

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO  
INDUCIDO DE LA EMPRESA PROPILCO S.A**

**JOSE CARLOS ESCAFF LOPEZ  
JAVIER ENRIQUE HERRERA CEBALLOS**



**FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA & MECATRONICA  
CARTAGENA DE INDIAS  
2012**

**BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO  
INDUCIDO DE LA EMPRESA PROPILCO S.A**

**JOSE CARLOS ESCAFF LOPEZ  
JAVIER ENRIQUE HERRERA CEBALLOS**

**TRABAJO FINAL INTEGRADOR PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
MECANICO**

**DIRECTOR TRABAJO FINAL INTEGRADOR  
BIENVENIDO SARRIA LOPEZ PhD**



**FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA & MECATRONICA  
CARTAGENA DE INDIAS  
2012**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Cartagena de Indias D. T. y C., 21 enero del 2013**

**Señores:**

**Comité Evaluador**

**Programa de Ingeniería Mecánica**

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

**Ciudad.**

Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos someter para su estudio, consideración y aprobación el Trabajo Final Integrador titulado “**BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO DE LA EMPRESA PROPILCO S.A.**”, realizada por los estudiantes **Javier Enrique Herrera Ceballos** y **José Carlos Escaff López**, para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Cordialmente,

---

**Javier Enrique Herrera Ceballos**

---

**José Carlos Escaff López**

**Cartagena de Indias D. T. y C., 21 enero del 2013**

Apreciados,

Primeramente mi mayor agradecimiento es para el Dios de los cielos que por su infinita misericordia ha hecho posible cumplir con todas mis obligaciones estudiantiles y he llegado a ser lo que él ha tenido para mi vida, segundo mis sinceros agradecimiento a mis profesores por todos los conocimientos prestados y por sus sabios consejos en especial al profesor Luis Majana y Bienvenido Sarria.

Agradecemos al ingeniero Alexis ortega de la empresa Propilco S.A, por ayudarnos a realizar nuestro estudio energético de la torre de enfriamiento en la empresa Propilco S.A y según su experiencia nos facilitó hacer realidad nuestro trabajo de grado.

Agradezco también a Saudí López y Jorge Escaff, mi familia, Johana Correa ya que ellos fueron mi apoyo en mi hogar para que este proyecto de grado se llevara a cabo, por todas sus motivaciones y disposiciones de dar una palabra oportuna que haría renovar mis fuerzas.

Cordialmente,

---

**José Carlos Scaff López**

## **CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

Cartagena de Indias D. T. y C., 21 enero del 2013

Yo, **Javier Enrique Herrera Ceballos**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado “**BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO DE LA EMPRESA PROPILCO S.A.**” producto de mi actividad académica para optar el título de **Ingeniero Mecánico** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

---

**Javier Enrique Herrera Ceballos**  
**C.C. 1.047.428.093 de Cartagena**

## **CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

Cartagena de Indias D. T. y C., 21 enero del 2013

Yo, **José Carlos Escaff López**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **“BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO DE LA EMPRESA PROPILCO S.A.”** producto de mi actividad académica para optar el título de **Ingeniero Mecánico** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

---

**José Carlos Escaff López**  
**C.C. 1.143.348.459 de Cartagena**

Cartagena de Indias D. T. y C., 21 enero del 2013

**Señores:**

**Comité Evaluador**

**Programa de Ingeniería Mecánica**

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

**Ciudad.**

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que el Trabajo Final Integrador titulado **“BALANCE DE MASA Y ENERGIA DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO INDUCIDO DE LA EMPRESA PROPILCO S.A”** ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos.

Como director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente

---

**Bienvenido Sarria López PhD**  
**Director Trabajo Final Integrador**



## TABLA DE CONTENIDO

### Contenido

GLOSARIO .....	13
RESUMEN .....	14
INTRODUCCION.....	15
IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....	15
OBJETIVOS.....	16
OBJETIVOS GENERALES.....	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
JUSTIFICACION .....	16
MARCO TEORICO.....	17
1. OPTIMIZACIÓN DE TORRES DE ENFRIAMIENTO DE AGUA .....	17
2. CLASIFICACIÓN DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	18
2.1. Tiro Forzado.....	18
2.2. Tiro Inducido.....	19
2.3. Tiro Natural .....	20
3. SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA .....	22
3.1. Sistemas por gravedad .....	22
3.2. Sistemas por presión .....	23
4. EL RELLENO .....	24
4.1. De goteo o salpicadura .....	24
4.2. Laminar o de película.....	25
4.3. Mixtos .....	26
4.4. Los materiales empleados en la fabricación de rellenos .....	28
4.4.1. Plástico.....	28
4.4.2. Fibrocemento .....	28

4.4.3. Madera .....	28
4.4.4. Metálicos .....	28
5. SEPARADORES DE GOTAS .....	28
6. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	29
METODOLOGÍA.....	30
DESARROLLO DEL TRABAJO .....	31
7. ESPECIFICACIONES DE LA TORRE .....	31
7.1. Especificaciones de la torres de enfriamiento Marley F455A-3.0-1 .....	31
8. METODOLOGIA DE CÁLCULO EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO MARLEY F455A-3.0-1	33
8.1. METODOLOGÍA SEGÚN NORMA CTI (COOLING TOWER INTITUTE).....	34
8.1.1. Balance de Masa y Energía .....	34
8.1.2. Curva característica de una torre de enfriamiento .....	36
8.1.3. Curva de demanda o desempeño de una torre de enfriamiento .....	39
8.2 METODOLOGIA SEGÚN NORMA ASHRAE .....	40
9. ANALISIS Y RESULTADOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO MARLEY F455A-3.0-1.....	44
9.1. RELLENO A (OF21 MA).....	47
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFIA.....	52

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones de la torres de enfriamiento Marley F455A-3.0-1 .....	33
Tabla 3: Calculos de integración / Ashrae Handbook (2008).....	41

Tabla 4: TABLA DE PARAMETROS Y SOLUCION PROMEDIADOS DE LA TORRE MARLEY .....	46
Tabla 5: Tabla de condiciones iniciales de la torre .....	46
Tabla 6: Tabla de resultados de teorías y condiciones finales de la torre. ....	48
Tabla 7: Tabla de conversión de unidades .....	52

### **LISTA DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: Torre de enfriamiento.....	17
Ilustración 2: Torre de enfriamiento de tiro forzado.....	18
Ilustración 3: Torre de enfriamiento de tiro inducido: .....	19
Ilustración 4: Torre de enfriamiento de Tiro Natural.....	20
Ilustración 5: Otra clasificación de las torres.....	21
Ilustración 6: sistemas por gravedad. ....	22
Ilustración 7: sistemas de presión. ....	23
Ilustración 8: Relleno de goteo o Salpicadura. ....	25
Ilustración 9: Relleno laminar o de película.....	25
Ilustración 10: Relleno mixtos.....	26
Ilustración 11: Tipo de relleno de la torre Marley F455-3.0-1.....	27
Ilustración 12: Tipos de paso de relleno. ....	29

### **LISTA DE DIAGRAMAS**

Diagrama 1: Diagrama de proceso de la Torre. ....	33
Diagrama 2: Balance de masa y energía / Cooling Tower Thermal Design(2004) .....	35
Diagrama 3: Curva Característica de una torre de refrigeración/ Cooling Tower Thermal Design(2004) .....	38
Diagrama 4: Curva de Demanda de la Torre de Refrigeración / Cooling Tower Thermal Design (2004) .....	40
Diagrama 5: Diagrama de la torre a contraflujo / Ashrae Handbook (2008). ....	42

Diagrama 6: Curva característica, $KaV/L$ Vs $L/G$ / 2008 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment .....	43
Diagrama 7: Curva característica en condiciones reales y diseño. ....	49
Diagrama 8: Curva de Demanda & Curva Característica de la torre. ....	49
Diagrama 10: Condiciones de diseño de la Torre .....	50

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Cooling Tower data sheet .....	53
Anexo 2: Curva característica de la bomba. ....	54
Anexo 3: Technical data. ....	55
Anexo 4: Fan components.....	56
Anexo 5: Condiciones de la torre al 71.43% design flow. ....	57
Anexo 6: Condiciones de la torre al 77.38% desing flow .....	58
Anexo 7: condiciones de la torre al 90% design flow .....	59
Anexo 8: Condiciones de la torre al 100% design flow. ....	60
Anexo 9: Condiciones de la torre al 110% design flow. ....	61
Anexo 10: specification cooling tower polypropilene plant. ....	62
Anexo 11: specification cooling tower polypropilene plant. ....	63
Anexo 12: specification cooling tower polypropilene plant. ....	64
Anexo 13: specification cooling tower polypropilene plant. ....	65
Anexo 14: specification cooling tower polypropilene plant. ....	66
Anexo 15: specification cooling tower polypropilene plant. ....	67
Anexo 16: specification cooling tower polypropilene plant. ....	68
Anexo 17: Plantilla de inspección y mantenimiento, torres de enfriamiento / ASHRAE Handbook(2008) .....	69

## GLOSARIO

- **Temperatura del bulbo húmedo:** es la temperatura de equilibrio dinámico que se alcanza en la superficie del agua cuando el flujo de calor transferido a la superficie por convección se iguala con el flujo de masa transferida fuera de la superficie.
- **Convección:** es una de las tres formas de transferencia de calor y se caracteriza porque se produce por intermedio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas.
- **Flujo de masa:** magnitud que expresa la variación de la masa en el tiempo.
- **Flujo en contracorriente:** EL aire atraviesa de abajo a arriba el relleno de la torre.
- **Flujo cruzado:** El aire atraviesa de forma lateral el relleno de la torre.
- **Pulverizar:** Esparcir un líquido en gotas muy pequeñas por algún sitio
- **Polietileno:** es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido
- **Polipropileno:** es un termoplástico semicristalino, que se produce polimerizando propileno en presencia de un catalizador estéreo específico.
- **PVC:** es el producto de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo a policloruro de vinilo.
- **Entalpia:** variación que expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico.
- **Entropía:** es una magnitud física que permite, mediante cálculo, determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo.
- **Deflectores:** Aparato usado para cambiar la dirección de un fluido.
- **Punto triple:** es aquel en el cual coexisten en equilibrio el estado sólido, el estado líquido y el estado gaseoso de una sustancia. Se define con una temperatura y una presión de vapor.
- **Punto crítico:** es aquel límite para el cual el volumen de un líquido es igual al de una masa igual de vapor.
- **Aire seco:** El aire seco es una mezcla de varios gases. Su composición general es la siguiente: Nitrógeno: 77%, Oxígeno: 22%, Dióxido de carbono y otros gases: 1%.
- **Diagrama psicométrico:** es un diagrama en el cual vienen representadas todas las características del aire.
- **Humedad específica:** Representa la cantidad de vapor de agua contenido en un Kg. de aire, se mide en gramos de vapor/Kg. de aire seco
- **Humedad relativa:** Representa la cantidad de vapor de agua contenida en el aire en unas condiciones dadas, respecto a la máxima humedad específica que pudiera contener, para esa misma temperatura seca.

## RESUMEN

En presente trabajo, se identifican las principales característica de funcionamiento de la torre Marley de la empresa PROPILCO S.A., con el objetivo de realizarle un análisis energético de la torre Marley de planta 2, como parte de una propuesta de implementación una metodología de mantenimiento adecuada para la empresa.

Se inicia el trabajo con una descripción de la compañía y detalles de la torre Marley de plata 2; luego se continúa con un macro conceptual de los temas a tratarse en el desarrollo del trabajo. Por último, se realiza los análisis pertinentes y la aplicación de las diferentes recomendaciones realizada hacia la torre Marley, donde llegamos a los siguientes resultados:

La producción de polipropileno con el relleno B es más alto en el rango entre las 00:00 – 08:00 am, con un promedio de 59,31 ton/h.

El promedio de producción de polipropileno con el relleno tipo A en los diez primeros días de enero del año 2012 fue de 14,54 ton/h, y el promedio de producción de polipropileno con el relleno tipo B en los diez primeros días de mayo del año 2012 fue de 23,92 ton/h, lo cual existe una diferencia 9,48 ton/h de producción de polipropileno.

La capacidad de enfriamiento de la torre con relleno tipo A es de 51,81% y con el relleno tipo B es de 53,38%.

La torre Marley ha mejorado su rendimiento ya que ha elevado la producción de polipropileno de 15.83 ton/h a 21.85 ton/h y una reducción en el flujo de agua de reposición de 29,04 m<sup>3</sup>/h a 24,85 m<sup>3</sup>/h.

La eficiencia con el relleno de tipo B nos da aproximadamente de 93,8% para el mes de mayo de 2012, para el relleno de tipo A es aproximadamente 51,6%.

## **INTRODUCCION**

Las torres de enfriamiento son un sistema que se encuentra en las empresas del sector industrial donde se requiere generación de energía, independiente de cada necesidad.

Las torres enfrían el agua de proceso que ha pasado de una caldera a una turbina a un condensador, dejando claro que las torres de enfriamiento no condensan, este sistema trabaja en la transferencia de calor entre el aire y el agua de manera directa, es decir haciendo mezcla para poder así bajar la temperatura del agua de proceso y volver a utilizarla.

Hay varios tipos de torres de enfriamiento dependiendo de la necesidad y condiciones ambientales.

Todas las torres de enfriamiento se pueden analizar de forma general, ya que por su diseño no es que cambie significativamente, con este trabajo analizaremos un tipo de torre y la más común en la zona industrial de Cartagena.

Para este análisis escogimos una reconocida empresa en el sector petroquímico, se ha destacado por varios años en la producción de polipropileno, esta empresa es Propilco S.A., donde La torre de enfriamiento Marley fue montada en el año 2000.

Para dicho análisis existen varias normas como la normas japonesas (JIS), las norteamericanas (ASME y CTI), ASHRAE (Sociedad Americana de los Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado), y las alemanas (DIN).

Para la realización de éste trabajo se decidió optar por los estándares del Cooling Tower Institute (CTI) y por la norma ASHRAE.

## **IDENTIFICACION DEL PROBLEMA**

La empresa PROPILCO SA. Realizó un Cambio de relleno a la torre de enfriamiento Marley, debido a la presencia de alto ensuciamiento de origen externo lo cual origino los siguientes inconvenientes: un bajo rendimiento en el proceso, variación de temperaturas de entrada y salida de agua de proceso en la torre.

La presencia de estas variaciones temperaturas ocasionan que el relleno se deforme, por esta razón el agua de proceso debe entrar a la torre a una temperatura máxima de 35 °C y la salida debe ser a una temperatura máxima de 30 °C. Al no controlar estas variaciones de temperatura afectaría los intercambiadores de calor que están acoplados al proceso de producción, debido a que estos intercambiadores están diseñados para trabajar a cierta temperatura. Todo esto se refleja en una disminución en la producción estándar o promedio de polipropileno en la planta.

EL cambio del tipo de relleno implica un cambio en el diseño y desempeño de la torre de enfriamiento Marley. PROPILCO SA., requiere tener conocimiento del actual funcionamiento y desempeño acerca de la torre de enfriamiento MARLEY de planta 2 con el nuevo tipo de relleno.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVOS GENERALES**

Realizar un estudio energético de la torre de enfriamiento de la empresa Propilco S.A con el fin de evaluar su eficiencia y rendimiento dentro del funcionamiento de la planta.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar el desempeño actual de la torre MARLEY de planta 2 de **PROPILCO SA.**
- Destacar varias recomendaciones hacia la empresa **PROPILCO SA** para la optimización energética de la torre de enfriamiento.
- Concluir acerca del estudio detallado del funcionamiento real de la torre de enfriamiento teniendo en cuenta los cambios que se le han implementado.

