                            | INDUCTION MOTOR                                           |
| TYPE                            | TEFC                                                      |
| MANUFACTURER                    | SIEMENS, RG2SD                                            |
| FULL LOAD SPEED                 | 1450 RPM                                                  |
| ELEC. CHARACTERISTICS           | 3 PHASE/ 50 HZ/ 380 VOLTS                                 |
| RATED POWER                     | 100.0 HP (75 KW)                                          |
| SERVICE FACTOR                  | 1.15                                                      |
| SPEEDS                          | 1 (1500 RPM NOMINAL)                                      |
| NUMBER OF WINDINGS              | 1                                                         |

Fuente: Manual torre de enfriamiento

Fig. 3: Datos generales 3

|                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| B<br>A BAC-PRITCHARD, INC.<br>C |                     |
| INQUIRY & BID FORM (CTI TYPE)   |                     |
|                                 | PAGE 4<br>CF-2345-6 |
| ADDITIONAL DATA:                |                     |
| VIBRATION CUT-OUT SWITCH:       |                     |
| NUMBER                          | 1                   |
| KIND                            | ACCELEROMETER       |
| MANUFACTURER/MODEL              | MURPHY/V5-2EXR      |

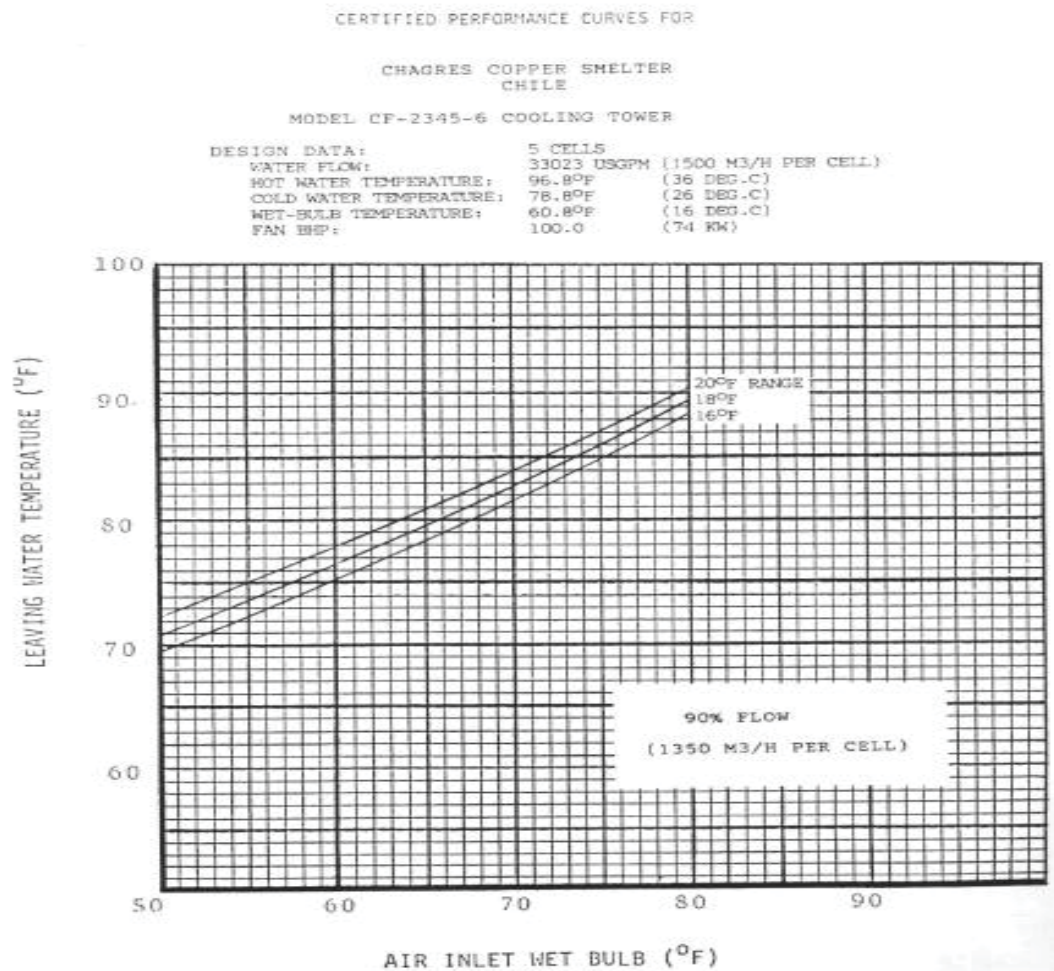
Fuente. Manual torre de enfriamiento

Fig. 4: Datos generales 4



## Curvas características

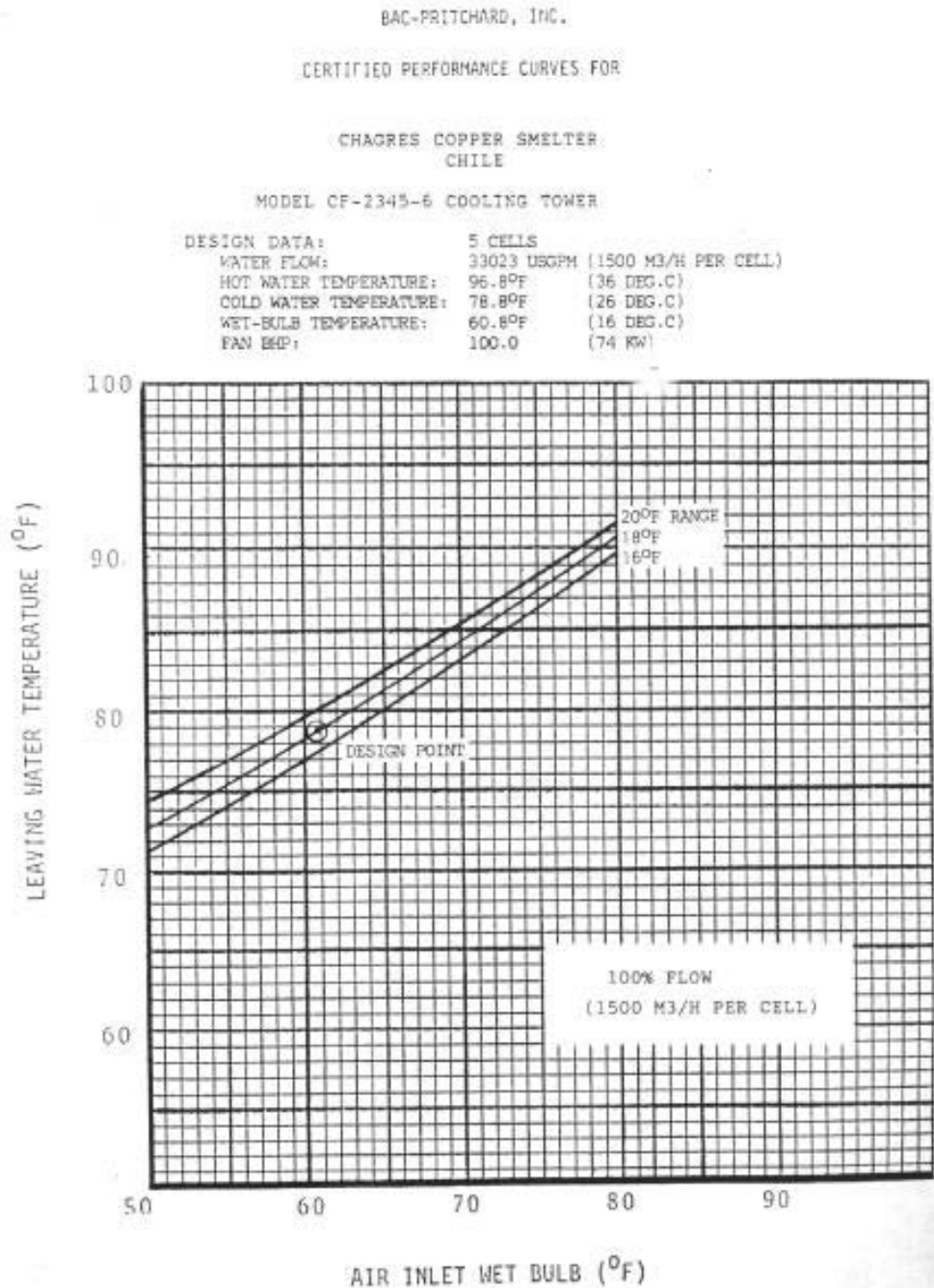
### Curva al 90 %



Fuente: Manual torre de enfriamiento

Gráfico 12: Curva características torre de enfriamiento performance curvas 90%

