

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA



**"EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE  
LA PLANTA DE COQUE, COMPAÑIA SIDERURGICA HUACHIPATO"**

Informe de Habilitación Profesional presentado  
en conformidad a los requisitos para optar al  
Título de Ingeniero Civil Mecánico.

Profesor guía:  
Sr. Luis Cerda Miskulini

Profesor co-guía:  
Sr. Claudio Villegas Ulloa

**FRANCISCO JAVIER URRUTIA ARANCIBIA**  
**CONCEPCION – CHILE**  
**2014**

## **RESUMEN**

---

La Empresa Compañía Siderúrgica Huachipato S.A., en su línea de producción primaria, área subproductos, posee un circuito de agua de enfriamiento y el objetivo de éste es enfriar el gas de coque proveniente de coquería para el retiro de sus impurezas, tomando gran importancia, ya que este gas es utilizado por la empresa como combustible para altos hornos y batería.

Se ha producido una baja en la capacidad para enfriar el gas de coque con el agua de enfriamiento y la empresa a determinado que el equipo del circuito de agua de enfriamiento que posee mayor relevancia para el cumplimiento de esta tarea es la torre de enfriamiento. Por este motivo el Departamento de Mantenimiento solicitó estudiar la posibilidad de aumentar la capacidad de enfriamiento de la torre actual.

Por lo mencionado anteriormente este presente trabajo de título tiene como objetivo principal, el análisis y evaluación termodinámica de un equipo específico que conforma el circuito de agua de enfriamiento que es la torre de enfriamiento. Con esto se podrá determinar la capacidad y eficiencia de enfriamiento de la torre.

Para el cumplimiento de los objetivos descritos anteriormente se abordaron materias como los principios básicos de termodinámica, transferencia de calor y materia, el estudio sicrométrico de las torres de enfriamiento que permitieron evaluar la capacidad y rendimiento de los equipos.

Para dicho estudio se recopiló información y se realizaron mediciones con diversos equipos y como herramienta de resolución de las ecuaciones que se desprenden del estudio, se utilizó el programa EES (Engineering Equation Solver). Se analizaron factores determinantes del proceso en enfriamiento del agua con el fin de facilitar la toma de decisiones.

Finalmente luego del análisis y evaluación de las variables involucradas en el proceso, se llegó a la conclusión de que la torre de enfriamiento actual no es capaz de llegar a los valores de enfriamiento esperados por la empresa. Debido a esto, se evaluaron tres alternativas que cumplieran con aumentar el enfriamiento del agua, de las cuales seleccionó una bajo los criterios de costo y operatividad, la cual fue la instalación de una torre de enfriamiento adicional.

**INDICE**

---

***CAPITULO I: Presentación del Tema.***

1.1 INTRODUCCION.....	1
1.2 ORIGEN DEL TEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	2
1.3.1 Objetivo General: .....	2
1.3.2 Objetivos Específicos: .....	2
1.4 RESEÑA COMPAÑIA SIDERURGICA HUACHIPATO. ....	3

***CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos***

2.1 MANEJO DE CARBONES. ....	5
2.2 PROCESO DE COQUIZACION.....	6
2.2.1 Batería de hornos de coquización.....	6
2.2.2 Ciclo de coquización: .....	7
2.2.3 Estructura refractaria y sistema de calentamiento: .....	8
2.3 PLANTA DE PURIFICACION DE GAS.....	9
2.3.1 Torre de enfriamiento de agua:.....	12
2.3.2 Enfriadores primarios: .....	12
2.3.3 Sistema de aspiración de gas coque:.....	14
2.3.4 Enfriadores secundarios:.....	15
2.3.5 Sección lavadores: .....	16
2.3.6 Sistema almacenamiento gas coque: .....	16
2.3.7 Estación de mezcla de gas coque:.....	17

***CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos***

3.1 PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE LOS GASES DE COQUERIA.....	18
3.1.1 Proceso Enfriadores Primarios: .....	19
3.1.2 Proceso de aspiración de gas coque:.....	19
3.1.3 Proceso Enfriadores Secundarios: .....	20
3.2 PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA DE REFRIGERACION.....	21
3.2.1 Torre de enfriamiento de agua:.....	21
3.2.2 Proceso del tratamiento del agua de enfriamiento:.....	23

## **INDICE**

---

3.3.3 Especificaciones de los equipos: .....	25
--	----

### ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación***

4.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	27
4.2 TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	28
4.2.1. Torre de enfriamiento de tiro natural o hiperbólico (convección natural): .....	29
4.2.2 Torres de enfriamiento por convección forzada (tiro mecánico): .....	29
4.3 PARTES COMPONENTES DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	32
4.3.1 Estructura:.....	32
4.3.2 Distribuidor de agua de entrada a la torre: .....	32
4.3.3 Relleno o Empaques: .....	33
4.3.4 Separadores de gotas: .....	35
4.3.5 Lumbreras de admisión de aire: .....	35
4.3.6 Equipo mecánico: .....	36
4.3.7 Pileta: .....	38
4.4. PRINCIPIOS TEORICOS EN TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	38
4.4.1 Definiciones Generales:.....	39
4.4.4 Transferencia de masa por difusión.....	40
4.4.5 Transferencia de calor y evaporación del agua dentro del aire húmedo.....	41
4.4.6 Transferencia de calor en las torres de enfriamiento.....	41
4.4.7 Evaporación en las torres de enfriamiento.....	42
4.4.8 Diagrama de operación de una torre de enfriamiento.....	42

### ***CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento***

5.1 HIPOTESIS Y CONDICIONES DE CALCULO.....	44
5.2 MEDICIONES PROPIAS EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	44
5.3 MODELO TERMODINAMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.....	46
5.4 BALANCES DE ENERGIA.....	47
5.5 BALANCES DE MASA.....	54
5.5.1 Caudales de agua: .....	54
5.6 CALCULO EXPERIMENTAL DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	55

## **INDICE**

---

5.6.1 Descripción del proceso de cálculo en software EES. ....	56
5.6.2 Cálculo de requerimiento de agua de refrigeración para enfriadores. ....	63
5.6.3 Cálculo de enfriamiento en condiciones de diseño de la torre de enfriamiento. ....	65
5.6.4 Cálculo de enfriamiento en condiciones actuales de la torre de enfriamiento. ....	69

### ***CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua***

6.1 CALENTAMIENTO SENSIBLE AL AIRE DE ENTRADA A LA TORRE. ....	73
6.1.1 Cálculo de distintas condiciones de humedad relativa del aire de entrada a la torre de enfriamiento. ....	74
6.1.2 Dimensionamiento de intercambiador de calor. ....	78
6.1.3 Cotización intercambiador de calor. ....	80
6.2 AUMENTO DEL FLUJO DE AIRE. ....	81
6.3 RECIRCULACION DE AGUA AL INTERIOR DE LA TORRE. ....	82
6.4 TORRE DE ENFRIAMIENTO ADICIONAL. ....	85
6.4.1 Cotización de torre de enfriamiento adicional. ....	87
6.5 CAMBIO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO ACTUAL POR UNA NUEVA. ....	88

### ***CAPITULO VII: Costo de alternativas de modificación de torre de enfriamiento***

7.1 RESUMEN COSTOS DE ALTERNATIVAS DE MEJORA. ....	92
CONCLUSIONES. ....	93
RECOMENDACIONES. ....	94
BIBLIOGRAFIA. ....	96
ANEXO I: Cotización de intercambiador de calor. ....	97
ANEXO II: Cotización Torre de enfriamiento adicional. ....	99
ANEXO III: Cotización torre de enfriamiento nueva HAMONESINUNDUS S.A. ....	100

## ***CAPITULO I: Presentación del Tema.***

---

### **1.1 INTRODUCCION**

Las máquinas y los procesos industriales, así como aquellos dedicados al confort humano, generan enormes cantidades de calor que deben ser continuamente disipadas si se quiere que esas máquinas y procesos operen eficientemente. El uso del agua líquida en la industria, cumple la función de remoción de calor para condensar y enfriar. El agua después de haberse utilizado para este fin, aumenta su temperatura y puede ser descargada o enfriada y luego recirculada.

Las torres de enfriamiento regulan el procedo de enfriamiento del agua líquida, y se logra cuando el agua al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación ) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire.

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

En términos generales, se puede decir que la capacidad de enfriamiento de una torre es una combinación de todas las variables involucradas en el diseño y selección de la misma e indica la cantidad de agua que enfría en condiciones de operación, comparada con las condiciones de diseño, esto es entonces, el equivalente de la eficiencia térmica.

## ***CAPITULO I: Presentación del Tema.***

---

### **1.2 ORIGEN DEL TEMA.**

El estudio está orientado a las torres de enfriamiento ubicadas en la planta de Coque de la Compañía Siderúrgica Huachipato, que son del tipo mecánico, de tiro inducido y a contraflujo. Actualmente estas torres no tienen la capacidad de enfriar el agua que proviene de los enfriadores primarios y secundarios de gases de coquería, a la temperatura recomendada de 23°C, sino que se obtiene a 29°C, influyendo que, posteriormente esta agua no enfría los gases lo suficiente para lograr la condensación de las impurezas que transporta dicho gas. Por lo tanto, nace la necesidad de determinar en forma cuantitativa los factores que están incidiendo en el grado de enfriamiento de las torres y del gas de coquería.

### **1.3 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.**

#### **1.3.1 Objetivo General:**

Estudiar los parámetros de operación y analizar termodinámicamente el funcionamiento de las torres de enfriamiento y circuito de circulación de agua de refrigeración de la planta de coque, para luego realizar propuesta de posibles mejoras.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

Realizar análisis termodinámico y sicrométrico del funcionamiento actual de las torres de enfriamiento en planta de coque.

Analizar factibilidad de enfriar la cantidad necesaria de agua caliente que proviene de los enfriadores primarios y secundarios de gas de coquería.

Proponer mejoras para enfriar el caudal de agua a una temperatura recomendada.

## ***CAPITULO I: Presentación del Tema.***

---

### **1.4 RESEÑA COMPAÑIA SIDERURGICA HUACHIPATO.**

Es una empresa del Grupo CAP y principal industria productora de acero en Chile. Está ubicada en las orillas de la bahía de San Vicente, Talcahuano, y constituye una de las mayores empresas de la Región del Bío Bío y del país.

Su puesta en marcha en 1950 gatilló un fuerte y sostenido crecimiento industrial, que se vio reflejado en el surgimiento de numerosas empresas y servicios asociados a su funcionamiento, lo que ha convertido a la región en uno de los principales polos de desarrollo nacional.

CAP Acero es una industria siderúrgica integrada, única en su tipo en Chile, quiere decir que elabora sus productos a partir de materias primas básicas presentes en la naturaleza, como material de hierro, carbón y caliza, lo que garantiza acero de alta pureza y calidad controlada.

Desde su fundación en 1950, la capacidad de producción de la Compañía ha aumentado en más de ocho veces, llegando hoy a 1.450.000 toneladas de acero líquido, con lo cual consolida su liderazgo en el mercado nacional. Actualmente CAP Acero, cuya razón social es Compañía Siderúrgica Huachipato S.A. cubre las necesidades de importantes sectores de la economía del país: minería, industria metalmecánica, construcción y elaboración de envases de hojalata. Además los productos CAP están presentes en exigentes mercados internacionales.

Una constante en su accionar es y ha sido el compromiso con la comunidad. Desde su creación ha impulsado iniciativas culturales, deportivas y educacionales que han contribuido a mejorar la calidad de vida de sus trabajadores, sus familias y de sus vecinos. Así, CAP Acero apoya el desarrollo de las personas con la misma fuerza que pone en la tarea de producir y proveer el acero con que se construye el futuro de Chile.



*Figura 1.1 Vista aérea Planta Siderúrgica Huachipato.*



## ***CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.***

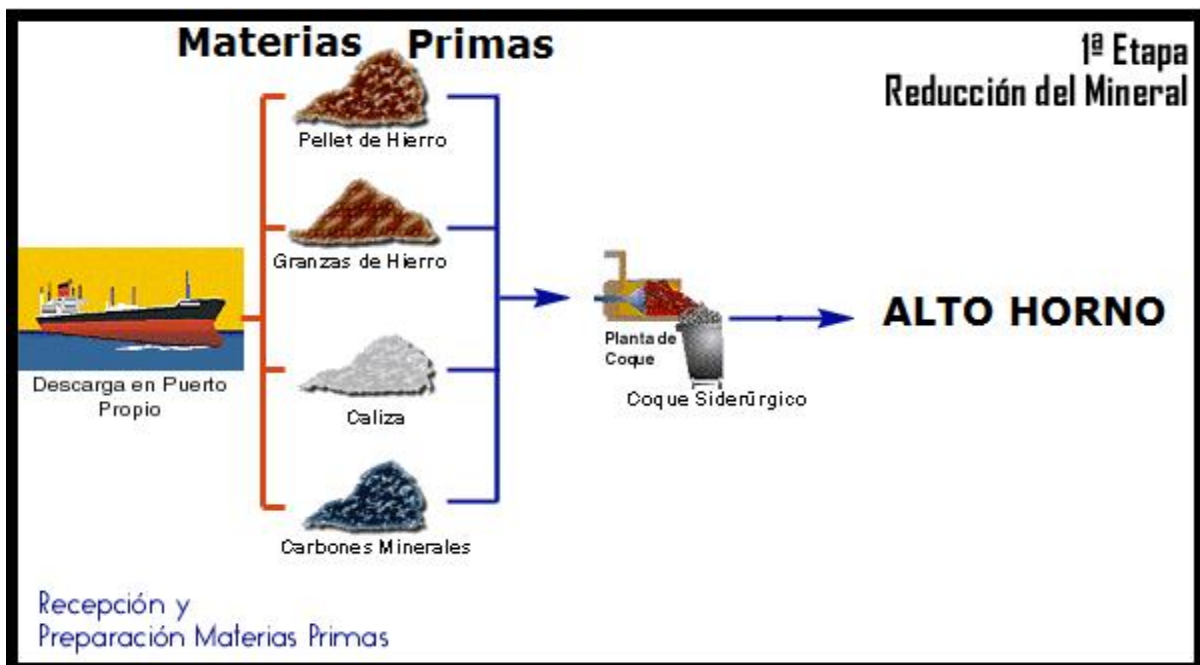
El presente capítulo, describe brevemente el proceso productivo del carbón Coque y sus Subproductos. Dicho proceso es de gran complejidad y se encuentra sometido a una serie de normas, tanto de seguridad como medio ambientales, esta última adquiere una gran relevancia para la empresa.

La descripción del proceso está distribuida por tres etapas principales:

Manejo de carbón: Recepción de los carbones metalúrgicos importados y almacenamiento, para luego ser transportados y tratados con distintas maquinarias antes de llegar y ser utilizados en la batería.

Proceso de coquización: Destilación seca de carbones en hornos de batería para la obtención de carbón coque y subproductos.

Purificación del gas de coquería: Eliminar aquellas impurezas y sustancias tóxicas del gas de coquería, que pudiesen provocar obturación de las líneas de distribución.



*Figura 2.1 Recepción y preparación de materias primas.*

**CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.**

**2.1 MANEJO DE CARBONES.**

Una vez llegados los carbones al puerto de San Vicente, estos son recepcionados y almacenados en las canchas de acopio para luego ser cargados en las correas transportadoras y ser llevados a una serie de maquinarias y procesos antes de ser utilizados por la Batería de Coquería. Entre estas maquinarias se encuentran las correas transportadoras, molinos, tolvas, etc.

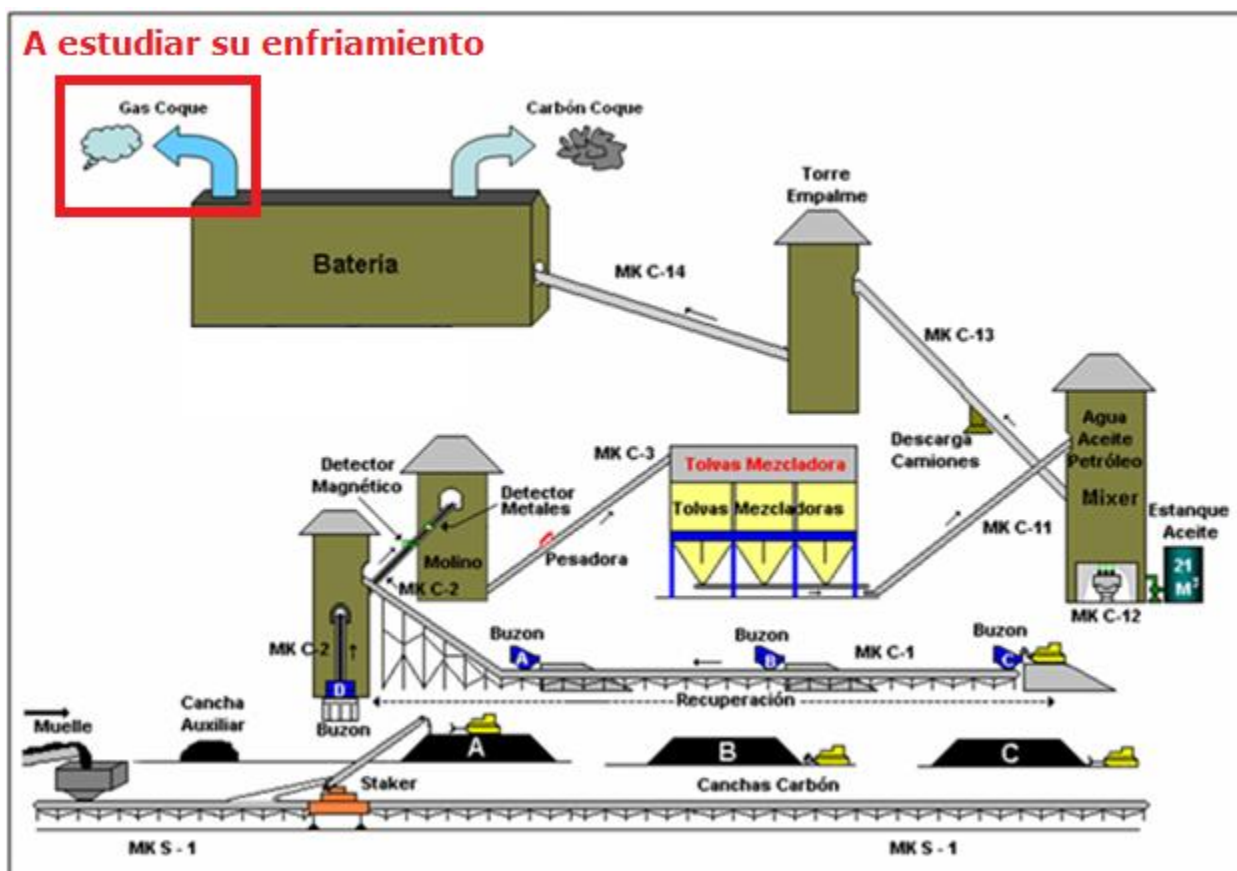


Figura 2.2 Esquema de manejo de carbón.

## ***CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.***

---

### **2.2 PROCESO DE COQUIZACION.**

#### **2.2.1 Batería de hornos de coquización.**

La batería de diseño: OTTO - TWIN – UNDERJET, de fabricación Alemana, está compuesta de 58 hornos contiguos, dispuestos en forma paralela a sus ejes longitudinales. La batería constituye el corazón de la planta de coque.

Los hornos de coquización se encuentran separados uno de otro por las cámaras de combustión, que a la vez constituyen la pared de los hornos, de manera que el carbón cargado en su interior se calienta por conducción de calor a través de las paredes laterales, ocurriendo la destilación o eliminación de la materia volátil del carbón, para originar un residuo sólido, aglomerado, sin contenido de alquitranes, de muy baja materia volátil residual y relativamente alta resistencia mecánica, capaz de resistir las sollicitaciones a las que será sometido como materia prima del proceso de alto horno.



*Figura 2.3 Batería.*

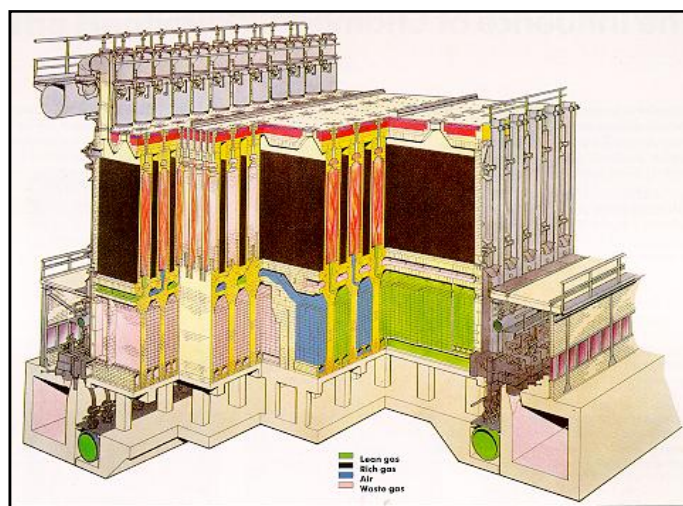
## ***CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.***

### **2.2.2 Ciclo de coquización:**

Cada horno posee en su parte superior o techo, 4 bocas de carga a través de las cuales y mediante una máquina que se desplaza por el tope de la batería, dotada de 4 buzones coincidentes con las bocas señaladas, se carga el carbón a los hornos. Estos están provistos además en uno de sus extremos superiores, de un ducto de ascensión por donde son evacuados hacia una cañería colectora común para todos los hornos, los gases producidos en la destilación. En el otro extremo poseen un pequeño tubo de ascensión destinado a interconectar un horno con su vecino durante la faena de carga.

La duración de un ciclo desde la carga de un horno hasta el término del proceso, es un parámetro de operación que fluctúa entre 15 y 24 horas, con un tiempo normal de diseño de 16.5 horas, al término de las cuales el carbón se encuentra totalmente coquizado. La temperatura media de las cámaras de combustión para la capacidad de diseño es de 1335 °C, con lo que al término del ciclo la temperatura del coque al centro del horno es cercana a 1000 °C.

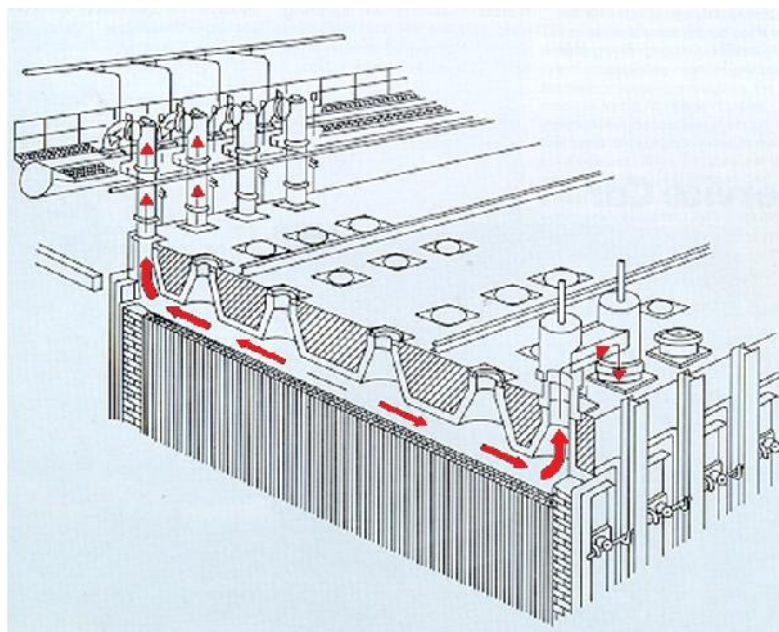
Concluido el ciclo, se retiran ambas puertas para sacar el coque, lo que se hace mediante una máquina que “empuja” el coque a través de la cámara del horno y una prolongación metálica conocida como “guía de coque”, siendo recibido en el extremo opuesto en un “carro de apagado” movido por una locomotora. El coque incandescente es recibido en el carro, y posteriormente se “apaga” mediante rociado directo con abundante cantidad de agua en la llamada “estación de apagado”.



*Figura 2.4 Vista en corte de la batería.*

## ***CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.***

---



*Figura 2.5 Evacuación de los gases.*

### **2.2.3 Estructura refractaria y sistema de calentamiento:**

El espacio determinado por las columnas, entre la fundación y la losa constituye el subterráneo de la batería, donde se ubican las matrices de gas alto horno y gas coque, así como toda la tubería correspondiente a los arranques individuales del sistema de combustión de gas coque diluido para el calentamiento de la batería. En este mismo nivel se encuentra el ducto principal de estación de gases quemados del sistema de combustión, el que corre longitudinal a la batería recolectando los gases desde las cámaras de combustión gracias al tiraje natural de una chimenea de aproximadamente 100 m de altura, a través de la cual se evacuan a la atmósfera los gases producto de la combustión.

La batería tiene la alternativa de usar el mismo gas coque diluido como combustible para el calentamiento, en cuyo caso se cumplen los mismos ciclos de calentamiento e inversión de flujo, con la diferencia que el gas coque llega directamente a los flujos de combustión, sin precalentarse en los regeneradores, los que funcionan precalentando el aire de la combustión o absorbiendo calor desde los gases quemados en forma alternada.

## CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.

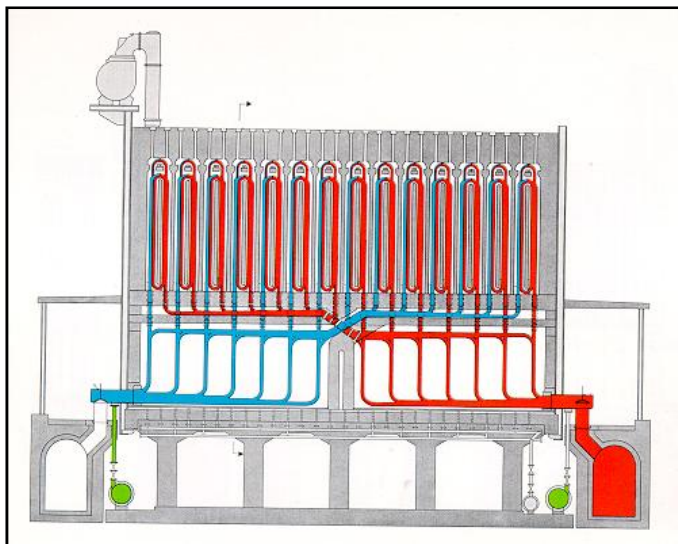


Figura 2.6 Corte transversal de la batería.

### 2.3 PLANTA DE PURIFICACION DE GAS

La Planta de purificación de gas es una parte integral del proceso de fabricación del coque. El gas coque generado en los hornos de coquización sale a través de los ductos de ascensión de gases a elevadas temperaturas (700 – 800 °C) y conteniendo una serie de impurezas, entre las que destacan los vapores de alquitrán, vapor de naftaleno, amoníaco y ácido sulfhídrico, los vapores de aceite ligeros (los aromáticos), consistiendo principalmente en benceno, el gas cianuro de hidrógeno.

Tabla 2.1 Composición volumétrica del gas de coquería.

Componentes	composición en base seca, en (%)
H <sub>2</sub>	55
CH <sub>4</sub>	25
N <sub>2</sub>	10
CO	5
CO <sub>2</sub>	3
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2

## ***CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.***

---

La planta de purificación de gas tiene como objetivo eliminar del gas aquellas impurezas que causarían obturación de las líneas de distribución (alquitrán y naftaleno) y eliminar aquellas sustancias tóxicas (ácido sulfhídrico) y corrosivas (amoníaco) contenidas en el gas.

Adicionalmente, la planta de purificación incluye los equipos necesarios para distribuir el gas producido, regular su poder calorífico a un valor constante, evitar contaminación del medio ambiente mediante transformación y neutralización de residuos, generar los servicios de agua tratada, aire comprimido y gas de alto horno pre-tratado para el funcionamiento de las instalaciones del proyecto; y el tratamiento, almacenamiento y manejo de los subproductos generados en el proceso.

**CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.**

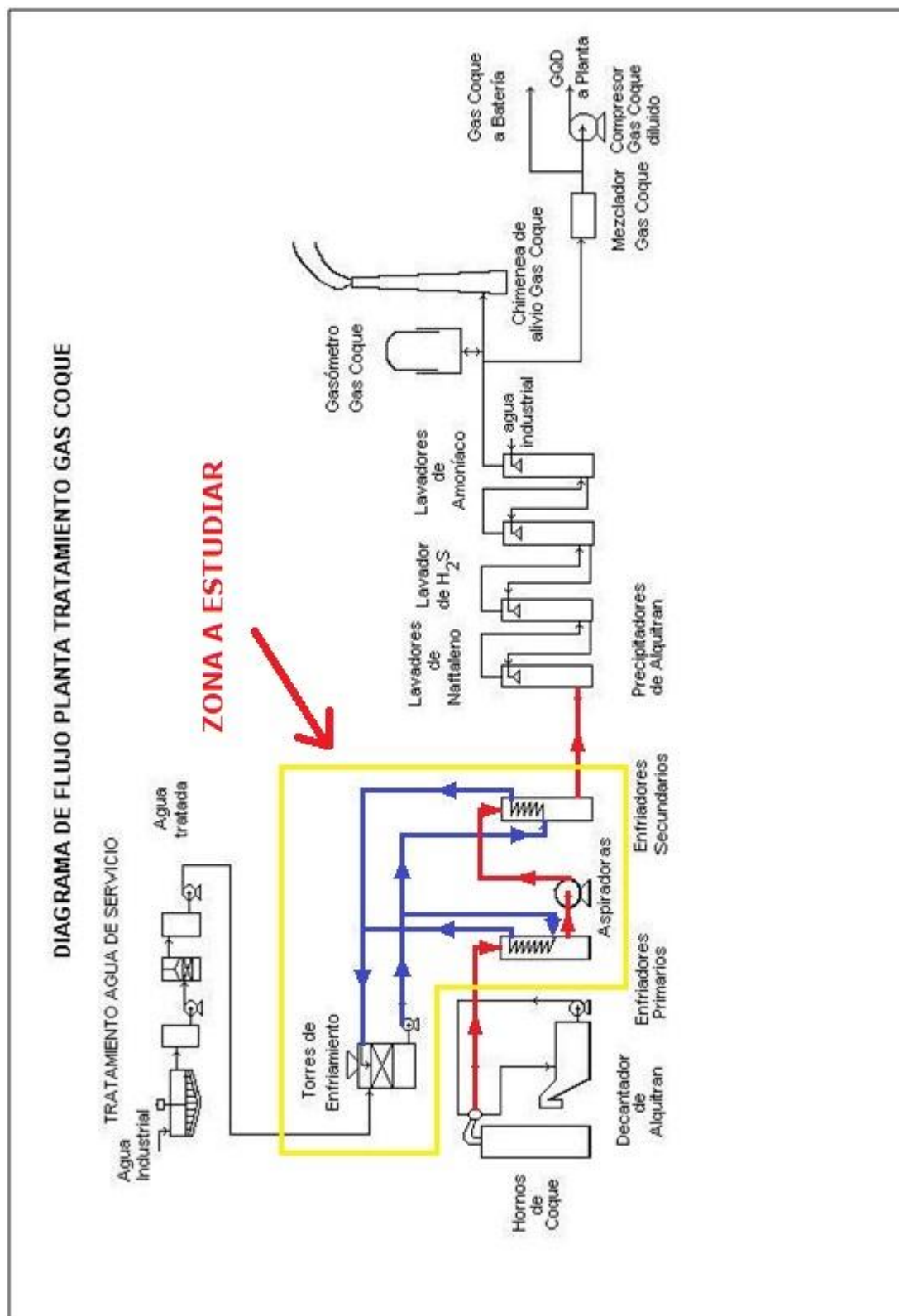


Figura 2.7 Diagrama de flujo tratamiento gas coque



## ***CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.***

---

### **2.3.1 Torre de enfriamiento de agua:**

El agua utilizada para enfriamiento del gas coque en los enfriadores primarios y secundarios, pasa a través de la torre de enfriamiento [T-3241], donde se baja la temperatura del agua para recircularla hacia los enfriadores.