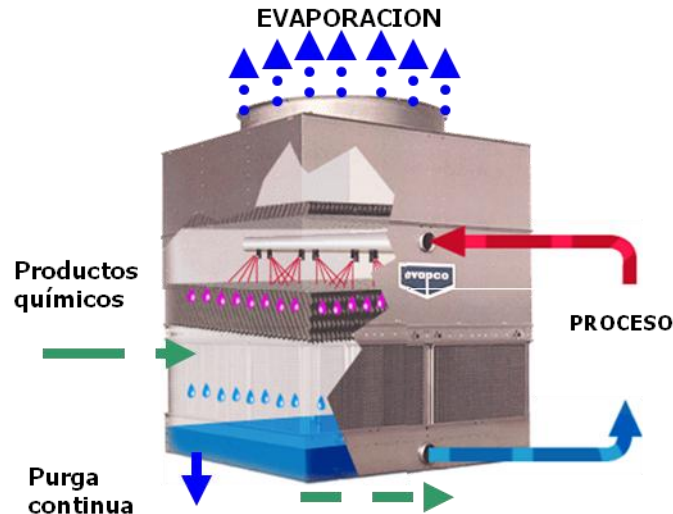
## **JUSTIFICACION**

Potencial estudio a la torre de enfriamiento MARLEY de planta 2, proporcionar los conocimientos y habilidades necesarias para cumplir con los requisitos por parte de la empresa **PROPILCO SA.**



## MARCO TEORICO

### 1. OPTIMIZACIÓN DE TORRES DE ENFRIAMIENTO DE AGUA



**Ilustración 1: Torre de enfriamiento.**

Según el Cooling Technology Institute es fundamental para el funcionamiento de una planta industrial que el calor sea transferido de alguna manera a partir de la planta a su entorno. Las torres de refrigeración están diseñados precisamente para este propósito: para transferir el calor de una corriente de agua de refrigeración a la atmósfera.

Los procesos industriales generan enormes cantidades de calor que deben ser disipadas en un proceso continuo. Muchos estudios se han llevado a cabo en tratar de que la gota este el mayor tiempo posible en contacto con el aire, *“esto se logra cuando a la gota que se pone en contacto con el aire, se evapora la película exterior para que se realice el proceso de absorber calor, el cual se toma de la propia gota enfriándola según el proceso”*.

Estas torres generalmente están constituidas con diversos materiales como la madera, plásticos, etc. formando estructuras de puentes múltiples, también se emplean estructuras de aluminio, ladrillo, concreto o asbesto.

El agua suele entrar por la parte superior y caer a través de puentes y deflectores hasta la parte baja de la torre, que está conformada por un sistema abierto al aire, el cual por su

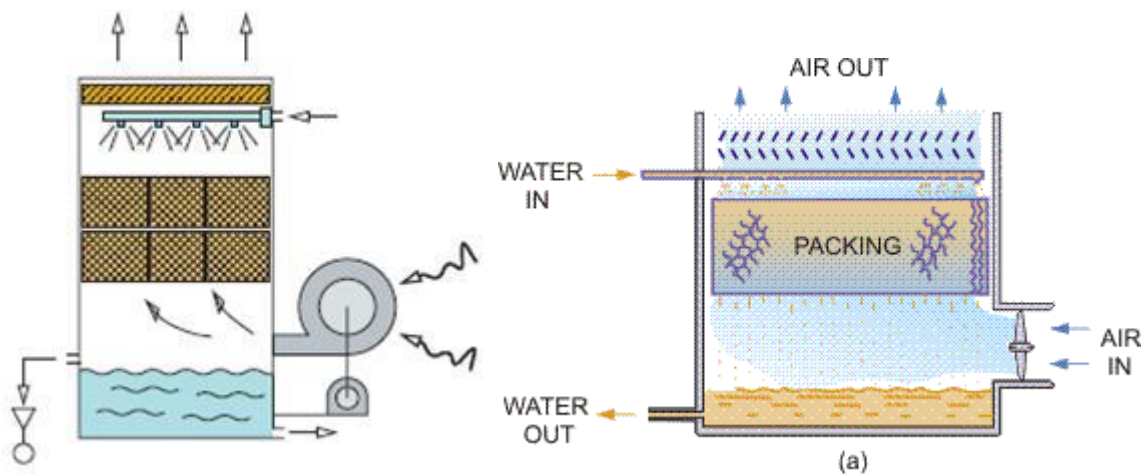
parte, entra por la parte inferior, poniéndose en contacto con el agua a lo largo y alto de toda la torre.

El Savannah River National Laboratory (SRNL) desarrolló una dinámica de fluidos computacional (CFD) modelo para lograr el objetivo. El principal objetivo del trabajo es llevar a cabo un estudio paramétrico de funcionamiento de la torre de refrigeración bajo diferentes velocidades del ventilador y condiciones ambientales del aire.<sup>1</sup>

## 2. CLASIFICACIÓN DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento se clasifican de acuerdo al medio utilizado para suministrar aire a la torre:

**2.1. Tiro Forzado:** el ventilador se encuentra instalado en la parte inferior de la torre, de manera que el aire es empujado para que fluya a través de ella.



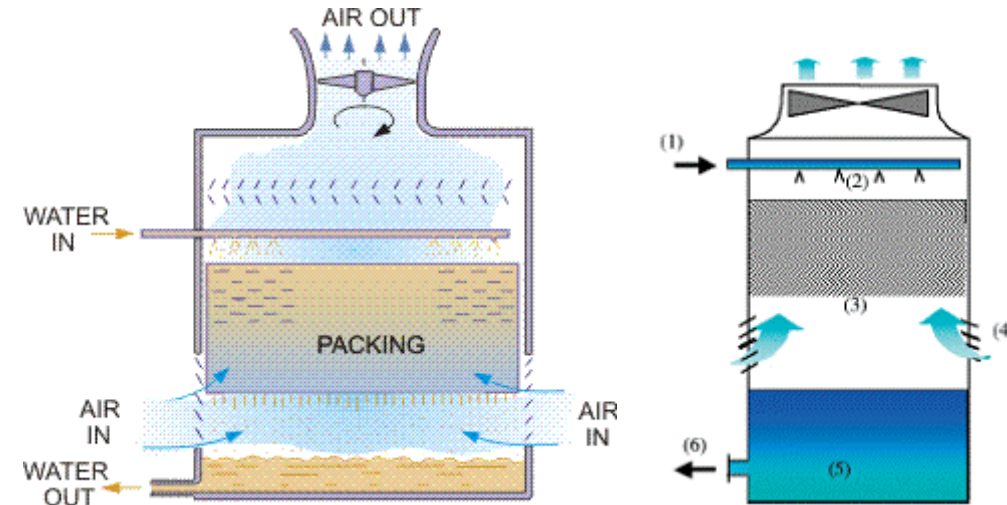
**Ilustración 2: Torre de enfriamiento de tiro forzado.**

- Son más eficientes que los de corriente inducida, el ventilador trabaja con aire frío.
- Los equipos mecánicos se encuentran situados en una corriente seca con facilidad para el mantenimiento.
- Tienen limitaciones con el tamaño del ventilador, se necesitan gran número de pequeños ventiladores o mayores velocidades lo que supone mayor consumo energético.

<sup>1</sup> CFD MODELING AND ANALYSIS FOR A-AREA AND H-AREA COOLING TOWERS (S. Y. Lee, A. J. Garrett, and J. S. Bollinger)

- Pueden presentar problemas de recirculación de aire.

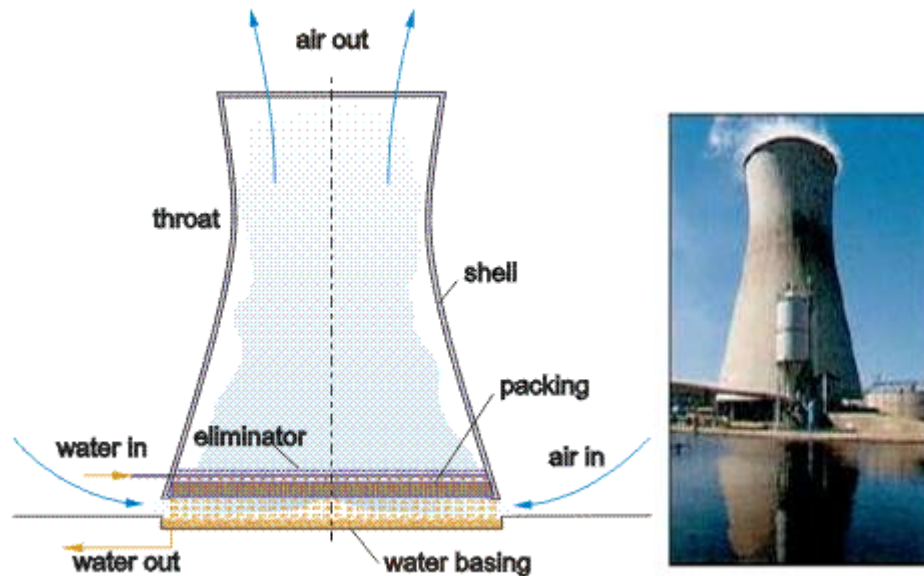
**2.2. Tiro Inducido:** el ventilador se encuentra instalado en la parte superior de la torre, con lo cual el aire es succionado para que pase a través de la misma.



**Ilustración 3: Torre de enfriamiento de tiro inducido:**

- Se pueden instalar grandes ventiladores pudiendo mantenerse velocidades y ruidos bajos, con consumos eléctricos menores que los de tiro forzado.
- El aire entra a una velocidad considerable pudiendo arrastrar cuerpos extraños.
- No suelen presentar problemas de recirculación.
- Los elementos mecánicos son de difícil acceso y se encuentran sumergidos en una corriente de aire húmedo y caliente.
- Ocupan menos superficie que las de tiro forzado.

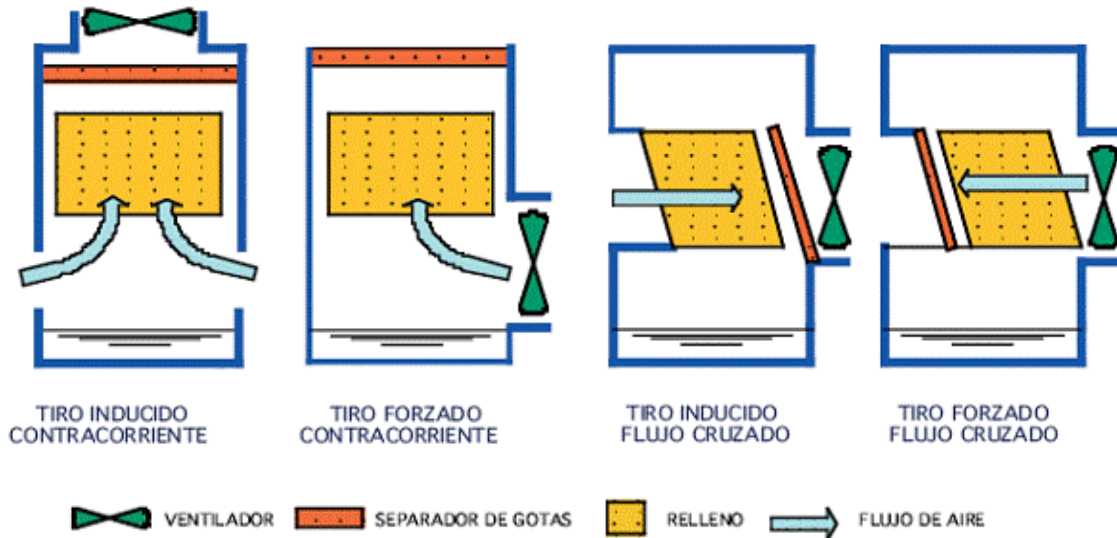
**2.3. Tiro Natural:** no existe ventilador y el flujo de aire es consecuencia únicamente de la convección natural.



**Ilustración 4: Torre de enfriamiento de Tiro Natural.**

- Estos equipos se emplean en grandes industrias y centrales de producción de energía eléctrica y en general en aquellos sistemas que necesitan refrigerar grandes cantidades de agua.
- Estas torres tienen bajos costes de mantenimiento, pero no es posible un gran acercamiento y es difícil controlar la temperatura de salida.
- Como ventajas adicionales no hay más ruido que la caída del agua, además del poco gasto de energía en ventilación y que al carecer de ventiladores u otros elementos mecánicos se minimiza el riesgo de averías.
- Como inconvenientes estas torres funcionan mal a altas temperaturas, están muy influenciadas por la humedad relativa del ambiente, a ambientes muy secos disminuye el tiro. Estas torres necesitan grandes superficies libre tanto para su implantación como en sus proximidades.
- Estas torres no disponen habitualmente de separadores de gotas, debido a la elevada pérdida de carga que provocan, pero debido a su altura, cerca de 100 m, la emisión de aerosoles es muy limitada.

Existe otra manera de clasificar las torres en función de la forma en que el aire atraviesa el relleno:



**Ilustración 5: Otra clasificación de las torres.**

➤ Torres abiertas de flujo cruzado y tiro forzado

Los ventiladores axiales suelen ser de gran diámetro y giran a bajas revoluciones, accionados mediante transmisión a correas y la adecuada desmultiplicación en las poleas. El rociado del agua en estos modelos suele realizarse por gravedad.

➤ Torres abiertas de flujo cruzado y tiro inducido

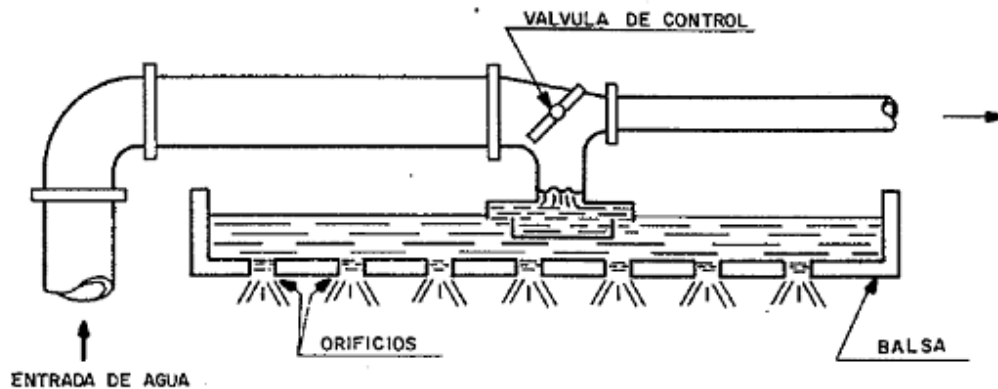
Esta disposición se emplea para equipos de tamaño mediano y grande. La entrada de aire se efectúa por dos extremos con bloques de relleno y un ventilador central accionado por transmisión de correas o con motor acoplado directamente.

El rociado del agua en estos modelos se suele realizar por gravedad. La inclinación del relleno persigue la uniforme distribución del agua en su descenso compensando el empuje lateral del aire. Los separadores se sitúan en vertical, en la cara interior del relleno, aumentando su eficacia al facilitar su escurrido.

### 3. SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE AGUA

Los sistemas de distribución de agua pueden ser de dos tipos:

#### 3.1. Sistemas por gravedad:



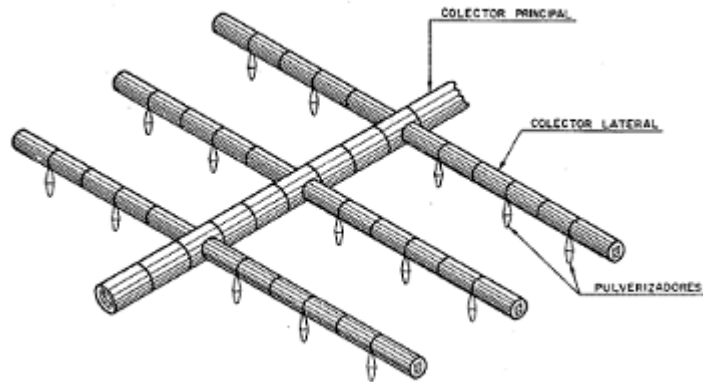
Fuente: Elonka, S. «Cooling Towers». Power special report. Marzo, 1963.