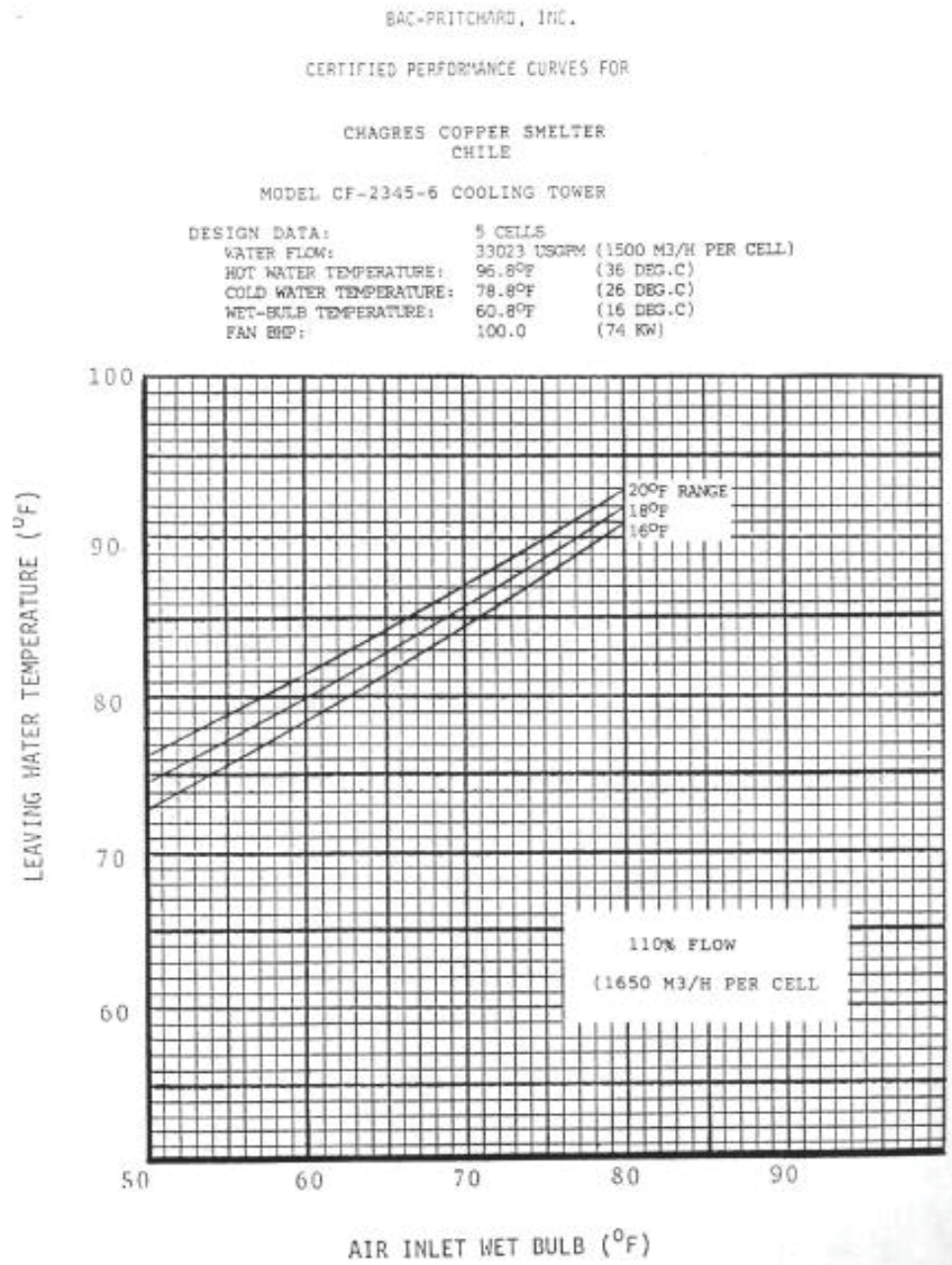
**Curva al 100 %**



Fuente: Manual torre de enfriamiento

Gráfico 13: Performance curva 100%

**Curva al 110 %**



Fuente: Manual torre de enfriamiento

Grafico 14: Performance curves 110%

## Datos generales Torre 75 Mcal/h

### Datos generales

```

Counterflow Cooling Tower Sound Rating Program SOUND7, release 1.02
Copyright 1990 by Baltimore Aircoil Co., Inc.
All rights reserved.

Run by AAB on 03-18-1992 at 14:14:25.

Project ----- CHAGRES
Location ----- CHILE
Remarks ----- MODELO CF-2345-6
Proposal No. -- ORDER 92-5595-PA

Cooling Tower Description:

Model & Air Inlet Height ----- CF-2345-6          19.50 Feet
Nominal Cell Width ----- 32.0 Feet
Nominal Cell Length ----- 24.0 Feet
Number Of Cells ----- 6
Fan Diameter ----- 18 Feet
Approximate Fan Deck Height
Above C.W.B. Curb ----- 35.5 Feet
Driver Power Per Cell ----- 100.0 BHP
Fan Tip Speed ----- 12000 FPM
Fan Stack Height ----- 6.00 Feet
Number Of Cells Transversely ----- 1
Number Of Cells Longitudinally ----- 6
Side A, Longitudinal Face ----- Has Air Inlets
Side B, Transverse Face (Endwall) -- Does Not Have Air Inlet
Side C, Longitudinal Face ----- Has Air Inlets
Side D, Transverse Face (Endwall) -- Does Not Have Air Inlet
* Water Inlet(s) Located On Side C

Sound Ratings At 50 Feet From Cooling Tower, Using 74 Tower Base Data,
Shown As (Mechanical Sound) + (Water & Air Sound) = (Total Sound):

Octave Band
:
: Cntr ----- Sound Pressure Levels (SPL)* ----- Sound
: Freq ----- Power
: (Hz) ----- Side A ----- Side B ----- Side C ----- Side D ----- Above ----- Levels
: ----- (PWL)^~
1 63 85+66=85 80+62=81 85+66=85 80+62=81 86+70=86 115+ 97=115
2 125 76+72=77 70+68=72 76+72=77 70+68=72 85+65=85 110+100=110