Esta torre cuenta con unas piscinas de almacenamiento de agua, un filtro para limpieza del agua circulante, estanques de almacenamiento de reactivos químicos, bombas de impulsión del agua y adición de reactivos.



*Figura 2.8 Torres de enfriamiento.*

### **2.3.2 Enfriadores primarios:**

El gas que abandona la cañería colectora pasa a través de la cañería de succión y alimenta a los cuatro enfriadores primarios [H-3121ABCD] dispuestos en forma paralela, (generalmente se trabaja con dos unidades), donde se enfría gracias al intercambio con haces tubulares, a través de los cuáles circula agua de refrigeración.

**CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.**



*Figura 2.9 Enfriadores Primarios.*

*Tabla 2.2 Especificaciones técnicas enfriadores primarios [H-3121].*

Cantidad	3
Superficie de transferencia	2131 m <sup>2</sup>
Transferencia de calor	7,3 E6 kcal/h
Fluido:	
por carcasa	gas de coque
por tubería	agua de refrigeración
Temperaturas de diseño:	
por carcasa	107 °C
por tubería	95 °C
Presión de diseño:	
por carcasa	0,05~0,2 kg/cm <sup>2</sup> g
por tubería	5 kg/cm <sup>2</sup> g
Temperaturas de operación:	
por carcasa (entrada/salida)	82/25 °C
por tubería (entrada/salida)	23/33 °C
Material:	
carcasa	ASTM - 36
tubería	ASTM - 53

**CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.**

**2.3.3 Sistema de aspiración de gas coque:**

Desde los enfriadores primarios, el gas de coque pasa a las aspiradoras de gas [B-3201 A(B)], donde es succionado y enviado a los enfriadores secundarios y hacia el resto de la línea de tratamiento.



*Figura 2.10 Aspiradora del gas coque.*

*Tabla 2.3 Especificaciones técnicas aspiradora [B-3201].*

Cantidad	1
Tipo	Turbo
Fluido	Gas de coque
Tasa de fluido	33000 Nm <sup>3</sup> /h/base seca
Presión de succión	(-550 mmH <sub>2</sub> O)
Presión de descarga	1500 mmH <sub>2</sub> O
Operación	Turbina a vapor (170 kW, 4070 rpm en cond/norm)

**CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.**

**2.3.4 Enfriadores secundarios:**

El gas de coque es enviado desde las aspiradoras de vapor hacia los enfriadores secundarios [H-3301ABC], donde se hace circular para realizar el intercambio de calor con el agua de refrigeración de la torre.



*Figura 2.11 Enfriadores secundarios.*

*Tabla 2.4 especificaciones técnicas enfriadores secundarios [H-3301].*

Cantidad	2
Superficie de transferencia	482 m <sup>2</sup>
Transferencia de calor	0,2 E6 kcal/h
Fluido:	
por carcaza	gas de coque
por tubería	agua de refrigeración
Temperaturas de diseño:	
por carcaza	85 °C
por tubería	75 °C
Presión de diseño:	
por carcaza	0,2 kg/cm <sup>2</sup> g
por tubería	5 kg/cm <sup>2</sup> g
Temperaturas de operación:	

**CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.**

por carcaza (entrada/salida)	45/25 °C
por tubería (entrada/salida)	23/27 °C
Material:	
carcaza	ASTM - 36
tubería	ASTM - 53

**2.3.5 Sección lavadores:**

Después de quitar el alquitrán en el precipitador correspondiente, el gas de coque se envía a los lavadores de naftaleno, ácido sulfhídrico y amoniaco. El gas de coque es expuesto a flujos en contra corriente en los distintos lavadores, para así, eliminar el contenido de impurezas presentes en el gas proveniente de coquería.



*Figura 2.12 Lavadores de gas de coquería.*

**2.3.6 Sistema almacenamiento gas coque:**

El gas coque, que ha sido enfriado y el cual se ha eliminado el alquitrán, el naftaleno, el sulfuro de hidrógeno y el amoniaco, completa su proceso de purificación, quedando la línea de gas conectada a un gasómetro de 2000 m<sup>3</sup> de capacidad [V-3501], que sirve como regulador de presión y acumulador para el sistema. En paralelo está conectado el antiguo gasómetro de gas coque de 5600 m<sup>3</sup> de capacidad para absorber las fluctuaciones en la generación y el consumo de gas coque.

## ***CAPITULO II: Descripción general del proceso de obtención del coque metalúrgico y los subproductos.***

---



*Figura 2.13 Almacenamiento del gas coque.*

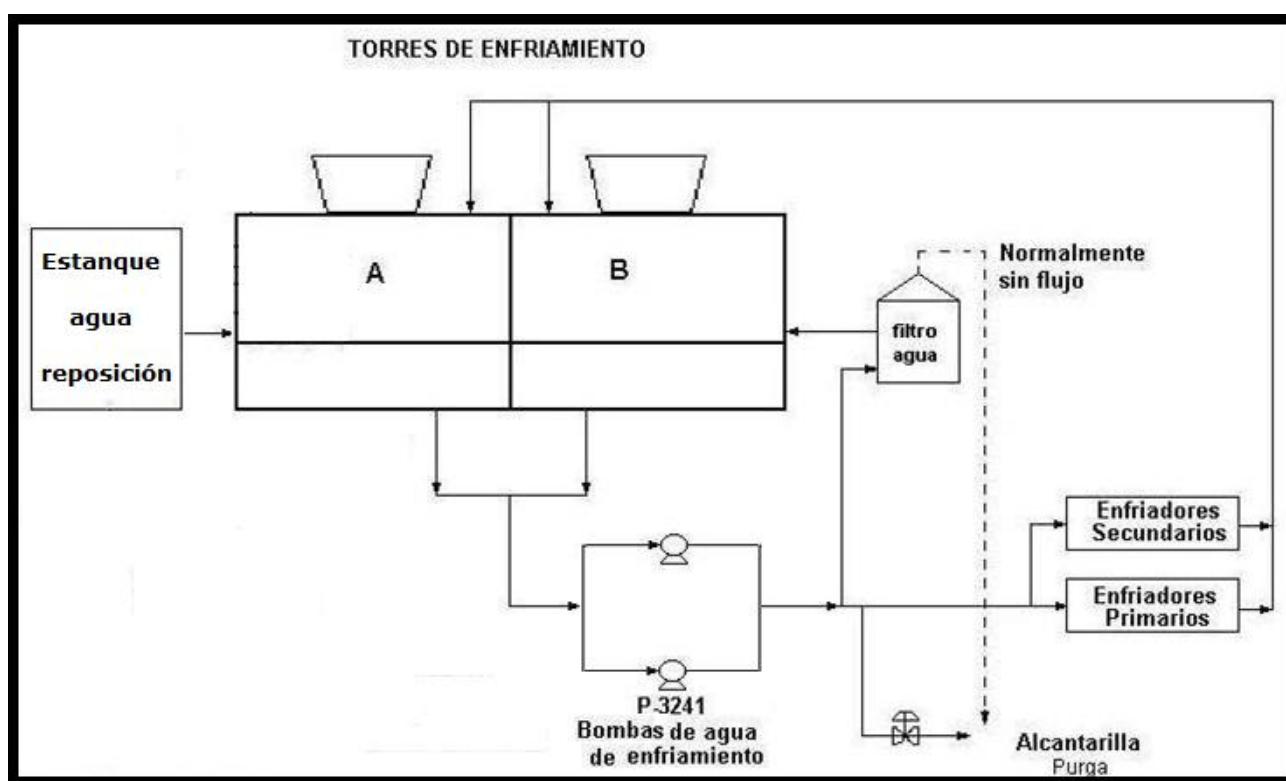
### **2.3.7 Estación de mezcla de gas coque:**

El gas coque purificado tiene un poder calorífico fluctuante alrededor de 4700 a 5000 (kcal/Nm<sup>3</sup>), el que debe ser regulado a un valor inferior y constante para su utilización como combustible industrial.

Para ello se dispone de una estación de dilución de gas coque, donde se adiciona gas de alto horno de aproximadamente 700 (kcal/Nm<sup>3</sup>), para obtener una mezcla de gas diluido de 4500 a 4700 (kcal/Nm<sup>3</sup>).

**CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos.**

El proceso de enfriamiento de los gases de coquería, se lleva a cabo por medio de transferencia de calor generada en los serpentines de los enfriadores, por donde circula el agua de refrigeración proveniente de las torres de enfriamiento. En las torres de enfriamiento, el calor adquirido por el agua en los enfriadores, es trasferido al aire que pasa por las torres, para así enfriar el agua por evaporación disminuyendo su temperatura, para volver a circular por los enfriadores, generando un circuito cerrado.



*Figura 3.1 Esquema general circulación de agua de refrigeración.*

**3.1 PROCESO DE ENFRIAMIENTO DE LOS GASES DE COQUERIA.**

La función principal de los equipos, es enfriar los gases provenientes de la batería de coquización, los cuales han sido enfriados previamente por otros equipos de transferencia de calor, como son los enfriadores primarios. Luego de pasar por los enfriadores secundarios los gases son

### ***CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos.***

---

enviados a los precipitadores y lavadores donde es extraído el alquitrán, naftaleno, amoniaco y ácido sulfhídrico, para así obtener un gas coque puro.

#### **3.1.1 Proceso Enfriadores Primarios:**

El gas coque, que es producido por la coquización del carbón sale de los hornos de la batería a 700 – 800 °C, se enfría rápidamente a 70- 80 °C, mediante rociado directo con una solución acuosa de enfriamiento (licor amoniacal) en la colectora de gas, con lo cual gran parte del alquitrán y humedad en el gas se condensa y se elimina.

La temperatura de ingreso del gas de coque al enfriador primario es entre 70 – 80 °C, donde se produce el intercambio de calor con el agua de refrigeración proveniente de las torres de enfriamiento. Luego el gas sale con una temperatura entre 37 – 45 °C, y con eliminación de impurezas por condensación.

El líquido condensado, que se produce en esta sección y que contiene licor amoniacal o alquitrán, se acumula en el pozo de condensado N° 1 (V-3121).

Este líquido condensado se envía luego a través de una de las bombas de condensado N°1 (P-3121AB) a los decantadores de alquitrán primarios.

En esta sección los fluidos, tanto gases como condensados, siguen distintas líneas de operación en sus inicios, para posteriormente ser mezclados los distintos componentes extraídos del gas con el fin de obtener combustibles alternativos para su uso tanto en la batería de hornos coquización, como para el área de combustibles los cuales los distribuyen por la planta según sus necesidades.

#### **3.1.2 Proceso de aspiración de gas coque:**

El gas de coque proveniente de los enfriadores primarios es succionado por las aspiradoras, equipos accionados por turbinas a vapor y responsables de succionar el gas coque desde los hornos y mantener el cuadro de presiones desde la batería y a través de todo el sistema de purificación. La



### ***CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos.***

---

regulación de la presión para cantidades variables de producción de gas coque se logra variando la velocidad de rotación de la aspiradora mediante un sistema de control.

El gas succionado desde los hornos y pasado por los enfriadores primarios ingresa a las aspiradoras con una temperatura de 37 – 45 °C, donde es a la vez comprimido en la aspiradora y enviado a los enfriadores secundarios y hacia el resto de la línea de tratamiento, operación en la que se vuelve a elevar la temperatura del gas entre 45 – 50 °C.

El líquido condensado, producido en esta sección y que contiene licor amoniacal o alquitrán, se acumula en el pozo de aspiradoras (V-3201). Más aún, algo del licor amoniacal entra continuamente al pozo de aspiradoras a través de la bomba de licor amoniacal.

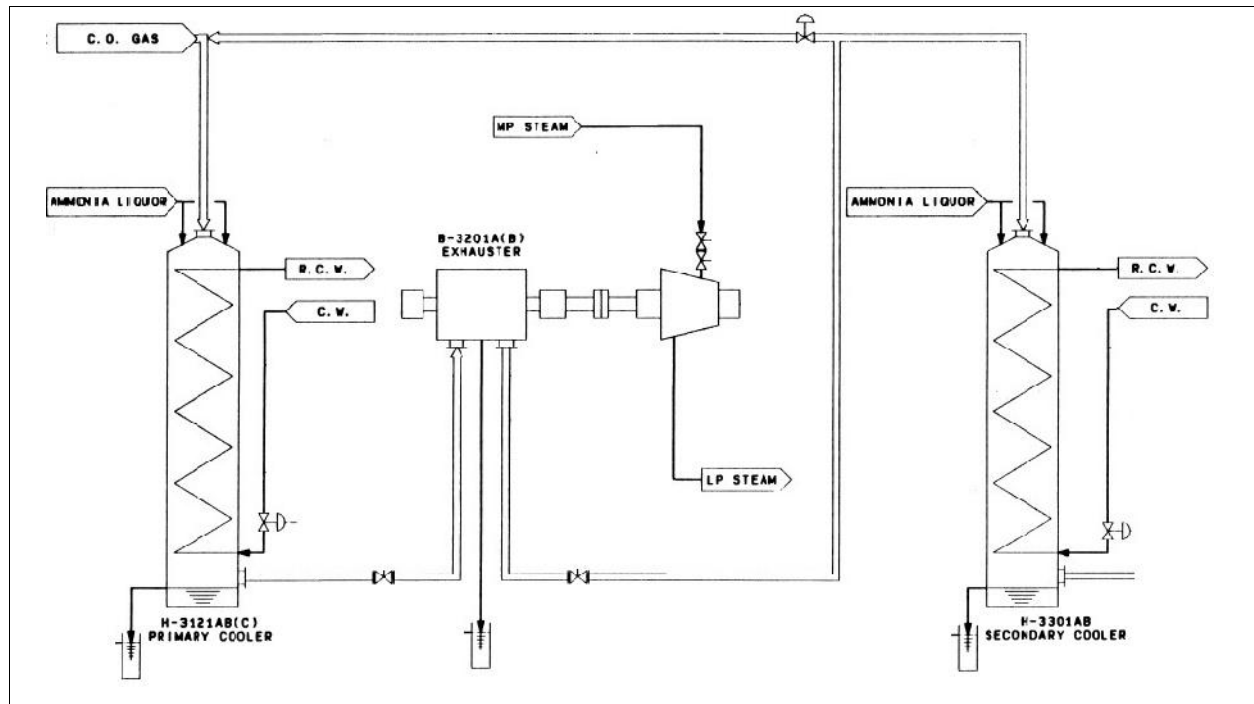
El líquido condensado y el licor amoniacal son enviados a los decantadores de alquitrán primarios por las bombas del pozo de aspiradoras (P-3201AB).

#### **3.1.3 Proceso Enfriadores Secundarios:**

El gas de coque presurizado a 1000 mm de columna de agua, en las aspiradoras, tiene una temperatura entre 45 – 50 °C. Con el objeto de volver a bajar la temperatura del gas entre 25 – 32 °C, se le hace circular por los enfriadores secundarios. En los enfriadores secundarios, se realiza una mezcla de alquitrán y de licor amoniacal (9 m<sup>3</sup>/h), la cual se rocía en la parte superior de los enfriadores secundarios para prevenir la adhesión del naftaleno en la superficie de transferencia de calor, esta operación es realizada cuando no circulan los gases en el enfriador. El exceso de licor amoniacal y de alquitrán se envía al decantador de alquitrán N°1 (V-3101AB) por medio de la bomba de condensado N°2 (P-3301AB).

El gas coque enfriado a 25°C aproximadamente, luego de pasar por los enfriadores secundarios los gases son enviados a los precipitadores y lavadores donde es extraído el alquitrán, naftaleno, amoniaco y ácido sulfhídrico, para así obtener un gas coque puro.

**CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos.**



*Figura 3.2 Circulación de gas de coque por enfriadores.*

### 3.2 PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA DE REFRIGERACION.

#### 3.2.1 Torre de enfriamiento de agua:

El sistema de circulación de agua de enfriamiento, tanto para los enfriadores primarios y secundarios, se encuentra ubicado dentro de la sección de subproductos y tiene como finalidad enfriar el gas coque producido en la batería de hornos de coque. Para ello se dispone de un sistema de recirculación, acondicionamiento y tratamiento del agua para conservar la integridad de los equipos. Dicho sistema está diseñado para enfriar un flujo máximo de 1800 m<sup>3</sup>/h de agua, de la que usualmente circulan por ella cerca de 1100 m<sup>3</sup>/h, debido a que las condiciones actuales de la torre de enfriamiento, por falta de mantenimiento ha bajado su capacidad de enfriamiento, esto ha llevado a tomar la medida de disminuir el caudal de agua.

La torre de enfriamiento de la planta de Coque, cumple con la función de rechazar al aire las energías degradadas en el funcionamiento de la planta: suministrando agua de enfriamiento a los intercambiadores de calor de la planta, como son los enfriadores primarios y secundarios. El agua de

### ***CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos.***

---

enfriamiento disminuye su temperatura poniéndola en contacto con el aire, mediante dos ventiladores que produce un tiro inducido en contraflujo y transfiriendo el calor desde el agua caliente hacia la atmósfera principalmente mediante evaporación y convección.

El agua fría se acumula en los depósitos inferiores de la torre y a continuación se envía nuevamente hacia los enfriadores primarios y secundarios por medio de las bombas de impulsión de agua de enfriamiento [P-3241 AB(C)]. La torre cuenta con tres bombas (dos en operación) para entregar el agua desde la piscina de la torre. Actualmente se opera con bombas diseñadas para 900 m<sup>3</sup>/h, pero estas bombas trabajando impulsando menor cantidad de agua, ya que la torre no trabaja a su máxima capacidad de diseño.

En forma continua, agua de reposición (clarificada) alimenta a la piscina de las torres de enfriamiento desde el sistema de tratamiento de agua.



*Figura 3.3 Sala de bomba de circulación de agua de enfriamiento.*

### ***CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos.***

---

#### **3.2.2 Proceso del tratamiento del agua de enfriamiento:**

Con el objeto de mantener la concentración de sólidos en suspensión en niveles bajos, parte del agua que va a los enfriadores ( $80 \text{ m}^3/\text{h}$ ) se hace pasar por el filtro de agua de enfriamiento donde se eliminan los sólidos, ésta retorna al depósito inferior de la torre de enfriamiento.

A fin de evitar el incremento en la concentración de sólidos del agua fría circulante, una cantidad de ésta ( $\leftarrow 2 \text{ a } 3 \text{ m}^3/\text{h}$ ) es descargada hacia el alcantarillado (purga).

Durante la filtración, los sólidos son acumulados en el lecho del filtro, hasta que se activa el mecanismo de retrolavado automático producto del diferencial de presión entre la entrada y la salida del filtro. Cuando ocurre este retrolavado, el agua con los sólidos retenidos son descargados a la alcantarilla.



*Figura 3.4 Torre y filtro del agua de enfriamiento.*

***CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos.***

---

Para preservar la integridad de los equipos, tuberías bombas etc., el agua de enfriamiento es sometida a un tratamiento con reactivos, lo cual beneficia la capacidad y rendimiento de la planta de subproducto.

Los productos usados en el control químico son:

Dispersantes de sólidos (N 7348): Mezcla de polímeros que tiene como objetivo primordial dispersar el lodo, arena, hierro y varias sales de calcio.

Inhibidor de Corrosión (N 1339 y C 47340): El propósito de estos químicos en base a Molibdato y Zinc, es proporcionar una fina película que previene la formación de corrosión, formulado especialmente para sistemas de un solo paso y para torres de refrigeración de sistemas de enfriamiento.

Hipoclorito de Sodio: Biocida oxidante que se adiciona en forma constante para eliminar la materia orgánica.

*Tabla 3.1 Productos de control químico:*

Insumo	Producto	Consumo	Unidad
Dispersante de sólidos	Nalco 7348	30	kg/mes
Inhibidor de Corrosión	C 47340	470	kg/mes
Inhibidor de Corrosión	Nalco 1339	294	kg/mes
Algicida	Hipoclorito de Sodio	1730	l/mes

**CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos.**

**3.3.3 Especificaciones de los equipos:**

*Tabla 3.2 Torre de Enfriamiento T – 3241:*

Cantidad	1
Tipo	Flujo transversal 2 celdas
Fluido	Agua
Capacidad	1800 m <sup>3</sup> /h
Temperatura del agua	Entrada 33 °C – Salida 23 °C
Dimensiones	19500 mm largo x 10000 mm ancho x 6500 mm alto
Accesorios	Ventilador 2 unidades / 453423 m <sup>3</sup> /h volumen de aire c/u
	Motor 55 kW, 4P

*Tabla 3.3 Bomba de circulación de agua de enfriamiento P-3241:*

Cantidad	2 + (1) (2 en servicio + 1 de respaldo)
Tipo	Centrífuga horizontal
Fluido	Agua de enfriamiento
Capacidad	900 m <sup>3</sup> /h
Presión de aspiración	0.1 kg/cm <sup>2</sup> manométrica
Presión de descarga	3.6 kg/cm <sup>2</sup> manométrica
Altura descarga	35 m
Presión de cierre	4.8 kg/cm <sup>2</sup> manométrica
NPSHR (agua)	4.8 m
Flujo mínimo	80 m <sup>3</sup> /h
Accionamiento	Motor (132 kW, 1470 rpm)
Tipo de sello	Mecánico
Líquido de sello	Agua de enfriamiento

***CAPITULO III: Descripción del proceso de enfriamiento de los gases de coquería y del agua de refrigeración de éstos.***

---

*Tabla 3.4 Filtro de agua de enfriamiento V-3241:*

Cantidad	1
Tipo	Filtro tipo sifón
Fluido	Agua de enfriamiento
Capacidad	80 m <sup>3</sup> /h
Temperatura de diseño	40 °C
Presión de diseño	Lleno de líquido
Dimensiones	3800 mm Di x 5300 mm alto
Volumen	60.1 m <sup>3</sup>

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

### **4.1 TORRE DE ENFRIAMIENTO.**

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes, porque son el medio más económico para hacerlo (si se compara con otros equipos de enfriamiento como los intercambiadores de calor donde el enfriamiento ocurre a través de áreas de transferencia de calor).

En el interior de las torres se monta un relleno con el propósito de aumentar la superficie de contacto entre el agua-aire. El contacto entre el aire y el agua puede ser en flujo cruzado o contraflujo, siendo este último el más eficiente, puesto que, su principal ventaja es que el agua más fría se contacta con el aire más seco; ocurriendo esto en la parte inferior de la torre; en tanto que, en la parte superior de dicha torre el agua más caliente se mezcla con el aire más húmedo. De esta manera se evita que el aire se sature antes de salir por la parte superior.

La temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo, son muy importantes para la evaluación del comportamiento de una torre.

El enfriamiento ocurre cuando el agua, al caer a través de la torre, se pone en contacto directo con una corriente de aire que fluye, con una temperatura de bulbo húmedo inferior a la temperatura del agua caliente, en estas condiciones, el agua se enfría por transferencia de masa (evaporación) y por transferencia de calor sensible y latente del agua al aire, lo anterior origina que la temperatura del aire y su humedad aumenten, y que la temperatura del agua descienda; la temperatura límite de enfriamiento del agua es la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre.

En las torres se colocan eliminadores de niebla que atrapan las gotas de agua que fluyen con la corriente de aire hacia la salida de la torre, con el objeto de disminuir la pérdida de agua.

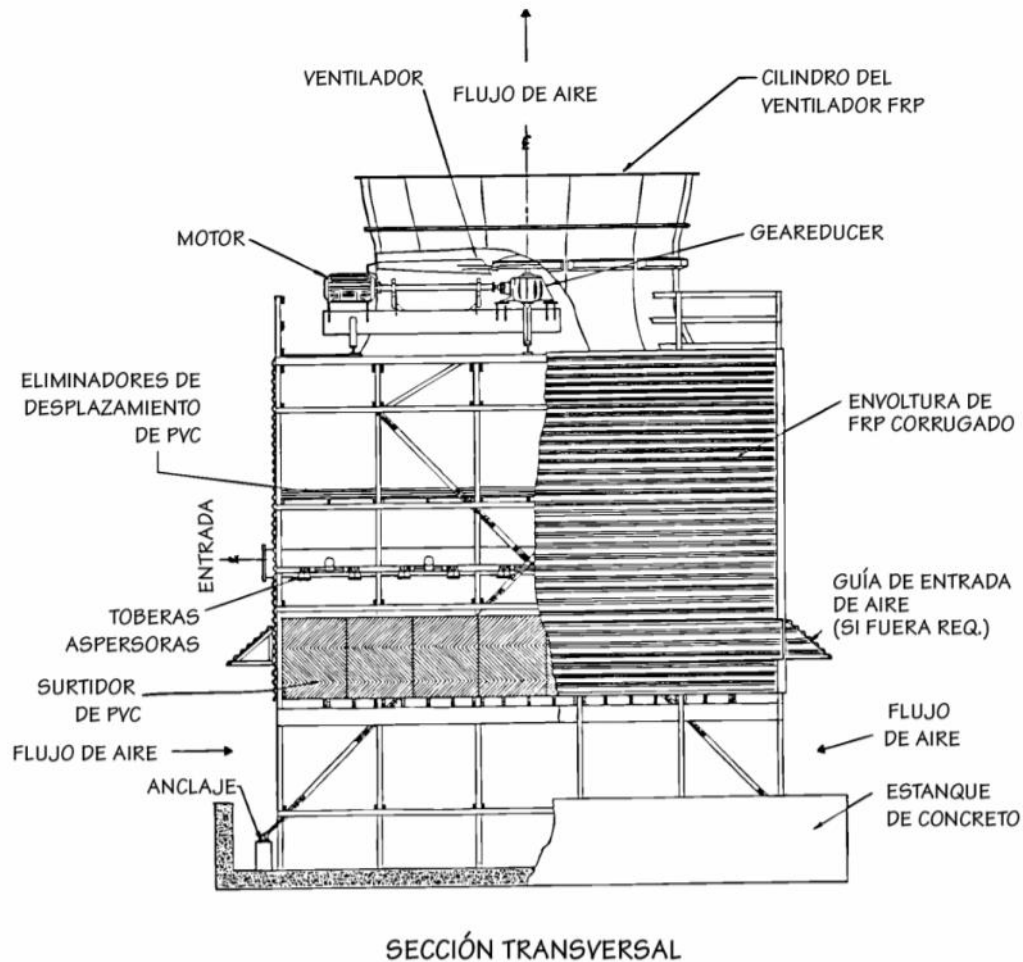
El agua se introduce por el domo de la torre por medio de vertederos o por boquillas para distribuir el agua en la mayor superficie posible.

Se recomienda el tratamiento químico del agua a enfriar y realizar un análisis periódico para evitar las incrustaciones y la corrosión en los elementos de la torre y en los tubos de los enfriadores primarios y secundarios.



## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

La clasificación de las torres se establece basándose en el principio de convección (circulación) que emplean, es decir, a la forma en que se suministra el aire para enfriar el agua.



*Figura 4.1 Sección trasversal de una torre de enfriamiento.*

### **4.2 TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.**

Las torres de enfriamiento se clasifican de acuerdo con los medios por los que se les suministra el aire. En la actualidad se emplean dos tipos de torres; el de tiro natural y el de tiro mecánico, el cual se divide en torres de tiro forzado y de tiro inducido, subdividiéndose este último en flujo a contracorriente y flujo cruzado.

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

### **4.2.1. Torre de enfriamiento de tiro natural o hiperbólico (convección natural):**

Las torres de tiro natural, operan de la misma manera que una chimenea de un horno, El aire se calienta en la torre por el agua caliente que entra en contacto, de manera que su densidad baja, la diferencia entre la densidad del aire que está en la torre y en el exterior origina un flujo natural de aire frío en la parte inferior y una expulsión de aire menos denso en la parte superior. Las torres de tiro natural deben ser altas para promover este efecto y deben también tener sección transversal grande debido a la baja velocidad con que el aire circula comparado con las torres de tiro mecánico.



*Figura 4.2 Torre de tiro natural o hiperbólica.*

### **4.2.2 Torres de enfriamiento por convección forzada (tiro mecánico):**

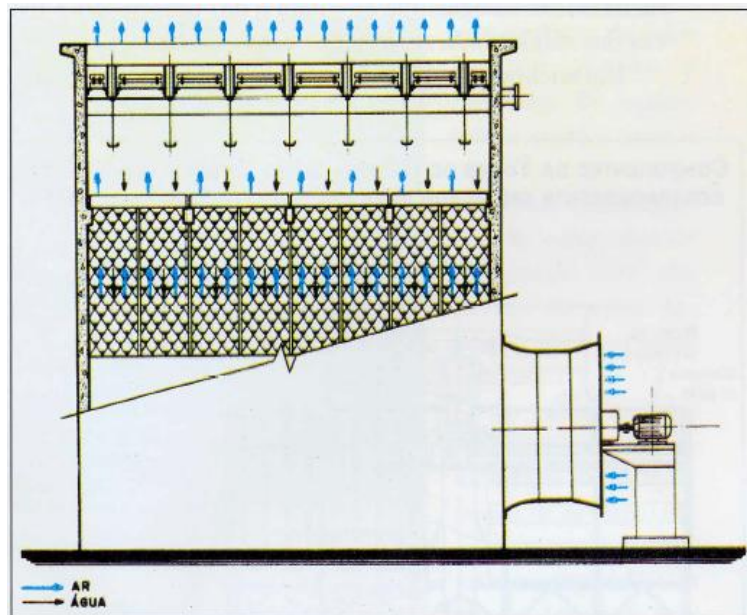
Estas torres usan ventiladores para mover el aire en vez de depender del tiro natural o de la velocidad del viento en el sitio en que estén funcionando. Como se aprecia, el hecho de utilizar ventiladores, permite controlar la demanda de aire requerida para un determinado proceso de enfriamiento.

Las torres de tiro mecánico se subdividen en: torres de tiro forzado y torres de tiro inducido, según si el aire es forzado por un ventilador situado en la parte inferior o se succione mediante un extractor situado en la parte superior, respectivamente.

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

### **4.2.2.1 Torre de tiro forzado:**

En el tipo de tiro forzado, el ventilador está ubicado en el sitio de entrada del aire. Como el ventilador mueve aire de baja humedad, los problemas de corrosión de aletas del ventilador y de la condensación de la humedad en la caja del reductor de velocidad, son prácticamente nulas. Como desventajas es importante anotar que la distribución del aire es relativamente pobre, puesto que el aire debe dar un giro de 90° lo que produce que este se descargue a baja velocidad a través de una gran abertura en la parte superior de la torre.