#### Ilustración 6: sistemas por gravedad.

- Su principal ventaja es la poca altura que necesitan para el bombeo lo que se traduce en bajo costo de operación.
- El caudal se puede regular con una simple inspección visual, variando la lámina de agua.
- El mantenimiento se puede hacer con la torre en operación.
- Si el caudal de agua varía, basta cambiar las toberas.
- Rara vez se emplean en torres de flujo a contracorriente.

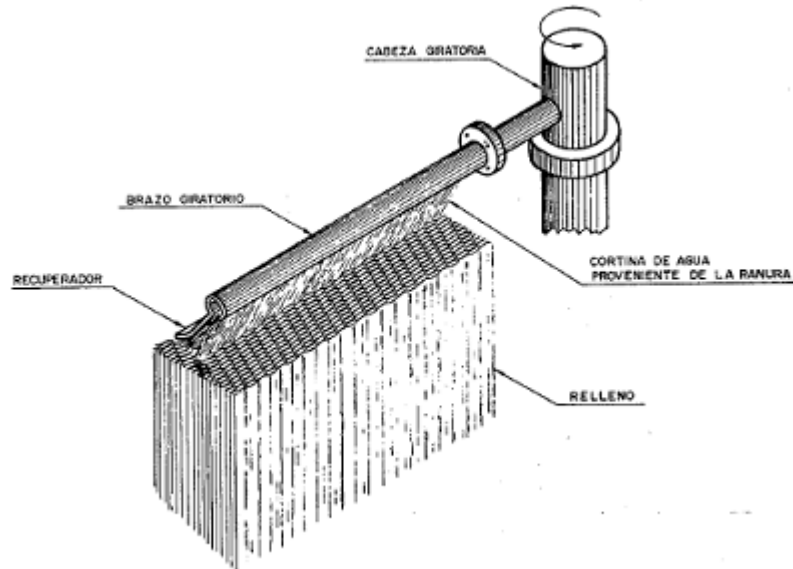
### 3.2. Sistemas por presión:

FIGURA 1.20. Sistema de distribución con tubería a presión



Fuente: Elonka, S. «Cooling Towers». Power special report. Marzo, 1963.

FIGURA 1.21. Sistema de distribución rotativo a presión



Fuente: Elonka, S. «Cooling Towers». Power special report. Marzo, 1963.

#### Ilustración 7: sistemas de presión.

- Se emplea en la mayor parte de torres a contracorriente.
- Sistemas de pulverización a presión con las toberas dirigidas hacia abajo.
- Contribuye directamente al rendimiento de la torre.
- Problemas de regulación y mantenimiento.
- Dependiendo del sistema a veces es difícil la limpieza de la suciedad acumulada.
- Se trabaja siempre a presiones por debajo de 5 kg/cm<sup>2</sup>, son en realidad de baja presión.
- Hay diferentes sistemas de distribución.

## **4. EL RELLENO**

El relleno de las torres tiene como misión acelerar la disipación del calor. Es el componente principal de las torres, en el que se consigue un aumento del tiempo de contacto entre el agua y el aire, favoreciendo la presencia de una amplia superficie húmeda mediante la creación de gotas o una fina película.

Los rellenos deben cumplir una serie de características:

- Material de bajo coste y fácilmente instalable.
- Tener mucha superficie y poco peso por unidad de volumen.
- Muy resistentes desde el punto de vista mecánico.
- Inalterables y estables desde el punto de vista químico.
- Inatacables por los microorganismos y las sustancias orgánicas en general.
- Poca resistencia al paso del aire.
- Debe mantener una distribución uniforme del agua y del aire a lo largo de la vida útil de la torre.

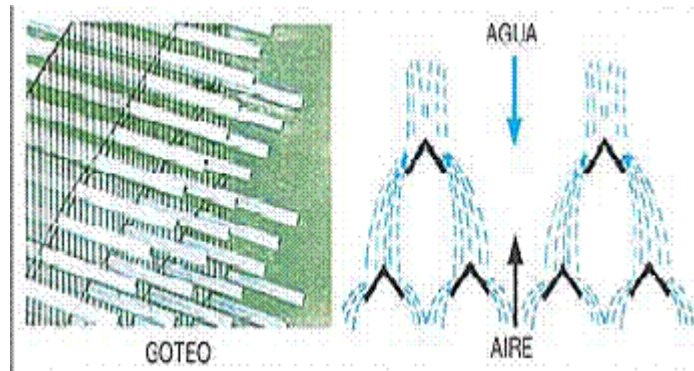
Existen diferentes tipos de relleno:

### **4.1. De goteo o salpicadura**

Estos rellenos tienen como objeto la formación de gotas de pequeño tamaño, a través de cuya superficie se verifica el proceso de evaporación.

Suele consistir en una serie de pisos superpuestos de listones o rejillas sobre los que el agua al caer en cascada desde las boquillas se fracciona en gotas cada vez más pequeñas, rompiendo además aquellas de mayor diámetro que se haya formado por unión de otras más pequeñas.





**Ilustración 8: Relleno de goteo o Salpicadura.**

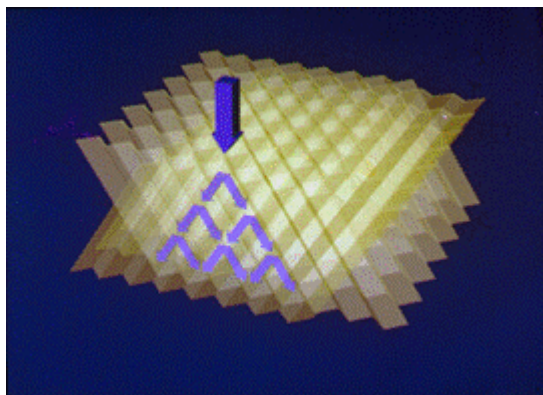
Tienen una serie de inconvenientes:

- La altura de relleno necesaria es superior a los sistemas laminares, para las mismas condiciones de operación.
- El caudal de arrastre es importante, necesitan separadores de gotas de alto rendimiento.
- La correcta nivelación de los listones o parrillas es muy importante para evitar un desequilibrio en la distribución de la cortina de agua y perjudicando el rendimiento.

#### **4.2. Laminar o de película.**

En estos sistemas se pretende crear una lámina de agua extensa y delgada de tal manera que cuanto mayor sea más evaporación se lograra. Los materiales de estos rellenos deben tener una buena adherencia permitiendo que su superficie se “moje” de manera uniforme y con un buen espesor constante.

La superficie de transferencia está perfectamente definida por la propia geometría del tipo de relleno, con lo que tenemos claramente la superficie total de intercambio.



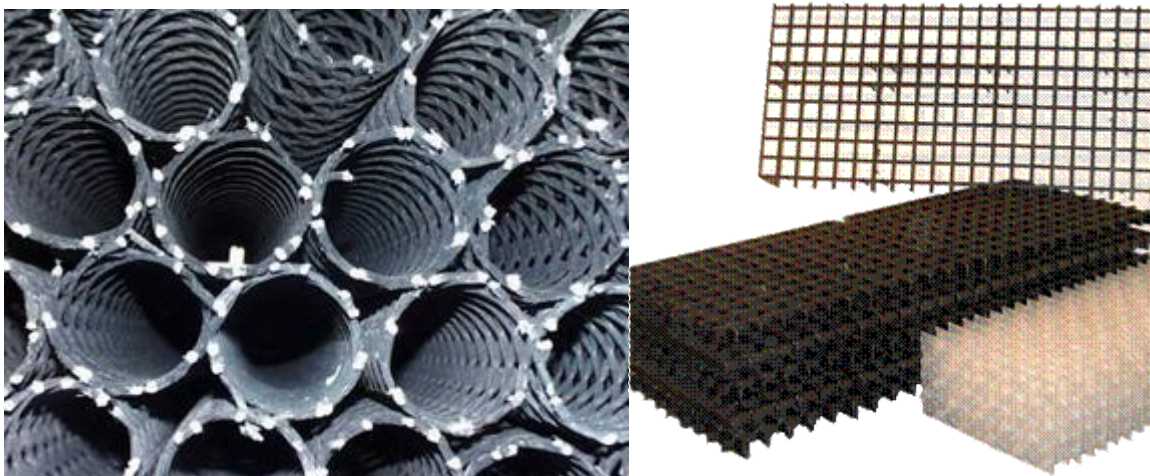
**Ilustración 9: Relleno laminar o de película.**

- Su principal ventaja es que al no existir gotas, las pérdidas por arrastre son menores por lo que permite velocidades mayores y disminuir la altura de relleno y con ello la altura de bombeo. Esto nos indica que a igualdad de condiciones de diseño tendremos una torre más compacta y pequeña que si fuese de goteo, reduciendo costes de operación e inversión.
- Como inconvenientes posibles en estos rellenos esta la aparición de depósitos y suciedad entre las placas que forman los paquetes de rellenos, lo que produce una disminución de la superficie útil de transferencia.

Estos depósitos conducen a obstrucciones parciales y a la formación de canales preferenciales rompiendo la homogeneidad de la película y la buena distribución en la relación aire –agua. Para evitar esto se recurre generalmente a la disponer los paquetes en pisos superpuestos con diferente orientación de las ondas de cada uno.

### **4.3. Mixtos.**

Estos rellenos emplean ambos principios, salpicadura y película. Se pulveriza el agua por goteo pero en partes del relleno se produce formaciones de láminas aumentando el efecto de intercambio.



**Ilustración 10: Relleno mixtos.**

El nuevo tipo de relleno que se implementó en la torre de enfriamiento Marley F455A-3.0-1

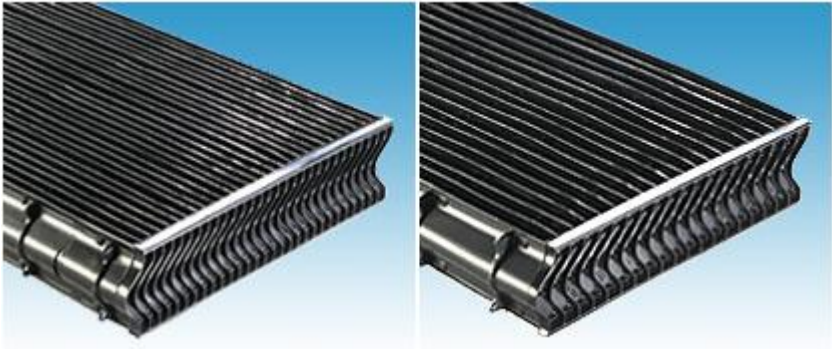
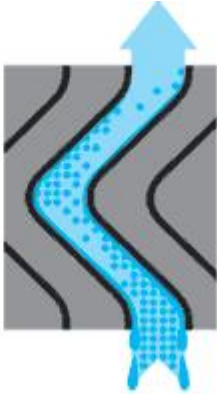
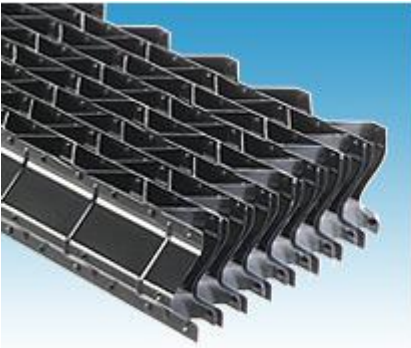
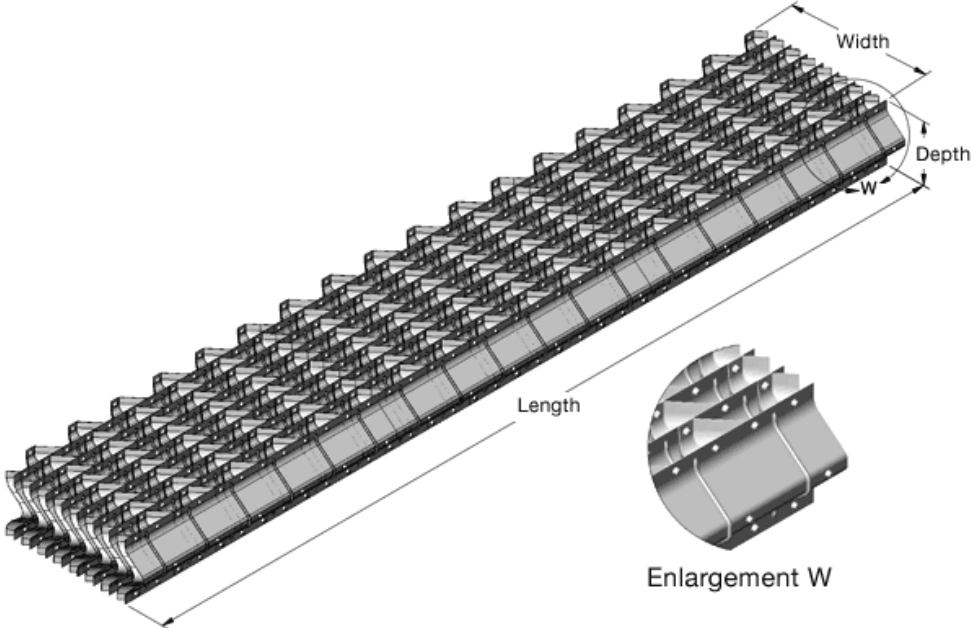


Ilustración 11: Tipo de relleno de la torre Marley F455-3.0-1

#### **4.4. Los materiales empleados en la fabricación de rellenos:**

##### **4.4.1. Plástico**

Es el más adecuado por sus características:

- Puede adaptarse a cualquier forma geométrica.
- Resultan ligeros.
- Son inertes en cualquier medio (ácido o básico).
- No forman incrustaciones ni facilitan la acumulación de suciedad.
- No favorecen la aparición ni proliferación de materia orgánica ni microorganismos.
- No sufren corrosión.
- Su costo es muy competitivo.

Por su comportamiento mecánico en función de la temperatura del agua se emplean plásticos como el polietileno, polipropileno y PVC.

##### **4.4.2. Fibrocemento**

Se encuentra en muchas torres, especialmente en las de tiro natural.

- Se empleaban por su buena resistencia mecánica.
- No es inflamable ni es atacado por la materia orgánica.
- Tiene un elevado peso respecto a su volumen y necesita de unos costosos anclajes.

##### **4.4.3. Madera**

- Es el material tradicional para sistemas de goteo.

##### **4.4.4. Metálicos**

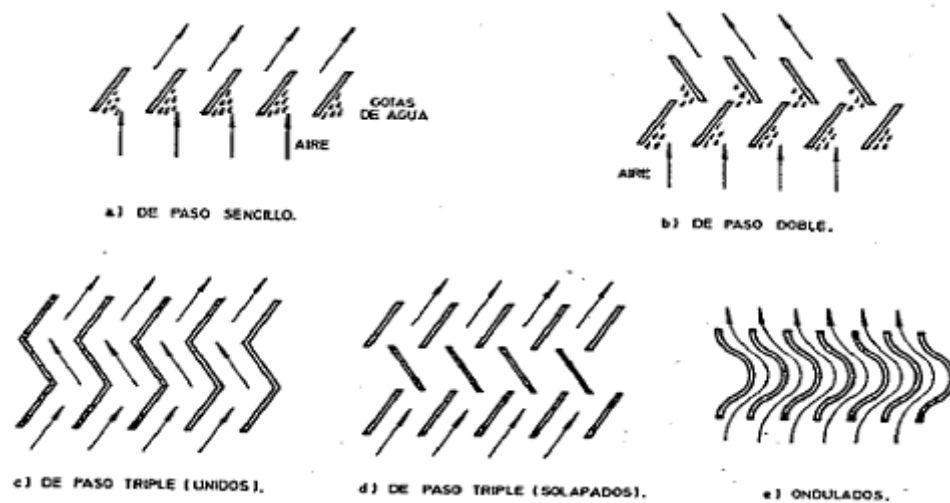
- Solo se utilizan cuando se requiere una relación alta entre el área de contacto y el volumen.
- Son muy costosos.
- Se emplea aluminio, acero inoxidable, acero galvanizado protegido con pinturas anticorrosivas.