3 250 69+69=72 63+64=66 69+69=72 63+64=66 80+65=80 104+ 97=105
4 500 67+68=70 60+63=65 67+68=70 60+63=65 77+68=78 101+ 97=103
5 1000 65+68=69 58+63=64 65+68=69 58+63=64 72+67=73 97+ 97=100
6 2000 62+65=67 55+59=61 62+65=67 55+59=61 68+65=70 93+ 94= 97
7 4000 57+67=67 49+61=61 57+67=67 49+61=61 62+66=68 88+ 96= 96
8 8000 49+64=64 39+57=57 49+64=64 39+57=57 56+62=63 81+ 92= 93
-----
dBA 70+74=75 64+68=69 70+74=75 64+68=69 79+73=80

* dB re 0.0002 microbar
^ dB re 10E-12 watt

```

Fuente:

Fig. 5: Datos generales torre de enfriamiento

### Datos generales

|                                                          |                      |                          |                            |
|----------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Marca y tipo : BAC PRITCHARD                             |                      |                          |                            |
| Modelo : CF-2345-6 (5 celdas en operación, 1 de reserva) |                      |                          |                            |
|                                                          | Unidades<br>(8)      | Celdas<br>originales (9) | Celdas<br>Adicionales (10) |
| Flujo circulante total:                                  | [GPM]                | 33.000                   |                            |
| Flujo por celda:                                         | [GPM]                | 6.600                    |                            |
| Temperatura agua caliente:                               | [°F]                 | 96,8                     |                            |
| Temperatura agua fría:                                   | [°F]                 | 78,8                     |                            |
| Temperatura bulbo húmedo:                                | [°F]                 | 60,8                     |                            |
| Rango de enfriamiento:                                   | [°F]                 | 18                       |                            |
| Aproximación :                                           | [°F]                 | 18                       |                            |
| Carga estática:                                          |                      | 0,509" CA                |                            |
| BHP ventiladores:                                        | HP                   | 100                      |                            |
| Pérdida de evaporación:                                  | %                    | 1,47% @<br>70,8°FDB      |                            |
| Pérdida por arrastre :                                   | %                    | 0,013%                   |                            |
| Elevación sobre el nivel del mar :                       | ft                   | 1400                     |                            |
| Exposición de la torre :                                 |                      | -                        |                            |
| Valor característico de torre (Kav/L) :                  | -                    | No disponible            |                            |
| Relación de flujo de agua /aire (L/G) :                  | lb agua /<br>lb aire | 1,429                    |                            |

Fuente:

Tabla 18: Datos generales torre de enfriamiento



#### **ANEXO 4: SUB ÍNDICES**

$A$  = Constante adimensional en la ecuación que describe el funcionamiento de una torre.