*Figura 4.3 Torre de tiro forzado.*

### **4.2.2.2 Torres de enfriamiento de tiro inducido:**

En esta tipo de torres de enfriamiento, el aire es inducido por uno o más ventiladores situados en la parte superior de la torre. Los ventiladores son movidos por sistemas mecánicos que generalmente incluyen reductores, ejes de transmisión y motor eléctrico.

Estas torres se clasifican según el flujo de aire en dos tipos:

Flujo en contra-corriente.

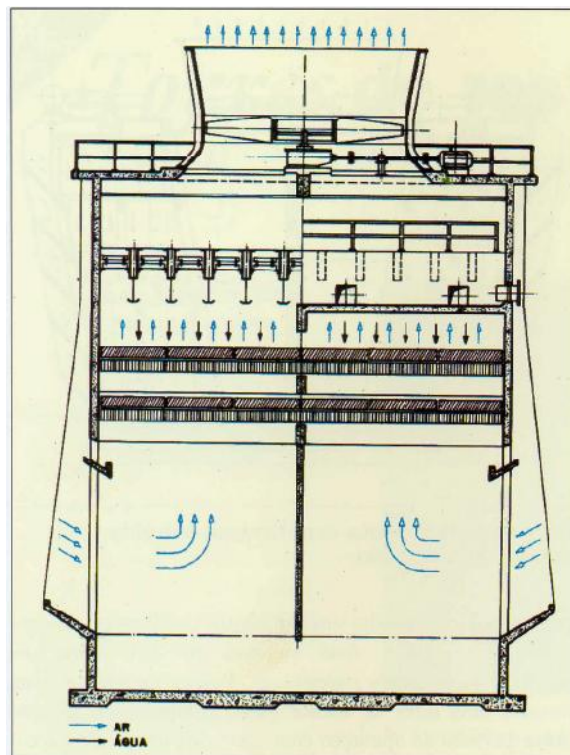
Flujo cruzado.

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

### **a) Torre de enfriamiento de tiro inducido flujo en contra-corriente:**

Este tipo de torre representada en la figura 4.5, tiene un extractor situado en la parte superior de la unidad, el cual succiona el aire verticalmente a través de la zona empaquetada y lo expulsa a alta velocidad.

La principal ventaja de esta torre está en que el agua fría en la parte inferior se pone en contacto con el aire que entra (baja humedad relativa) y el agua caliente que entra, se pone en contacto con el aire húmedo que sale. En estos equipos, la recirculación rara vez es un problema puesto que, el aire saturado es expulsado a alta velocidad, de manera que se proyecta hacia arriba, lejos de las lumbreras de admisión de la torre y de esta manera sea arrastrado por las corrientes naturales de aire que evitan su asentamiento posterior. Sin embargo, las torres de este tipo presentan una caída de presión en la toma del aire del extractor, lo que producen un aumento de los requerimientos totales de energía y además la alta velocidad de descarga del extractor produce algo de pérdida de agua por gotas que son arrastradas por la corriente de aire a través de la unidad.



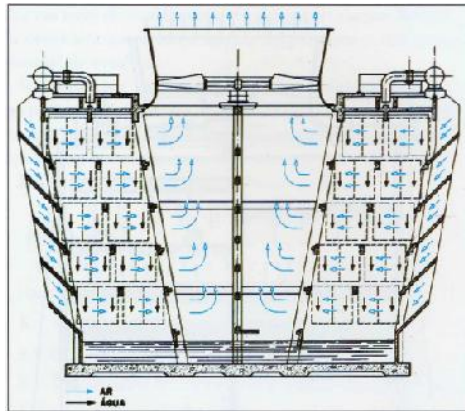
*Figura 4.4 Torre de enfriamiento tiro inducido, flujo contra-corriente.*

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

### **b) Torres de enfriamiento de tiro inducido flujo cruzado:**

En las torres de flujo cruzado, el aire circula en dirección perpendicular respecto al agua que desciende través de empaquetaduras. Los separadores que desvíen el flujo de aire accionado por el extractor hacia arriba, puesto que como hay menor resistencia al flujo de aire, las pérdidas por arrastre son menores. Estos diseños permiten la construcción de aparatos de baja altura y en consecuencia bajo cabezal de bombeo, por estas razones se están utilizando mucho últimamente.



*Figura 4.5 Torre de enfriamiento de tiro inducido, flujo cruzado.*

## **4.3 PARTES COMPONENTES DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.**

### **4.3.1 Estructura:**

Básicamente es el soporte de la torre de enfriamiento. Su forma y solidez dependen de las características de diseño de la torre, la cual tiene que ser con normas específicas que dependen de su capacidad de funcionamiento.

### **4.3.2 Distribuidor de agua de entrada a la torre:**

El agua de entrada a la torre puede ser distribuida por dos formas:

Por flujo gravitatorio.

Por presión.

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

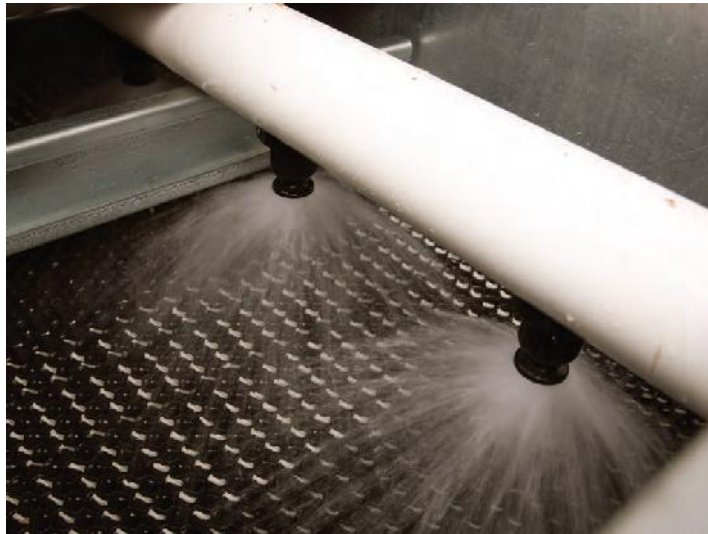
---

### **a) Distribuidor por flujo gravitatorio:**

Para la distribución del agua por gravedad, comúnmente se emplea un recipiente o colector ubicado en la parte superior de la unidad. Aquí, el agua es bombeada hasta el colector, de donde fluye por gravedad a través de boquillas, la salida a través de éstas es en forma de chorros.

### **b) Distribución de agua por presión:**

Cuando se emplea este método, el agua se introduce a presión a través de boquillas que atomizan el agua en vez de formar gotas como en el caso anterior. En esta forma el líquido ofrece mayor área de contacto efectivo al aire que circula.



*Figura 4.6 Sistema de distribución de agua por presión.*

### **4.3.3 Relleno o Empaques:**

La función del empaque, es aumentar la superficie de contacto disponible, ya sea distribuyendo el líquido sobre una gran superficie o retardando la caída de las gotas a través del aparato. Idealmente, éstos deben ser de bajo costo y de fácil instalación.

Los empaques utilizados en la construcción de torres de enfriamiento son de muchas formas y de diferentes materiales, pero los principales se clasifican como a continuación se indican: empaques de salpicadura y empaques de contacto laminar.

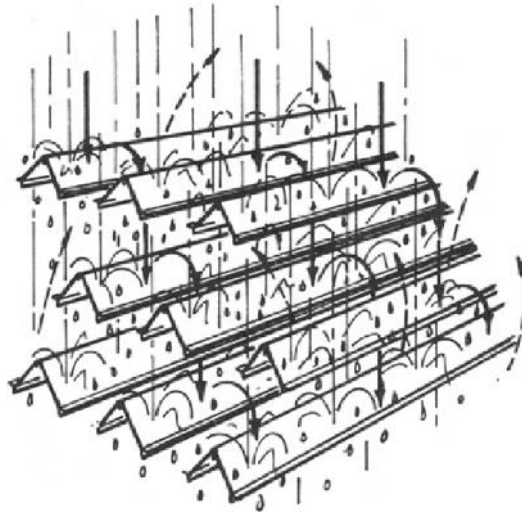
## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

### **a) Relleno de salpicadura:**

El tipo de Relleno de Salpique propicia la caída del agua en forma de cascada a través de elevaciones sucesivas de barras de caída dispuestas en forma paralela, aumentando el tiempo de contacto aire-agua.

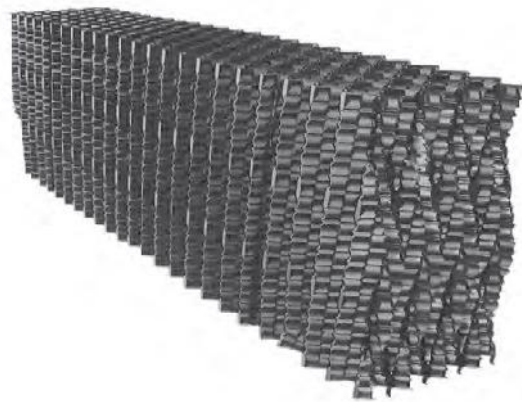
Dado que se produce una gran dispersión de agua dentro del relleno de tipo salpique en una torre de enfriamiento, la acción es de una distribución de agua no uniforme.



*Figura 4.7 Relleno de salpicadura.*

### **b) Relleno de contacto laminar:**

El agua de admisión circula por el relleno en una multitud de delgadas películas fluyendo sobre un área grande de relleno para exponer una máxima superficie de agua sin que se quiebre en gotas.



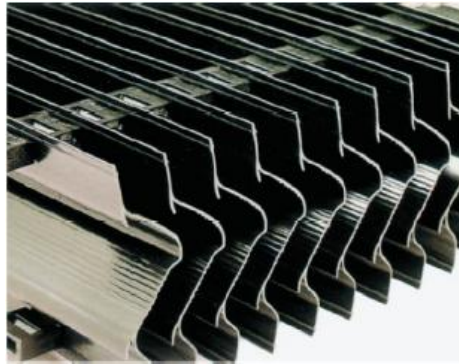
*Figura 4.8 Relleno de contacto laminar.*

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

### **4.3.4 Separadores de gotas:**

Son desviadores colocados adecuadamente en la parte superior de la zona empaquetada para minimizar las pérdidas de pequeñas cantidades de agua no evaporada, arrastrada en forma de pequeñas gotas por el aire que circula a través del equipo de enfriamiento.



*Figura 4.9 Separadores de gotas.*

### **4.3.5 Lumbreras de admisión de aire:**

Las lumbreras de admisión de aire son diseñadas para distribuir adecuadamente el aire que entra en la un unidad y para prevenir las pérdidas de agua.

Cuando el aire circula a baja velocidad con mínima caída de presión, este se distribuye adecuadamente sin presentarse el fenómeno de acanalamiento, en virtud de lo cual, se aumenta la eficiencia de enfriamiento y se reduce la recirculación del aire expulsado por el extractor.



*Figura 4.10 Lumbreras de admisión torre flujo cruzado.*



## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

### **4.3.6 Equipo mecánico:**

El equipo mecánico de una torre de enfriamiento está compuesto de las siguientes partes:

Ventilador

Soporte del equipo mecánico

Motor y transmisión

Difusor.

#### **a) Ventilador:**

Dispositivo que tienen como objeto mantener el flujo constante de aire, a través de la torre. Esta parte difiere su posición dependiendo el tipo que sea, es decir las torres que son de tipo forzado, el ventilador está ubicado en la parte baja; en cambio las torres de tipo inducido tienen el ventilador en la parte superior.



*Figura 4.11 Ventilador tipo axial de ocho aspas.*

#### **b) Soporte del equipo mecánico:**

La estructura del soporte para el motor y el reductor de velocidad para el ventilador. Estas estructuras deben ser muy resistentes y son construidas por uniones soldadas o apernadas para asegurar un alineamiento continuo de todas las partes rotatorias.

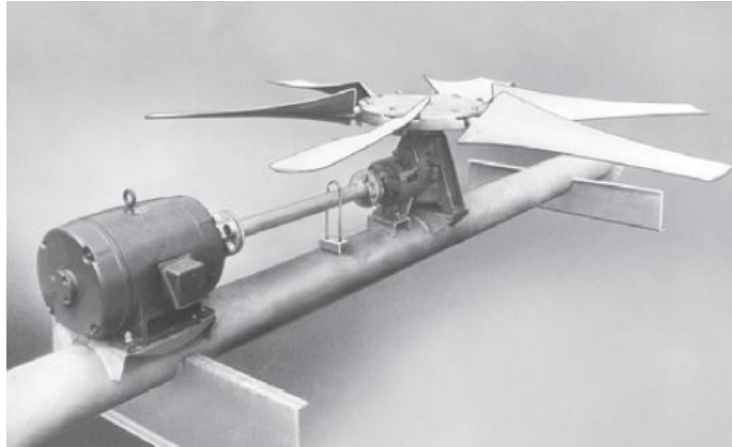
#### **c) Motor y transmisión:**

La transmisión del movimiento del motor al ventilador puede ser directa, se monta el ventilador sobre el eje del motor o indirecta, si el movimiento se transmite un reductor de velocidad

#### ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

de engranajes. Los más comúnmente usados en estas torres, son los reductores de velocidad de engranajes acoplados en ángulo recto con el motor montado horizontalmente, en donde el motor está cerrado y localizado justo a un lado de la corriente de aire que sale.



*Figura 4.12 Soporte conjunto motor-reductor-ventilador.*

#### **d) Difusores:**

El uso de los difusores en las torres de enfriamiento de tiro inducido tiene tres propósitos principales: (1) ayuda a eliminar la turbulencia del aire en el área de la garganta; (2) produce un efecto de chimenea en el aire que sale y, si el difusor es lo suficientemente alto; (3) actúa como protector del ventilador para reducir la recirculación.

El diseño y construcción correcta de los difusores mejora la eficiencia del ventilador y del enfriamiento total.



*Figura 4.13 Tipo de difusor de torre de enfriamiento.*

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

### **4.3.7 Pileta:**

Se trata de un recipiente donde se recolecta agua fría que sale de la torre de enfriamiento. Su construcción debe ser de tal manera que elimine el peligro de que la bomba absorba aire cuando opera con un mínimo de agua; tiene que ser accesible para remover la suciedad acumulada en el fondo.

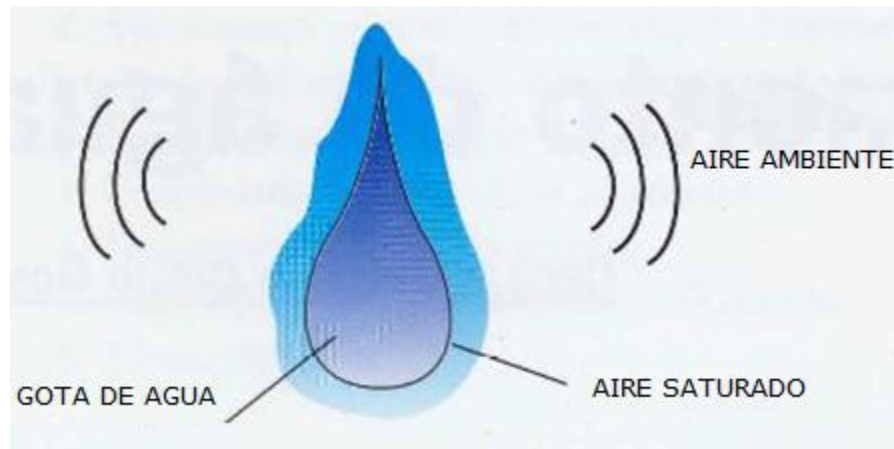
### **4.4. PRINCIPIOS TEORICOS EN TORRES DE ENFRIAMIENTO.**

Los procesos de de enfriamiento se cuentan entre los más antiguos que se conocen. Por lo común, el agua se enfría exponiendo su superficie al aire. Alguno de estos procesos son lentos, como el enfriamiento del agua en la superficie de un estanque; otros son comparativamente rápidos, por ejemplo, el rociado de agua hacia el aire. Todos estos procesos implican la exposición de la superficie del agua al aire en diferentes grados.

El proceso de transferencia de calor comprende 1) la transferencia de calor latente debido a la evaporación de una porción pequeña de agua, y 2) la transferencia de calor sensible debido a la diferencia de temperatura entre el agua y el aire. Aproximadamente el 80% de dicha transferencia de calor se debe al latente y el 20% al sensible.

La posibilidad de eliminación teórica de calor por kilogramo de aire circulado en una torre de enfriamiento depende de la temperatura y el contenido de humedad del aire. La temperatura de bulbo húmedo es un indicador del contenido de humedad del aire. Por lo tanto, desde un punto de vista ideal, ésta es la temperatura teórica mas baja a la que puede enfriar el agua. Prácticamente la temperatura del agua se acerca, pero no llega a ser equivalente, a la de bulbo húmedo del aire en una torre de enfriamiento, y esto es debido a que es imposible establecer un contacto de toda el agua con el aire fresco conforme ésta desciende por la superficie mojada del relleno hasta el estanque. La magnitud del acercamiento a la temperatura de bulbo húmedo depende del diseño de la torre. Entre otros factores importantes están el tiempo de contacto entre aire y agua, la cantidad de superficie de relleno y la separación de agua en gotitas. En la práctica, las torres de enfriamiento rara vez se diseñan para acercamientos menores de 4 °C.

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***



*Figura 4.14 Esquema contacto gota de agua con el aire ambiente.*

### **4.4.1 Definiciones Generales:**

**Celda:** Subdivisión más pequeña de la torre, podrá funcionar como una unidad independiente con respecto a los flujos de aire y de agua. Se encuentra rodeada de paredes exteriores o paredes de separación. Cada celda podrá tiene un ventilador o ducto de salida y un sistemas de distribución.

**Carga térmica o capacidad del equipo:** Cantidad de calor que se le debe extraer al agua que sale en la torre, expresada en kcal/h o bien en kW.

**Temperatura acercamiento o Aproximación (Cooling Tower Approach):** Es la diferencia entre la temperatura del agua que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra. En teoría el agua con más baja temperatura que podrá ser producida por una torre será la temperatura de bulbo húmedo. En tal caso la  $T^\circ$  de acercamiento será igual a cero. En la práctica la temperatura de acercamiento se encuentra entre los 6 y los 10 grados centígrados.

**Temperatura de agua fría:** Temperatura de agua de circulación que sale de la torre, en  $^\circ\text{C}$ .

**Rango de enfriamiento:** Es la diferencia entre la temperatura del agua caliente que entra en la torre y el agua fría que sale de la misma

**CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.**

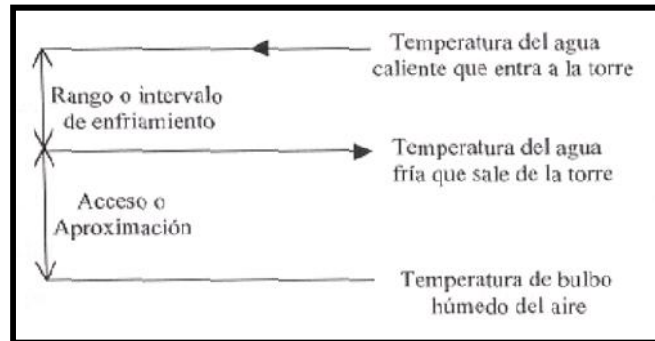


Figura 4.15 Rango de enfriamiento.

**Rocío o Arrastre:** Corresponde al agua perdida desde la torre de enfriamiento a medida que las gotas de líquido son arrastradas por el aire de escape. No guarda relación con el agua perdida por evaporación. Los separadores de gotas controlan dicho proceso en las torres.

**Temperatura agua caliente:** Temperatura de agua de circulación que entra al sistema de distribución, expresada en °C.

**Agua de Reposición o Reemplazo:** Agua requerida para compensar las pérdidas totales por evaporación, arrastre, purga o pequeñas fugas.

**Purga:** Corresponde a aquel volumen de agua que es intencionalmente arrojado fuera del sistema con el fin de controlar la concentración de sales u otras impurezas existentes en el agua de circulación. Será expresado como un porcentaje del flujo volumétrico de agua de enfriamiento total.

#### 4.4.4 Transferencia de masa por difusión.

Cuando se promueve un movimiento de material entre dos fases mediante una diferencia de presión de vapor (o concentración), esto es *difusión* y se caracteriza por el hecho de que el material se transfiere de una fase a la otra o entre dos fases. Esta conducta se llama *transferencia de masa*, para diferenciarla de los conceptos ordinarios de transferencia de calor. La cantidad total de material que abandona la fase líquida es la misma que entra en la fase gaseosa.

## ***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

### **4.4.5 Transferencia de calor y evaporación del agua dentro del aire húmedo.**

En operaciones de evaporación y condensación, deben considerarse transferencias simultáneas de calor y de masa, ya que las operaciones de particular interés en ingeniería mecánica son el humedecimiento y deshumedecimiento del aire.

Cuando se humedece el aire en contacto con el agua líquida el calor latente del agua que se vaporiza debe proporcionarlo el gas, el líquido o una fuente externa. Inversamente en la condensación, el calor debe retirarlo alguno de estos agentes.

### **4.4.6 Transferencia de calor en las torres de enfriamiento.**

El principio de la transferencia de calor por *convección* es la base de la operación de las torres de enfriamiento.

El aire es el medio de enfriamiento por medio de la convección y evaporación. Aproximadamente, el 80% del calor se elimina por evaporación y el 20% restante por convección.

Para efecto de análisis se considerará una torre de tiro inducido a contracorriente dividida en dos porciones. En la porción superior el agua caliente se pone en contacto con el aire más frío que el agua y la temperatura del agua bajará, por evaporación y por enfriamiento sensible al aire, aumentando por lo tanto, la entalpía del aire. Dependiendo de la cantidad de aire y del monto de la evaporación, es posible que la temperatura del agua descienda por debajo de la temperatura de bulbo seco del aire de entrada antes de alcanzar el fondo de la torre. En la última porción de la torre, el agua puede poseer una temperatura igual o menor de bulbo seco del aire con que se pone en contacto, y la transferencia de calor sensible y de masa están en direcciones opuestas.

La magnitud del acercamiento a la temperatura de bulbo húmedo depende del diseño de la torre, siendo otros factores importantes, el tiempo de contacto aire-agua, la cantidad de superficie de llenado y la separación de agua en gotas.

**CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.**

**4.4.7 Evaporación en las torres de enfriamiento.**

El proceso de transferencia de calor y en forma específica el enfriamiento por evaporación en las torres de enfriamiento compromete:

La transferencia de calor latente debido a la evaporación de una porción pequeña de agua.

La transferencia de calor sensible debido a la diferencia de temperatura entre el agua y el aire.

**4.4.8 Diagrama de operación de una torre de enfriamiento.**

En la Fig. N° 8.4, se ilustran las relaciones del agua y el aire y el *potencial que existe en una torre de contraflujo*. Este diagrama constituye una base importante para entender el proceso de una torre de enfriamiento.

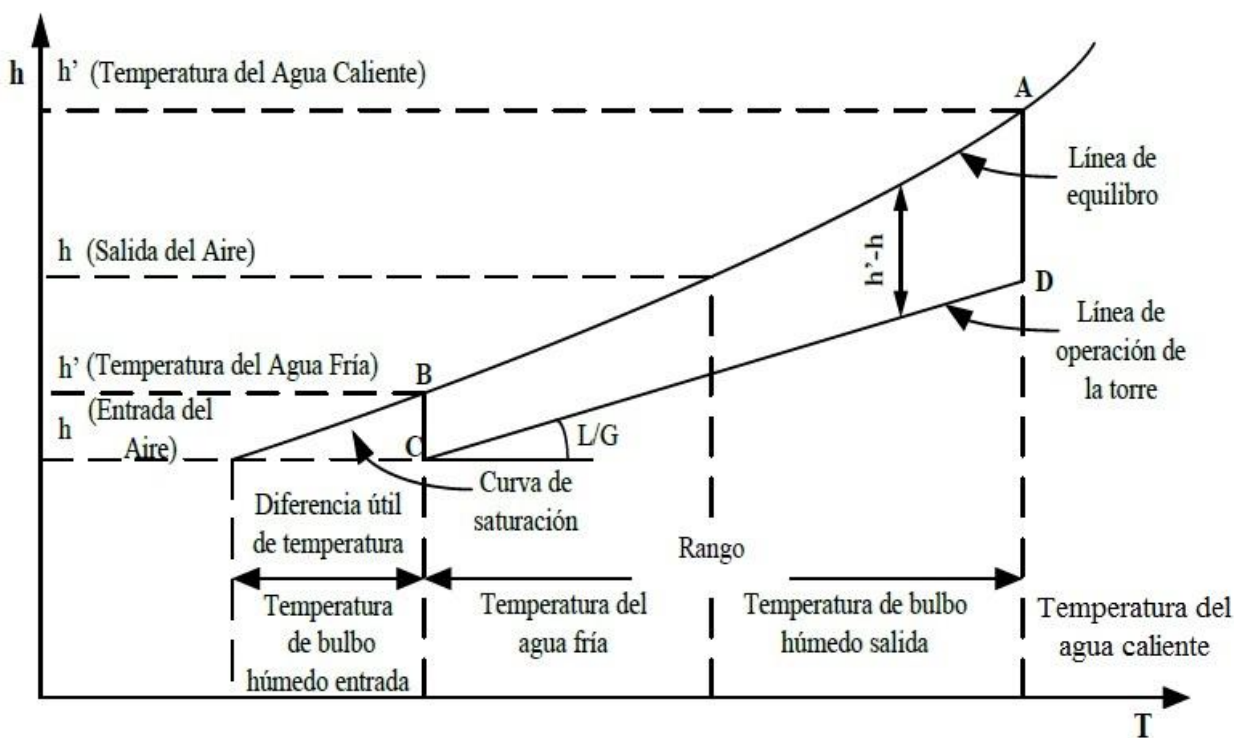


Figura 4.16 Diagrama de operación de una torre de enfriamiento.

***CAPITULO IV: Principio de funcionamiento de Torres de Enfriamiento y sus variables de operación.***

---

La línea de operación del agua está representada por la curva AB y se especifica por medio de las temperaturas del agua de la torre en la entrada y la salida. La línea de operación del aire comienza en C, verticalmente por debajo de B, y en un punto que tiene una entalpía correspondiente a la temperatura de entrada de bulbo húmedo. La línea BC representa la fuerza impulsora inicial ( $h' - h$ ). La relación líquido/gas ( $L/G$ ) es la pendiente de la línea de operación del agua. El aire que sale de la torre se representa por medio del punto D y la gama de enfriamiento es la longitud proyectada de la línea CD sobre la escala de temperaturas. La diferencia útil de temperaturas en la torre de enfriamiento se ilustra en el diagrama, como la diferencia entre la temperatura del agua fría que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del ambiente.

Las coordenadas se refieren directamente a la temperatura y la entalpía de cualquier punto en la línea de operación del agua; pero, en la línea de operación del aire, la referencia se hace tan sólo a la entalpía de un punto. La temperatura de bulbo húmedo correspondiente a cualquier punto de CD se encuentra proyectando dicho punto en sentido horizontal a la curva de saturación y luego en sentido vertical a la coordenada de temperaturas.



## ***CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.***

---

### **5.1 HIPOTESIS Y CONDICIONES DE CALCULO.**

Cabe mencionar que los balances de energía y de masa se harán bajo ciertas hipótesis:

La torre de enfriamiento se considerará como un equipo adiabático. Sólo se considerarán las pérdidas de masa como lo son la cantidad de agua evaporada, la cantidad de agua que se pierde por arrastre de gotas y la cantidad de agua de purga.

Se despreciarán las masas de aire que se infiltran a la torre.

La superficie de transferencia no se puede determinar. En los intercambiadores tubulares la superficie de transferencia de calor usualmente se conoce o se puede calcular fácilmente. En las torres de enfriamiento de agua el valor del área de transferencia de calor no puede determinarse directamente, ya que está compuesto de disposiciones al azar de gotas y superficie de película.

### **5.2 MEDICIONES PROPIAS EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.**

*Temperaturas del agua:* Se obtuvieron por medio de sensores de temperaturas, cuyos valores fueron consultados en la sala de control de la Planta.

*Temperatura del aire húmedo:* Estas mediciones se realizaron mediante un sicrómetro.

*Dimensiones de la torre de enfriamiento:* Las dimensiones necesarias para cálculos de áreas u otros, se obtuvieron de los planos de diseño de la torre.

*Presión atmosférica:* Se considerará la presión atmosférica normal;  $P= 101325$  Pa.

*Velocidad del aire:* Se empleó en esta medición un anemómetro. Se tomaron nueve muestras de velocidades del aire, en distintos radios del ducto de salida del aire. Obteniéndose distintos valores de velocidades se procedió al cálculo de caudal de salida del aire por ambas torres.

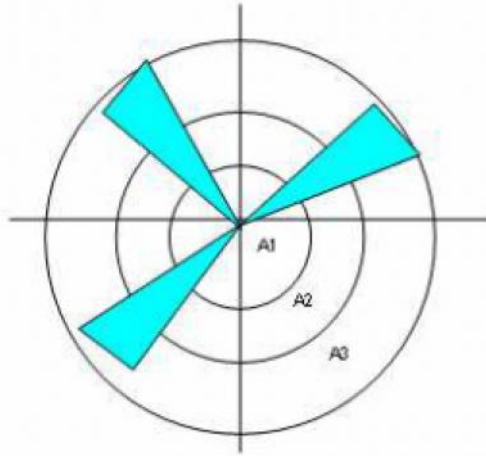
El método de medición del caudal de aire en los ventiladores consiste en:

- 1) Discretizar el área de flujo de aire de la torre en anillos concéntricos de radios equidistantes.
- 2) Medir velocidad del caudal de aire en cada uno de estos anillos.
- 3) Multiplicar la velocidad del viento medida por el área de cada anillo, con lo cual se obtiene un caudal volumétrico [ $m^3 /s$ ].
- 4) El caudal total corresponde a la sumatoria de estos caudales.

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

$$\dot{V} = \sum A_i * c_i \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$



$A_i$  ...area [m<sup>2</sup>]

$c_i$  ...velocidad  $\left[ \frac{m}{s} \right]$

Se midió con anemómetro de turbina, el cual se muestra en la siguiente fotografía.



*Figura 5.1 Anemómetro de turbina.*

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**



Figura 5.2 Fotografías del proceso de medición.