#### **5. SEPARADORES DE GOTAS**

Consiste en evitar que las pequeñas gotas de agua arrastradas por el aire salgan fuera de la torre. Su funcionamiento es provocar bruscos cambios de dirección a la corriente de aire, esto provoca que las gotas se depositen sobre la lámina de separador de gotas

haciéndolas volver al interior. Este efecto provoca que disminuyan las pérdidas de agua, evita posibles daños a equipos adyacentes y además homogenizan el flujo de aire a la salida del relleno manteniendo prácticamente constante y uniforme el flujo de aire a través del mismo.

Los materiales empleados actualmente son los mismos que para los rellenos, aunque actualmente se tiende a los materiales plásticos.



**Ilustración 12: Tipos de paso de relleno.**

## 6. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

De acuerdo con la norma Ashrae, los procedimientos de mantenimiento e inspección recomendados a una torre de enfriamiento son:

*“El funcionamiento eficiente y un rendimiento térmico de una torre de refrigeración dependen no sólo de mantenimiento mecánico, sino también en la limpieza.”<sup>2</sup>*

- Inspección periódica de los equipos mecánicos, al relleno, suministrar agua caliente y a la vez agua fría para asegurarse de que se mantienen en un buen estado de conservación.
- El drenaje periódico, limpieza de las superficies mojadas, limpieza de áreas de alternante humedecimiento y secado para prevenir la acumulación de suciedad, organismos biológicos (tales como algas).

<sup>2</sup> ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment (2008), Cap.39, section 11.

- El tratamiento adecuado de la circulación de agua para el control biológico y corrosión.

Los siguientes índices debe ser revisado diariamente (por lo menos una vez por semana) en un informal recorrido de inspección.

- Compruebe y registre las temperaturas de refrigerante, bomba presiones, condiciones al aire libre, y caídas de presión (presión diferencial) a través de los condensadores, intercambiadores de calor y dispositivos de filtración.

Este registro ayuda a los operadores que se familiaricen con el equipo, ya que opera bajo diferentes condiciones de carga y proporciona un permanente registro que se puede utilizar para calcular las tasas de flujo, evaluar eficiencia del equipo, agilizar los procedimientos de diagnóstico, mantenimiento y ajuste, los regímenes de tratamiento de agua para obtener el máximo rendimiento del sistema.

En los anexos podemos encontrar un formato de inspección y mantenimiento de una torre de enfriamiento recomendado por la norma Ashare.

## **METODOLOGÍA**

Aplicando los conocimientos de termodinámica y transferencia de calor, Según metodología que recomienda la norma CTI (Colling Tower Institute) y la norma ASHRAE procedemos a realizar un estudio de Balance de masa y energía en la torre de enfriamiento Marley.

Teniendo en cuenta los datos reales de operación de la torre Marley utilizaremos plantillas en Excel lo cual nos dará muchos resultados y análisis del estado real de la torre.

## DESARROLLO DEL TRABAJO

### 7. ESPECIFICACIONES DE LA TORRE

#### 7.1. Especificaciones de la torres de enfriamiento Marley F455A-3.0-1

<b>Definition / Definición</b>			
Model (ID 5)	F455A-3.0-1	Fill	MC75 Log-3.0
Fan	216HP7-6	Eliminator	TU12C
Stack	216"x7' HorizRib	Louver	No Louvers
SpeedReducer	3000.7.91:1	Spray System	18x6 Rotomold
Drive	250 Shaft	Nozzles	120 NS5A-120 per cell 20 NS6-160 per cell
Motor	1800 rpm, TEFC		
<b>Dimensions / Dimensiones</b>			
Tower Width	30.67 ft	BasinWidth Min	33.50 ft
Tower Length	30.67 ft	BasinLength Min	36.00 ft
Tower Height (TOC)	30.09 ft	BasinDepth	4.00 ft
Fan DeckHeight (TOC)	23.09 ft	Wáter Depth	3.00 ft
StaticLift (TOC)	11.04 ft	Curb Offset Min	3.00 ft
Pump Head (TOC)	14.82 ft	PlenumHeight	5.69 ft
Air InletElev (TOC)	4.50 ft	Effective Air InletHt.	5.50 ft
ClosedSides	1	TransversePartitions	No
ClosedEnds	0	WindWalls	No
<b>Conditions / Condiciones</b>			

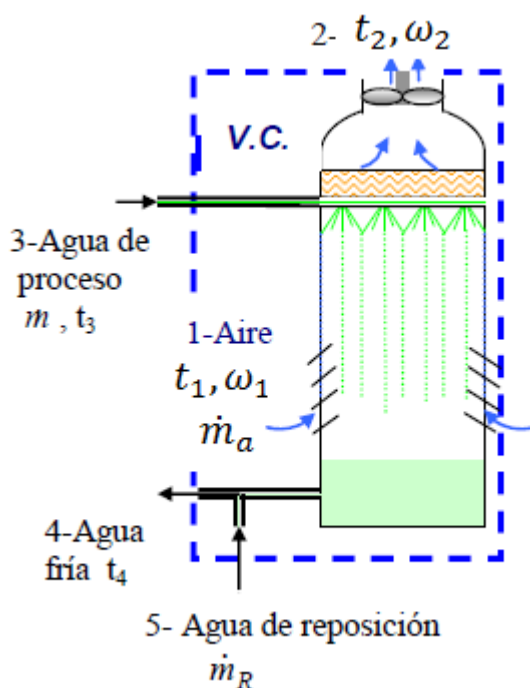
Tower WaterFlow	5320 gpm	Altitude	5 ft
Hot WaterTemperature	104 °F	BarometricPressure	29.92 In Hg
Range	18 °F	Air density In	0.07280 lb/ft <sup>3</sup>
ColdWaterTemperature	86 °F	Air densityout	0.06992 lb/ft <sup>3</sup>
Approach	8.60 °F	Humidity Ratio In	0.0202
Wet-bulbTemperature	77.40 °F	Humidity Ratio Out	0.0372
Dry-buldTemperature	78.56 °F	Wet-BuldTemp. Out	95.39 °F
RelativeHumidity	95%	Evaporation	74.0 gpm
Total DissolvedSolids	0 gpm	Drift	0.0010%
Site Factor	Performance Test		
<b>Thermal Analysis / Análisis térmico</b>			
FillArea	869.6 ft <sup>2</sup>	WaterRate	6.118 gpm/ft <sup>2</sup>
FillHeight	3.00 ft	Dry Air Rate	41.59 lb/min/ft <sup>2</sup>
KaV/L (CTI)	1.553	L/G	1.225
<b>Air Flow / Flujo de aire</b>			
Flow/Fan Tower Air Inlet	506800 cfm	Extremal P.D In	0.000 In H2O
Flow/Fan Discharge	536400 cfm	Extrance P.D	0.038 In H2O
InletVelocity	1024 fpm	Louver P.D	0.000 In H2O
Fillvelocity	600 fpm	FallingWater P.D	0.099 H2O
EliminatorVelocity	617 fpm	Fill P.D	0.404 In H2O
DischargeVelocity	2179 fpm	Eliminator P.D	0.060 In H2O
Air InletPressure Ratio	8.88	Plenun P.D	0.039 In H2O
Air Inlet Guide	No	Buoyancy P.D	0.000 In H2O
InletP.D.VelHeads	0	External P.D Out	0.000 In H2O



Outlet P.D. Vel Heads	0	Static P.D	0.640 In H2O
		Velocity P.D	0.276 In H2O
<b>Fan Information / Información del Ventilador</b>			
Fan Speed (100%)	224 rpm	Fan Tip Speed	12670 fpm
Fan Power	95.76 Hp	Static Fan Efficiency	56.4%
Motor Output	99.76 BHp	Total Fan Efficiency	80.8%
Motor Capacity	100.00 BHp	Fan Pitch	16.0 °

**Tabla 1: Especificaciones de la torres de enfriamiento Marley F455A-3.0-1**

### 8. METODOLOGIA DE CÁLCULO EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO MARLEY F455A-3.0-1



**Diagrama 1: Diagrama de proceso de la Torre.**

Eficiencia de una torre de enfriamiento evaporativo expresada en % se deduce de la relación siguiente:

$$eficiencia \% = \frac{T_{ae} - T_{as}}{T_{ae} - T_{bh}} \times 100$$

$T_{ae}$  = temperatura de entrada de agua a la torre.

$T_{as}$  = temperatura de salida de agua de la torre.

$T_{bh}$  = temperatura de bulbo húmedo, del aire en la entrada a la torre.

## 8.1. METODOLOGÍA SEGÚN NORMA CTI (COOLING TOWER INTITUTE)

### 8.1.1. Balance de Masa y Energía

De acuerdo al Cooling tower termal design, una torre de enfriamiento puede ser considerado como un intercambiador de calor en el que el agua y el aire están en contacto directo uno con el otro. No hay método aceptable para calcular con precisión la superficie total de contacto entre el agua y el aire.

Por lo tanto, un factor "K", o el coeficiente de transferencia de calor, no se puede determinar directamente a partir de los datos de prueba o por teorías conocido de transferencia de calor.

La teoría del Dr. Merkel considera el flujo de masa y la energía de la masa de agua a una interfaz y desde la interfaz a la masa de aire circundante. Es decir, Merkel demostrado que la transferencia total de calor es directamente proporcional a la diferencia entre la entalpía de aire saturado a la temperatura del agua y la entalpía del aire en el punto de contacto con los agua.

$$(1) Q = K \times S \times (h_w - h_a)$$

Donde la ecuación de Merkel se puede expresar de la siguiente forma:

$$(2) \frac{KaV}{L} = C_w \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{h_w - h_a}$$

$KaV/L$  = Característica de la Torre (adimensional)

$K$  = Coeficiente de transferencia de masa y energía

$a$  = área de contacto / Volumen de la torre

$V$  = Volumen activo de relleno / área transversal

$L$  = Caudal de agua (lb/h ft<sup>2</sup>)

$G$  = Flujo de masa de aire

$C_w$  = calor específico del agua líquida.

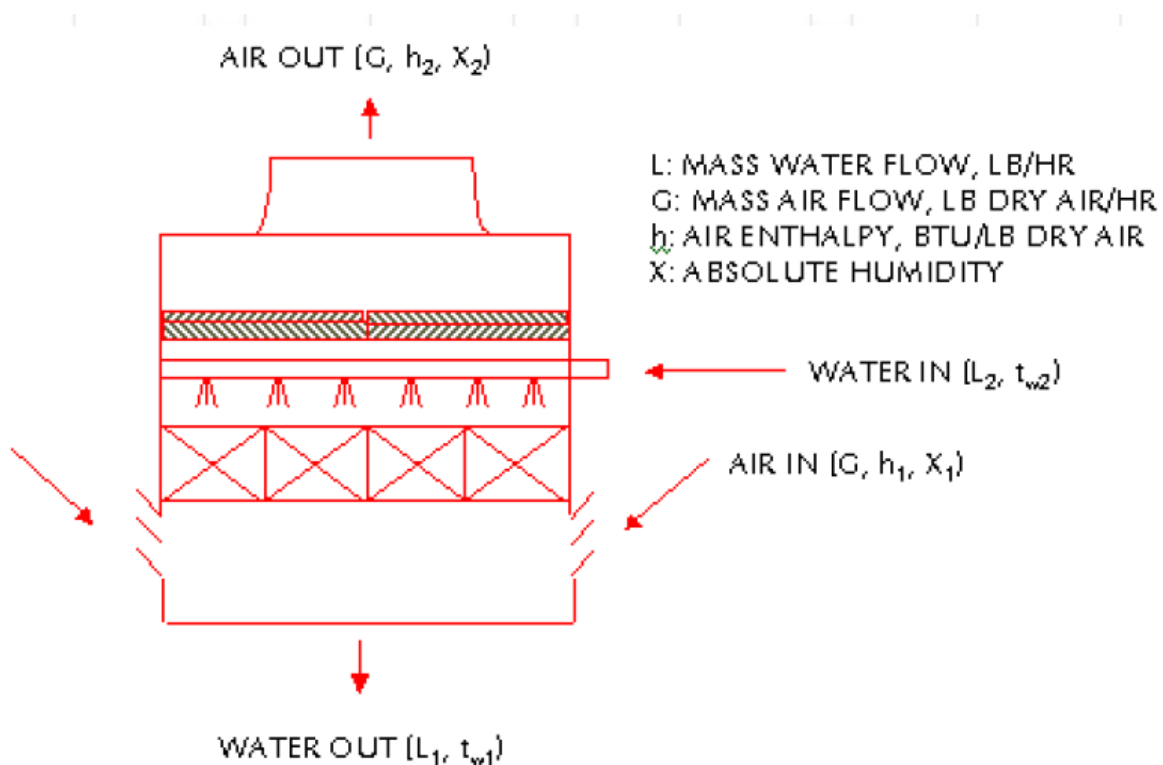
$T_1$  = temperatura de agua caliente (F o C)

$T_2$  = temperatura de agua fría (F o C)

$T$  = temperatura del volumen de agua (F o C)

$h_w$  = entalpía de la mezcla agua aire a  $T$  (J/kg o Btu/lb aire seco)

$h_a$  = entalpía de aire agua a Temperatura de bulbo húmedo.



**Diagrama 2: Balance de masa y energía / Cooling Tower Thermal Design(2004)**

El teniendo en cuenta el concepto de balance de masa tenemos lo siguiente:

$$(3) L_2 - L_1 = G_s * (Y_2 - Y_1)$$

Dónde:

$L$ =Caudal de agua, (kg/s) o (lb/h).

$G_s$ = Caudal de aire seco, (kg/s).

$Y$ = Humedad absoluta.

De la ecuación anterior podemos hallar el valor de  $G_s$ .

El balance de energía lo podemos expresar como:

$$(4) L * CaL * (T2 - T1) = Gs * (H2 - H1)$$

Dónde:

CaL=calor específico del agua líquida.

T= temperatura del volumen de agua (F o C)

H= entalpia del aire (J/kg o Btu/lb aire seco)

De acuerdo con la ecuación anterior podemos hallar el valor de la entalpia del aire de salida de la torre despejando la variable H2.