$A_{Entrada}$  = Área de entrada del aire, desde el ambiente, hacia el interior a la torre.  
[m<sup>2</sup>]

$a$  = Superficie de transferencia equivalente por unidad de volumen de torre.  
[1/m]

$a_H$  = Superficie de transferencia total de calor por unidad de volumen de torre.  
[1/m]

$aM$  = Superficie de transferencia total de masa por unidad de volumen de torre.  
[1/m]

$B$  = Constante adimensional en la ecuación que describe el funcionamiento de una torre.

$C$  = Constante adimensional, antilogaritmo de la constante A ya mencionada.

$C_L$  = Calor específico del agua. [KJ/ (Kg °C)]

$C_s$  = Calor húmedo. [KJ/ (Kg °C)]

$CT$  = Carga típica del relleno. [m/s]

$G$  = Caudal volumétrico de aire. [m<sup>3</sup>/s]

$H DU$  = Altura de la unidad de difusión. [m]

$HR$  = Humedad relativa ambiente. [%]

$h_g$  = Coeficiente de transmisión de calor entre la interface y la masa gaseosa.  
[KJ/ (m<sup>2</sup> °C)]

$h_L$  = Coeficiente de transmisión de calor entre la interface y la masa de agua.  
[KJ/ (m<sup>2</sup> °C)]

- $i$  = Entalpía específica. [KJ/Kg]
- $i_L$  = Entalpía específica del aire húmedo a la temperatura del líquido. [KJ/Kg]
- $i_g$  = entalpia del aire húmedo [KJ/Kg]
- $i_v$  = Entalpía específica del vapor de agua. [KJ/Kg]
- $K_g$  = Coeficiente de transferencia másica a través de la película gaseosa.  
[Kg de vapor condensado/ (Hr. m<sup>2</sup>)]
- $K'_g$  = Coeficiente de transferencia másica a través de la película gaseosa basado en la diferencia absoluta de humedades entre la interface y la masa gaseosa. [Kg de vapor condensado/ (Hr. m<sup>2</sup>)]
- $L$  = Caudal volumétrico de agua. [m<sup>3</sup>/s]
- $L_e$  = Número de Lewis. [-]
- $n$  = Coeficiente adimensional en la ecuación de funcionamiento de la torre.
- $P_{atm}$  = Presión atmosférica. [mm-Hg.]
- $Q$  = Flujo de calor. [KJ]
- $S_0$  = Superficie total de la sección transversal de la torre. [m<sup>2</sup>]
- $T$  = Temperatura. [°C]
- $T_L$  = Temperatura del Líquido. [°C]
- $T_i$  = Temperatura de la Interfaz. [°C]
- $T_0$  = Temperatura de referencia. [°C]
- $V$  = Volumen activo de la torre (S0. Z). [m<sup>3</sup>]
- $V_g$  = Velocidad del aire. [m/s]
- $W$  = Caudal másico. [Kg/s]

$W_L$  = Caudal másico del líquido [Kg/s]

$X_i$  = Humedad absoluta en la interface ([Kg. de Agua/ Kg de aire seco])

$X_g$  = Humedad absoluta del Aire ([Kg. de vapor/ Kg de aire seco])

$Z$  = Altura del relleno de la torre. [m]

Griegas:

$\lambda_0$  = Entalpía de vaporización para la temperatura de referencia  $T_0$

$\eta_d$  = Número de unidades de difusión. (adimensional)

$\delta$  = Densidad. [Kg/m<sup>3</sup>]

Sub índices:

a = Aire seco.

cw= Agua fría.

ent = Entrada.

db= Bulbo seco.

g = Gas, aire.

hw = Agua caliente.

i = Interfase liquido-gaseosa.

$L$  = Liquido, agua.

r = Relleno

sal = Salida

wb= Bulbo húmedo.

1 = Entrada

2 = Salida



NOTA:

En el texto se explicita la nomenclatura utilizada y que no se encuentra en esta lista.