Tabla 5.1 Planilla de cálculo de flujo de aire a la salida de las torres de enfriamiento:

Medición		T. Cerro	T. Mar			T. Cerro	T. Mar
N°	Radio <sub>v</sub> (m)	Vel. (m/s)		Radio <sub>a</sub> (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
1	0	5,8	5,7	0,25	0,1963	1,1388	1,1192
2	0,5	8,4	7,2	0,625	1,0308	8,6590	7,4220
3	0,75	8,2	8,2	0,875	1,1781	9,6604	9,6604
4	1	8,1	9,4	1,125	1,5708	12,7235	14,7655
5	1,25	8,2	9,7	1,375	1,9635	16,1007	19,0459
6	1,5	7,6	9,2	1,625	2,3562	17,9071	21,6770
7	1,75	6,7	5,5	1,875	2,7489	18,4176	15,1189
8	2	5	6	2,125	3,1416	15,7080	18,8496
9	2,25	4	4,6	2,375	3,5343	14,1372	16,2577
						114,4521	123,9162

<b>T. Cerro</b>	412027,7	(m <sup>3</sup> /h)
<b>T. Mar</b>	446098,3	(m <sup>3</sup> /h)

**5.3 MODELO TERMODINAMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.**

En la Figura 5.1, se muestra el modelo de la torre en estudio. En éste, se incluye el aire y el agua, las cuales son las representativas del proceso de enfriamiento.

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

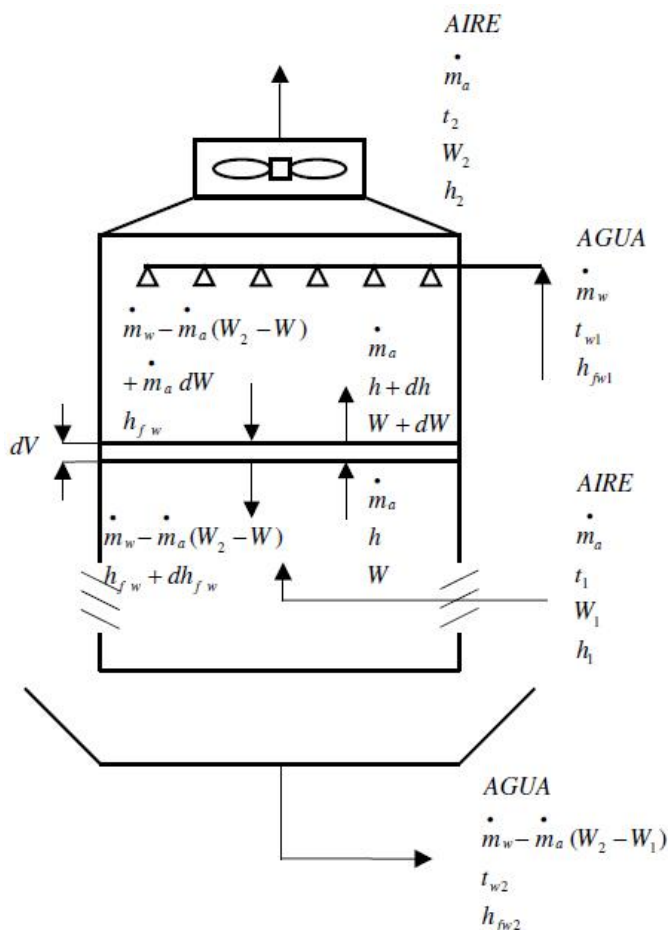


Figura 5.3 Esquema de funcionamiento de una torre de enfriamiento tiro inducido.

**5.4 BALANCES DE ENERGIA.**

Una forma de cuantificar la energía asociada en el proceso de enfriamiento es proceder con un balance de energía, para el contacto entre el agua y el aire:

Efectuando el balance de energía para un diferencial de volumen.

$$\sum \text{Energía que entra} = \sum \text{Energía que sale} + \sum \text{Pérdidas} \tag{5.1}$$

Las pérdidas totales del agua, depende del rango de enfriamiento, pero nunca sobrepasa 2 a 3 %, por esta razón se omitirá en dicho calculo sin cometer gran error.

Del diagrama de la torre de enfriamiento

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

$$E_{entrada} = \dot{m}_w * h + [\dot{m}_w - \dot{m}_a * (w_2 - w) + \dot{m}_a * dW] h_{f,w} \quad (5.3)$$

$$E_{salida} = \dot{m}_w * (h + dh) + [\dot{m}_w - \dot{m}_a * (w_2 - w)] (h_{f,w} + dh_{f,w}) \quad (5.4)$$

Reemplazando las ecuaciones (5.3) y (5.4) en (5.2) y ordenando los términos convenientemente, se tiene:

$$\dot{m}_a * dh = - [\dot{m}_w - \dot{m}_a * (w_2 - w)] * dh_{f,w} + \dot{m}_a * dW h_{f,w} \quad (5.5)$$

Como  $\dot{m}_w \gg \dot{m}_a (w_2 - w)$ , por ello se hace la siguiente aproximación:

$$\dot{m}_w - \dot{m}_a (w_2 - w) \approx \dot{m}_w \quad (5.6)$$

Por lo tanto, la ecuación (5.5) se reduce a:

$$\dot{m}_a * dh = -\dot{m}_w * dh_{f,w} + \dot{m}_a * dW h_{f,w} \quad (5.7)$$

La ecuación (5.7) representa el calor entregado al aire por el agua, en un diferencial de volumen.

El calor cedido por el agua proviene de la transferencia de calor sensible más el calor cedido por la difusión, se define como:

$q$  : Calor cedido por el agua.

$q_c$  : Calor transferido por calor sensible.

$q_d$  : Calor transferido por difusión.

Por lo tanto, para un diferencial de volumen  $dV$ .

$$dq = dq_c + dq_d \quad (5.8)$$

Del diagrama de la torre de enfriamiento.

$$dq = [\dot{m}_w - \dot{m}_a * (w_2 - w) + \dot{m}_a * dW] * h_{f,w} - [\dot{m}_w - \dot{m}_a * (w_2 - w)] (h_{f,w} + dh_{f,w}) \quad (5.9)$$

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

Utilizando la aproximación de la ecuación (5.6)

$$dq = [\dot{m}_w + \dot{m}_a * dW] * h_{f,w} - \dot{m}_w * (h_{f,w} + dh_{f,w}) \quad (5.10)$$

Reduciendo términos semejantes

$$dq = -\dot{m}_w * dh_{f,w} \quad (5.11)$$

La transferencia de calor sensible del agua a temperatura  $t_w$ , al aire a una temperatura  $t$  está dado por:

$$dq_c = k_c * (t_w - t) * a * dV \quad (5.12)$$

Donde “a” es la superficie del agua por metro cubico de torre, tanto como gotas de agua como película.

$k_c$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección.

Se define  $d\dot{m}_w$ , a la cantidad de agua que se difunde en el aire, siendo igual al aumento de humedad del aire por sobre el valor de la entrada.

$$d\dot{m}_w = \dot{m}_a * dW \quad (5.13)$$

El calor transferido por difusión es la cantidad de vapor que se difunde  $d\dot{m}_w$ , por su calor latente.

$$dq = dh_{fg,w} * d\dot{m}_w \quad (5.14)$$

La cantidad de masa que se difunde,

$$d\dot{m}_w = k_d * (w_{s,w} - w) * a * dV \quad (5.15)$$

$k_d$ : Coeficiente de transferencia de masa por convección.

Reemplazando (5.15) en (5.14)

$$dq_d = k_d * (w_{s,w} - w) * a * dV * h_{fg,w} \quad (5.16)$$

El diferencial  $dq$  (transferencia total de calor) es entonces la suma de los dos modos de transferencia.

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

$$dq = dq_c + dq_d = k_c * (t_w - t) * a * dV + k_d * (w_{s,w} - w) * a * dV * h_{fg,w} \quad (5.17)$$

$$dq = -\dot{m}_w * dh_{f,w} = \dot{m}_a * dh \quad (5.18)$$

La ecuación (5.18) es útil si puede combinarse en la ecuación (5.17), ya que expresa el total de transferencia de calor en el sistema de unidades de calor solamente.

Sustituyendo la ecuación (5.15) en la ecuación (5.13) y despejando el término:

$$K_d * A_V * dV = \frac{\dot{m}_a * dW}{w_{s,w} - w} \quad (5.19)$$

Introduciéndola en la ecuación (5.17)

$$dq = \frac{\dot{m}_a * K_c}{K_d} * \frac{t_w - t}{w_{s,w} - w} * dW + \dot{m}_a * h_{fg,w} * dW \quad (5.20)$$

Combinando la ecuación (5.18) con la ecuación (5.20)

$$-\dot{m}_w * dh_{f,w} = \frac{\dot{m}_a * K_c}{K_d} * \frac{t_w - t}{w_{s,w} - w} * dW + \dot{m}_a * h_{fg,w} * dW \quad (5.21)$$

Se define el número de Lewis  $Le$ , como:

$$Le = \frac{k_c}{C_{p,a} * k_d} \quad (\text{Adimensional}) \quad (5.22)$$

El número de Lewis relaciona el coeficiente de transferencia de calor con la transferencia de masa relacionándolo a través del calor específico del aire húmedo.

Reemplazando la ecuación (5.22) en la ecuación (5.21)

$$-\dot{m}_w * dh_{f,w} = \dot{m}_a * C_{p,a} * Le * \frac{(t_w - t)}{(w_{s,w} - w)} * dW + \dot{m}_a * h_{fg,w} * dW \quad (5.23)$$

Sustituyendo la ecuación (5.23) en la ecuación (5.7)

$$\dot{m}_a * dh = \dot{m}_a * C_{p,a} * Le * \frac{(t_w - t)}{(w_{s,w} - w)} * dW + \dot{m}_a * dW * (h_{fg,w} - h_{f,w}) \quad (5.24)$$

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

Se define el calor latente como:

$$h_{fg,w} = h_{g,w} - h_{f,w} - h_{fg,w} + h_{f,w} = h_{g,w} \quad (5.25)$$

Si se sustituye la ecuación (5.25) en la ecuación (5.24) y se despeja en término  $dh/dW$ .

$$\frac{dh}{dW} = C_{p,a} * Le * \frac{(t_w - t)}{(w_{s,w} - w)} + h_{g,w} \quad (5.26)$$

La entalpía del aire húmedo a la temperatura de bulbo seco  $t$ , se expresa por:

$h = t + w * h_v$  , donde  $h_v = 2501 + 1,87 t$  , quedando

$$h = t * (1 + 1,87 w) + 2501 w \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

La entalpía del aire saturado a la temperatura del agua  $t_w$ , es:

$$h_{s,w} = t_w * (1 + 1,87 w_{s,w}) + 2501 w_{s,w} \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

Si se despeja la diferencia de temperaturas, dejándola en función de las entalpías y humedades específicas se tiene:

$$t_w - t = \left[ \frac{h_{s,w} - 2501 * w_{s,w}}{1 + 1,87 * w_{s,w}} - \frac{h - 2501 * w}{1 + 1,87 * w} \right] \quad (5.27)$$

Introduciendo la ecuación (5.27) en la ecuación (5.26)

$$\frac{dh}{dW} = \left[ \frac{h_{s,w} - 2501 * w_{s,w}}{1 + 1,87 * w_{s,w}} - \frac{h - 2501 * w}{1 + 1,87 * w} \right] * \left[ \frac{1,004 * Le}{w_{s,w} - w} \right] + h_{g,w} \quad (5.28)$$

La ecuación (5.28) describe las líneas de estado sobre la carta sicrométrica para los cambios de estado del aire húmedo que pasa a través de la torre de enfriamiento.

Para emplear esta ecuación se debe conocer los siguientes datos:



**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

Rango de enfriamiento, por lo que se conoce la temperatura de entrada del agua a la torre  $t_{w,1}$  y la temperatura de salida de la torre  $t_{w,2}$ . Además se deben conocer las velocidades másicas del agua  $\dot{m}_w$  y del aire seco  $\dot{m}_a$ .

Con esta información se puede obtener la pendiente de la línea en el estado (I), luego arbitrariamente y a corta distancia se ubica un nuevo estado (a). La nueva temperatura del agua para el estado (a) se determina con la ecuación (5.7), la que se puede expresar.

$$- t_w = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_w C_p} * ( h - w * h_{f,w} ) \quad (5.29)$$

Identificado el nuevo estado, se repite el procedimiento hasta que se tenga dibujada la curva completa y se determina el estado final del aire (proceso iterativo).

La exactitud del método depende de la magnitud de los incrementos tomados para el estado del aire.

El estado final del aire de salida, se puede comprobar mediante las condiciones de entrada y salida de la torre. Para la torre de enfriamiento, el balance total de la energía:

$$\sum \text{Energía que entra} = \sum \text{Energía que sale}$$

$$\dot{m}_a * h_1 + \dot{m}_w * h_{f,w,1} = \dot{m}_a * h_2 + [\dot{m}_w - \dot{m}_a * (w_2 - w_1)] * h_{f,w,2} \quad (5.31)$$

ó

$$\dot{m}_a * (h_2 - h_1) = -\dot{m}_w (h_{f,w,2} - h_{f,w,1}) + \dot{m}_a * (w_2 - w_1) * h_{f,w,2} \quad (5.32)$$

El término,

$$\dot{m}_a * (h_2 - h_1) = q \quad (5.33)$$

Representa el calor total absorbido por el aire.

Para el rango de temperatura en que trabajan las torres de enfriamiento, se cumple la siguiente aproximación:

$$(h_{f,w,2} - h_{f,w,1}) = C_w * (t_{w,2} - t_{w,1}) \quad (5.34)$$

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

Reemplazando la ecuación (5.34) en la ecuación (5.32) y despejando  $h_2$

$$h_2 = h_1 + \frac{c_{p,a} \dot{m}_w}{\dot{m}_a} * (t_{w,1} - t_{w,2}) + (w_2 - w_1) * h_{f,w,2} \quad (5.35)$$

La ecuación (5.35) entrega la entalpía del aire húmedo a la salida (estado (2)), la cual está en función de las condiciones iniciales y finales de la torre.

La cantidad de energía intercambiada por unidad de tiempo entre el aire y el agua, a una altura genérica  $Z$ , es proporcional a la diferencia de entalpías de la corriente de aire y del aire saturado que se encuentra en la superficie del agua. Como resultado, la propiedad del aire atmosférico que juega un papel principal es la temperatura de bulbo húmedo. La siguiente ecuación es la base para el cálculo del diseño y el análisis simplificado del comportamiento de las torres de enfriamiento. Para tal cálculo debemos ocupar las siguientes ecuaciones:

$$\dot{m}_w * dt_w = \dot{m}_a * dh = k_d * (h_{s,w} - h) * a * dV \quad (5.35)$$

En las torres de enfriamiento el valor de “a” no puede determinarse directamente, pues está compuesto de números al azar de gotas y superficie de película. La superficie es independiente del espesor de la misma, mientras que las superficies de las gotas dependen de la porción del líquido que forman las gotas y del tamaño de las mismas.

La imposibilidad de calcular “a” resulta en determinar experimentalmente el producto “ $k_d a V$ ” como un solo factor para un tipo particular de empaques a flujos específicos para los fluidos que componen el sistema. Integrando la ecuación de (5.35).

$$\frac{w_2}{w_1} \frac{dw}{w_{s,w} - w} = k_d a \frac{V}{\dot{m}_a} \quad (5.36)$$

La integral muestra el factor de carga, mientras el otro factor la capacidad de enfriamiento. Para un tipo de torre dado, la capacidad de enfriamiento está en función de sus velocidades másicas del aire seco y del agua. El factor de carga es función únicamente de la condición sicrométrica.

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

**5.5 BALANCES DE MASA.**

En la Figura 5.4, se muestra el modelo de la torre con sus respectivos flujos de entrada y salida, tanto del aire como del agua.

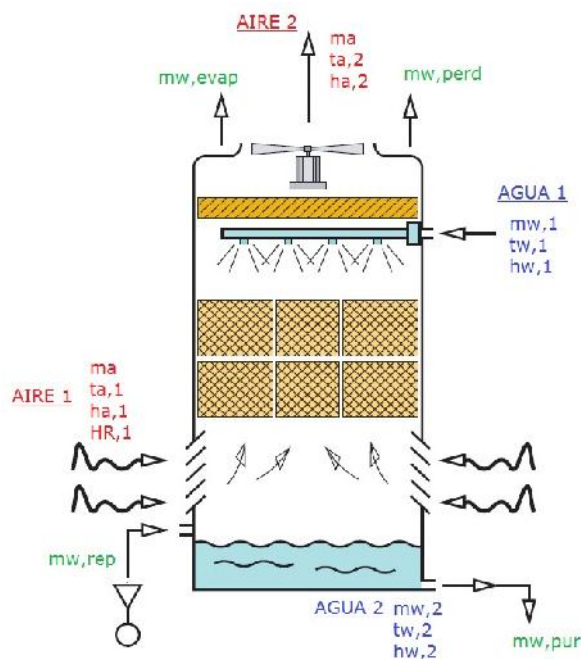


Figura 5.4 Representación de los flujos másicos participantes en una torre de enfriamiento.

**5.5.1 Caudales de agua:**

De la Figura 5.4 y los flujos másicos de agua asociados al proceso se tiene lo siguiente:

**Agua que se debe enfriar:**

$$\dot{m}_w2 = (\dot{m}_w1 + \dot{m}_w pur) \tag{5.37}$$

$$\dot{m}_w1 = (\dot{m}_w2 - \dot{m}_w pur) \tag{5.38}$$

**Agua de reposición:** Se sabe que el agua de reposición es el caudal que compensa las pérdidas por la evaporación, por el arrastre de finas gotas (neblina) y de la purga.

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

$$\dot{m}_w rep = \dot{m}_w evap + \dot{m}_w per + \dot{m}_w pur \quad (5.39)$$

**Agua evaporada:** La cantidad de agua que se evapora queda reflejada en el aumento de la humedad específica del aire.

$$\dot{m}_w evap = \dot{m}_a * (\omega_a 2 - \omega_a 1) \quad (5.40)$$

**Agua perdida:** Las pérdidas de agua por rocío, la cual es el resultado de gotas de agua que son arrastradas en el vapor de aire de escape de la torre de enfriamiento. Los eliminadores se encuentran dispuestos para reducir la pérdida de agua por rocío desde la torre. Por diseño dicha pérdida en la torre es inferior al 0,1% del flujo de agua.

$$\dot{m}_w per = 0,001 * \dot{m}_w 1 \quad (5.41)$$

**Agua purga:** Cantidad de agua que se hace salir en forma intencional. El valor del agua de purga se obtuvo de la sala de control de la Planta

$$\dot{m}_w pur = 1 \left[ \frac{m^3}{h} \right] \quad (5.42)$$

## 5.6 CALCULO EXPERIMENTAL DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

Para el cálculo de las torres se considera lo siguiente:

Se conoce la temperatura de agua requerida por los enfriadores, a la salida de la torre (agua de proceso), el rango de enfriamiento requerido, la condición del aire atmosférico a la entrada de la torre, además de los flujos máxicos de aire y de agua.

Para conocer el estado de salida del aire de la torre y con ello la temperatura del agua de retorno a la torre se utiliza la ecuación (5.28) y (5.7) respectivamente, realizando la iteración de las pendientes

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

del proceso del aire. El número de Lewis se determina gráficamente para un sistema aire-agua, para mezclas de aire y vapor de agua se tiene que  $Le \approx 1$ .

Se consideran once estados del aire y agua entre la entrada y salida de cada fluido.

Para el cálculo del volumen de la torre se integra la ecuación (5.36), se conoce el coeficiente de transferencia de masa " $k_d a V$ " y la superficie de transferencia de la torre. Ambas variables entregadas por el fabricante de las torres.

El incremento de entalpía es arbitrario pero como condición se toma el mayor antes de que la recta del aire toque la curva de saturación de la carta psicrométrica, esto implica un mayor rendimiento por piso, que es lo requerido (mayor rango de enfriamiento).

Se calcula experimentalmente la condición actual de las torres de enfriamiento.

### 5.6.1 Descripción del proceso de cálculo en software EES.

**Ecuación que rige:**

$$" \frac{dH}{dW} = Le * Cp * \frac{(TW-T)}{(WSH-W)} + hg = \left( \frac{\Delta H}{\Delta W} \right) "$$

**Pendiente del aire:**

$$" \frac{dH}{dW} = Le * \frac{(HSW_1 - H_1)}{(WSW_1 - W_1)} + (Hg \cdot 1 - 1061 \cdot Le) "$$

**Cálculo de la pendiente número 1:**

$$Pendiente_1 = Le * 1004 \left( \left[ \frac{HSW_1 - 2501WSW_1}{(1+1,87WSW_1)(WSW_1 - W_1)} \right] - \left[ \frac{H_1 - 2051W_1}{(1+1,87W_1)(WSW_1 - W_1)} \right] \right) + HgW_1$$

Entalpía del aire húmedo saturado evaluado a  $T_{w1}$ ,  $HSW_1$ :

$$HSW_1 = h('AirH2O'; R=1; T=TW_1; P=P1)$$

Humedad específica del aire húmedo saturado evaluado a  $T_{w1}$ ,  $WSW_1$ :

***CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.***

---

$$WSW_1 = \text{Psych} ('AirH2O' ; R = 1 ; T = TW_1 ; P = P_1 )$$

Entalpía del vapor de agua saturado evaluado a  $T_{w1}$ ,  $H_{gW_1}$ :

$$H_{gW_1} = \text{h} ('Water' ; T = TW_1 ; x = 1 )$$

**Cálculo de la temperatura del agua a la entrada de la torre (agua de proceso) mediante la iteración de las pendientes.**

$T_{w1}$ ...(Temp. del agua a la salida de la torre).

$T_1$ ...(Temp. del aire a la entrada de la torre)

$R_1$ ...(Humedad relativa del aire a la entrada de la torre)

Entalpía del aire húmedo evaluado a  $T_1$ ,  $R_1$ ;  $H_1$ :

$$H_1 = \text{h} ('AirH2O' ; T = T_1 ; R = R_1 ; P = P_1 )$$

Humedad específica del aire húmedo evaluado a  $T_1$  y  $R_1$ ;  $W_1$ :

$$W_1 = \text{Psych} ('AirH2O' ; R = R_1 ; T = T_1 ; P = P_1 )$$

Temperatura de bulbo húmedo a  $T_1$  y  $R_1$ ;  $T_{BH_1}$ :

$$T_{BH_1} = \text{WB} ('AirH2O' ; T = T_1 ; R = R_1 ; P = P_1 )$$

**Estado 2 (un piso más arriba)**

Imponer  $H_2$  con incremento de un delta H

Entalpía del aire húmedo con el incremento de entalpía,  $H_2$ :

$$H_2 = H_1 + \Delta H$$

$\Delta H$ ...(Incremento de entalpía).

Cálculo de la humedad específica del aire húmedo un piso más arriba:  $W_2$

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

$$\frac{H_2 - H_1}{W_2 - W_1} = \text{Pendiente}_1$$

**Cálculo de las nuevas condiciones del aire, un estado más arriba, evaluadas con respecto a  $H_2$  y  $W_2$**

$$T_2 = T ('AirH_2O'; w = W_2; h = H_2; P = P_1)$$

$$R_2 = RH ('AirH_2O'; w = W_2; h = H_2; P = P_1)$$

$$TBH_2 = WB ('AirH_2O'; T = T_2; R = R_2; P = P_1)$$

**Nueva Temperatura del agua un estado más arriba**

$$TW_2 = TW_1 + \frac{m_a}{m_w \cdot C_w} \cdot (H_2 - H_1 - (W_2 - W_1) \cdot H_{f1})$$

$$H_{f1} = h ('Water'; x = 0; T = TW_1)$$

$$HSW_2 = h ('AirH_2O'; R = 1; T = TW_2; P = P_1)$$

$$WSW_2 = \psi ('AirH_2O'; R = 1; T = TW_2; P = P_1)$$

$$HGW_2 = h ('Water'; T = TW_2; x = 1)$$

$$\text{Pendiente}_2 = Le * 1004 \left( \left[ \frac{HSW_2 - 2501WSW_2}{(1 + 1,87WSW_2)(WSW_2 - W_2)} \right] - \left[ \frac{H_2 - 2051W_2}{(1 + 1,87W_2)(W_2 - W_2)} \right] \right) + HgW_2$$

**Estado 3. Nuevas condiciones del aire**

$$\frac{H_3 - H_2}{W_3 - W_2} = \text{Pendiente}_2$$

$$H_3 = H_2 + \psi_H$$

$$T_3 = T ('AirH_2O'; w = W_3; h = H_3; P = P_1)$$

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

$$R_3 = \mathbf{RH} ( 'AirH_2O' ; w = W_3 ; h = H_3 ; P = P_1 )$$

$$TBH_3 = \mathbf{WB} ( 'AirH_2O' ; T = T_3 ; R = R_3 ; P = P_1 )$$

**Nueva temperatura del agua a un estado más arriba**

$$TW_3 = TW_2 + \frac{m_a}{m_w \cdot C_w} \cdot ( H_3 - H_2 - ( W_3 - W_2 ) \cdot H_{f2} )$$

$$H_{f2} = \mathbf{h} ( 'Water' ; x = 0 ; T = TW_2 )$$

$$HSW_3 = \mathbf{h} ( 'AirH_2O' ; R = 1 ; T = TW_3 ; P = P_1 )$$

$$WSW_3 = \mathbf{\phi} ( 'AirH_2O' ; R = 1 ; T = TW_3 ; P = P_1 )$$

$$HGW_3 = \mathbf{h} ( 'Water' ; T = TW_3 ; x = 1 )$$

$$Pendiente_3 = Le * 1004 \left( \left[ \frac{HSW_3 - 2501WSW_3}{(1 + 1,87WSW_3)(WSW_3 - W_3)} \right] - \left[ \frac{H_3 - 2051W_3}{(1 + 1,87W_3)(W_3 - W_3)} \right] \right) + HgW_3$$

Nota: Se sigue con la iteración hasta llegar al Estado 11.

**Estado 11. Nuevas condiciones del aire. Ultimo estado**

$$\frac{H_{11} - H_{10}}{W_{11} - W_{10}} = Pendiente_{10}$$

$$H_{11} = H_{10} + \Delta H$$

$$T_{11} = \mathbf{T} ( 'AirH_2O' ; w = W_{11} ; h = H_{11} ; P = P_1 )$$

$$R_{11} = \mathbf{RH} ( 'AirH_2O' ; w = W_{11} ; h = H_{11} ; P = P_1 )$$

$$TBH_{11} = \mathbf{WB} ( 'AirH_2O' ; T = T_{11} ; R = R_{11} ; P = P_1 )$$



**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

**Nueva temperatura del agua un estado más arriba de la torre**

$$TW_{11} = TW_{10} + \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_w \cdot C_w} \cdot (H_{11} - H_{10} - (W_{11} - W_{10}) \cdot H_{f10})$$

$$H_{f10} = h(\text{'Water'}; x=0; T=TW_{10})$$

$$HSW_{11} = h(\text{'AirH2O'}; R=1; T=TW_{11}; P=P1)$$

$$WSW_{11} = \phi(\text{'AirH2O'}; R=1; T=TW_{11}; P=P1)$$

$$HGW_{11} = h(\text{'Water'}; T=TW_{11}; x=1)$$

$$Pendiente_{11} = Le * 1004 \left( \left[ \frac{HSW_{11} - 2501 WSW_{11}}{(1 + 1,87 WSW_{11})(WSW_{11} - W_{11})} \right] - \left[ \frac{H_{11} - 2051 W_{11}}{(1 + 1,87 W_{11})(WSW_{11} - W_{11})} \right] \right) + Hg W'_{11}$$

**Entalpía de verificación del aire en el último estado (11)**

$$H_{verif11} = H_1 + 4,187 \cdot \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} \cdot (TW_{11} - TW_1) + (W_{11} - W_1) \cdot HF_{11}$$

Entalpía del agua líquida evaluada a  $TW_{11}$ ,  $HF_{11}$ :

$$HF_{11} = h(\text{'Water'}; x=0; T=TW_{11})$$

**Cálculo del volumen de la torre. De acuerdo a la integración de la ecuación 5.36.**

$$Volumen = \frac{\dot{m}_a}{k_d * a} \int_{W_1}^{W_2} \frac{dW}{(W_{sw} - W)}$$

$$f(W_i) = \frac{1}{(W_{sw} - W)}$$

$$F(W_i) = \int_{W_1}^{W_2} \frac{dW}{(W_{sw} - W)}$$

$$F(W_i) = \left( \frac{1}{2} \right) (W_{(i)} - W_{(i-1)}) \left( \frac{1}{W_{sw(i)} - W_{(i)}} \right) + \left( \frac{1}{W_{sw(i-1)} - W_{(i-1)}} \right)$$

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

$$F(W_i) = \left(\frac{1}{2}\right) (f(W_{(i)}) + f(W_{(i-1)}))$$

$$\text{Suma} = F(W_{(i)})$$

$$\text{Volumen} = (kd * a) * \text{Suma}F(W_{(i)})$$

Superficie de la Torre y KdaV...(Entregada por el fabricante de la Torre)

$$\text{Suma}_1 = 0$$

$$FW_1 = \frac{1}{WSW_1 - W_1}$$

$$FW_2 = \frac{1}{WSW_2 - W_2}$$

$$FWM_2 = 1 / 2 \cdot (W_2 - W_1) \cdot (FW_2 + FW_1)$$

$$\text{Suma}_2 = FWM_2$$

$$\text{Volumen}_2 = \frac{ma}{Kda} \cdot \text{Suma}_2$$

$$\text{altura}_2 = \frac{\text{Volumen}_2}{\text{Area}}$$

$$FW_3 = \frac{1}{WSW_3 - W_3}$$

$$FWM_3 = 1 / 2 \cdot (W_3 - W_2) \cdot (FW_3 + FW_2)$$

$$\text{Suma}_3 = FWM_3 + \text{Suma}_2$$

$$\text{Volumen}_3 = \frac{ma}{Kda} \cdot \text{Suma}_3$$

***CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.***

---

$$\text{altura}_3 = \frac{\text{Volumen}_3}{\text{Area}}$$

$$\text{FW}_4 = \frac{1}{\text{WSW}_4 - W_4}$$

$$\text{FWM}_4 = 1 / 2 \cdot (W_4 - W_3) \cdot (\text{FW}_4 + \text{FW}_3)$$

$$\text{Suma}_4 = \text{FWM}_4 + \text{Suma}_3$$

$$\text{Volumen}_4 = \frac{\text{ma}}{\text{Kda}} \cdot \text{Suma}_4$$

$$\text{altura}_4 = \frac{\text{Volumen}_4}{\text{Area}}$$

$$\text{FW}_5 = \frac{1}{\text{WSW}_5 - W_5}$$

$$\text{FWM}_5 = 1 / 2 \cdot (W_5 - W_4) \cdot (\text{FW}_5 + \text{FW}_4)$$

$$\text{Suma}_5 = \text{FWM}_5 + \text{Suma}_4$$

$$\text{Volumen}_5 = \frac{\text{ma}}{\text{Kda}} \cdot \text{Suma}_5$$

$$\text{altura}_5 = \frac{\text{Volumen}_5}{\text{Area}}$$

Nota: Se sigue con la iteración hasta llegar al estado 11.

$$\text{FW}_{11} = \frac{1}{\text{WSW}_{11} - W_{11}}$$

$$\text{FWM}_{11} = 1 / 2 \cdot (W_{11} - W_{10}) \cdot (\text{FW}_{11} + \text{FW}_{10})$$

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

$$\text{Suma}_{11} = \text{FWM}_{11} + \text{Suma}_{10}$$

$$\text{Volumen}_{11} = \frac{m_a}{K_d a} \cdot \text{Suma}_{11}$$

$$\text{altura}_{11} = \frac{\text{Volumen}_{11}}{\text{Area}}$$

**5.6.2 Cálculo de requerimiento de agua de refrigeración para enfriadores.**

Se verificará cuanto es el requerimiento de agua de refrigeración, en condiciones de diseño de los enfriadores, para luego ver si la torre de enfriamiento está en condiciones de poder enfriar el agua necesaria.