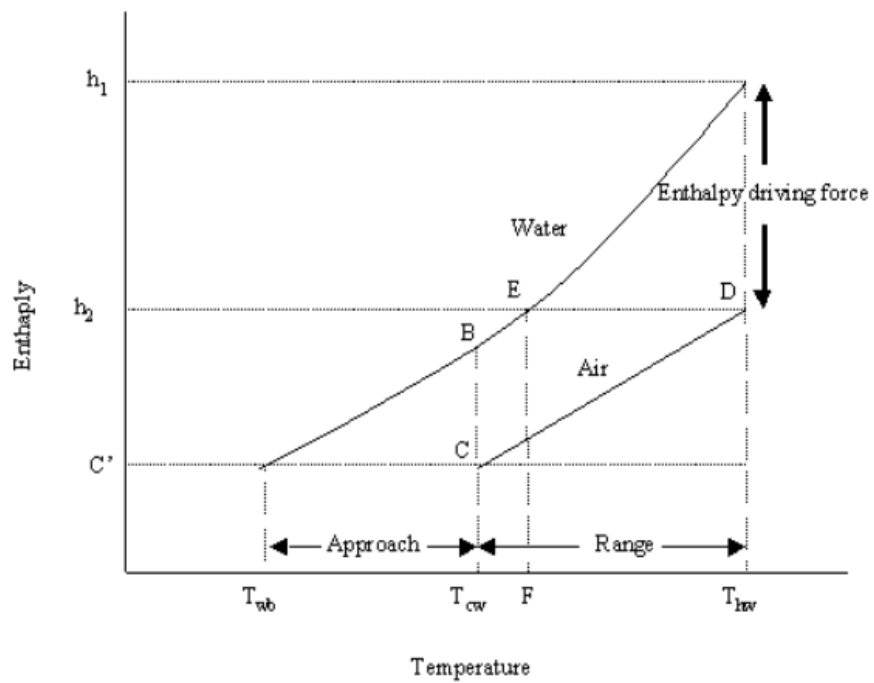
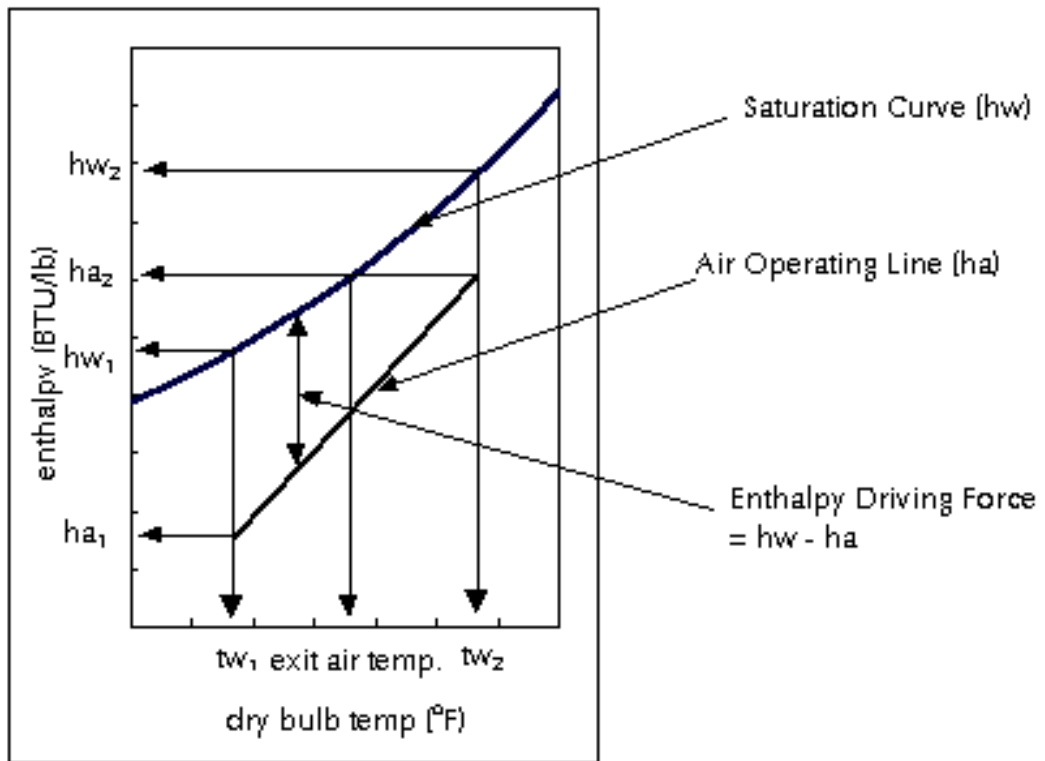
### 8.1.2. Curva característica de una torre de enfriamiento

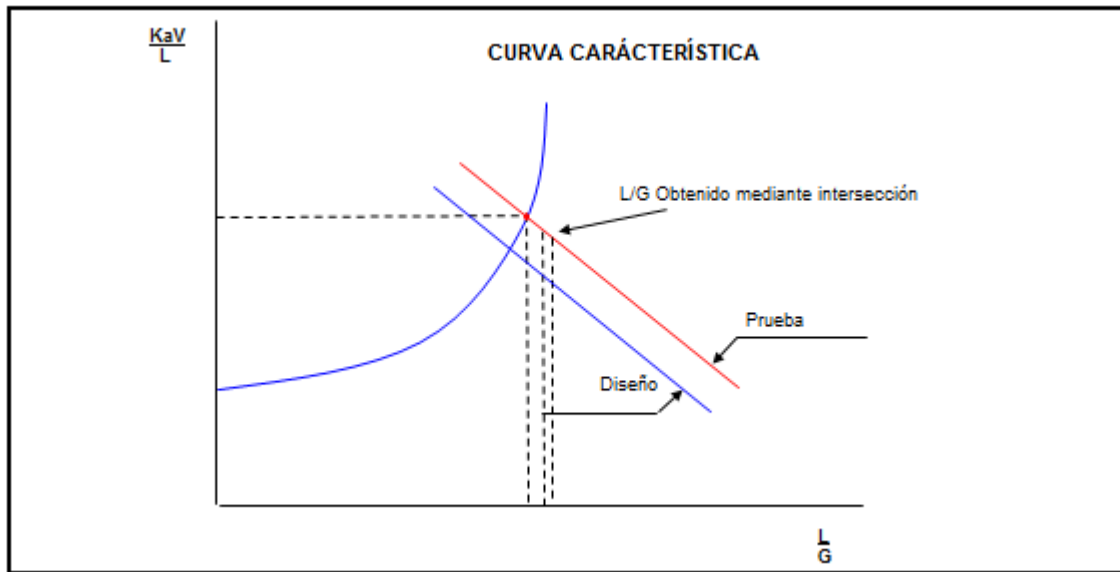
Las curvas características nos sirven como una medida de la capacidad de enfriamiento de la torre a la cual aplica. Estas relacionan el término  $KaV/L$  y la relación  $L/G$  de la forma:

$$(5) \frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^m$$

$$(6) C = \frac{KaV}{L} / \left(\frac{L}{G}\right)^m$$

Donde C y m son constantes para una torre dada y se determinan por las características del tipo de relleno. Para el tipo de relleno de la torre Marley el valor de  $m=0.8$ , según los estándares del Cooling Tower Institute.





**Diagrama 3: Curva Característica de una torre de refrigeración/ Cooling Tower Thermal Design(2004)**

Esta curva es exactamente igual a una función lineal de  $y = a + b x$ . El  $ha_1$  corresponde a "a",  $L/G$  corresponde a la "b" y la gama de refrigeración corresponde a "x". Así,  $L / G$  es una pendiente lineal de curva.

La curva característica es utilizada para determinar el buen funcionamiento de la torre en conjunto con curvas de  $KaV/L$  vs  $L/G$ .  $KaV/L$  es una medida del grado de dificultad para los requerimientos de enfriamiento del líquido.

Esta curva puede llamarse también "Curva de Requerimientos de diseño" puesto que es una medida del grado de dificultad para alcanzar los requerimientos de diseño, y no tiene nada que ver con las características físicas de la torre.

Se construye asumiendo valores de  $L/G$  y calculando los valores correspondientes de  $KaV/L$  utilizando la ecuación (2).

La intersección de la curva característica y la curva de requerimiento de diseño localiza el punto de diseño. El fabricante predice que, cuando se conoce  $L/G$ , el flujo de circulación de agua de diseño, la temperatura de entrada del agua y la temperatura de bulbo húmedo, se puede buscar la temperatura de salida del agua.

A partir de estos valores se calcula el por ciento de capacidad con la siguiente formula:

$$(7) \%capacidad = \frac{L/G_o}{L/G_D} \times 100$$

Donde,

$(L/G_o)$ , Es la relación corregida del flujo de agua con respecto al flujo de aire.

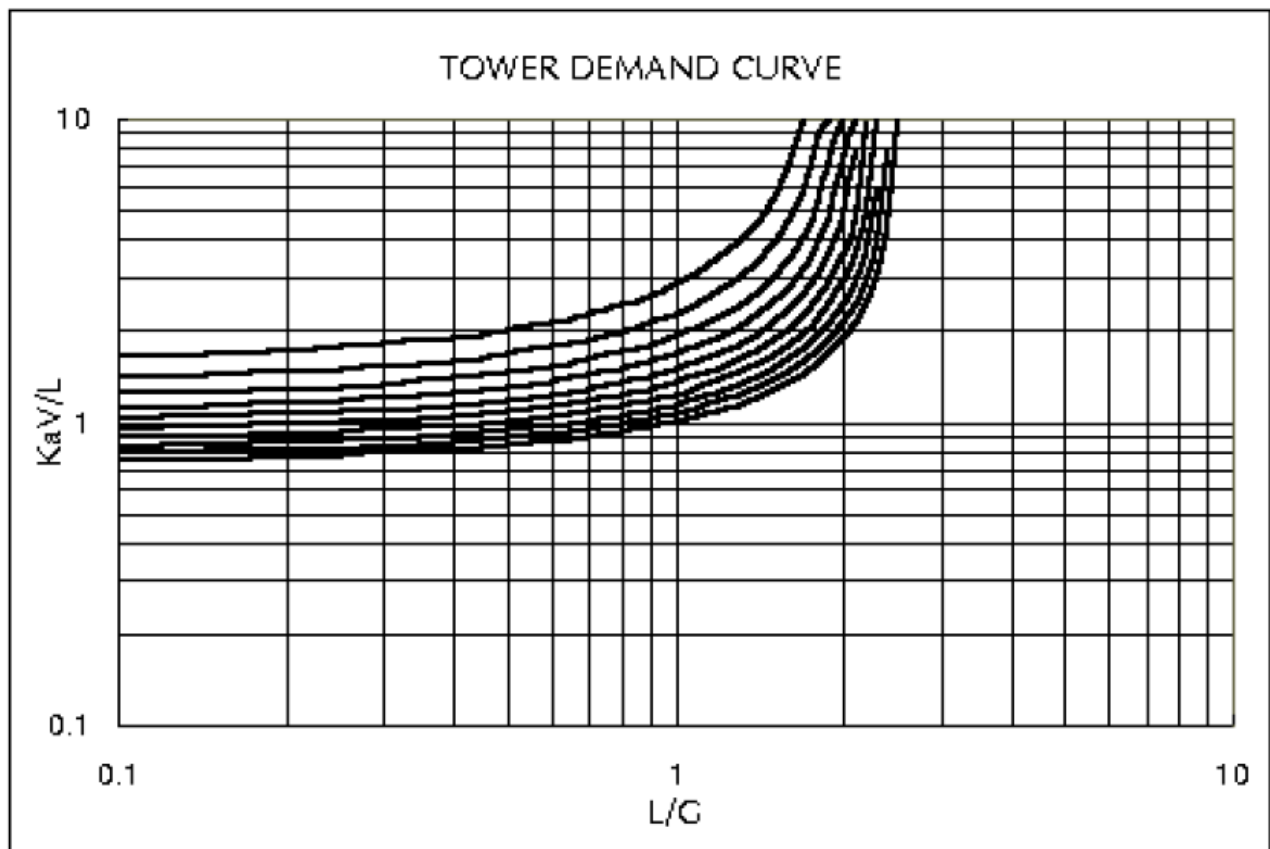
$(L/G_D)$ , Es la relación de diseño del flujo de agua con respecto al flujo de aire.

### **8.1.3. Curva de demanda o desempeño de una torre de enfriamiento**

La ecuación de Merkel se utiliza para calcular la demanda térmica basado en el diseño temperatura y seleccionados de líquido a gas ratios (L / G).

El valor de  $Kav / L$  se convierte en una medida de la orden de dificultad de las necesidades de refrigeración de líquidos. La temperatura de diseño y L / G relacionan la demanda térmica a la MTD (diferencia de temperatura media).

Las curvas se trazan con la demanda térmica,  $KAV / L$  como una función de la relación de líquido a gas, L / G. Las líneas de aproximación (tw1 - WBT) se muestran como parámetros.



**Diagrama 4: Curva de Demanda de la Torre de Refrigeración / Cooling Tower Thermal Design (2004)**

## 8.2 METODOLOGIA SEGÚN NORMA ASHRAE

En la práctica, la torre de enfriamiento, el valor integrado de la ecuación (8) es comúnmente se conoce como el número de unidades de transferencia (NTU). Este valor indica el número de veces que el potencial de entalpía media ( $h' - h_a$ ) va en el cambio de temperatura del agua ( $\Delta t$ ) y es una medida de la dificultad de la tarea.

Por lo tanto, una unidad de transferencia tiene la definición  $C_p \cdot \Delta t / (h' - h_a) = 1$ .

Las ecuaciones no son auto-suficientes y no están sujetos a directa solución matemática. Son el reflejo de masa y balance de energía en cualquier punto en una torre y son independientes del movimiento relativo de las dos corrientes de fluido. La integración



mecánica está obligada a aplicar las ecuaciones, y el procedimiento debe tener en cuenta el movimiento relativo. Integración de la ecuación (8) proporciona el NTU para un conjunto dado de condiciones.

$$(8) \frac{K' aV}{L} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{C_p}{h' - h_a} dt \quad \text{o} \quad \frac{K' aV}{G} = \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h' - h_a}$$

39.16

2008 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment

Table 2 Counterflow Integration Calculations for Example 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Water Temperature $t$ , °F	Enthalpy of Film $h'$ , Btu/lb	Enthalpy of Air $h_a$ , Btu/lb	Enthalpy Difference $h' - h_a$ , Btu/lb	$\frac{1}{(h' - h_a)}$	$\Delta t$ , °F	$NTU = \frac{c_p \Delta t}{(h' - h_a)_{avg}}$	$\Sigma NTU$	Cumulative Cooling Range, °F
85	49.4	38.6	10.8	0.0926				
					1	0.0921	0.0921	1
86	50.7	39.8	10.9	0.0917	1	0.0917	0.1838	2
87	51.9	41.0	10.9	0.0917	1	0.0913	0.2751	3
88	53.2	42.2	11.0	0.0909	1	0.0901	0.3652	4
89	54.6	43.4	11.2	0.0893	1	0.0889	0.4541	5
90	55.9	44.6	11.3	0.0885	2	0.1732	0.6273	7
92	58.8	47.0	11.8	0.0847	2	0.1653	0.7925	9
94	61.8	49.9	12.4	0.0806	2	0.1569	0.9493	11
96	64.9	51.8	13.1	0.0763	2	0.1477	1.097	13
98	68.2	54.2	14.0	0.0714	2	0.1376	1.2346	15
100	71.7	56.6	15.1	0.0662				

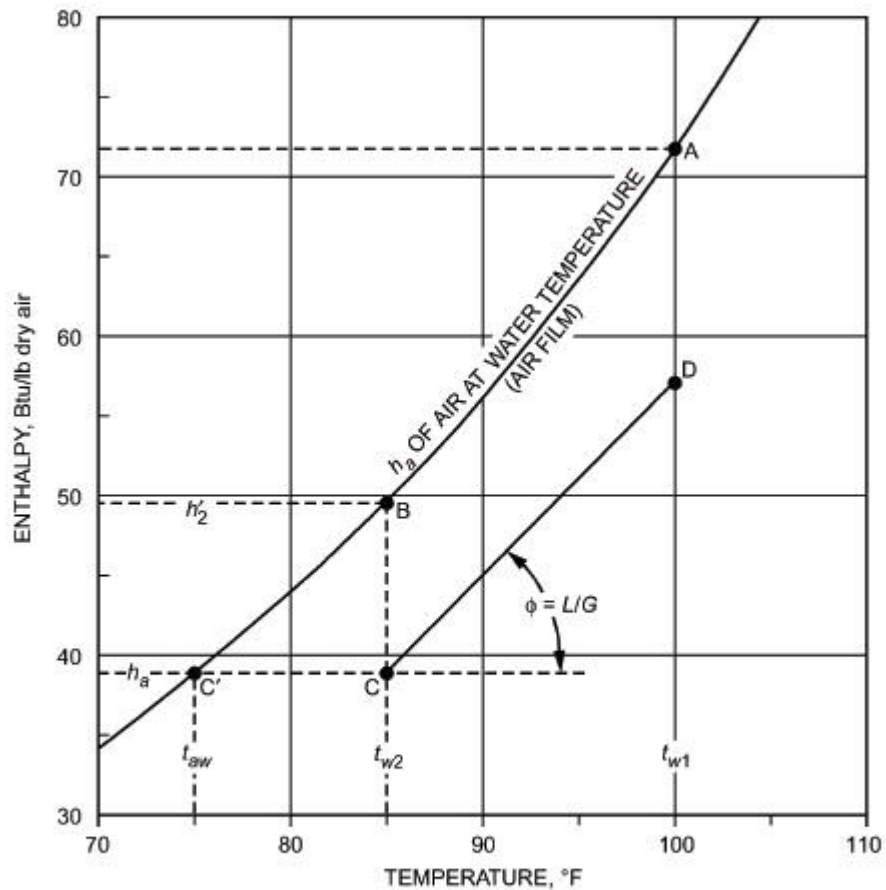
Tabla 2: Calculos de integración / Ashrae Handbook (2008).

Esta integral permite calcular el número de unidades de difusión necesarias, NTU, para que la torre cumpla con el servicio requerido. Por otra parte se define la altura de la unidad de difusión, HDU, a través de la siguiente expresión:

$$(9) HDU = \frac{Z}{NTU}$$

Donde, Z = Altura del relleno de la torre. (m)

Después de haber obtenido el valor de  $\left(\frac{K' aV}{L}\right)$  teniendo en cuenta los valores de la tabla 3, buscamos la relación L/G para hallar la curva de desempeño de la torre.



POINT A = Enthalpy of air film surrounding water droplet at hot-water temperature  
 POINT B = Enthalpy of air film surrounding water droplet at cold-water temperature  
 POINT C = Entering air  
 POINT D = Exit air

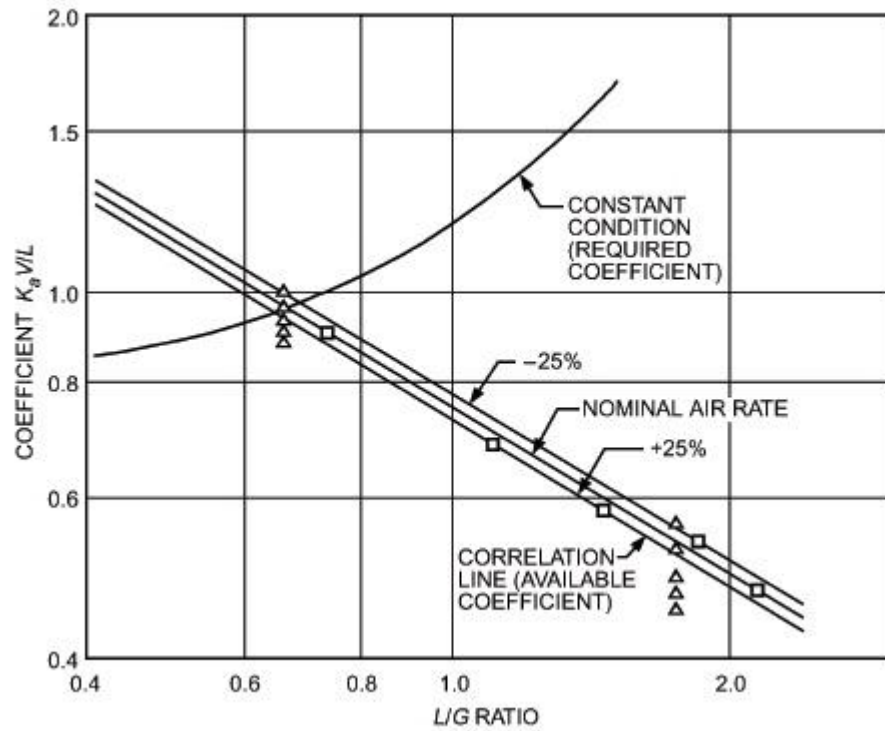
**Diagrama 5: Diagrama de la torre a contraflujo / Ashrae Handbook (2008).**

El diagrama de enfriamiento de contraflujo se basa en la curva de saturación de aire-vapor de agua (diagrama 5). Cuando el agua se enfría desde ( $t_{w1}$ ) a ( $t_{w2}$ ), la entalpía del aire sigue la curva de saturación de A hasta B.

El aire que entra en el bulbo húmedo temperatura ( $t_{aw}$ ) tiene una entalpía de ( $h_a$ ) correspondiente a C'. La fuerza impulsora inicial es la distancia vertical BC.

El calor extraído del agua se añade a la del aire, por lo que el aumento de la entalpía es proporcional a la temperatura del agua. La pendiente de la línea de operación CD aire es igual a  $L / G$ .

Los cálculos de contraflujo se comencian en la parte inferior de una torre, el único punto donde las condiciones del aire y el agua son conocidos.



**Diagrama 6: Curva característica,  $K_a/VL$  Vs  $L/G$  / 2008 ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment**

El diagrama 6 es una correlación típica de una torre característica que muestra la variación de  $K_a/VL$  disponible con  $L/G$ , para los parámetros de velocidad del aire constante.

## 9. ANALISIS Y RESULTADOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO MARLEY F455A-3.0-1

TABLA DE PARAMETROS PROMEDIADOS DE LA TORRE MARLEY														
	AÑO	MES	DIAS										PROMEDIO	
	2012	ENERO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
	HORARIO		DATO											
	RELLENO A (OF21 MA)	00:00	08:00	Temp. Agua salida (°C)	28,24	27,99	28,39		27,96	28,25	27,41	28,35	27,60	27,61
Temp. Agua entrada (°C)				31,47	31,68	32,55		36,73	37,31	35,93	37,74	36,64	36,63	35,19
Flujo agua reposición (m3/h)				28,65	27,11	26,69		26,87	28,08	24,17	28,14	25,26	29,95	27,21
Flujo Agua enfriamiento (m3/h)				4241,22	4242,22	4235,89		4243,56	4242,10	4241,60	4242,88	4243,30	4241,40	4241,58
Humedad absoluta				0,62	0,65	0,71	0,70	0,64	0,46	0,71	0,61	0,59	0,61	0,63
Produccion Propylene				23,49	16,63	14,31		13,21	14,37	14,20	14,60	13,18	10,67	14,96
08:00		16:00	Temp. Agua salida (°C)	29,83	29,94			29,43	29,30	28,83	29,63	29,42	29,56	29,49
			Temp. Agua entrada (°C)	32,92	33,58			37,92	38,40	37,07	38,70	38,45	38,49	36,94
			Flujo agua reposición (m3/h)	29,51	30,46			27,15	33,74	26,23	30,40	30,28	34,15	30,24
			Flujo Agua enfriamiento (m3/h)	4239,72	4239,70			4240,56	4239,35	4239,92	4240,19	4240,56	4240,80	4240,10
			Humedad absoluta	0,60	0,63	0,72	0,61	0,71	0,72	0,64	0,56	0,57	0,58	0,63
			Produccion Propylene	25,66	14,54			11,68	17,07	12,54	13,60	9,97	10,76	14,48
16:00		00:00	Temp. Agua salida (°C)	29,07	29,01		28,91	28,67	28,87	29,08	28,53	28,45	29,79	28,93
			Temp. Agua entrada (°C)	32,61	33,04		37,96	37,55	38,15	38,38	37,49	37,36	38,40	36,77
			Flujo agua reposición (m3/h)	28,85	28,86		29,97	28,74	27,62	30,50	27,49	31,19	28,98	29,13
			Flujo Agua enfriamiento (m3/h)	4243,20	4241,64		4242,05	4241,27	4240,29	4242,33	4241,93	4242,18	4248,89	4242,64
			Humedad absoluta	0,70	0,72	0,78	0,63	0,53	0,78	0,66	0,62	0,63	0,63	0,67
			Produccion Propylene	21,53	14,58	14,65		14,05	19,02	16,03	11,41	9,04	7,29	14,18
	MAYO	DATO												
RELLENO B (F455A-3.0-1)	00:00	08:00	Temp. Agua salida (°C)	26,55	25,60	25,21	25,72	24,93	27,22	28,83	29,29	30,42	30,28	27,40
			Temp. Agua entrada (°C)	31,91	30,88	30,38	30,94	30,34	33,67	36,13	36,98	38,22	38,34	33,78
			Flujo agua reposición (m3/h)	10,03	10,88	11,92	12,68	11,57	12,17	20,60	23,83	24,55	24,05	16,23
			Flujo Agua enfriamiento (m3/h)	4112,39	4109,89	4111,86	4110,04	4113,17	4111,29	4110,66	4110,58	4110,41	4110,18	4111,05
			Humedad absoluta	0,74	0,73	0,73	0,71	0,72	0,73	0,70	0,74	0,71	0,75	0,73
			Produccion Propylene	27,01	25,78	23,64	20,38	21,90	28,12	25,82	23,18	24,08	21,46	24,14
	08:00	16:00	Temp. Agua salida (°C)	27,22	25,91	26,56	25,72	25,39	28,27	28,77	30,68	31,43	29,49	27,94
			Temp. Agua entrada (°C)	32,44	31,23	31,74	31,06	30,68	34,52	35,44	38,78	39,97	35,58	34,14
			Flujo agua reposición (m3/h)	11,88	10,29	12,27	24,67	11,71	16,46	19,43	27,60	29,24	19,78	18,33
			Flujo Agua enfriamiento (m3/h)	4108,75	4108,20	4108,15	3626,01	4107,25	4108,45	4109,26	4109,40	4107,64	4108,68	4060,18
			Humedad absoluta	0,59	0,59	0,58	0,56	0,55	0,59	0,57	0,59	0,62	0,61	0,59
			Produccion Propylene	28,54	24,13	18,08	24,76	27,26	25,97	24,53	23,69	22,11	21,53	24,06
16:00	00:00	Temp. Agua salida (°C)	26,24	25,68	26,32	25,06	25,53	27,32	29,47	30,76	30,96	26,66	27,40	
		Temp. Agua entrada (°C)	31,51	30,83	31,61	30,51	30,53	33,09	36,84	38,98	39,45	31,21	33,46	
		Flujo agua reposición (m3/h)	11,57	11,65	11,73	22,13	10,83	8,91	23,81	28,89	26,55	9,36	16,54	



	RELACION (L/G)	0,67407083	0,65375	0,64306	0,647635	0,63924	0,64608	0,6542	0,63115	0,64159	0,66029	0,65
	RELACION DE MERKEL( KaV/L)	1,46	1,42	1,40	1,41	1,40	1,41	1,42	1,38	1,40	1,43	1,42
	% CAPACIDAD	55	53	52	53	52	53	53	52	52	54	52,99

**Tabla 3: TABLA DE PARAMETROS Y SOLUCION PROMEDIADOS DE LA TORRE MARLEY**

Teniendo en cuenta la ecuación de eficiencia térmica y tomando los datos de la tabla 4, temperatura de entrada y salida de agua de la torre, temperatura del bulbo húmedo con relleno tipo A y tipo B del día 1 tenemos.

- Relleno A:

$$eficiencia \% = \frac{T_{ae} - T_{as}}{T_{ae} - T_{bh}} \times 100 = \frac{31,47 - 28,24}{31,47 - 25,2} * 100 = 51,6\%$$

- Relleno B:

$$eficiencia \% = \frac{T_{ae} - T_{as}}{T_{ae} - T_{bh}} \times 100 = \frac{31,91 - 26,55}{31,91 - 26,2} * 100 = 93,8\%$$

CONDICIONES	Relleno A	Relleno B
L =Caudal de agua, (m3/h)	4111	4241
T. agua de entrada T2 (°C)	34	37
T. agua de salida T1 (°C)	27	30
Gs = Caudal de aire seco,(m3/h)		
A= área de sección transversal de la torre, (m2)	80,78	80,78
H2 = entalpía aire de salida (Btu/lb)		
H1 = entalpía aire de entrada (Btu/lb)	19,21	19,44
Y= Humedad relativa	0,65	0,66
CaL = calor específico del agua líquida	4,22	4,22

**Tabla 4: Tabla de condiciones iniciales de la torre**

## 9.1. RELLENO A (OF21 MA)

### 9.1.1. Solución por Norma CTI

Utilizando el programa Excel obtenemos los siguientes datos:

Aplicando la ecuación (3)  $L2 - L1 = G_s * (Y2 - Y1)$ , del balance de masa obtenemos el valor de  $G_s = 6228,79 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Luego aplicando la ecuación (4)  $L * CaL * (T2 - T1) = G_s * (H2 - H1)$ , del balance de energía obtenemos el valor de  $H2 = 38,71 \text{ Btu/lb}$ .

Después de haber aplicado las ecuaciones de balance de masa y energía, procedemos a calcular por medio de la ecuación (5)  $\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^m$ , la relación de merkel. El valor de  $\frac{KaV}{L} = 1,43$

Por último interceptamos los valores  $\frac{KaV}{L}$  vs  $\frac{L}{G}$ , en el diagrama (8) que nos va a dar como resultado la curva de desempeño de la torre.

### 9.1.2. Solución Norma Ashrae

Teniendo en cuenta la temperatura de salida de la torre, podemos obtener los parámetros suficientes para buscar el valor  $\frac{KaV}{L}$  por medio de la formula (8)  $\frac{K'aV}{L} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{cp}{h' - h_a} dt$ .

Por medio de la tabla 3, a una temperatura de 85°F obtenemos el valor de  $h_a = 38,6 \text{ Btu/lb}$ .

y  $\frac{K'aV}{L} = 0,64$ .

Con este resultado vamos al diagrama (6) y obtenemos el valor de  $L/G = 1,3$ .

## 9.2. RELLENO B (F455A-3.0-1)

### 9.2.1. Solución por Norma CTI

Utilizando el programa Excel obtenemos los siguientes datos:

Aplicando la ecuación (3)  $L2 - L1 = G_s * (Y2 - Y1)$ , del balance de masa obtenemos el valor de  $G_s = 6524,62 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Luego aplicando la ecuación (4)  $L * CaL * (T2 - T1) = Gs * (H2 - H1)$ , del balance de energía obtenemos el valor de  $H2 = 38,64$  Btu/lb.

Después de haber aplicado las ecuaciones de balance de masa y energía, procedemos a calcular por medio de la ecuación (5)  $\frac{KaV}{L} = C \left(\frac{L}{G}\right)^m$ , la relación de merkel. El valor de  $\frac{KaV}{L} = 1,63$ .

Por último interceptamos los valores  $\frac{KaV}{L}$  vs  $\frac{L}{G}$ , en el diagrama (8) que nos va a dar como resultado la curva de desempeño de la torre.

### 9.2.2. Solución Norma Ashrae

Teniendo en cuenta la temperatura de salida de la torre, podemos obtener los parámetros suficientes para buscar el valor  $\frac{KaV}{L}$  por medio de la formula (8)  $\frac{K'aV}{L} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{cp}{h'-h_a} dt$ .