Tabla 5.2 Planilla de cálculo composición gas de coque.

Gas coque	%	$X_i$	$PM_i$ (kg/kmol)	$X_i \cdot PM_i$ (kg/kmol)	$G_i$ ( $X_i \cdot PM_i$ )/ $PM_m$	$C_{p_i}$ (kJ/kg*K)	$G_i \cdot C_{p_i}$ (kJ/kg*K)
H2	55	0,55	2	1,1	0,0980	14,307	1,4026
CH4	25	0,25	16	4	0,3565	2,2537	0,8035
N2	10	0,1	28	2,8	0,2496	1,039	0,2593
CO	5	0,05	28	1,4	0,1248	1,04	0,1298
CO2	3	0,03	44	1,32	0,1176	0,846	0,0995
C2H6	2	0,02	30	0,6	0,0535	1,766	0,0944
		1		11,22	1		2,7891

Presión	101,325	(Pa)
Temperatura	273	(K)
Ru	8,314	(kJ/kmol*K)
Rp=Ru/PM <sub>m</sub>	0,741	(kJ/kg*K)
PM <sub>m</sub>	11,22	(kg/kmol)
Cp <sub>m</sub>	2,7891	(kJ/kg*K)

Cálculo de flujos gas y agua por enfriador primario:

Datos de diseño obtenidos de la tabla 2.2 (pág. 13)

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

Transferencia de calor: 7,3 E6 (kcal/h) = 8488,4 (kW)

Área transferencia de calor: 2131 m<sup>2</sup>

Temperatura de operación: por carcaza (entrada/salida) 82/25 °C

por tubería (entrada/salida) 23/33 °C

Flujo de gas:

$$Q_g = m_g * Cp_g * \Delta T$$

$$m_g = \frac{8.488}{2,789(82 - 25)} = 53,4 \left[ \frac{kg}{s} \right] = 192.240 \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

$$\dot{V}_g = \frac{m_g * Rp * T}{P} = \frac{192.240 \cdot 741 \cdot 273}{101.325} = 383.803 \left[ \frac{Nm^3}{h} \right]$$

Flujo de agua:

$$Q_w = m_w * Cp_w * \Delta T$$

$$m_w = \frac{8.488}{4,187(33 - 23)} = 202,7 \left[ \frac{kg}{s} \right] = 729.802 \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

$$\dot{V}_w = 730 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Por lo tanto, se requiere 730 (m<sup>3</sup>/h) de agua por cada enfriador primario.

Cálculo de flujos gas y agua por enfriador secundario:

Datos de diseño obtenidos de la tabla 2.4 (pág.15)

Transferencia de calor: 0,2 E6 (kcal/h) = 232,6 (kW)

Área transferencia de calor: 482 m<sup>2</sup>

Temperatura de operación: por carcaza (entrada/salida) 45/25 °C

por tubería (entrada/salida) 23/33 °C

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

---

Flujo de gas:

$$Q_g = m_g * C_{p_g} * \Delta T$$

$$m_g = \frac{232,6}{2,789(45 - 25)} = 4,17 \left[ \frac{kg}{s} \right] = 15012 \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

$$\dot{V}_g = \frac{m_g * R_p * T}{P} = \frac{15012 \cdot 741 \cdot 273}{101325} = 29971,1 \left[ \frac{Nm^3}{h} \right]$$

Flujo de agua:

$$Q_w = m_w * C_{p_w} * \Delta T$$

$$m_w = \frac{232,6}{4,187(33 - 23)} = 5,56 \left[ \frac{kg}{s} \right] = 20000 \left[ \frac{kg}{h} \right]$$

$$\dot{V}_w = 20 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Por lo tanto, se requiere 20 (m<sup>3</sup>/h) de agua por cada enfriador primario.

Entonces el requerimiento total de agua de refrigeración es:

$$Caudal\ Total = 730 * 2 + 20 \cdot 2 = 1500 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

Como son dos torres de enfriamiento, entonces cada una debe enfriar 750 (m<sup>3</sup>/h).

### 5.6.3 Cálculo de enfriamiento en condiciones de diseño de la torre de enfriamiento.

Se comprobará, si la torre de enfriamiento es capaz de enfriar el agua requerida para los enfriadores, en su condición de diseño y con la ayuda del programa elaborado con el software EES.

Los datos de ingreso fueron:

Caudal de agua caliente a enfriar.

Flujo de aire seco aspirado por el ventilador.

Temperatura de salida de agua deseada de la torre.

Condiciones sicrométricas del aire exterior que entra a la torre (estado 1).

***CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.***

---

Altura zona de enfriamiento de la torre.

Superficie de la torre.

El programa funciona en forma iterativa, incorporándose condiciones interiores de la torre, temperatura aire de entrada y temperatura salida del agua, y dándose un intervalo de incremento de entalpía del aire, hacia la parte superior.

**Datos para cálculo en condición de diseño de la torre:**

Cantidad de torres: 2 (torre de doble celda que se evaluarán como dos torres)

Caudal de agua por torre:  $750 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  $m_w = 208,3 \text{ kg/s}$

Flujo de aire seco por torre:  $450000 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  $m_a = 154,3 \text{ kg/s}$

Temperatura de agua de salida de:  $T_{w1} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura del aire a la entrada de la torre:  $T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Humedad relativa del aire:  $HR(R) = 0,7$  (adimensional)

Presión atmosférica:  $P_1 = 101,3 \text{ kPa}$

Número de Lewis:  $Le = 1$  (adimensional)

Altura de la torre de diseño:  $4,302 \text{ m}$

Superficie de la torre de diseño:  $95,76 \text{ m}^2$

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

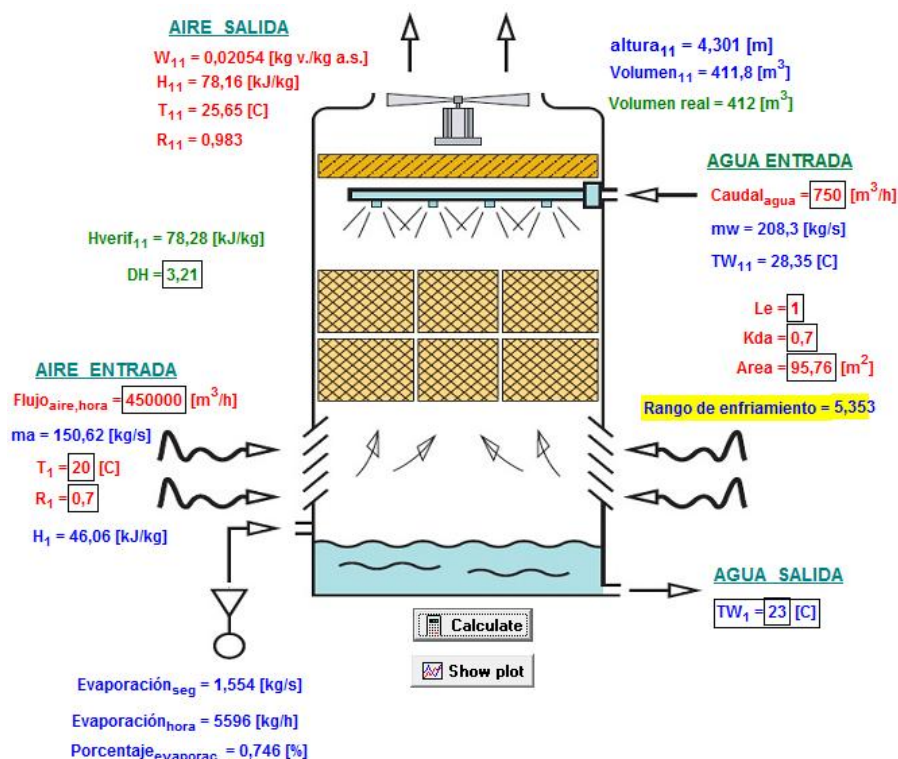


Figura 5.5 Diagrama torre de enfriamiento en condición de diseño.

En la figura 5.5 se puede apreciar los resultados arrojados por el programa, para la condición de diseño. La torre de enfriamiento no alcanza el rango de enfriamiento de diseño, que son 10°C y con esto no cumple con los requerimientos de caudal de agua para los enfriadores.

A continuación se realizará una simulación, para verificar cuanto caudal de agua es capaz de enfriar la torre de enfriamiento, bajo el rango de enfriamiento de diseño.



**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

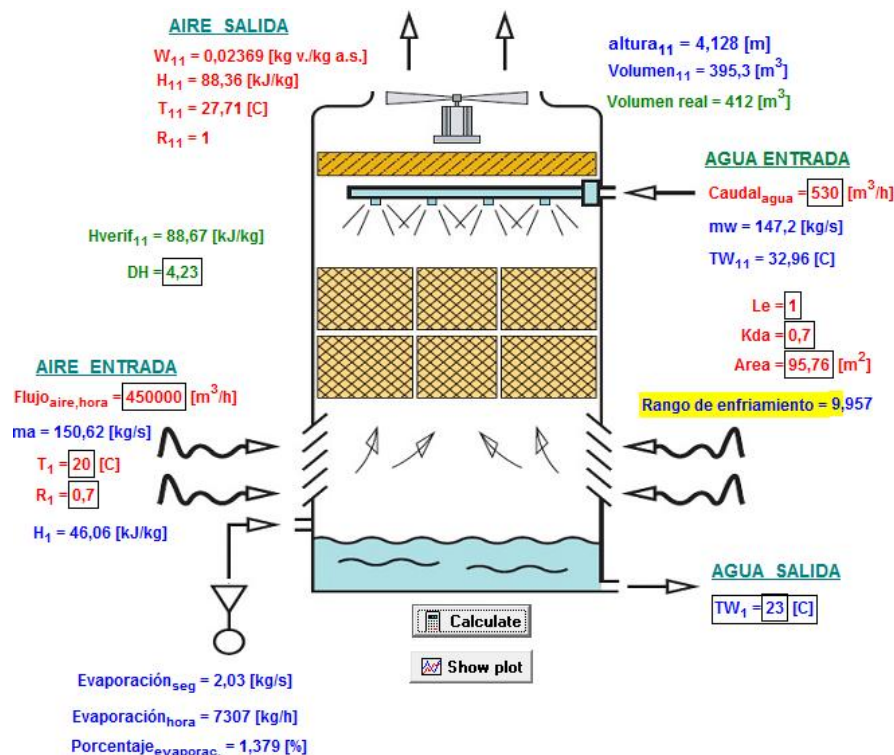


Figura 5.6 Diagrama torre de enfriamiento de rango de enfriamiento en condición de diseño.

Con la simulación anterior, se puede apreciar que la torre de enfriamiento solo es capaz de enfriar 1060 (m<sup>3</sup>/h), estando en condiciones de diseño. Por lo tanto, la torre no satisface los requerimientos de los enfriadores, que son 1500 (m<sup>3</sup>/h).

Cabe señalar que la torre de enfriamiento, nunca fue operada bajo las condiciones de diseño y en una exposición, realizada por el Jefe de Sección de planta de coque, explicando el circuito de refrigeración del gas de coque, con énfasis en la torre de enfriamiento, ha mencionado que para lograr los rangos de enfriamiento esperados en la torre de enfriamiento, fue necesario trabajar con un caudal de agua alrededor de los 350 m<sup>3</sup>/h. Al trabajar la torre con dicho caudal, el agua de refrigeración al pasar por los enfriadores alcanzaba elevada temperatura, lo que ocasionaba en un cierto tiempo de trabajo la ruptura de los enfriadores.

***CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.***

---

**5.6.4 Cálculo de enfriamiento en condiciones actuales de la torre de enfriamiento.**

Se realizará una simulación en condiciones actuales de operación, con lo cual se verificará cuanto es el rango de enfriamiento que se puede alcanzar, para luego ver si es necesario buscar alternativas para mejorar el rango de enfriamiento.

**Datos para cálculo en condición de operación de la torre:**

Cantidad de torres: 2 (torre de doble celda que se evaluarán como dos torres)

Caudal de agua por torre:  $550 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  $m_w = 152,8 \text{ kg/s}$

Flujo de aire seco por torre:  $450000 \text{ m}^3/\text{h}$ ;  $m_a = 154,3 \text{ kg/s}$

Temperatura de agua de salida de:  $T_{w1} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatura del aire a la entrada de la torre:  $T_1 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$

Humedad relativa del aire:  $HR(R) = 0,7$  (adimensional)

Presión atmosférica:  $P_1 = 101,3 \text{ kPa}$

Número de Lewis:  $Le = 1$  (adimensional)

Altura de la torre de diseño:  $4,302 \text{ m}$

Superficie de la torre de diseño:  $95,76 \text{ m}^2$

En tabla de arreglos, se aprecia las condiciones tanto del aire como del agua, a cada altura de la torre.

**Resultados:**

Como referencia se conoce la altura y superficie de la torre entregada por el fabricante que corresponde a  $4,302$  metros y  $95,76 \text{ m}^2$  respectivamente, lo que implica que el volumen de la torre será de  $412 \text{ m}^3$ .

En la tabla 5.1 se encuentra el resultado del cálculo realizado por la modelación en el programa EES, bajo las condiciones actuales de operación de la torre. En ella se aprecia que el aire que ingresa a la torre se satura en una altura menor (estado número 11) de la entregada por el plano de diseño de la torre (anexo 1), por lo que la torre no ocupa toda su capacidad para poder alcanzar

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

un mayor enfriamiento del agua. Con esto, la temperatura de entrada del agua a la torre, no es la esperada para obtener un rango de enfriamiento semejante al de diseño, se obtuvo un valor aproximadamente de 7°C de rango de enfriamiento.

La figura 5.7 muestra el diagrama de la torre, en donde se le ingresan las variables para la solución del cálculo de la modelación. En la figura 5.8 se puede apreciar que en el estado número 11 del aire húmedo, está prácticamente sobre la línea de saturación de carta sicrométrica.

Tabla 5.1 Cálculo de las torres de enfriamiento, condición de operación.

Sort	T <sub>i</sub> [C]	R <sub>i</sub>	H <sub>i</sub> [kJ/kg]	TEH <sub>i</sub> [C]	TW <sub>i</sub> [C]	W <sub>i</sub> [kg v./kg a.s.]	WSW <sub>i</sub> [kg v./kg a.s.]	HSW <sub>i</sub> [kJ/kg]	HgW <sub>i</sub> [kJ/kg]	H <sub>f</sub> [kJ/kg]	Pendiente	FW <sub>i</sub>	FWM <sub>i</sub>	Suma	altura <sub>i</sub> [m]	Volumen <sub>i</sub> [m <sup>3</sup> ]	Hvent <sub>i</sub> [kJ/kg]
[1]	13	0,7	29,5	10,11	23	0,006503	0,01773	68,28	2543	96,39	3446,5	89,11		0			
[2]	13,78	0,7527	32,48	11,36	23,7	0,007368	0,01851	71,01	2544	99,31	3446,9	89,73	0,07732	0,07732	0,178	17,04	
[3]	14,56	0,7985	35,46	12,56	24,4	0,008232	0,01933	73,82	2545	102,2	3444,8	90,12	0,07774	0,1551	0,3589	34,18	
[4]	15,33	0,8383	38,44	13,7	25,09	0,009098	0,02018	76,72	2546	105,1	3440,5	90,25	0,07801	0,2331	0,5365	51,38	
[5]	16,1	0,8727	41,42	14,8	25,79	0,009964	0,02106	79,7	2548	108,1	3434,1	90,12	0,07811	0,3112	0,7163	68,6	
[6]	16,87	0,9025	44,4	15,85	26,49	0,01083	0,02198	82,76	2549	111	3425,6	89,73	0,07803	0,3892	0,896	85,8	
[7]	17,62	0,9282	47,38	16,86	27,18	0,0117	0,02293	85,92	2550	113,9	3415,3	89,08	0,07777	0,467	1,075	102,9	
[8]	18,37	0,9503	50,36	17,83	27,88	0,01257	0,02391	89,17	2551	116,8	3403,4	88,18	0,07733	0,5443	1,253	120	
[9]	19,11	0,9693	53,34	18,77	28,57	0,01345	0,02494	92,52	2553	119,7	3390,0	87,03	0,07671	0,621	1,43	136,9	
[10]	19,83	0,9857	56,32	19,67	29,27	0,01433	0,026	95,98	2554	122,6	3375,4	85,65	0,0759	0,6969	1,604	153,6	
[11]	20,55	0,9998	59,3	20,55	29,96	0,01521	0,02711	99,53	2555	125,5	3359,7	84,06	0,07482	0,7718	1,777	170,1	59,44

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

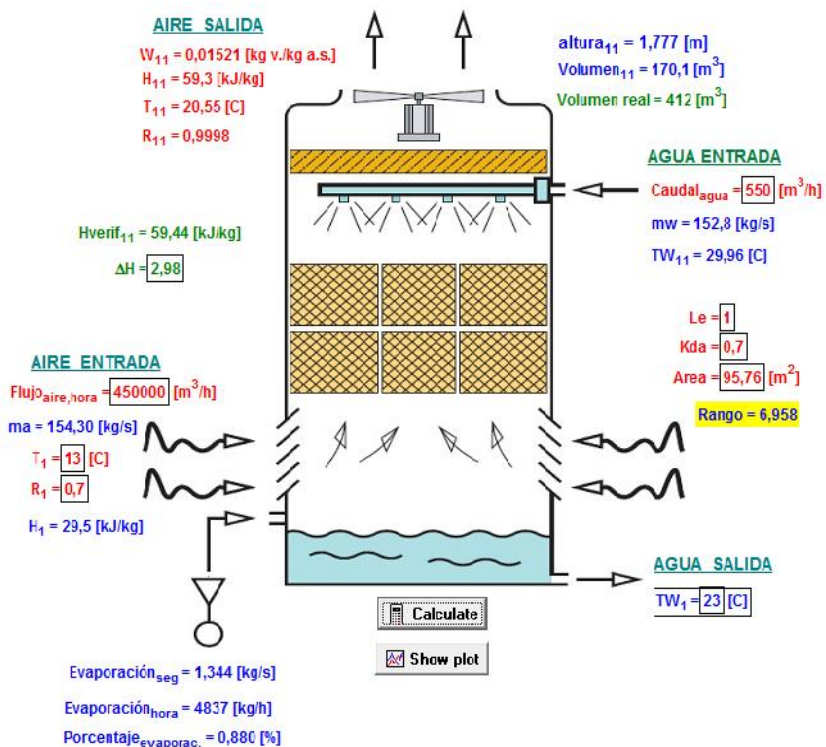


Figura 5.7 Diagrama torre de enfriamiento en condición de operación.

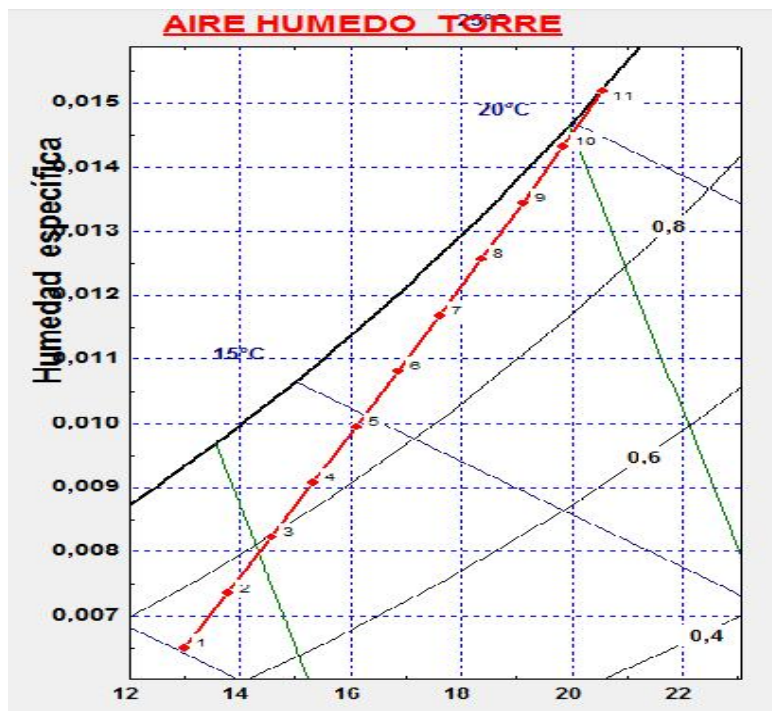


Figura 5.8 Diagrama sicrométrica del aire húmedo en condición de operación.

**CAPITULO V: Necesidades de enfriamiento y situación actual de funcionamiento y eficiencia de la torre de enfriamiento.**

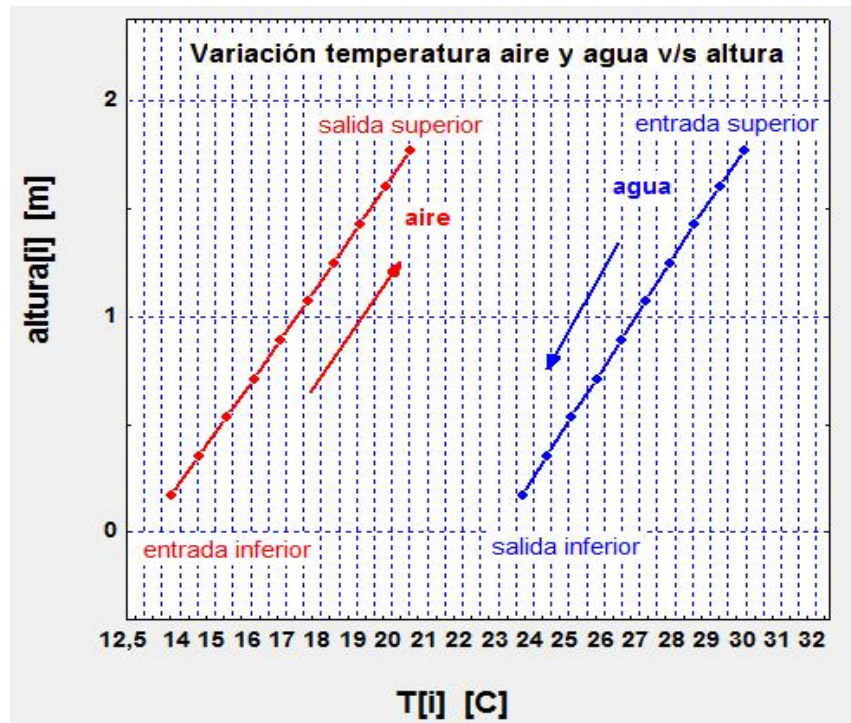


Figura 5.9 Variación de temperatura de aire y agua v/s altura de la torre de enfriamiento.

**Conclusiones de cálculo:**

Los resultados expuestos anteriormente, en condiciones actuales de operación de la torre de enfriamiento, se aprecia la temprana saturación de el aire húmedo, lo que lleva a un deficiente enfriamiento del agua, ya que al estar saturado el aire no puede absorber más humedad emanada por la evaporación del agua para lograr un mayor enfriamiento de dicha agua.

Esto se puede deber a que el aire que ingresa a la torre viene con un porcentaje de humedad relativa alto, lo que puede estar ocasionado por estar la torre ubicada cercana al mar.

Siendo la humedad relativa del aire húmedo la variable más sensible, se puede configurar de distinta manera algunas variables, para poder lograr el enfriamiento esperado. Otras variables que influyen en un funcionamiento inadecuado serían, un bajo caudal de aire y una alta cantidad de agua que se desea enfriar.

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

En este, capítulo se buscará la alternativa más conveniente, para poder potenciar el proceso de enfriamiento y lograr una mayor eficiencia en la torre de enfriamiento. Esto se realizará modificando las variables más relevantes en las condiciones de operación de la torre.

**6.1 CALENTAMIENTO SENSIBLE AL AIRE DE ENTRADA A LA TORRE.**

Como se mencionó anteriormente, la variable que tiene más relevancia es la humedad relativa del aire húmedo, debido al cambio significativo en el resultado modificando esta variable. Para disminuir la humedad relativa es necesario realizar un calentamiento sensible al aire, este proceso psicrométrico modifica la temperatura del aire sin que se produzca evaporación, manteniendo constante la humedad específica. El proceso se representa por una línea recta horizontal, partiendo de la condición real del aire (estado 1), hasta el punto (2) que posee una humedad relativa del 40% o el punto (3) que posee una humedad relativa del 30 %, como se muestra en la figura 6.1.

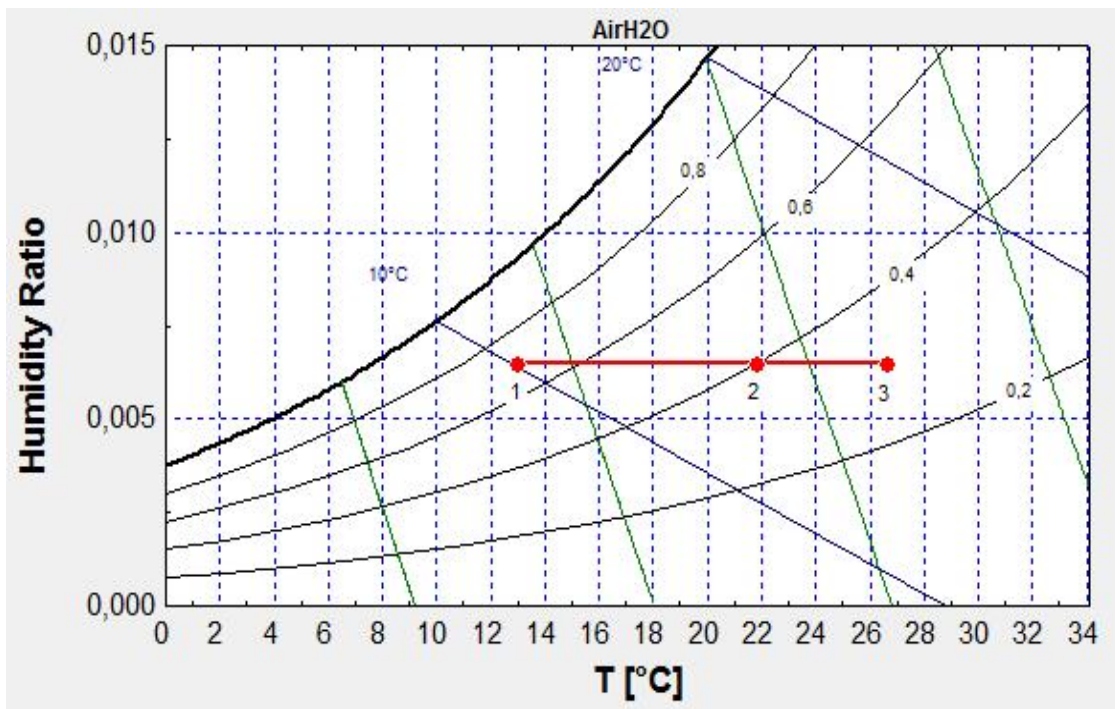


Figura 6.1 Diagrama de calentamiento sensible.

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

**6.1.1 Cálculo de distintas condiciones de humedad relativa del aire de entrada a la torre de enfriamiento.**

Condición N°1:  $T_{e,a}=22$ ,  $HR=40\%$ ,  $T_{s,w}=23$

Altura=4,302 m, Area=95,76 m<sup>2</sup>

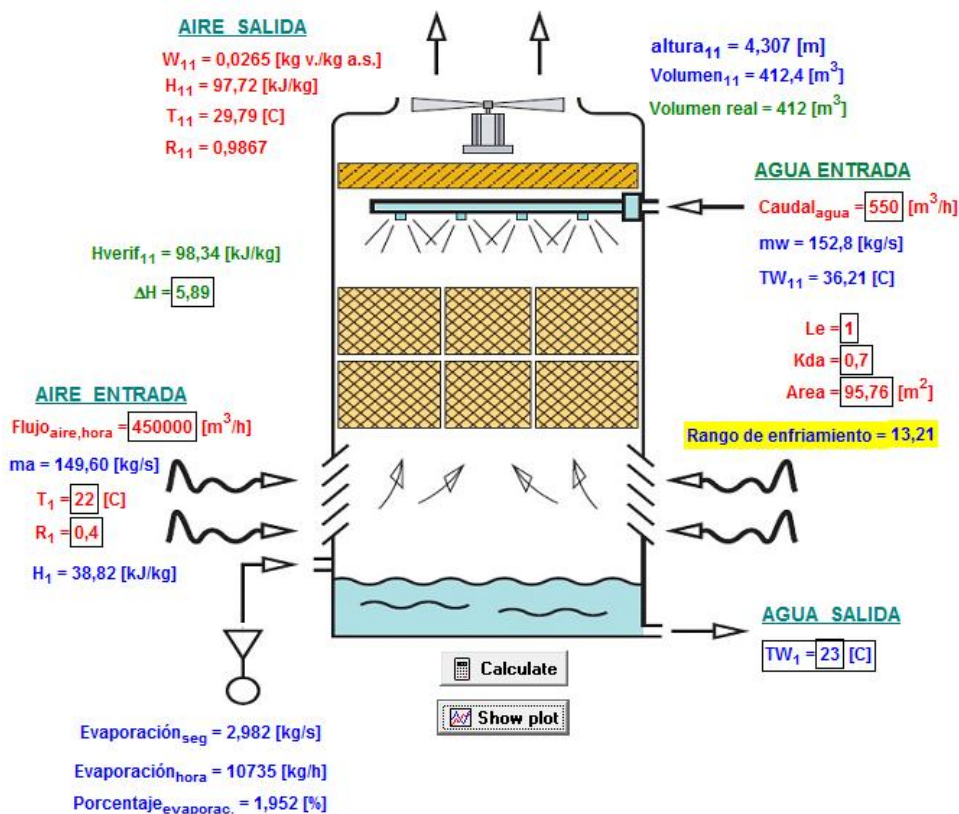


Figura 6.2 Diagrama torre de enfriamiento en condición N°1.

Tabla 6.1 Cálculo de torre de enfriamiento, condición N°1.

Scrit	T <sub>i</sub> [C]	R <sub>i</sub>	H <sub>i</sub> [kJ/kg]	TB <sub>H<sub>i</sub></sub> [C]	TW <sub>i</sub> [C]	W <sub>i</sub> [kg v./kg a.s.]	WSW <sub>i</sub> [kg v./kg a.s.]	FSW <sub>i</sub> [kJ/kg]	H <sub>g</sub> W <sub>i</sub> [kJ/kg]	H <sub>f</sub> [kJ/kg]	Pendiente	FW <sub>i</sub>	FWM <sub>i</sub>	Suma	altura [m]	Volumen <sub>i</sub> [m <sup>3</sup> ]	Hverif [kJ/kg]
[1]	22	0,4	38,82	13,9	23	0,006552	0,01773	68,25	2543	96,39	2536,6	89,58		0			
[2]	22,21	0,5276	44,71	15,01	24,33	0,008756	0,01925	73,54	2545	101,9	2754,2	95,59	0,2069	0,2365	0,4618	44,23	
[3]	22,55	0,5363	50,6	17,95	25,55	0,01053	0,02038	79,1	2547	107,5	2557,5	100,5	0,2098	0,4166	0,9301	89,06	
[4]	23,28	0,7256	56,49	19,76	26,58	0,013	0,02254	84,95	2550	113	2543,0	103,6	0,2104	0,6272	1,4	134	
[5]	24,05	0,7969	62,38	21,44	28,3	0,015	0,02454	91,22	2552	118,6	3008,9	104,8	0,2066	0,8356	1,855	173,6	
[6]	24,52	0,5524	68,27	25,02	29,53	0,01656	0,02657	97,82	2555	124,1	3055,3	104	0,2043	1,04	2,321	222,3	
[7]	25,56	0,895	74,16	24,49	30,55	0,01858	0,02876	104,3	2557	129,6	3084,2	101,2	0,1978	1,236	2,753	264,5	
[8]	26,54	0,5275	80,05	25,88	32,27	0,02079	0,0311	112,2	2559	135,2	3098,3	96,35	0,1852	1,427	3,155	305	
[9]	27,53	0,5524	85,94	27,19	33,59	0,02259	0,03353	120,1	2562	140,7	3100,8	91,47	0,1751	1,506	3,555	343,3	
[10]	28,52	0,5716	91,83	25,43	34,9	0,02459	0,03633	128,4	2564	146,2	3095,0	85,23	0,1678	1,774	3,959	379,1	
[11]	29,79	0,9867	97,72	29,61	36,21	0,0265	0,03922	137,3	2567	151,7	3083,4	78,59	0,1559	1,93	4,307	412,4	98,34

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

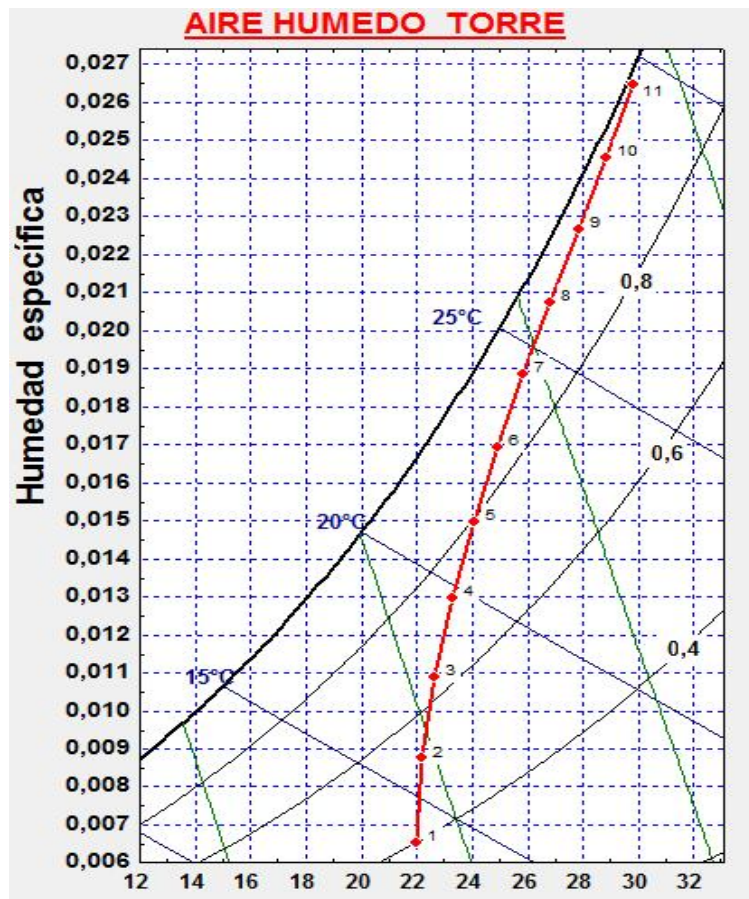


Figura 6.3 Diagrama sicrométrica del aire húmedo en condición N°1.



**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

**Condición N°2:  $T_{e,a}=27$ ,  $HR=30\%$ ,  $T_{s,w}=23$**

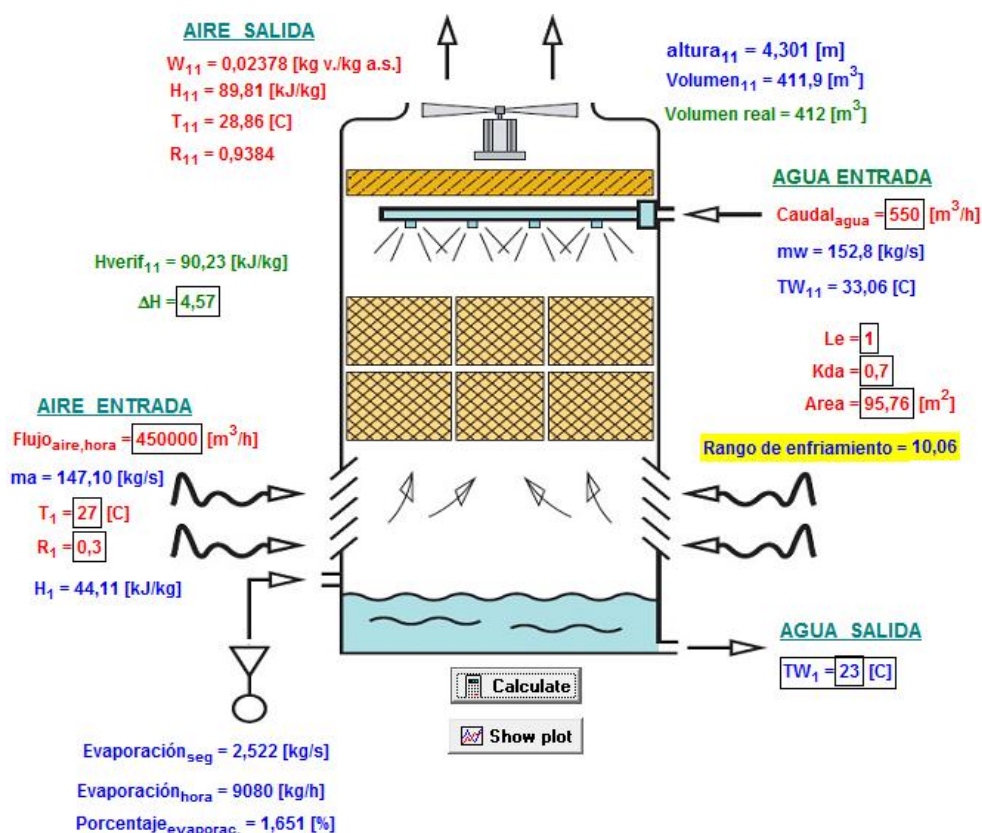


Figura 6.4 Diagrama torre de enfriamiento en condición N°2.

Tabla 6.2 Cálculo de torres de enfriamiento, condición N°2.

Sort	T <sub>i</sub> [C]	R <sub>i</sub>	H <sub>i</sub> [kJ/kg]	TB-H <sub>i</sub> [C]	TW <sub>i</sub> [C]	W <sub>i</sub> [kg v./kg a.s.]	WSW <sub>i</sub> [kg v./kg a.s.]	HSW <sub>i</sub> [kJ/kg]	HgW <sub>i</sub> [kJ/kg]	Hf [kJ/kg]	Pendent <sub>i</sub>	FW <sub>i</sub>	FWM	Suma <sub>i</sub>	altura <sub>i</sub> [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Hverif <sub>i</sub> [kJ/kg]
[1]	27	0,3	44,11	15,85	23	0,036639	0,0773	63,28	2543	96,39	2181,5	90,2	0				
[2]	26,24	0,4113	48,58	17,37	24	0,038734	0,0887	72,24	2544	100,6	2325,3	96,7	0,1979	0,1979	0,4342	41,58	
[3]	25,51	0,5152	53,25	18,81	25,01	0,0407	0,02007	75,36	2546	104,8	2464,5	106,7	0,2018	0,3937	0,8771	53,99	
[4]	25,56	0,6381	57,32	20,17	26,02	0,04255	0,02135	80,68	2548	109	2594,4	113,7	0,2043	0,634	1,325	126,9	
[5]	25,74	0,6584	62,39	21,46	27,02	0,04432	0,02271	85,18	2550	113,2	2711,8	119,2	0,2051	0,839	1,775	170	
[6]	26	0,7555	66,96	22,69	28,03	0,046	0,02414	89,9	2552	117,4	2811,5	122,9	0,2041	1,013	2,223	212,9	
[7]	26,41	0,8104	71,53	23,86	29,04	0,04753	0,02565	94,83	2554	121,6	2891,8	124,7	0,2013	1,214	2,665	255,2	
[8]	26,83	0,8544	75,1	24,97	30,04	0,04921	0,02725	99,98	2555	125,9	2954,8	124,4	0,1958	1,411	3,097	296,6	
[9]	27,53	0,8993	80,57	26,03	31,05	0,02075	0,02894	105,4	2557	130,1	3001,7	122,2	0,1907	1,632	3,515	336,6	
[10]	28,18	0,9168	85,24	27,05	32,05	0,02228	0,03072	111	2559	134,3	3031,7	116,5	0,1833	1,735	3,918	375,2	
[11]	28,56	0,9384	89,81	28,02	33,05	0,02378	0,0326	116,9	2561	138,5	3051,5	113,4	0,1748	1,96	4,301	411,9	90,23

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

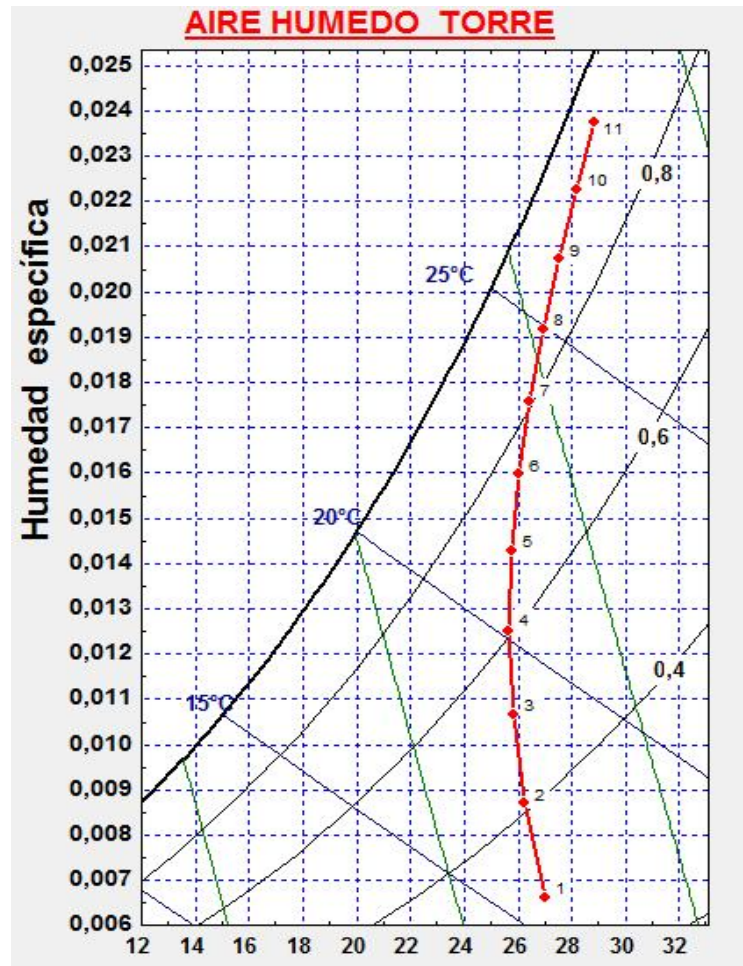


Figura 6.5 Diagrama sicrométrica del aire húmedo en condición N°2.

Con los datos obtenidos se puede apreciar que la condición N°1 es más favorable, ya que el rango de enfriamiento que se puede alcanzar es mayor, ya que en la condición N°2, al ingresar el aire con una temperatura muy elevada, éste perjudica el enfriamiento del agua. Por lo que se utilizará la condición N°1 para realizar la modificación de la torre de enfriamiento y poder obtener un mayor enfriamiento del agua.

El calentamiento sensible que se le realizará al aire, a la entrada de la torre de enfriamiento, será ejecutado por un intercambiador de calor y el agua caliente que alimentará al intercambiador, se sacará del agua proveniente de los enfriadores. Este intercambiador de calor, se instalará donde está ubicada la lumbrera de admisión de aire, abarcando todo el perímetro de la torre de enfriamiento.

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

---



*Figura 6.6 Ubicación intercambiador de calor.*

### **6.1.2 Dimensionamiento de intercambiador de calor.**

Para poder alcanzar las condiciones de entrada del aire es necesario calcular la carga térmica, el caudal de agua que circulará por el intercambiador de calor y el área que abarcará para poder dimensionarlo.

$$CT = \dot{m}_a * C_{p_a} * (t_{s,a} - t_{e,a}) [kW]$$

donde;

$CT$ : Carga térmica

$\dot{m}_a$ : Flujo de aire total aspirado por los ventiladores de la torre de enfriamiento. [kg/s]

***CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.***

---

$t_{e,a}$ : Temperatura del aire húmedo a la entrada del intercambiador ( $t$  aire ambiente). [C]

$t_{s,a}$ : Temperatura del aire húmedo a la salida del intercambiador ( $t$  deseada del aire a la entrada de la torre). [C]

$Cp_a$ : Calor específico del aire. [kJ/kgK]

$$\dot{m}_w = \frac{CT}{Cp_w * (t_{e,w} - t_{s,w})} \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

donde;

$\dot{m}_w$ : Caudal de agua que circula por el intercambiador de calor. [kg/s]

$t_{e,w}$ : Temperatura del agua a la entrada del intercambiador (agua caliente proveniente de los enfriadores). [C]

$t_{s,w}$ : Temperatura del agua a la salida del intercambiador (se considerará una diferencia de 10 grados con respecto al agua que proviene de los enfriadores). [C]

$Cp_w$ : Calor específico del agua. [kJ/kgK]

Entonces con las ecuaciones se obtiene;

$$CT = 300 \cdot 1,004 \cdot (22 - 13) = 2710,8 \text{ [kW]}$$

$$\dot{m}_w = \frac{2710,8}{4,187 \cdot 10} = 64,74 \left[ \frac{kg}{s} \right]$$

## ***CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.***

---

Área disponible.

Perímetro de la torre = 60 [m]

Altura lumbreras de admisión de aire = 2 [m]

Entonces,

$$\text{Área} = 60 \cdot 2 = 120 \text{ [m}^2\text{]}$$

Con estos datos obtenidos, más el área que se pretende cubrir con el intercambiador de calor, se está en condiciones de poder cotizar el equipo que se requiere para alcanzar la condición N°1.

### **6.1.3 Cotización intercambiador de calor.**

La cotización del equipo, fue realizada a la empresa COMERCIAL E INDUSTRIAS PAICAVI LTDA., especializada en transferencia de calor.

Según condiciones de operación necesarias y dimensionamiento entregadas, el equipo ofrecido por la empresa, es un intercambiador tipo radiador.



*Figura 6.7 Radiador tipo serpentín aletado.*

## ***CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.***

---

Especificación técnica del equipo:

Radiador serpentín tipo aleta plana marca CEREZO.

Cantidad: 26

Tubos de cobre.

Laminas de aluminio.

Estructura acero galvanizado.

Dimensiones exterior: 1880 x 1400 [mm].

*Nota: mas detalles del equipo, se encuentra en la ficha de datos de la cotización (anexo II)*

### **6.2 AUMENTO DEL FLUJO DE AIRE.**

Como se dijo anteriormente, una de las variables preponderantes que actúa en el proceso de enfriamiento del agua, es el flujo de aire. Por lo que si se aumenta el flujo de aire que entra a la torre de enfriamiento, y manteniendo el mismo caudal de agua caliente que entra a la torre, se logra un mayor enfriamiento del agua.

Para poder cuantificar cuanto es la influencia que tiene el aumentar el flujo de aire, se realizará una tabla paramétrica con la ayuda del programa realizado en EES, dando un incremento de 10.000 [m<sup>3</sup>/h] y ver cuánto aumenta el rango de enfriamiento de la torre de enfriamiento en condiciones normales.

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

Tabla 6.3 Parametrización del flujo de aire de entrada a la torre.

1..10	1 Flujo aire; hora [m <sup>3</sup> /h]	2 ma [kg/s]	3 TW <sub>11</sub> [C]	4 Rango Enfriamiento	5 altura <sub>11</sub> [m]	6 R <sub>11</sub>
Run 1	450000	154,30	29,75	6,749	1,725	0,9958
Run 2	460000	157,73	29,9	6,898	1,748	0,9963
Run 3	470000	161,16	30,05	7,048	1,77	0,9968
Run 4	480000	164,59	30,2	7,197	1,792	0,9973
Run 5	490000	168,02	30,35	7,346	1,813	0,9978
Run 6	500000	171,45	30,5	7,495	1,834	0,9983
Run 7	510000	174,88	30,64	7,645	1,855	0,9988
Run 8	520000	178,31	30,79	7,794	1,876	0,9993
Run 9	530000	181,74	30,94	7,943	1,896	0,9998
Run 10	540000					

**Observación:**

En la Tabla 6.3 se aprecia que al aumentar el flujo de aire en un 20%, el rango de enfriamiento solo aumenta aproximadamente 1,5 grados. El aumento del flujo de aire se realiza por medio de ventilador axial, con lo se puede aumentar sus rpm, pero esto provoca un mayor costo en el consumo de energía, se debe ver si los motores actuales pueden cumplir con dicho aumento de revoluciones, pero esto podría generar altas vibraciones en la estructura de la torre de enfriamiento. Lo otro sería reemplazar el ventilador por uno que tenga más capacidad de impulsión, pero como el incremento del rango de enfriamiento es bajo, esta alternativa no es conveniente.

**6.3 RECIRCULACION DE AGUA AL INTERIOR DE LA TORRE.**

En esta alternativa lo que se pretende es recircular un flujo de agua adicional en la torre de enfriamiento. La idea de esto es, que al mezclar el flujo de agua que viene de los enfriadores con el flujo adicional, que estará recirculando desde la piscina de la torre hasta la parte superior, en donde

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

se realizará la mezcla antes de pasar por el interior de la torre de enfriamiento, con esto logrando una disminución de la temperatura del agua a la entrada de la torre de enfriamiento.

Para esto se realiza un balance de energía

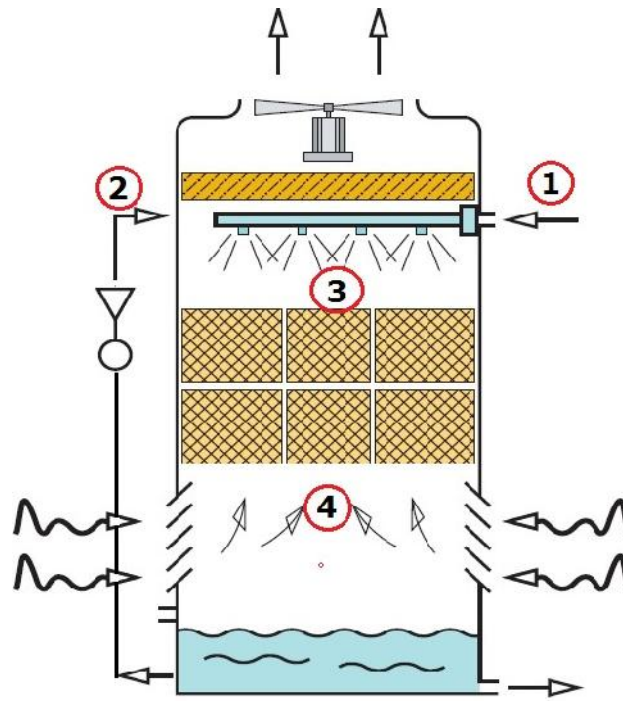


Figura 6.8 Diagrama balance masa en torre de enfriamiento en condición de aumento de caudal.

$$m1 * h1 + m2 * h2 = m3 * h3$$

$$m1 + m2 = m3$$

Determinacion de m2 (a presión atmosférica):

Sabemos que:

**m1:** el caudal ingresa al la torre de enfriamiento proveniente de los enfriadores es de 550 [m<sup>3</sup>/h]

**T1:** Temperatura promedio del agua de viene de los enfriadores, 39 [C].

**T2:** Temperatura del agua que se pretende a la salida de la torre de enfriamiento, 23[C].



**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

$T_p$ : Promedio de enfriamiento de agua en la torre en condiciones actuales, 11[C].

$T_3$ : ( $T_3 = T_2 + T_p$ ), Temperatura del agua después de la mezcla y antes de pasar por la torre de enfriamiento, 34[C].

Tabla 6.4 Resultados de balance de masas.

$h_1 = 163,4$ [kJ/kg]	$m_1 = 550$ [m <sup>3</sup> /h]	<b><math>T_1 = 39</math></b> [°C]
$h_2 = 96,48$ [kJ/kg]	<b><math>m_2 = 250</math></b> [m <sup>3</sup> /h]	$T_2 = 23$ [°C]
$h_3 = 142,5$ [kJ/kg]	<b><math>m_3 = 800</math></b> [m <sup>3</sup> /h]	$T_3 = 34$ [°C]

De acuerdo a los resultados expuestos en la tabla 6.4, se obtiene el caudal de agua adicional que debe estar recirculando por la torre ( $m_2$ ) y el caudal total que tendrá que pasar por la torre de enfriamiento ( $m_3$ ) que debe ser de 800 [m<sup>3</sup>/h].

Con estos resultados se procederá a realizar la simulación con las condiciones antes mencionadas:

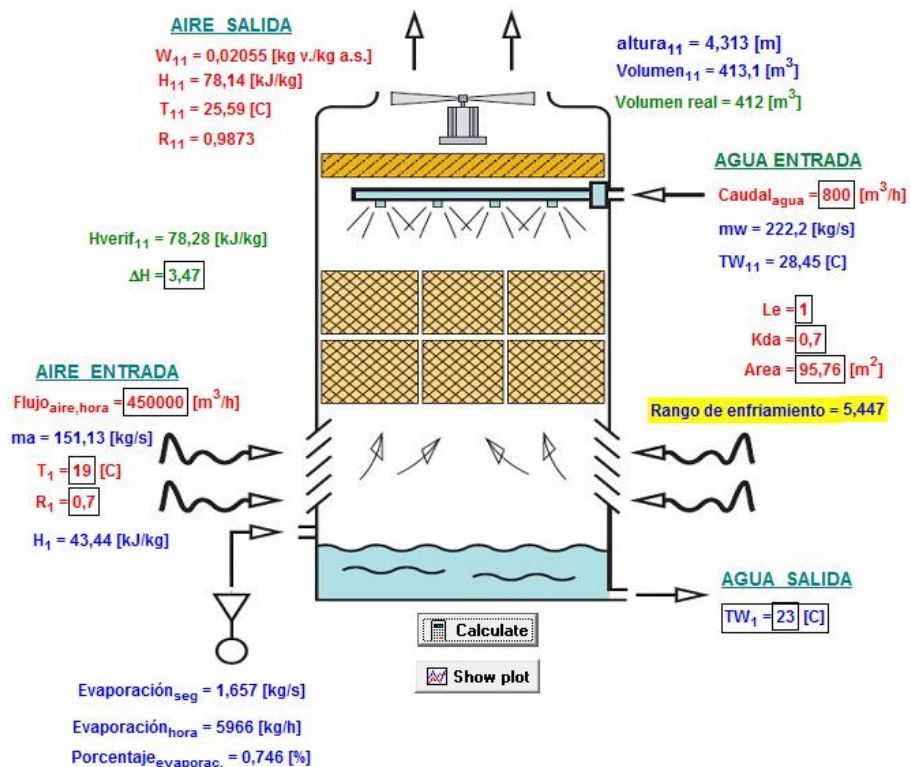


Figura 6.9 Diagrama torre de enfriamiento en condición de aumento de caudal.

## ***CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.***

---

### **Observación:**

En la figura 6.7 se puede apreciar que el rango de enfriamiento ha disminuido considerablemente. Al aumentar el caudal de agua que pasa por la torre de enfriamiento, produce una desventaja, ya que la relación líquido/gas (L/G) sería mayor, lo que iría en desmedro del enfriamiento del agua y no cumple con los resultados esperados, con lo que se deduce que esta alternativa no es factible.

### **6.4 TORRE DE ENFRIAMIENTO ADICIONAL.**

Dentro de las diferentes formas de mejoras de eficiencia de una torre de enfriamiento, se debe de considerar la instalación de una celda más, la cual daría un área mayor de transferencia de calor, y con ello mejorar la eficiencia de la actual instalación.

Como en la alternativa antes mencionada, que al aumentar el caudal que pasa por la torre de enfriamiento perjudicaba el enfriamiento del agua, en esta alternativa se extraerá un porcentaje del caudal de agua que se utiliza en condición actual y se hará pasar por una torre nueva adicional. La idea es distribuir en las tres torres que se tendrán disponible (las dos actuales con 400 m<sup>3</sup>/h y la adicional con 300 m<sup>3</sup>/h para sumar los 1100 m<sup>3</sup>/h que se utilizan actualmente), con lo que al tener menos flujo de agua y manteniendo el flujo de aire se podrá enfriar más el agua.

Se realizará una simulación con un caudal de agua de 400 m<sup>3</sup>/h ver cuánto rango de enfriamiento se obtiene en estas condiciones.

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

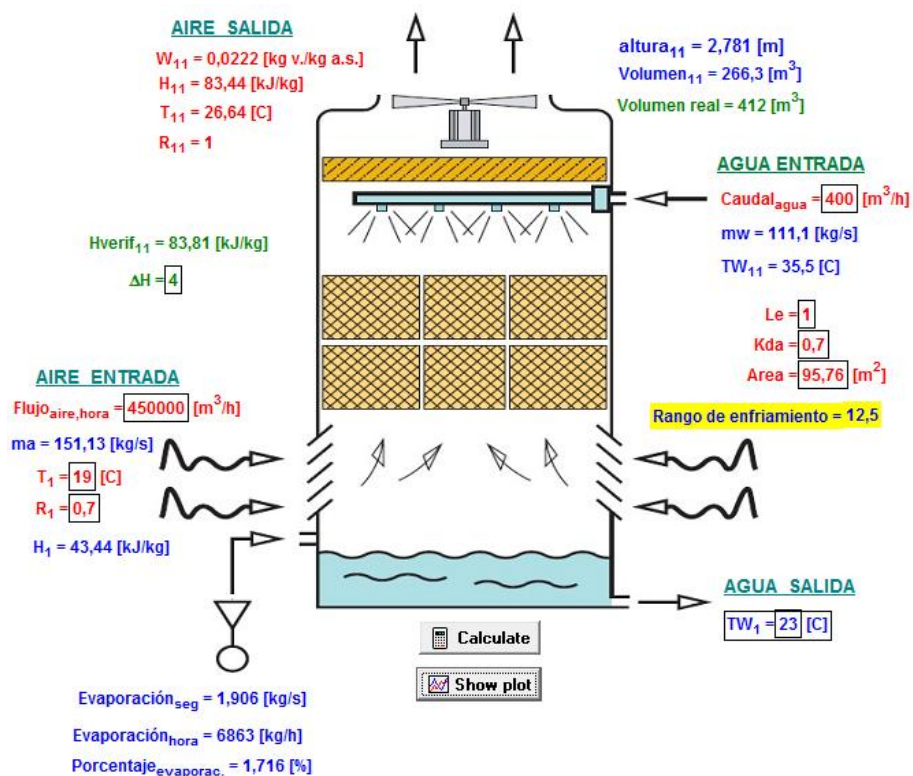


Figura 6.10 Diagrama torre de enfriamiento en condición de disminución de caudal.

En la figura 6.8 se aprecia que el rango de enfriamiento es de 12,5, aumentando en 5,5 grados con respecto al grado de enfriamiento que se tenía en condiciones actuales. Con éste caudal de agua a enfriar, la torre de enfriamiento desempeña satisfactoriamente el proceso de enfriamiento alcanzando los resultados esperados.

Los 300 m<sup>3</sup>/h restantes serán enfriados en la torre de enfriamiento adicional que se instalará al lado de la torre actual, utilizando la misma tubería que alimenta con agua caliente a la actual torre y depositando el agua enfriada en la misma piscina de la torre de enfriamiento actual, para luego ser enviada hacia los enfriadores. Se realizará una cotización con las condiciones de operación, para ver si logra realizar el enfriamiento necesario.

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

**6.4.1 Cotización de torre de enfriamiento adicional.**

En esta ocasión la cotización se realizó a la empresa Pfenniger, especializada en la distribución de maquinarias y equipos industriales representando a varios fabricantes. Se debió llenar un cuestionario, indicando las condiciones de operación requeridas para la torre de enfriamiento, que se muestra en la figura siguiente.

Parámetros de selección indispensables			
Caudal de entrada a la torre	<input type="text" value="300"/>		<input type="text" value="m³/h"/>
Temperatura de entrada	<input type="text" value="40"/>	°C	<input type="text" value="°C"/>
Temperatura ocasional máxima de entrada	<input type="text" value="43"/>	°C	<input type="text" value="°C"/>
Temperatura de salida requerida	<input type="text" value="23"/>	°C	<input type="text" value="°C"/>
Temperatura máxima de bulbo húmedo	<input type="text"/>	°C ( si disponible )	<input type="text" value="°C"/>
Temperatura máxima del ambiente	<input type="text" value="23"/>	°C	<input type="text" value="°C"/>
Humedad máxima del ambiente	<input type="text" value="85"/>	°C	<input type="text" value="%"/>
Calidad del agua	<input type="text" value="Agua sin sólidos en suspensión"/>		
Lugar geográfico de instalación	<input type="text" value="Bahía de San Vicente"/>		

Figura 6.11 Parámetros de selección para torre de enfriamiento.

El ofrecimiento de Pfenniger, fue proveer de tres torres de enfriamiento, marca BENTON, de tiro aspirado y flujo de aire-agua en contracorriente, aptas para funcionar bajo las siguientes condiciones de servicio.

**Condiciones de servicio:**

- Modelo : **BT- 3009**
- Capacidad por torre : 1.800.000 Kcal/h
- Capacidad total : 5.400.000 Kcal/h
- Caudal agua circulación por torre : 100 m³/h.
- Caudal agua circulación total : 300 m³/h
- Temperatura de entrada : 43 °C
- Temperatura de salida : 25 °C

***CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.***

---

Temperatura de bulbo húmedo	: 21 °C
Evaporación máxima	: 3 %
Arrastre máximo	: 0,15 %
Volumen	: 42 m <sup>3</sup> aprox. por torre
Dimensiones	: Ancho 2.500 x Largo 3.700 x Alto 4.500 mm



*Figura 6.12 Torre de enfriamiento BENTON.*

Nota: más detalles sobre la torre de enfriamiento BENTON, se encontrará en el anexo III.