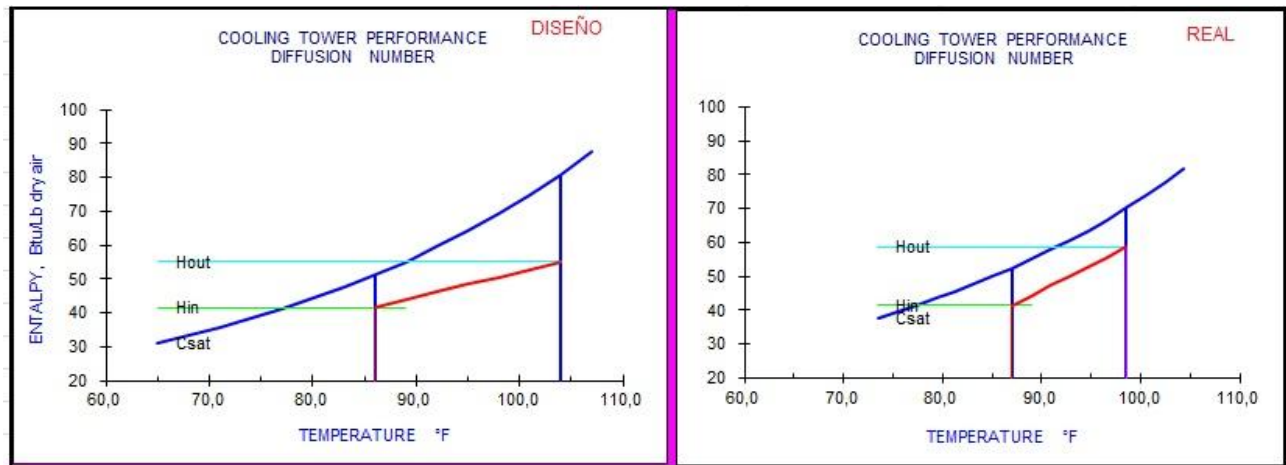
Por medio de la tabla 3, a una temperatura de 85°F obtenemos el valor de  $ha=38,6$  Btu/lb. y  $\frac{K'aV}{L} = 0,64$ .

Con este resultado vamos al diagrama (6) y obtenemos el valor de  $L/G = 1,3$ .

<b>Teorías</b>			
<b>CTI (cooling tower Institute)</b>			
tw = (29°C - 85°F)	ha = (38,6 Btu/lb)	KaV/L = (1,6)	<b>real</b>
tw = (30°C - 86°F)		KaV/L = (1,5)	<b>diseño</b>
<b>Ashrae</b>			
tw = (29°C - 85°F)	ha = (38,6 Btu/lb)	L/G = (1,3)	<b>real</b>
tw = (30°C - 86°F)		L/G = (1,2)	<b>diseño</b>
<b>Relleno</b>			
<b>Antiguo</b>		<b>Nuevo</b>	
15,83 Ton/h	21,24 Ton/h	<b>Producción de Polipropileno flujo de reposición (agua)</b>	
29,04 m3/h	24,85 m3/h		
<b>Condiciones Intercambiadores de calor</b>			
Temp. Entrada max	31 °C	<b>diseño</b>	

**Tabla 5: Tabla de resultados de teorías y condiciones finales de la torre.**

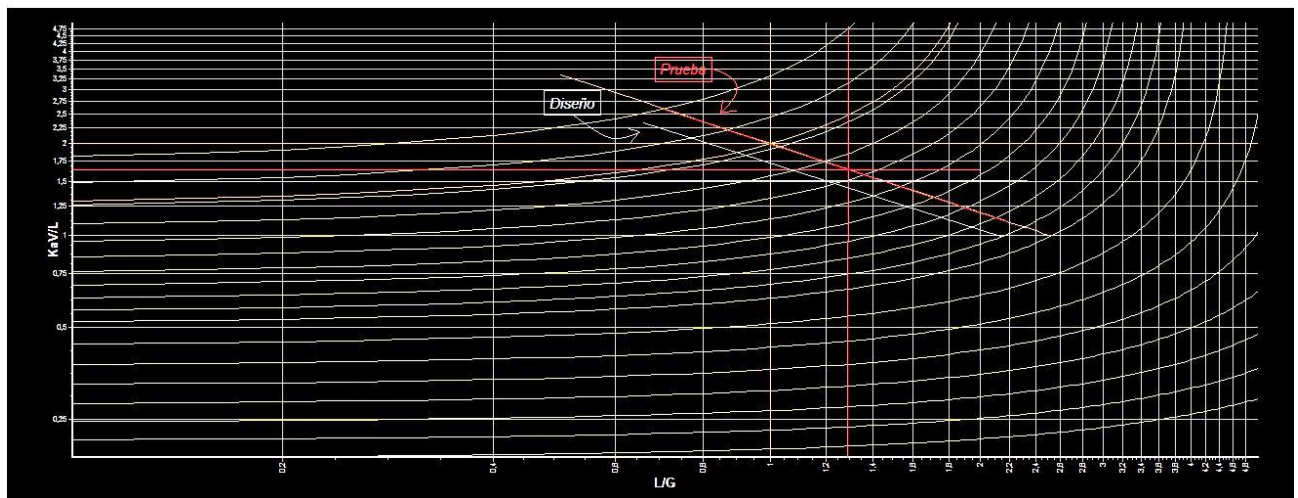




**Diagrama 7: Curva característica en condiciones reales y diseño.**

Las graficas del diagrama 7 nos indica la curva característica de la torre teniendo en cuenta los parámetros de diseño y las condiciones de operación real de la torre. Estas curvas se obtuvieron mediante el programa Excel.

La curva del diagrama 8 nos indica la demanda térmica que presenta la torre teniendo en cuenta los parámetros de diseño y las condiciones de operación real de la torre. Estas curvas son obtenidas por medio un software diseñado por la norma CTI. Estas curvas son estándares para diferentes condiciones de operación de torres de enfriamiento.

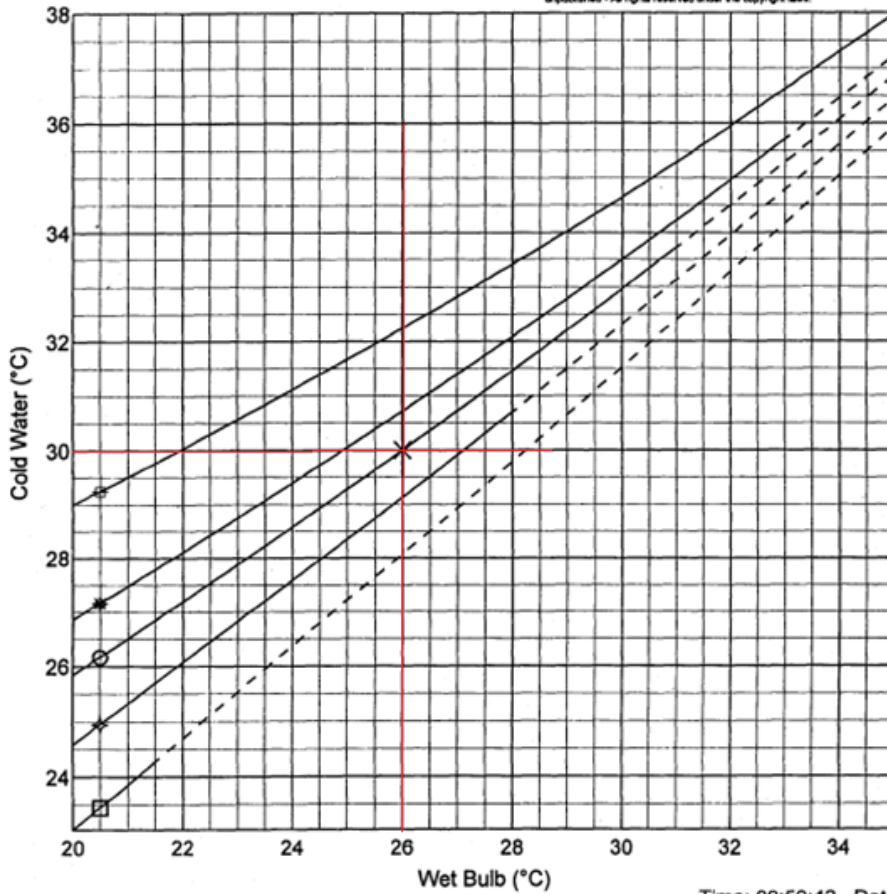


**Diagrama 8: Curva de Demanda & Curva Característica de la torre.**

Polipropileno Del Caribe S.A.  
Cartagena, Colombia

CONFIDENTIAL: The Contents of this document are confidential and constitute the exclusive property of the Marley Cooling Tower Company. This document and its contents may not be made public in any manner, distributed or loaned to others, or reproduced or copied either in whole or in part without the prior written consent of the Marley Cooling Tower Company.  
© 2000 As of the date(s) in the site block the Marley Cooling Tower Company unpublished - All rights reserved under the copyright laws.

Marley Cooling Tower Co.  
TRACS Version 07.10.00



Model B83635-5.0-02  
Number of Cells 2  
Motor Output 112 kW  
Motor RPM 1800  
Fan 264HP7-7  
Fan RPM 185  
(Full Speed)

Design Conditions:  
Flow Rate 4200 m<sup>3</sup>/h  
Hot Water 37.00 °C  
Cold Water 30.00 °C  
Wet-Bulb 26.00 °C

Curve Conditions:  
Fan Pitch Constant  
Flow Rate 4200 m<sup>3</sup>/h  
( 100% Design Flow )

OO# 168792

⊕ 15 °C Range  
\* 9 °C Range  
○ 7 °C Range  
◇ 5 °C Range  
□ 3 °C Range  
X Design Point

Time: 09:59:42 Date: 07-27-2000 Drawn By: REO

Diagrama 9: Condiciones de diseño de la Torre

## **CONCLUSIONES**

La producción de polipropileno con el relleno B es más alto en el rango entre las 00:00 – 08:00 am, con un promedio de 59,31 ton/h.

El promedio de producción de polipropileno con el relleno tipo A en los diez primeros días de enero del año 2012 fue de 14,54 ton/h, y el promedio de producción de polipropileno con el relleno tipo B en los diez primeros días de mayo del año 2012 fue de 23,92 ton/h. lo cual existe una diferencia 9,48 ton/h de producción de polipropileno.

La capacidad de enfriamiento de la torre con relleno tipo A es de 51,81% y con el relleno tipo B es de 53,38%.

La eficiencia con el relleno de tipo B nos da aproximadamente de 93,8% para el mes de mayo de 2012, para el relleno de tipo A es aproximadamente 51,6%.

La torre Marley ha mejorado su rendimiento ya que ha elevado la producción de polipropileno de 15.83 ton/h a 21.85 ton/h y una reducción en el flujo de agua de reposición de 29,04 m<sup>3</sup>/h a 24,85 m<sup>3</sup>/h.

Comparando la metodología del CTI (ATC-105) y la norma Ashrae, se considera la norma Ashrae la más práctica en toma de decisiones de funcionamiento real de las torres.

## **RECOMENDACIONES**

- (a) Cambiar el relleno de las torres de enfriamiento de planta 1 y planta 2, por el relleno (F455A-3.0-1).
- (b) Utilizar como plan de mantenimiento recomendado por la norma Ashrae.
- (c) Tener en cuenta la altura del relleno según la demanda térmica que requiere la torre para una posible ampliación de la planta de producción.

## BIBLIOGRAFIA

Cengel, Yunus A. and M. A. Boles, THERMODYNAMICS, 6th ed, McGraw-Hill.

ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment (2008).

Cooling Technology Institute, TOWER ANALYSIS SOFTWARE, demo, [www.cti.org](http://www.cti.org).

Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, GUÍA TÉCNICA TORRES DE REFRIGERACIÓN.pdf.

Curso de diagrama psicométrico, maquinasdesegundamano.com/Panel/P0/CURSO.PDF.

Bruce E. Poling, John M. Prausnitz, John P. O'Connell, THE PROPERTIES OF GASES AND LIQUIDS, Fifth Edition.

CATALOGO BRENTWOOD / ESPAÑOL.

John C. Hensley, Cooling Technologies, COOLING TOWER FUNDAMENTALS.PDF, 2th ed.

## ANEXOS

1 <i>gpm</i>	0.22715 $m^3/h$
$^{\circ}F$	$1.8 * ^{\circ}C + 32$
1 <i>BHP</i>	0.7456 <i>kw</i>
1 <i>bar</i>	100 <i>Kpa</i>
1 <i>HP</i>	0.7456 <i>kw</i>
1 <i>cfm</i>	1.6990 $m^3/h$

**Tabla 6: Tabla de conversión de unidades**



# Marley Cooling Tower

A United Dominion Company

## Cooling Tower Data Sheet

**Date:** December, 2000

**Presented By:** Marley Cooling Tower Company  
7401 West 129th Street  
Overland Park, Ks 66213

**Project:** POLIPROPILENO DEL CARIBE SA  
ZONA INDUSTRIAL MAMONAL, KM8  
CARTAGENA, COLOMBIA

Performance Conditions	FLOW: 18492 GPM BHP: 150	HW: 98.60 DEG. (F) CW: 86.00 DEG. (F) WB: 78.80 DEG (F)
Tower Model No.	83635-5.0-02	
Tower Serial No.	168792-83635-5.0-02	
Purchase Order No.	PN-910-26139	
Marley Order No.	168792	
Motor	HP: 150	Frame: 445T (Marathon)
Gearreducer	Type: 32.2	Ratio: 9.62/1
Fan	Size: 264-HP7-7	Fan Pitch: 15.0° RPM: 185
Driveshaft	Type: Series 250-Class III	
Vibration Switch	Metrix 5550-111-12	

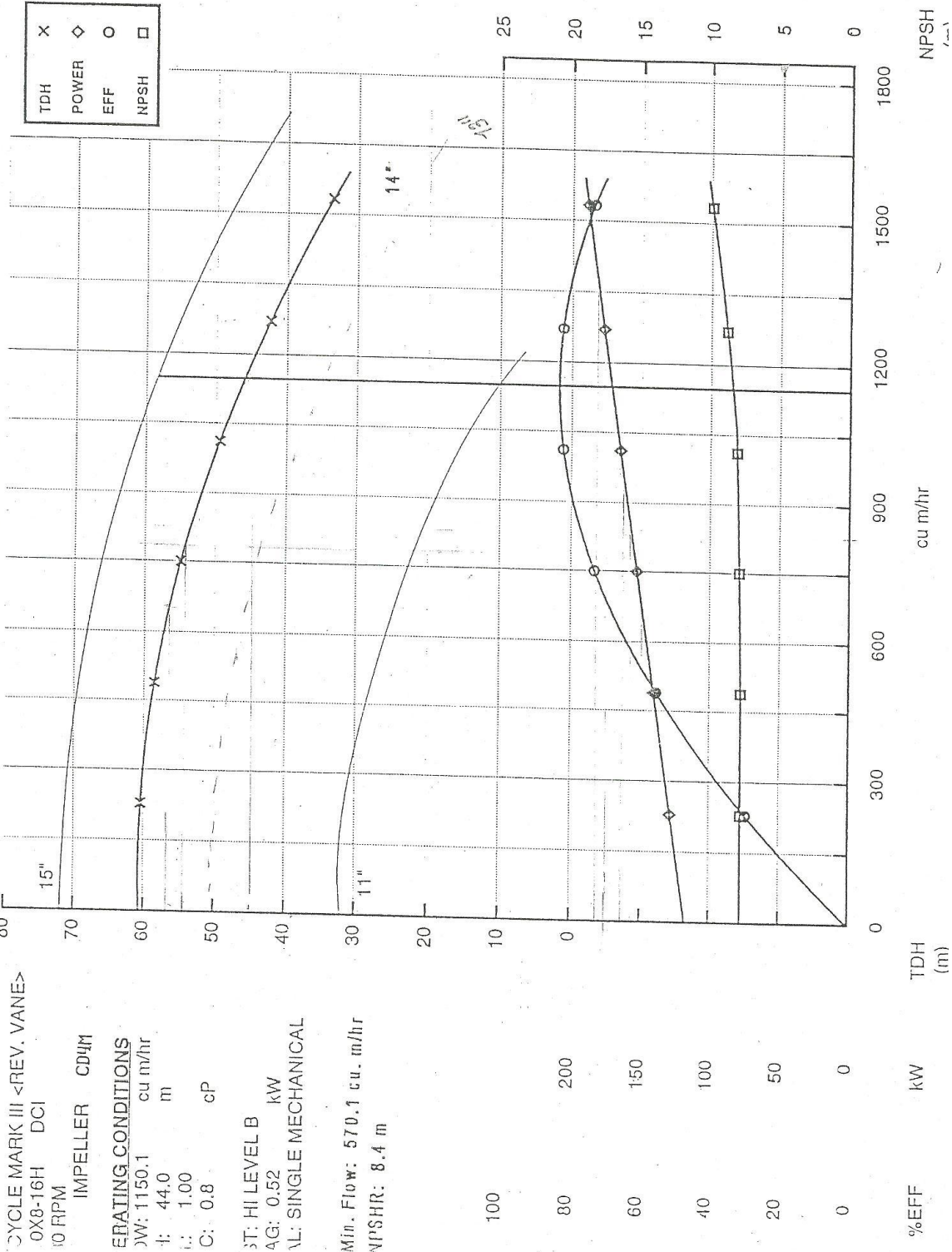
Please refer to Marley Order No. and Tower Serial No. in correspondence concerning this tower. Please contact your local Marley sales representative if you have any questions.