### **6.5 CAMBIO DE TORRE DE ENFRIAMIENTO ACTUAL POR UNA NUEVA.**

Se ha considerado como una posible alternativa, la de instalar una nueva torre de enfriamiento en la ubicación donde está la actual torre de enfriamiento en estudio, debido al alto deterioro que presenta la actual torre de enfriamiento. Esta nueva torre de enfriamiento, será

***CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.***

---

diseñada bajo las mismas condiciones de operación de la actual torre, pero con materiales y tecnología avanzada.

Se le solicitó a la empresa HAMONESINDUS S.A., dedicada al diseño, fabricación e instalación de sistemas térmicos para los sectores de energía y la industria, que realice una propuesta técnica y económica para la instalación de una nueva torre de enfriamiento.

**Datos de diseño:**

Caudal de agua circulante	: 1800 m <sup>3</sup> /h
Contenido de sal en agua	: 0 ppm NaCl
Temperatura agua caliente (entrada)	: 33.00 °C
Temperatura agua fría (salida)	: 23.00 °C
Temperatura bulbo húmedo	: 18.00 °C
Humedad relativa	: 85.00 %
Pérdidas por arrastre (% del caudal circulante)	: 0.0055 %
Caudal de Evaporación (máx.)	: 1.32 %
Carga de viento diseño (en estructura)	: 1.00 kN/m <sup>2</sup>
Carga sísmica diseño	: 0.20 g
Presión atmosférica	: 1013.00 mb
Número de celdas	: 2
Disposición de las celdas	: en línea / extremos cerrados

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

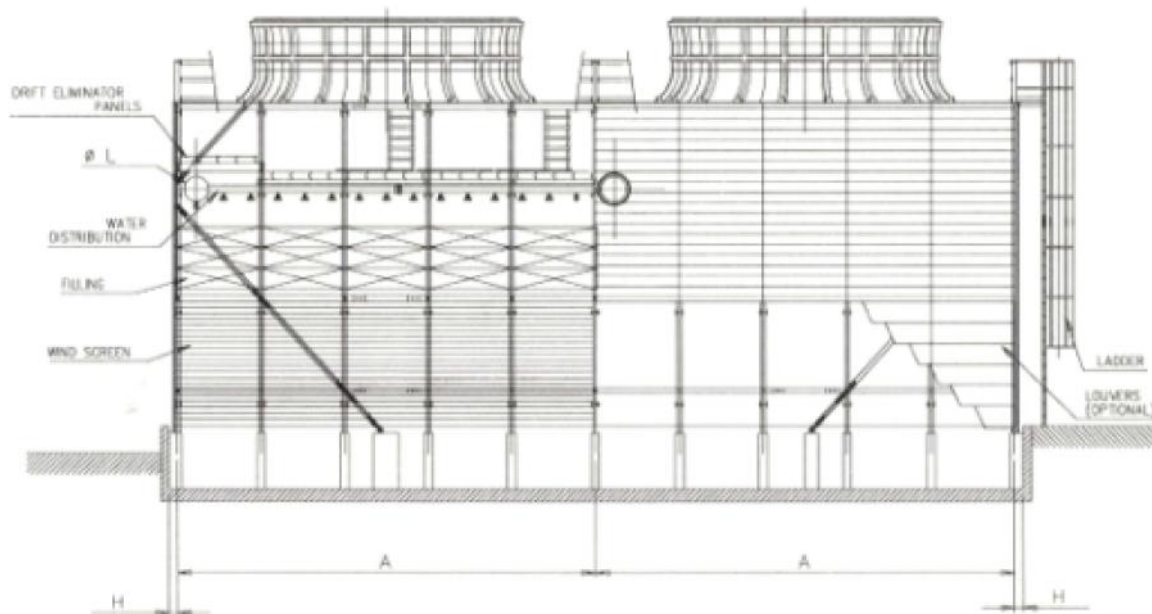


Figura 6.13 Vista frontal plano de torre de enfriamiento diseñada.

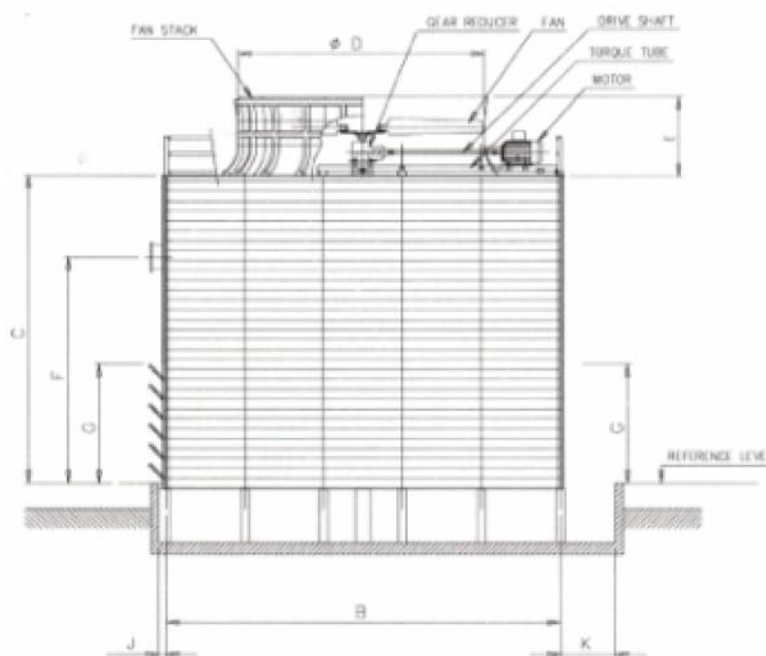


Figura 6.14 Vista lateral plano de torre de enfriamiento diseñada.

**CAPITULO VI: Análisis de alternativas de modificación de torre de enfriamiento para aumentar enfriamiento del caudal de agua.**

Tabla 6.4 Dimensiones para 1 celda:

A	B	C	φ D	E	F	G	H	J	K	φ L
Longitud	Ancho	Plataforma	Ventilador	Virola	Entrada agua	Entrada aire	min.	min.	min.	Diam.
10	8	7.8	5.486	2.2	5.51	2.54	0.15	0.15	1.75	1

Tabla 6.5 Dimensiones globales para 2 celdas:

Longitud total	Ancho total	Altura total	Longitud balsa (*)	Ancho balsa(*)
20	8	10	20.7	10.4

(\*) : distancias mínimas

*Nota: más detalles sobre la torre de enfriamiento HAMONESINDUS S.A., se encontrará en el anexo IV.*



**CAPITULO VII: Costo de alternativas de modificación de torre de enfriamiento.****7.1 RESUMEN COSTOS DE ALTERNATIVAS DE MEJORA**

En este capítulo se presentará el costo de las alternativas antes vistas, que presentaron un mejoramiento en el enfriamiento del agua. Este es un gasto necesario que debe realizar la empresa para obtener una mejor calidad de gas de coque, puesto que este es el combustible principal que se utiliza en toda la planta.

*Tabla 7.1 Costo de alternativas.*

ALTERNATIVA	EQUIPO	COSTO UNIDAD	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Calentamiento Sensible	Serpentín tipo aleta plana	\$1.802.383	26	\$ 46.861.978
Torre de enfriamiento adicional	Benton BT-3009	\$35.000.000	3	\$105.000.000
Propuesta HAMONESINDUS S.A.	Torre Hamonesindus		1	\$284.028.755

*Nota: los valores se indican en pesos chilenos.*

La presente tabla de costos de alternativas, pretende entregar una visión clara de los costos asociados que implica la realización de cada una de las alternativas seleccionadas, dándole énfasis al equipo principal para el mejoramiento de cada una de las alternativas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### CONCLUSIONES.

Por medio del análisis termodinámico y sicrométrico, las variables relevantes que se analizaron fueron la temperatura y humedad relativa del aire (condición de entrada del aire húmedo), el flujo de aire y caudal de agua circulante por la torre de enfriamiento, llegando a la conclusión de que éstas influyen directamente en el proceso de enfriamiento del agua.

Determinando la cantidad de agua de enfriamiento, en condiciones de diseño, necesaria para enfriar el gas de coque en los enfriadores primarios y secundarios, se obtiene un valor de 1500 (m<sup>3</sup>/h). Como el agua debe ser enfriada en dos torres de enfriamiento, cada una de ellas debería enfriar 750 (m<sup>3</sup>/h) con un grado de enfriamiento de 10°C. Aplicando el programa EES del proceso de la torre, se obtuvo que la torre era capaz, solamente de enfriar 530 (m<sup>3</sup>/h). Lo que indica que en sus mejores condiciones de diseño, la torre era insuficiente. De lo anterior, se aprecia que probablemente la torre fue mal seleccionada.

Analizando la torre de enfriamiento en condiciones actuales y con los cálculos arrojados por el programa EES, determinaron que para cumplir con los requerimientos de enfriamiento, de la torre de enfriamiento, es necesario buscar alternativas de apoyo para el proceso de enfriamiento y así mejorar la eficiencia. Esto debido a que la torre de enfriamiento, lleva 25 años trabajando de forma ininterrumpida y no realizándole un mantenimiento general. Este mantenimiento es de gran relevancia realizarlo, ya que el estado de la torre presenta deterioro en algunos de sus componentes. La idea es repotenciar la torre con la realización de limpieza y/o cambio de accesorios.

- ◆ Relleno laminar: El estado general es malo, notando zonas preferenciales de paso de aire. A su vez, se evidenciaron algunas incrustaciones en los rellenos inferiores. Los canales corrugados de paso inclinado no ofrecen las mejores características para la calidad de y su distribución homogénea.
- ◆ Distribución por canales. El estado general no es bueno, algunos dispersores están sucios.
- ◆ Separadores de gotas: Con acumulación de mucha suciedad en varios sectores. Presencia de elevada contaminación por arrastres.
- ◆ Estructura y paredes: la estructura en madera se presenta globalmente en buenas condiciones. No existen cortavientos de dividan cada celda y el cerramiento (paredes exteriores) se encuentran dañadas con fugas.
- ◆ Piscina: Con acumulación de lodo en el fondo.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

En base a las propuestas para mejorar el enfriamiento del agua de refrigeración, la alternativa de efectuar un calentamiento sensible al aire a la entrada de la torre, para disminuir su humedad relativa y así obtener un mejor proceso de enfriamiento, está basado más a la teoría y no visto de un punto más ingenieril. Puesto que cálculos obtenidos arrojaban un gran rango de enfriamiento, la implementación de esta alternativa instalando intercambiadores de calor sobre las lumbreras de admisión de aire, estos obstruirían el paso de aire a la torre, con lo que habría una baja en el flujo de aire succionado por los ventiladores. Siendo esta alternativa la más económica respecto a las cotizaciones realizadas, se decide no llevarla a cabo por lo antes mencionado.

La alternativa de una torre de enfriamiento nueva que reemplace a la actual, debido al gran deterioro de las condiciones de operación de la torre de enfriamiento, propuesta por HAMONESINDUS, se decide que tampoco se llevará a cabo. Se toma esta decisión, aparte por su gran costo de construcción, debido a que la empresa en la planta de purificación de gas, no posee un lugar cercano al circuito de agua de refrigeración para las dimensiones de la nueva torre de enfriamiento. Este espacio físico es necesario, ya que la nueva torre de enfriamiento no puede ser ubicada en la misma locación que la torre actual, porque la torre de enfriamiento es un equipo imprescindible de trabajo continuo.

Por los motivos antes mencionados, se llega a la conclusión de que la alternativa más conveniente, desde el punto de vista operativo y económico es la de instalar una torre de enfriamiento adicional. Esta torre de enfriamiento es de menor tamaño que la actual, lo que no habría problemas de ubicarla próxima a ésta, siendo de fácil montaje. Esta torre tendría un costo de \$ 105.000.000 CLP.

Esta decisión está respaldada por la empresa, ya que las alternativas manejadas fueron expuestas a la jefatura, la cual también se ha inclinado por esta alternativa.

### **RECOMENDACIONES.**

Se recomienda adicionalmente a este estudio, analizar el circuito completo de agua de refrigeración, tanto la torre de enfriamiento, los enfriadores y bombas de impulsión y así visualizar cuales son las grandes falencias que están perjudicando el enfriamiento de los gases de coquería.

***CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES***

---

La torre de enfriamiento, al no estar funcionando con las condiciones de acorde a las de diseño, los equipos quedan sobredimensionados como es el caso de las bombas de impulsión, lo que los hace trabajar no en condiciones óptimas, por lo que se recomienda la instalación de bombas de menor capacidad para un ahorro de energía.

El agua de reposición que se utiliza en la torre de enfriamiento, es un agua del tipo industrial proveniente del río Bio Bio, la que es tratada con químicos para su para preservar la integridad de los equipo. Esta agua antes de llegar a la torre de enfriamiento es utilizada en el alto horno, lo que el agua llega con elevada temperatura al ingresar a la torre, por lo que se recomienda tener línea de distribución de agua independientes, con el objetivo aumentar la temperatura del agua de reposición.

**BIBLIOGRAFIA**

---

René Aquiles Burgos Osses, Prof. Luis A. Cerda Miskulini. *Estudio sobre torre de enfriamiento*.

Memoria, Ingeniero de Ejecución en Mecánica

Universidad del Bío-Bío, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Concepción, 1982.

M 621 B915E 1982

César A. Llanos Ascencio, Prof. Reinaldo A. Sánchez Arriagada. *Análisis mecánico y estudio de transferencia de energía en torre de enfriamiento*.

Memoria, Ingeniero de Ejecución en Mecánica

Universidad del Bío-Bío, Dpto. de Ingeniería Mecánica, Concepción, 2000

M 621 L77 2000

James L. Threlkeld. *Ingeniería de ámbito térmico*. Editorial Prentice-Hall Internacional, 1973.

José Manuel Pinazo Ojer. *MANUAL DE CLIMATIZACIÓN Tomo I: Transformaciones sicrométricas*. Universidad Politécnica de Valencia, España, 1999.

Robert H. Perry. *Manual del ingeniero químico*. McGraw-Hill, Sexta edición, 1994.

Robert E. Treybal. *Operaciones de Transferencia de Masa*. McGraw-Hill, segunda edición.

ASHRAE Handbook. *HVAC Systems and Equipment*. 2008.

Alberto Torres Valencia. *Diseño de una torre de enfriamiento de agua para uso industrial*. Egresado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador, 1974.

Planta de Coque. *Planos y Diagramas de Flujo*. Producción Primaria, Compañía Siderúrgica Huachipato.

ANEXOS

ANEXO I: Cotización de intercambiador de calor.



**COMERCIAL E INDUSTRIAL PAICAVI LTDA.**  
INGENIERIA EN TRANSFERENCIAS DE CALOR

**COTIZACION**

FECHA : 9 de marzo de 2015

CellP N° : 8846/15

SEÑORES	COM. SID. HUACHIPATO S.A.	RUT:	
DIRECCION	AV. GRAN BRETANA	FONO:	
CIUDAD	TALCAHUANO	MÓVIL:	
ATENCION	SR. FRANCISCO URRUTIA		
E-MAIL	urrutia.franciscojavier@gmail.com		
REF.	RADIADORES ENFRIADORES DE AIRE PARA TORRE DE ENFRIAMIENTO		

Mediante esta nota tenemos el agrado de cotizar para Uds. lo siguiente:

ITEM	CANT	DESCRIPCION	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL NETO
1	28	SERPENTIN TIPO ALETA PLANA MARCA RADIADORES CEREZO  ESPECIFICACIÓN TÉCNICA - TUBOS: COBRE - LÁMINAS: ALUMINIO - ESTRUCTURA: ACERO GALVANIZADO - DIMENSIONES EXTERIORES: 1880 X 1400 MM  OBS.: SE ADJUNTA DATASHEET EQUIPOS FABRICADOS 100% EN ESPAÑA	\$ 1.514.808	\$ 39.379.813
			<b>NETO</b>	<b>\$ 39.379.813</b>
			10% IVA	\$ 7.482.183
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 46.861.978</b>

Producto/Servicio cubierto por el Sistema de Calidad  SI  NO

Plazo de entrega	9 SEMANAS
Validez del Ppto	15 DÍAS
Forma de Pago	50% CON ORDEN DE COMPRA, RESTO A 30 DÍAS CONTRA ENTREGA
Garantía	1 AÑO CONTRA DEFECTOS DE FABRICACIÓN

V°B° Gerente

  
**Roberto Oyarzún Ríos**  
Ingeniero de Servicios

V° B° Cliente

**Nota:** - En caso de aprobación enviar o/c a nombre de Comercial e Industrial Paicavi Ltda. RUT 86.436.700-3, o devolver esta cotización firmada.

Av. Paicavi 1879, Concepción, Chile / Fono:56(41)2855989-2855980-2227082 / Fax:56(41)2227092 / E-mail: roberto.oyarzun@paicavi.cl

**ANEXOS**

**BATERÍA DE CALENTAMIENTO - 166030\_C\_S 22T 4NR 1800A 2,5P 11NC**

Geometría	166030_C_S	Longitud Batería	1800	mm	
Número de tubos por rango	22	Paso Aleta	2,50	mm	
Número de rangos	4	Número de Circuitos	11		Tube Shape Circular
Capacidad			119,38		kW
Superficie de intercambio			209,70		m <sup>2</sup>
Coefficiente Global de Intercambio			38		W/(m <sup>2</sup> K)
DeltaT Medio Logarítmico			15,2		°C

**LADO AIRE**

Presión Atmosférica / Altitud		1,01 / 0,00			bar A / m
Caudal volumétrico del aire		34615,0			m <sup>3</sup> /h
Caudal de la masa del aire		42560			kg/h
Velocidad frontal sobre la batería		4,05			m/s
Densidad del aire entrante		1,23			kg/m <sup>3</sup>
Temperatura del aire entrante		13,0			°C
Humedad relativa del aire entrante		50,00			%
Humedad específica del aire entrante		4,60			g/kg AS
Entalpía Aire entrante		24,63			kJ / kg
Temperatura Aire saliente		23,0			°C
Humedad relativa del aire saliente		26,71			%
Humedad específica del aire saliente		4,80			g/kg AS
Entalpía Aire Saliente		34,75			kJ / kg
Pérdida de presión		107			Pa
Factor de ensuciamiento		0,000000			(m <sup>2</sup> K)/W
Coefficiente de intercambio parcial		82			W/(m <sup>2</sup> K)

**LADO FLUIDO**

Fluido					WATER
caudal volumétrico del fluido		8849,0			l/h
Caudal de la masa del fluido		8798			kg/h
Velocidad del fluido		1,18			m/s
Temperatura del fluido entrante		39,0			°C
Temperatura del fluido saliente		27,3			°C
Pérdida de Presión Lado Fluido		26,45			kPa
Coefficiente de Intercambio Parcial		6115			W/(m <sup>2</sup> K)
Factor de ensuciamiento		0,000000			(m <sup>2</sup> K)/W

**DETALLE GEOMETRÍA**

Geometría		166030_C_S		
Número de rangos / Número de tubos por rango		4 / 22		
Longitud Batería		1800		mm
Paso Aleta		2,50		mm
Número de Circuitos		11		
Material aletas / Material Tubos		Aluminium / Cooper		
Espesor Aletas		0,1000		mm
Volumen Interno de la Batería		30,0		l
Diámetro Externo de los Tubos		18,2		mm
Diámetro Interno de los Tubos		15,5		mm
Número de tubos saltados		0		

**ANEXOS**

**ANEXO II: Cotización Torre de enfriamiento adicional.**

**Pfenniger SA**  
Maquinaria, Insumos y Servicios  
Industriales desde 1928  
[www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)



Torres de Enfriamiento de Agua

**PROYECTO CAP**

**TORRE DE ENFRIAMIENTO MODELO BT- 3009**

**BENTON**

**OFERTA N°15227**



**pfenniger**

[www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)  
Fono +562-9633262 / CL 76218975  
El totalal 601-D, Quilicura, Santiago de Chile  
[nina.rodriguez@pfenniger.cl](mailto:nina.rodriguez@pfenniger.cl)



# Pfenniger SA

Maquinaria, Insumos y Servicios  
Industriales desde 1928 [www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)



Torres de Enfriamiento de Agua

Santiago, 18 de Febrero 2015

Señores:

**Compañía Siderúrgica Huachipato**

Presente

Para : **Javier Melendes**  
e-Mail : [jmelendes@csh.cl](mailto:jmelendes@csh.cl)  
Fono : 41-2502366

De : **Nina Rodríguez**  
e-Mail : [nina.rodriguez@pfenniger.cl](mailto:nina.rodriguez@pfenniger.cl)  
Fono : 56-2- 9633262  
Cargo : Ventas y Servicios

**Ref.: TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA.**

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, a vuestra solicitud, la que desde ya agradecemos, tenemos el agrado de cotizarles:

## 1. TORRE DE ENFRIAMIENTO

**PROVISION DE TRES TORRES DE ENFRIAMIENTO DE AGUA, MARCA "BENTON®", SIN PILETA RECOLECTORA DE AGUA, DE TIRO ASPIRADO Y FLUJO DE AIRE-AGUA EN CONTRACORRIENTE, apta para funcionar bajo las siguientes condiciones de servicio:**

## 2. CONDICIONES DE SERVICIO

Modelo	:	<b>BT- 3009</b>	
Capacidad por torre	:	1.800.000	Kcal/h
Capacidad total	:	5.400.000	Kcal/h
Caudal agua circulación por torre	:	100	m <sup>3</sup> /h.
Caudal agua circulación total	:	300	m <sup>3</sup> /h
Temperatura de entrada	:	43	°C
Temperatura de salida	:	25	°C
Temperatura de bulbo húmedo	:	21	°C
Evaporación máxima	:	3	%
Arrastre máximo	:	0,15	%

[www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)  
Fono +562-9633262 / CL 76218975

El total 601-D, Quilicura, Santiago de Chile [nina.rodriguez@pfenniger.cl](mailto:nina.rodriguez@pfenniger.cl)

# Pfenniger SA

Maquinaria, Insumos y Servicios  
Industriales desde 1928 [www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)



Torres de Enfriamiento de Agua

Presión de alimentación máxima	:	3.75	m.c.a.
Modelo de tobera	:	T- 3"	
Cantidad de toberas por torre	:	6	
Material	:	Polipropileno PP	
Pesos y medida de la torre	:	Adjuntamos Esquema	
Peso Neto	:	1.600 Kg	
Peso en servicio sin pileta	:	1.800 Kg	
Volumen	:	42 m <sup>3</sup> aprox. por torre	
Dimensiones	:	Ancho 2.500 x Largo 3.700 x Alto 4.500 mm	

### 3. CARACTERISTICAS TECNICAS

**a) Estructura:** Estructura modular, compuesta por marcos contruidos con perfiles de hierro, posteriormente galvanizados por inmersión en caliente.

**b) Techo:** Transitible, contruido con chapa de acero galvanizado N° 16.

**c) Barandas y escalera:** Contruidas con caños y perfiles de hierro negro, posteriormente galvanizados por inmersión en caliente.

**d) Revestimiento:** Compuesto por placas desmontables de plástico reforzado con fibra de vidrio (P.R.F.V.), sujeta a la estructura mediante pernos de acero inoxidable, calidad AISI 304.

**e) Chapas de salpicado:** Contruidas en P.R.F.V., fácilmente desmontables.

**f) Conos de ventilador:** Contruidas en P.R.F.V., compuestos por gajos unidos entre sí con pernos de acero inoxidable, calidad AISI 304.

**g) Pernos:** Acero inoxidable, calidad AISI 304.

**h) Pileta recolectora:** A contruir por el cliente. Pfenniger S.A., entregará planos dimensionales para la construcción de dicha pileta y los pilares para apoyo de estructura correspondientes.

#### i) Motor eléctrico:

- Cantidad	:	Uno	
- Marca	:	Siemens, Weg ó similar	
- Tipo	:	Normalizado según IEC	
- Potencia	:	15	HP
- Velocidad	:	970	rpm
- Tensión	:	380 / 660	V
- Frecuencia	:	50	Hz
- Protección	:	IP55	
- Blindaje	:	100	%
- Ejecución	:	V1 (con brida, eje vertical hacia abajo).	
- Aislación	:	clase F.	



[www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)  
Fono +562-9633262 / CL 76218975

El totoral 601-D, Quilicura, Santiago de Chile [nina.rodriguez@pfenniger.cl](mailto:nina.rodriguez@pfenniger.cl)

# Pfenniger SA

Maquinaria, Insumos y Servicios  
Industriales desde 1928 [www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)



Torres de Enfriamiento de Agua

## j) Ventilador:

Axial, de elevada eficiencia. Estas hélices responden a una concepción de última generación en el empleo de perfiles supercríticos en ventiladores, obteniendo un producto altamente confiable, que brinda la mejor relación prestación – costo.

- Cantidad	:	Uno por torre	
- Tipo	:	Axial	
- Diámetro	:	1.494	mm
- Cantidad de palas	:	4	
- Velocidad	:	970	rpm
- Material	:	Aluminio extruido	
- Material del cubo	:	Acero galvanizado de 80 micrones de espesor	
- Calidad del balanceo	:	Grado G 6.3 según ISO 1940-1.	

## k) Soporte de conjunto motor-ventilador:

Construido con perfiles de hierro negro, posteriormente galvanizados por inmersión en caliente.

## l) Sistema de distribución de agua:

La distribución de agua, es mediante toberas construidas en polipropileno, resistentes a la corrosión, de alta velocidad de pasaje, lo que las hace inobturables y autolimpiantes, de fácil desmontaje. Estas toberas están montadas en las tuberías porta toberas de acero galvanizado por inmersión en caliente.

- Tubos distribución de agua	:	tubos distribuidores de acero galvanizado por inmersión en caliente
- Tobera	:	estática, inobturable y autolimpiante, construida en polipropileno.
- Cantidad	:	6
- Diámetro	:	3"

## m) Separador de gotas:

El relleno consiste, en paneles intercambiadores de calor, construidos en PVC. con estabilizante UV, original de Brentwood (USA), cumpliendo con el ensayo de inflamabilidad según ASTM D-635. Son colocados entre los tubos porta toberas, de triple cambio de dirección y doble efecto de choque, separan las gotas que son arrastradas por el flujo de aire, y las reincorporan nuevamente al relleno.

- Modelo	:	D-15
- Tipo	:	Laminar
- Material	:	PVC., autoextinguible, con estabilizante UV.
- Arrastre	:	0,15 %
- Eficiencia	:	99 %
- Temperatura de Operación :	:	60 °C



[www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)  
Fono +562-9633262 / CL 76218975

El totoral 601-D, Quilicura, Santiago de Chile [nina.rodriguez@pfenniger.cl](mailto:nina.rodriguez@pfenniger.cl)

# Pfenniger SA

Maquinaria, Insumos y Servicios  
Industriales desde 1928 [www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)



Torres de Enfriamiento de Agua

## n) Relleno o elemento de intercambio:

Características:

- Buena transmisión de calor con baja pérdida de presión.
- Resistencia química y larga vida útil.
- Paneles manuales, de fácil remoción, para permitir el lavado en caso de ensuciamiento.
- Aptitud para operación continua y temporal.

El relleno consiste, en paneles intercambiadores de calor, contruidos en PVC. autoextinguible, con estabilizante UV, original de Brentwood (USA), cumpliendo con el ensayo de inflamabilidad según ASTM D-635. Estos elementos están formados por placas onduladas, de tal forma que resulten canales diagonales para prolongar el tiempo de contacto aire/agua. Las ranuras continuas de las placas, eliminan el efecto de capilaridad, reduciendo así la pérdida de presión. Las capas de relleno de altura 300 mm cada una, se colocaran alternadas en 90°, que sumada al tipo de configuración de la misma, causan una turbulencia suficiente y un retardo en la caída de la gota, que permite obtener un muy buen efecto de enfriamiento.

<b>- Modelo</b>	:	<b>C-12</b>	
- Tipo	:	Laminar	
- Material	:	PVC., autoextinguible, con estabilizante UV	
- Superficie de intercambio	:	226	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
- Temperatura de Operación	:	60	°C
- Canal de pasaje aire-agua	:	12	mm
- Altura de paneles de relleno	:	900	mm
- Dimensiones	:	1200 x 300 x 300 mm.	

**o) Soportes de relleno separador de gotas:** Contruidos con perfiles de hierro galvanizados por inmersión en caliente. Forma una trama metálica sobre la cual descansa el relleno.

## Observaciones:

1. Las placas de revestimiento de las torres de enfriamiento **MODULARES**, están sujetas a la estructura mediante pernos de acero galvanizado autoperforantes, por lo que cualquiera de ellas, podrá ser removida, facilitando el chequeo rápido de los elementos internos (relleno, separador de gotas, toberas, etc.), a fin de determinar la necesidad de tareas de limpieza y/o mantenimiento.

2. La torre de enfriamiento de agua de tiro inducido y flujo de aire-agua en contracorriente, por tiraje natural, a motor parado rinde un 30 % de la capacidad para la que fue seleccionada. Por lo tanto, en época de temperaturas bajas, con la instalación de un termostato en la cañería de salida, el motor eléctrico trabajará solamente cuando sea necesario mayor enfriamiento de agua.



[www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)  
Fono +562-9633262 / CL 76218975

El totoral 601-D, Quilicura, Santiago de Chile [nina.rodriguez@pfenniger.cl](mailto:nina.rodriguez@pfenniger.cl)

# Pfenniger SA

Maquinaria, Insumos y Servicios  
Industriales desde 1928 [www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)



Torres de Enfriamiento de Agua

#### 4. GARANTIA

La torre de enfriamiento ofrecida goza de una garantía de funcionamiento de un (1) año, contados a partir de la fecha de entrega al cliente. Esta garantía cubre los desperfectos mecánicos y/o eléctricos de la misma no haciéndose cargo Pfenniger de los daños y/o perjuicios ocasionados en y/o por la torre debido al mal uso o manejo de la misma.

**Pfenniger S.A. Nina Rodríguez**  
**02-9633262**

1 / 1

Cliente Cia. Siderurgica Huachipato S.A.  
 2015  
 Telefono 41 2502212  
 Contacto Javier Melendes

Santiago, 18 de Febrero

Estimados Señores :  
 De acuerdo a lo solicitado por ustedes, tenemos el agrado de cotizar lo siguiente:

Item	Codigo	Cantidad	Descripción	Unitario	Total
1	BT3009BE	3	Torre de enfriamiento de agua BT 3009	\$35.000.000	\$105.000.000
				Total	\$105.000.000

Observaciones

**Valores no Incluyen IVA**

**Oferta es valida sólo adquiriendo el total de los productos cotizados.**

Precios en Moneda

Pe

Plazo de Entrega

A

Condiciones de pago

30

días fecha Factura

Forma de Pago Depósito Cta.Cte. BCI 10353691

Lugar de Entrega Bodega Pfenniger

Validez Oferta 18/03/2015

Esperando una buena acogida a ésta Cotización, le saludamos atentamente

**Nina Rodriguez**

**Fono: +562 963 3500**

Fono +562 963 3500 Email mailbox@psa.cl RUT 91.632.000-0  
 Fax +562 733 5098 - El Totoral 601-D, CL 871-0026 Quilicura Giro: Importacion y  
 Representacion, Casilla 2827, Santiago de Chile [www.pfenniger.com](http://www.pfenniger.com)  
 Torres de enfriamiento-Válvulas y Tuberías en termoplásticos-Bombas y monitoreo de fluidos  
 Servicios de Montaje y Mantenimiento-Importacion y Venta de Equipamiento Industrial  
 Compresores y Generadores de gases-Proceso y Envasado de Alimentos

**ANEXO III: Cotización torre de enfriamiento nueva HAMONESINUNDUS S.A.**



O. Ref.:  
Y. Ref.: 23-Jun-2014 22:17:44

**OFERTA n° Huachipato Rev. 0**



**PROPUESTA TÉCNICO-ECONÓMICA**

**Solicitado por:** CAP

**Proyecto:** Planta Coke – Cambio Torres Existentes

**HAMONESINDUS S.A.**

## A. ESPECIFICACIÓN TECNICA

### 1. ESPECIFICACIÓN

#### 1.1. Datos de diseño

Caudal de agua circulante	1800	m <sup>3</sup> /h
Contenido de sal en agua		0 ppm NaCl
Temperatura agua caliente (entrada)	33.00	°C
Temperatura agua fría (salida)	23.00	°C
Temperatura bulbo húmedo	18.00	°C
Humedad relativa	85.00	%
Pérdidas por arrastre (% del caudal circulante)	0.0055	%
Caudal de Evaporación (máx.)	1.32	%
Carga de viento diseño (en estructura)	1.00	kN/m <sup>2</sup>
Carga sísmica diseño	0.20	g
Presión atmosférica	1013.00	mb

#### 1.2. Condiciones de operación y selección

Número de celdas	2
Disposición de las celdas	In Line / Closed Ends
Altura bombeo (*)	6.15 m.c.a.
Potencia total de ventilación (a eje motor)	9 7.8 kW

(\*) medida desde borde de balsa

#### 1.3. Dimensiones

Dimensiones nominales por celda de aire	10.00 x 8.00 m x m	Altura entrada	2.54 m
Altura Plataforma			7.80 m
Altura entrada de agua desde borde de balsa de virola			5.51 m
Dimensiones generales:	- Longitud		20.00 m
- Ancho			8.00 m
- Altura			10.00 m
Dimensiones interiores balsa (*):	- L		20.70 m
- W			10.40 m
Entrada de agua caliente:	- número por celda		1
- ø nominal.			500 mm
Persianas			NO

(\*) dimensiones mínimas





## 1.4. **Materiales de construcción**

Estructura	PRFV
Particiones	PRFV
Cerramiento	PRFV
Cortavientos	PRFV
Plataforma	PRFV
Virola	PRFV
Tomillería	SS304
Equipo mecánico	HDGS
Soportes equipo mecánico	HDGS
Relleno	PVC
Eliminadores de gotas	PVC
Distribución de agua - colector	PRFV
- tubos distribución	PVC
- dispersores	PP
Escaleras	1 / PRFV
Escala de mantenimiento	1 / FRP
Barandilla en plataforma	PRFV
Trampilla acceso interior (1 por celda)	PRFV
Acceso grupo mecánico	PRFV
Balsa de agua fría	HORMIGÓN (POR
<b>OTROS)</b>	

## 1.5. **Equipo mecánico**

### 1.5.1. **Ventilador**

Número	2
Tipo	axial
Fabricante (selección por ESINDUS S.A.)	HOWDEN / TECSIS /
<b>COFIMCO o similar</b>	
Diámetro	5.49 m
Número de palas (*)	5
Material de la pala	PRFV
Velocidad del ventilador (*)	207.5 RPM
Velocidad borde pala (*)	59.6 m/s
Consumo por motor	48.9 kW
Ajuste pala	manual
(*) puede variar con el índice exacto del reductor	

### 1.5.2. **Reductores**

Número	2
Tipo	Ejes perpendiculares
Fabricante (selección por ESINDUS S.A.)	HANSEN / SUMITOMO o
<b>similar</b>	
Número de reducciones	Doble
Índice de reducción nominal (*)	7.1
Factor de servicio (AGMA)	> 2.0
Tipo de engranajes	Helicoidal



**1.5.3. Motores**

Número	<b>2</b>	
Tipo	<b>TEFC</b>	
Fabricante (selección por HAMONESINDUS S.A.)	<b>ABB / SIEMENS / WEG o similar</b>	
Alojamiento	<b>IP 55</b>	
Clase aislamiento	<b>F</b>	
Velocidad motor	<b>1500</b>	<b>RPM</b>
Potencia nominal	<b>55</b>	<b>Kw</b>
Características electricas	<b>3/50 /400</b>	<b>ph/Hz/V</b>

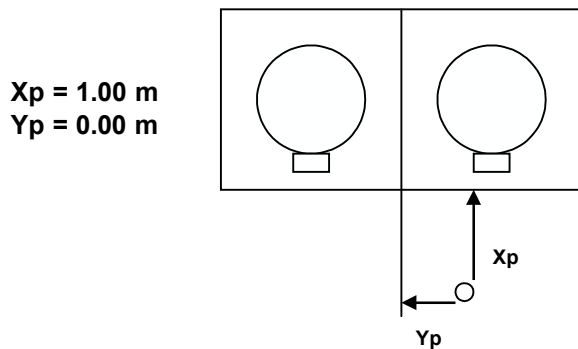
**1.5.4. Eje motriz**

Número	<b>2</b>
Tipo	<b>Flotante</b>
Fabricante (selección por HAMONESINDUS S.A.)	<b>ADDAX / TURBOFLEX o similar</b>
Material del eje	<b>Composite</b>
Material de los acoplamientos	<b>Acero inoxidable</b>

**1.6. Resultado de ruido**

Nivel de ruido efectivo:	<b>109.8</b>	<b>dB(A)</b>
Nivel de ruido medido en el punto P:	<b>84.3</b>	<b>dB(A)</b>

\* Punto P situado a 2.00 m del nivel del suelo.





## 2.

## **DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES**

### **2.1. General**

Esta unidad es de tipo flujo en contracorriente. El aire es introducido verticalmente a través de la entrada de aire situada en la parte inferior de la torre, viaja a través del relleno contra la corriente vertical de agua y es descargado a la atmósfera a gran velocidad.

El estudio térmico, diseño estructural y selección de materiales y componentes ha sido realizado de acuerdo con las especificaciones salvo que se indique lo contrario. Sólo materiales de la mejor calidad se utilizarán en la construcción y sólo componentes mecánicos de fiabilidad probada se han seleccionado.

El diseño final optimizado es una combinación de métodos de diseño modernos e informatizados y una amplia experiencia con multitud de unidades instaladas.

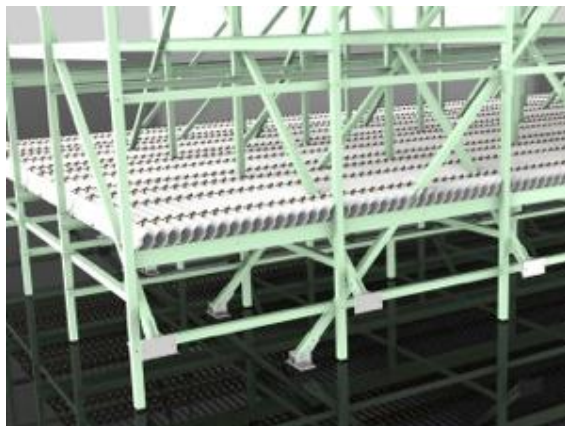
Ahora procederemos a describir los principales subcomponentes en detalle.

### **2.2 Estructura (PRFV)**

La estructura de la torre completa estará realizada en PRFV con todos los requisitos específicos de esta aplicación particular.

La torre está dotada con un cerramiento externo de PRFV (poliéster reforzado con fibra de vidrio) material que es altamente resistente a la corrosión e intemperie. Le proporciona una superficie estéticamente agradable.

Las paredes interiores y cortavientos serán también de poliéster.



## 2.3 Cerramiento y Plataforma

Las paredes exteriores e interiores serán de PRFV, material que es altamente resistente a la corrosión e intemperie.

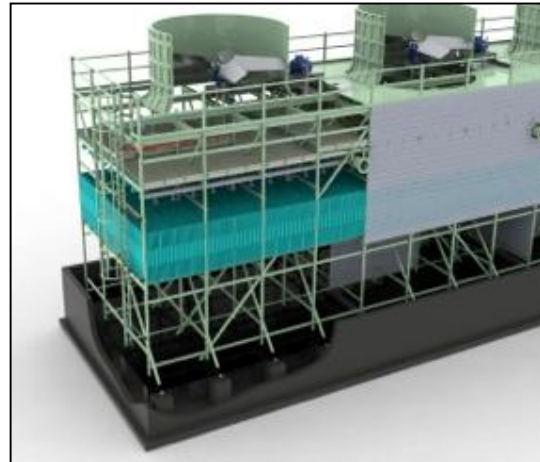
Las láminas estarán solapadas y todas las juntas, esquinas prefabricadas y conexiones de colector estarán selladas de modo que el agua quede retenida dentro de la torre.

La plataforma está formada por paneles anclados a elementos estructurales. Está diseñada para una carga de mantenimiento de 300 daN/m<sup>2</sup>.

## 2.4 Virola

Para asegurar una operación eficiente de los ventiladores, este diseño incorpora una virola de poliéster reforzado con fibra de vidrio que tendrá una entrada ampliada para ayudar a la llegada suave del aire al ventilador.

Altura de virola: ver apartado 1.3



## 2.5.

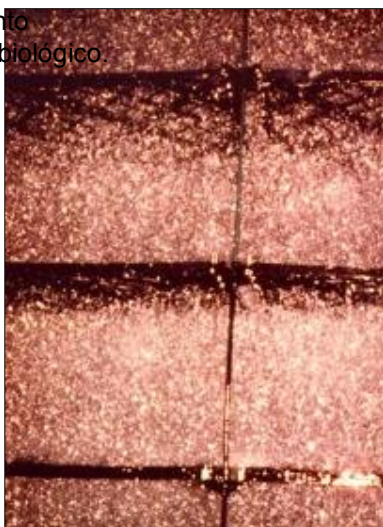
### **Relleno (Coodrop™ model) - Parrillas**

La superficie de intercambio térmico es de goteo.

El agua de proceso, cae a través de toberas calibradas sobre las parrillas y se rompe en gotas finas. Repetido en cada nivel este fenómeno asegura una lluvia fina y maximiza la superficie de intercambio térmico donde tiene lugar el enfriamiento.

Las parrillas están unidas entre sí, conformando cada piso que está separado del siguiente por medio de distanciadores de tamaño constante. El relleno está suspendido mediante varillas de soporte de acero inoxidable.

El amplio espacio entre los listones y la superficie plana del plástico evitan el posible ensuciamiento del relleno y el crecimiento de material biológico.



Relleno Coodrop™



## **2.6 Distribución de agua**

### **2.6.1 Risers**

La alimentación de agua caliente se efectuará mediante tuberías a cargo del cliente.

La dispersión del agua se consigue por medio de platillos especiales de plástico, en los cuales se pulveriza el chorro de agua, que cae sin presión desde las tubuladuras, convirtiéndose en finísima lluvia y asegurando un reparto uniforme del agua sobre la superficie de la celda.

### 2.6.2. Tuberías de distribución de agua y toberas

En la torre, empezará nuestro suministro después de la brida de entrada a cada celda unida al colector de agua del que salen las tuberías secundarias de PVC. Estas tuberías están equipadas con dispersores de polipropileno no obstruibles.

El sistema completo es altamente resistente a la corrosión y produce una buena distribución de agua esencial para un rendimiento adecuado. Es autopurgante dado que las toberas se encuentran en una cota inferior al tubo, la distribución requiere entre 60 y 120 cm sobre el relleno para garantizar una dispersión correcta y aprovechar toda la superficie de relleno.



### 2.6.3. Juntas de dilatación de goma

Se recomienda que el cliente suministre un compensador de dilatación de goma en cada riser para permitir la expansión y liberar tensiones.

### 2.6.4. Válvulas

Se instalarán en cada riser válvulas de mariposa para cortar el agua para mantenimiento (posición todo nada) a cargo del cliente

Todas las válvulas serán de tipo manual.

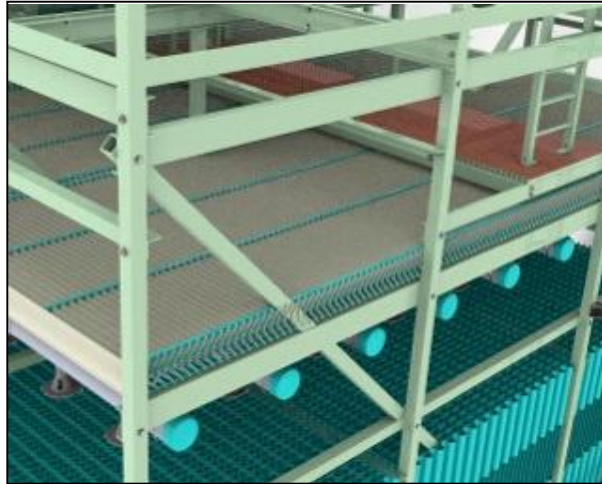
En nuestra oferta están excluidos los compensadores, válvulas para cortar el agua y los risers

**Nota:** Cuando los risers sean suministro de HAMONESINDUS, se enviarán a obra completamente fabricados según la topografía del proyecto.



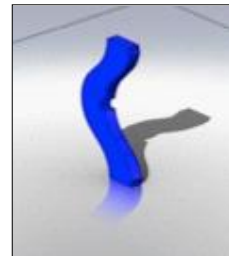
## 2.7. Separadores de gotas

Para evitar el arrastre de partículas de agua por la corriente de aire creada por el ventilador, la torre va provista de paneles separadores de gotas, situados en un plano superior al de distribución de agua y constituidos por ondas de PVC.



La distancia entre las ondas se consigue mediante piezas especiales de plástico.

La separación entre ondas pretenden reducir las pérdidas por arrastre hasta el valor indicado en el apartado 1.1

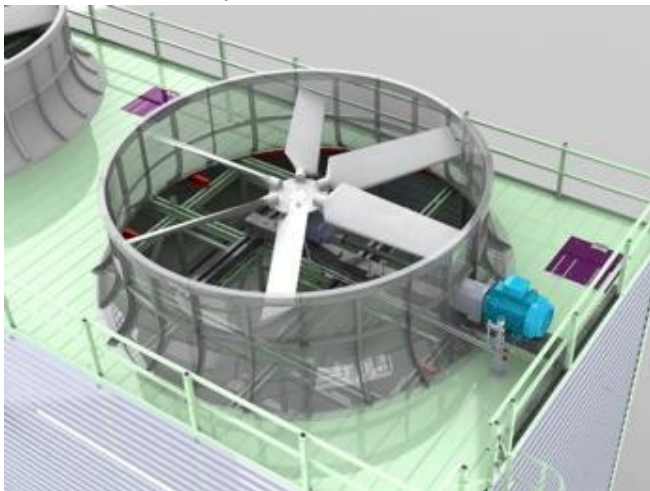


## 2.8. Equipo mecánico

### 2.8.1. Ventiladores

Cada celda de la torre estará equipada con un ventilador axial de una marca largamente experimentada por HAMONESINDUS.

Las palas de los ventiladores estarán diseñadas con un perfil aerodinámico de modo que aseguren una operación suave. Serán ajustables manualmente a máquina parada, pues estarán fijadas al cubo mediante simples abarcones en forma de U.





**2.8.2.**

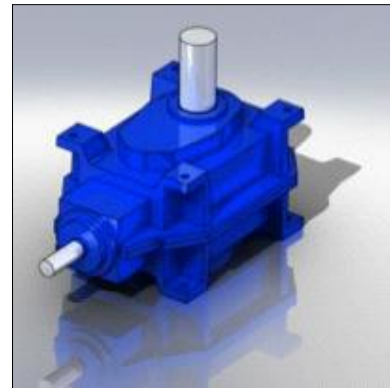
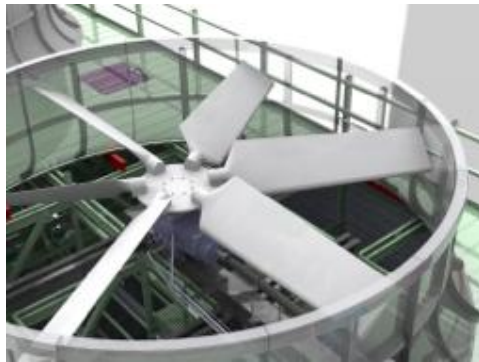
**Reductores**

Los ventiladores son impulsados mediante reductores de ejes perpendiculares de doble reducción. Los reductores están ubicados centralmente dentro de la virola y el cubo del ventilador está fijado sobre el eje lento de salida de los mismos.

El reductor está diseñado para dar un mínimo factor de servicio según AGMA de 2 de modo continuo, referido a la potencia consumida.

**Los reductores irán dotados de los siguientes extras:**

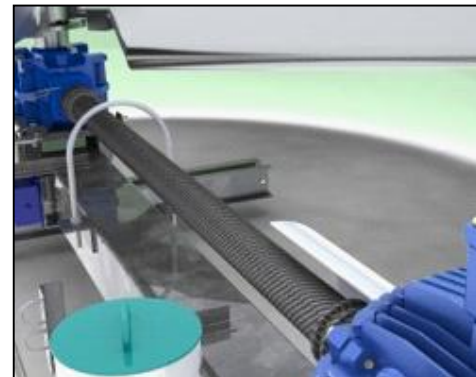
- **Antirretorno**
- **Interruptor de temperatura**
- **Interruptor de aceite**
- **Interruptor de vibraciones**



**2.8.3. Ejes de acoplamiento.**

Son de tipo flotante.

Están fabricados en composite con elementos flexibles.



**2.8.4. Motores**

Todos los motores son con patas y eje de salida horizontal. Son de jaula de ardilla y están situados en el exterior de la virola sobre la plataforma, preparados para variador de frecuencia.

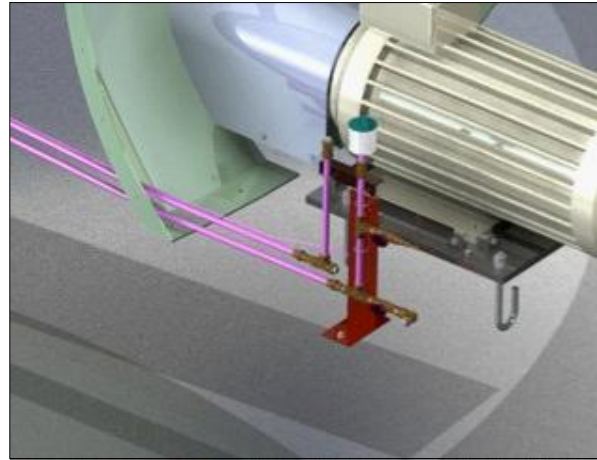






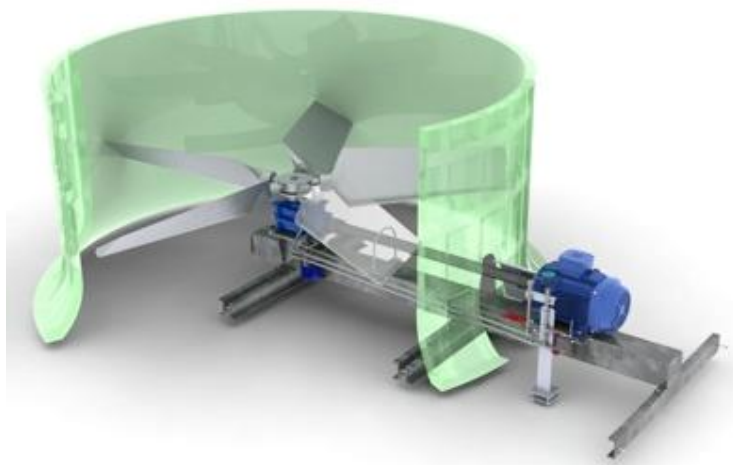
### 2.8.5. Líneas de lubricación

Todas las tuberías de lubricación y venteo estarán tiradas desde el reductor a través de la virola hasta la plataforma, de modo que el servicio de inspección y llenado se pueda hacer desde el exterior de la torre.



### 2.8.6 Soporte del equipo mecánico

Para alinear adecuadamente el reductor y el motor se suministra un bastidor metálico único para cada grupo mecánico.



**2.8.7.****Interruptor de vibración**

Cada grupo mecánico está provisto de un interruptor de vibración de reset manual localizado en el reductor y que protege el equipo de un funcionamiento anómalo.

**2.9 Acceso**

El acceso a la plataforma se realizará mediante una escalera de peldaños de PRFV que irá adosada a uno de los lados de la torre y una escala del mismo material en el lado opuesto.

El acceso al interior de cada celda se realizará a través de una trampilla de poliéster/acero galvanizado en la plataforma. Además se dispondrá de una escala para acceder al plano de separadores de gotas y de una plataforma de mantenimiento en poliéster/acero galvanizado que llegará hasta el reductor

**2.10 Balsa**

La balsa de hormigón armado es común a todas las celdas y consta de un fondo inclinado y cuatro paredes verticales en la periferia.

Para reducir pérdidas de agua en condiciones ventosas, el muro exterior es extendido 1 m fuera de la cara frontal de la torre.

La balsa se fabrica con un foso en conexión con la succión de las bombas.

El trabajo de ingeniería es resultado de la colaboración entre HAMONESINDUS y el cliente.

**2.11 Tratamiento de agua (opcional)**

En caso de resultar de su interés les podemos presentar propuesta de tratamiento de agua para el agua de la torre.

**2.12 Montaje**

HAMONESINDUS puede ofertar el transporte a obra, descarga de materiales, instalación de los equipos, y puesta en marcha.

Nuestros plazos, métodos de trabajo y precios se basan en los siguientes supuestos:

**2.12.1. Acceso a obra**



Tiene que ser posible el acceso de grúas, maquinaria y camiones para el suministro y descarga de materiales hasta la proximidad inmediata de la zona de trabajo y a la localización final de las torres.

- ◆ Capacidad de acceso:  
Ancho de carretera mínimo: 6m  
Peso mínimo de carga: 30 tons  
(capacidad del terreno : 1,5 kg/cm<sup>2</sup> para las patas de la grúa)

#### 2.12.2. Área de trabajo

El área de trabajo disponible en la inmediata vecindad de la torre deberá ser como mínimo dos veces la superficie de la balsa. Este área de trabajo deberá ser plana y uniforme, situada alrededor de la balsa, y apta para el paso de vehículos, limpia y libre de obstáculos. El movimiento de todos los componentes se debe poder realizar sin tener que resituar la grúa en el terreno.

#### 2.12.3. Presencia de obstáculos

El emplazamiento debe estar libre de obstáculos que interfieran con el transporte, con la descarga y la elevación mediante grúas de la torre y sus elementos, tales como, soportes de tuberías, racks de tuberías, líneas eléctricas, líneas férreas, deberán ser neutralizadas por el cliente.

Nuestros precios se basan en el montaje de la torre a nivel del suelo. Los trabajos tienen que ser continuos, sin interrupción.

Los trabajos extras inducidos por el incumplimiento de estas condiciones serán susceptibles de producir facturación adicional y mayor plazo de ejecución.

#### 2.12.4. Varios

En nuestra estimación de montaje se considera que la fuerza y el agua que se utilicen por nosotros para el montaje serán suministrados por la propiedad a HAMONESINDUS sin cargo.



## **C. GARANTIAS**

### **1. GARANTIA DE FUNCIONAMIENTO ESTANDAR**

La compañía garantiza el funcionamiento del equipo descrito en la propuesta según el rendimiento cuando el equipo está funcionando en condiciones normales y según las instrucciones de nuestra compañía.

El ensayo térmico se realizará según CTI estándar ATC 105.

Cualquier prueba de rendimiento del equipo se hará durante el primer año de funcionamiento y dentro de dieciocho meses después de la fecha de envío.

### **2. GARANTIA ESTRUCTURAL, MECANICA Y ELECTRICA**

Todas las partes estructurales, equipos mecánicos y eléctricos a menos que específicamente se haya definido de otro modo, se garantizan contra los defectos en los materiales y trabajos por un período de un (1) año de la fecha de funcionamiento inicial o dieciocho (18) meses de la fecha de envío del componente lo que primero suceda

Esta garantía sólo es aplicable a esos artículos cuya deficiencia es causada por los defectos de los materiales originales, mano de obra y diseño y no debidos a desgastes normales de operación o a la no observancia de las instrucciones de los manuales de instalación y funcionamiento.



## **E. CONTACTO**

Para toda información adicional, contactar con:

**D: Luis Palma**

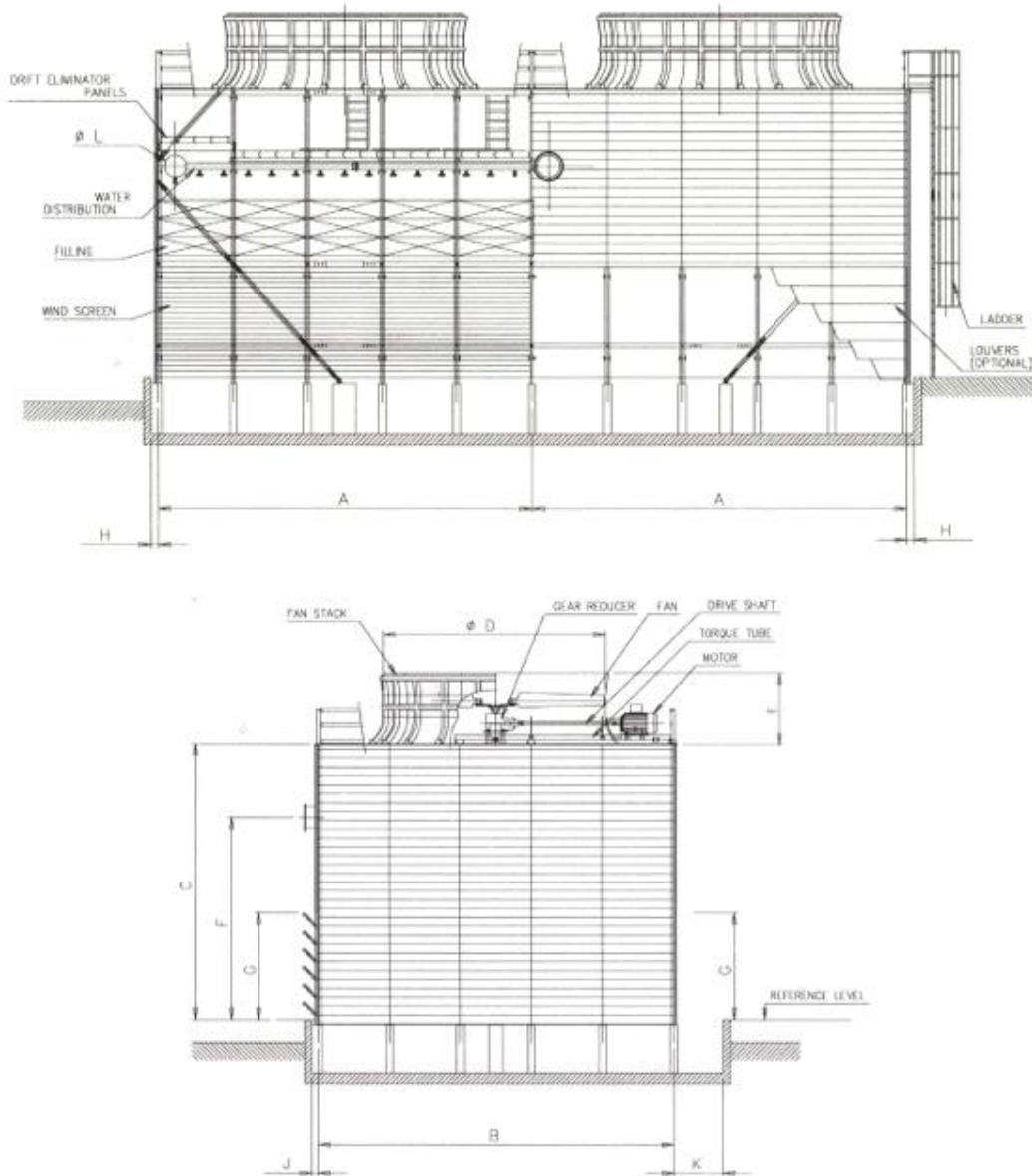
Tel.: +56 2 2944 0219

Cel: +56 9 7135 4809

E-mail: [lpalma@hamonesindus.com](mailto:lpalma@hamonesindus.com)

## F. ANEXOS

### 1. PLANO GENERAL DE LA INSTALACION



Dimensiones para 1 celda :

A	B	C	$\phi$ D	E	F	G	H	J	K	$\phi$ L
Longitud	Ancho	Plataforma	Ventilador	Virola	Entrada agua	Entrada aire	min.	min.	min.	Diam.
10	8	7.8	5.486	2.2	5.51	2.54	0.15	0.15	1.75	1

Dimensiones globales para 2 celda(s) :

Longitud total	Ancho total	Altura total	Longitud balsa (*)	Ancho balsa(*)
20	8	10	20.7	10.4

(\*) : distancias mínimas



## G. SECCION COMERCIAL

### 1. PRECIOS

Todos los precios se indican en EURO.

#### 1.1 SERVICIOS Y SUMINISTROS BASICOS

##### a. Ingeniería de la Torre de refrigeración.-

	<b>USD</b>
Ingeniería de la torre, planos de formas y cargas. Planos de internos y grupo mecánico. Materiales internos de la torre, incluyendo grupo mecánico, separadores de gotas, relleno, distribución de agua en el interior, cerramiento y colectores interiores. Estructura y tornillería. DDU Chilán - Chile	

##### b. Suministro de equipos.-

	<b>USD</b>
Repuestos para montaje y puesta en marcha	<b>No se requiere</b>

##### c. Transporte.-

	<b>USD</b>
Transporte del material listado en el punto a	

##### d. Montaje y Puesta en marcha.-

	<b>USD</b>
Montaje y puesta en marcha.	

**TOTAL Puntos a. b. c. y d.: 445.500 USD**

#### 1.2 . SUMINISTROS OPCIONALES



## **2. BASES DE PRECIOS**

Firmes, sin revisión y con validez de 90 días.

## **3. CONDICIONES COMERCIALES Y FORMA DE PAGO**

A convenir. Les proponemos la siguiente:

10% al pedido

20% a la entrega de planos principales

40% a la entrega de materiales en obra, entregas parciales o puesta a disposición

20% a la finalización del montaje

10% a la puesta en marcha (máximo 60 días desde la finalización del montaje) Pagos a

90 días fecha factura.

## **4. IMPUESTOS**

Nuestro precio global no incluye IVA u otros impuestos.

## **5. PLAZO DE ENTREGA**

### **5.1. Suministros de materiales**

6 meses (+1 transporte)

### **5.2 Montaje**

1.5 meses desde la finalización de la obra civil a cargo del cliente.