We will be happy to quote current parts and shipment upon request.

### Anexo 1: Cooling Tower data sheet

ENGINEERING AMERICA, INC.      PROJECT: Propilco-Columbia  
 ITE 704      FL 33180  
 ENTURA  
 JUST NO.: 31  
 QUOTE NO: HO00042700  
 ITEM NO: 0040000  
 TAG NO.: 94P010 A/B/C/D  
 CURVE NO.: M38435V

**FLOWSERVE CORPORATION**



CYCLE MARK III <REV. VANE>  
 0X8-16H DCI  
 10 RPM  
 IMPELLER CD4M  
 ERATING CONDITIONS  
 W: 1150.1 cu m/hr  
 H: 44.0 m  
 S: 1.00  
 C: 0.8 cP  
 ST: HI LEVEL B  
 AG: 0.52 kW  
 VL: SINGLE MECHANICAL  
 Min. Flow: 570.1 cu. m/hr  
 NPSHR: 8.4 m

**Anexo 2: Curva característica de la bomba.**



Marley BEST™ Version 2.42  
Product Data: 26/07/2005

Optimization 1.opt  
Revised 04/04/2006 9:14:10 by Hugo Tribin

<b>Customer</b>	<b>Contact</b>
	Aservin S.A. Carrera 38 No. 78-25 www.aservin.com
	Hugo Tribin Tel 571-311-2799 Fax 571-314-3310

<b>Definition</b>			
Model (ID 5)	F455A-3.0-1	Fill	MC7S Log-3.0
Fan	216HP7-6	Eliminator	TU12C
Stack	216"x 7" Horiz Rib	Louver	No louvers
Speed Reducer	3000, 7.91:1	Spray System	18x6 Rotomold
Drive	250 Shaft	Nozzles	120 NS5A-120 per cell
Motor	1800 rpm, TEFC		20 NS6-160 per cell

<b>Dimensions</b>			
Tower Width	30.67 ft	Basin Width Min	33.50 ft
Tower Length	30.67 ft	Basin Length Min	36.00 ft
Tower Height (TOC)	30.09 ft	Basin Depth	4.00 ft
Fan Deck Height (TOC)	23.09 ft	Water Depth	3.00 ft
Static Lift (TOC)	11.04 ft	Curb Offset Min	3.00 ft
Pump Head (TOC)	14.92 ft	Plenum Height	5.69 ft
Air Inlet Elev. (TOC)	4.50 ft	Effective Air Inlet Ht.	5.50 ft
Closed Sides	1	Transverse Partitions	No
Closed Ends	0	Wind Walls	No

<b>Conditions</b>			
Tower Water Flow	5320.0 gpm	Altitude	5 ft
Hot Water Temperature	104.00 °F	Barometric Pressure	29.92 in Hg
Range	19.00 °F	Air Density In	0.07280 lb/ft³
Cold Water Temperature	86.00 °F	Air Density Out	0.06992 lb/ft³
Approach	8.60 °F	Humidity Ratio In	0.0202
Wet-Bulb Temperature	77.40 °F	Humidity Ratio Out	0.0372
Dry-Bulb Temperature	78.56 °F	Wet-Bulb Temp. Out	85.39 °F
Relative Humidity	95 %	Evaporation	74.0 gpm
Total Dissolved Solids	0 ppm	Drift	<0.0010 %
Site Factor	Performance Test		

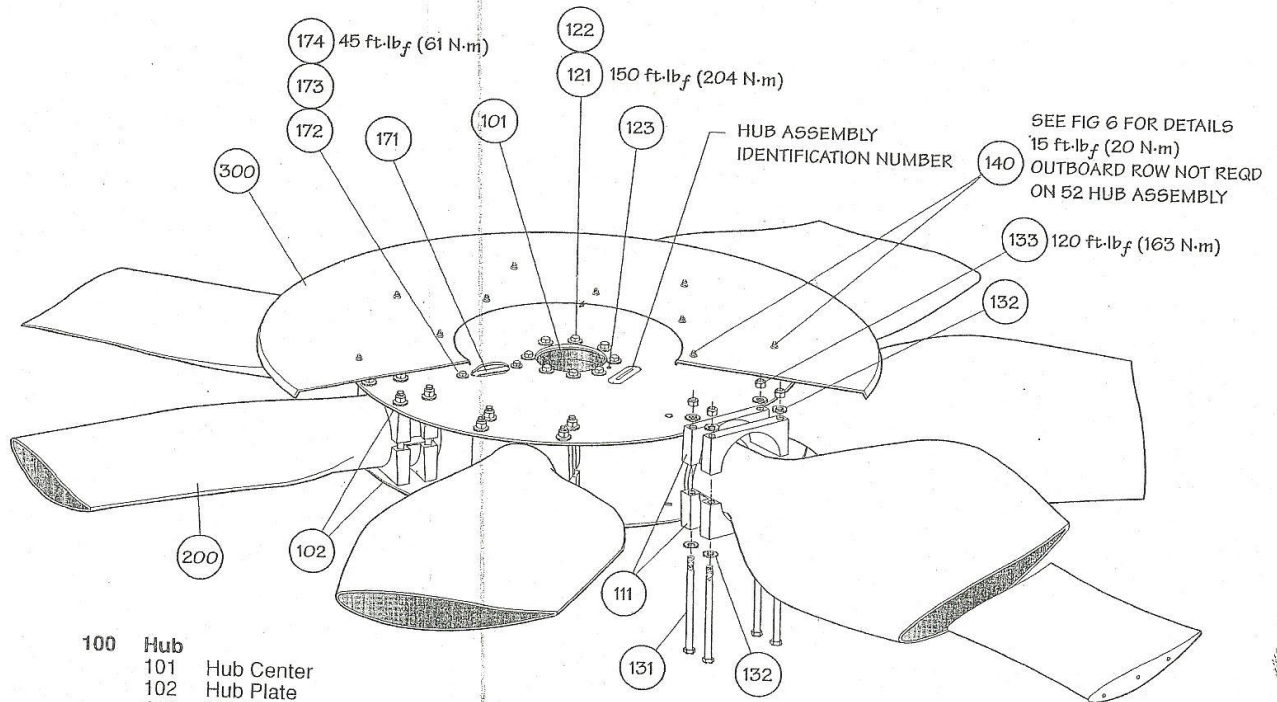
<b>Thermal Analysis</b>			
Fill Area	869.6 ft²	Water Rate	6.118 gpm/ft²
Fill Height	3.00 ft	Dry Air Rate	41.59 lb/min/ft²
KaV/L (CTI)	1.853	L/G	1.225

<b>Air Flow</b>			
Flow/Fan Tower Air Inlet	506800 cfm	External P.D. In	0.000 in H2O
Flow/Fan Discharge	536400 cfm	Entrance P.D.	0.038 in H2O
Inlet Velocity	1024 fpm	Louver P.D.	0.000 in H2O
Fill Velocity	600 fpm	Falling Water P.D.	0.039 in H2O
Eliminator Velocity	617 fpm	Fill P.D.	0.404 in H2O
Discharge Velocity	2179 fpm	Eliminator P.D.	0.660 in H2O
Air Inlet Pressure Ratio	0.88	Plenum P.D.	0.039 in H2O
Air Inlet Guide	No	Buoyancy P.D.	0.000 in H2O
Inlet P.D. Vel. Heads	0	External P.D. Out	0.000 in H2O
Outlet P.D. Vel. Heads	0	Static P.D.	0.540 in H2O
		Velocity P.D.	0.276 in H2O

<b>Fan Information</b>			
Fan Speed (100 %)	224 rpm	Fan Tip Speed	12670 fpm
Fan Power	95.76 Hp	Static Fan Efficiency	55.4 %
Motor Output	99.76 BHp	Total Fan Efficiency	80.8 %
Motor Capacity	100.00 BHp	Fan Pitch	16.0 °

Confidential: Public disclosure prohibited without prior written consent from Marley Cooling Technologies, Inc.  
Copyright © 2006 Marley Cooling Technologies, Inc.

## Fan Components



- 100 Hub
  - 101 Hub Center
  - 102 Hub Plate
- 110 Kit-Blade Clamp
  - 111 Blade Clamp
- 120 Kit-Center Hub Hardware
  - 121 Cap Screw 5/8"
  - 122 Flat Washer 5/8"
  - 123 Pin 1/2"
- 130 Kit-Blade Clamp Hardware
  - 131 Machine Bolt 3/4"
  - 132 Flat Washer 3/4"
  - 133 Locking Hex Nut 3/4" or Hex Nut 3/4" and Lock Washer 3/4"
  - 134 Thread Lubricant
- 140 Kit-Hub Cover Hardware
  - not required for 394" (10m) diameter fan
  - 141 Machine Bolt 3/8"
  - 142 Flat Washer 3/8"
  - 143 Lock Washer 3/8"
  - 144 Hex Nut 3/8"
  - 145 Locking Hex Nut 3/8"
  - 146 Spacer
- 150 Kit-Balance Hardware
- 160 Manual
- 170 Kit-Hub Brace
  - required for 76" and 86" Hub Assemblies
  - 171 Hub Brace
  - 172 Machine Bolt 1/2"
  - 173 Flat Washer 1/2"
  - 174 Locking Hex Nut 1/2"
- 200 Blade
- 300 Hub Cover
  - not required for 394" (10m) diameter fan

**Figure 1—Typical Fan Assembly**  
*actual component appearance may vary*

Marley Order No. 168792  
 Trial Pitch Angle \_\_\_\_\_  
 Final Pitch Angle 15.0°  
 Speed-rpm 185 RPM  
 Contract hp 150 HP



**Marley Cooling Tower  
TRACS Version 07.1**

Model B83635-5.0  
 Number of Cells  
 Motor Output  
 Motor RPM 11  
 Fan 264HP  
 Fan RPM  
 Fan RPM  
 (Full Speed)

Design Conditions:  
 Flow Rate 4;  
 Hot Water 37  
 Cold Water 30  
 Wet-Bulb 26

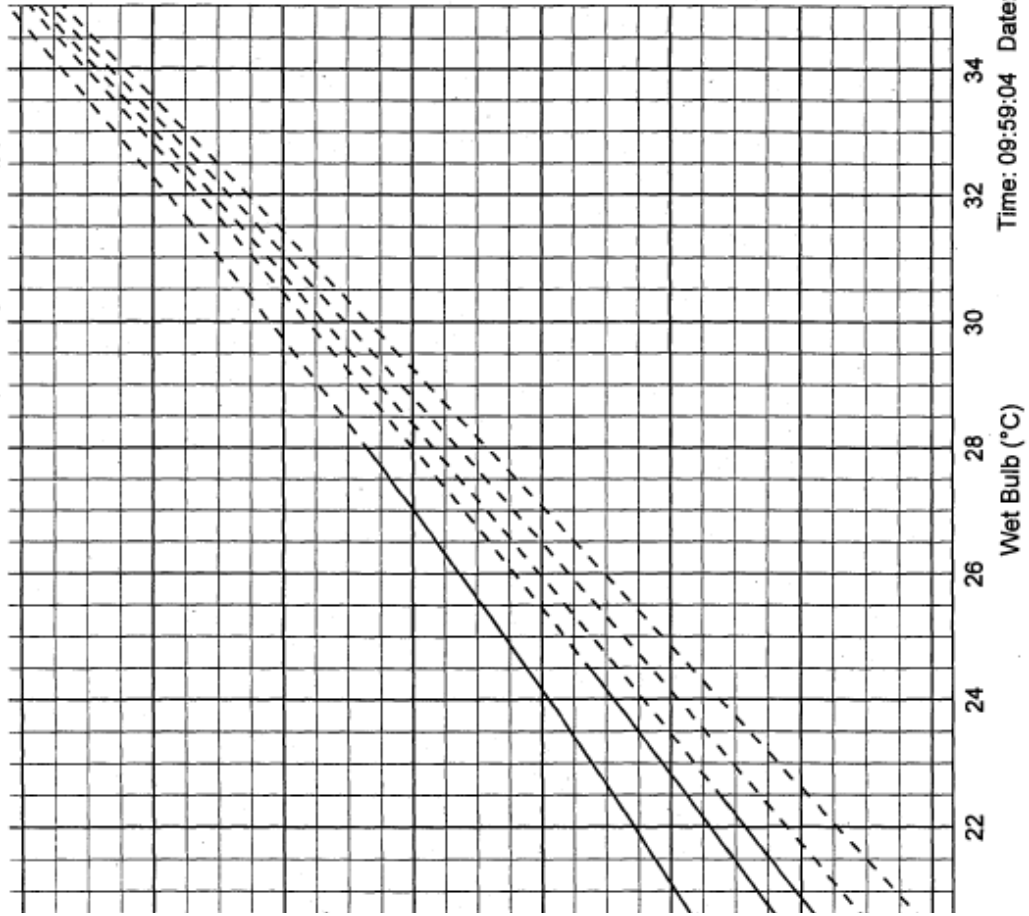
Curve Conditions:  
 Fan Pitch Cons  
 Flow Rate 31  
 ( 71.43% Design Flo

OO# 168792

# \* O ◇ □  
 15 °C Rai  
 9 °C Rai  
 7 °C Rai  
 5 °C Rai  
 3 °C Rai

CONFIDENTIAL: The contents of this document are confidential and constitute the exclusive property of the Marley Cooling Tower Company. This document and its contents may not be made public in any manner, distributed or loaned to others, or reproduced or copied either in whole or in part without the prior written consent of the Marley Cooling Tower Company. © 2000 All rights reserved under the copyright laws.

propileno Del Caribe S.A.  
 tagena, Colombia



Time: 09:59:04 Date: 07-27-2000 Drawn By: R

Anexo 5: Condiciones de la torre al 71.43% design flow.

Polipropileno Del Caribe S.A.  
Cartagena, Colombia

CONFIDENTIAL - The Contents of this document are confidential and constitute the exclusive property of the Marley Cooling Tower Company. This document and its contents may not be made public in any manner, distributed or loaned to others, or reproduced or copied either in whole or in part without the prior written consent of the Marley Cooling Tower Company.  
© 2000 All of the data in this block the Marley Cooling Tower Company unpublished. All rights reserved under the copyright laws.

Marley Cooling Tower  
TRACS Version 07:

Model B83635-5.  
Number of Cells  
Motor Output 1  
Motor RPM 264HF  
Fan RPM  
Fan RPM (Full Speed)

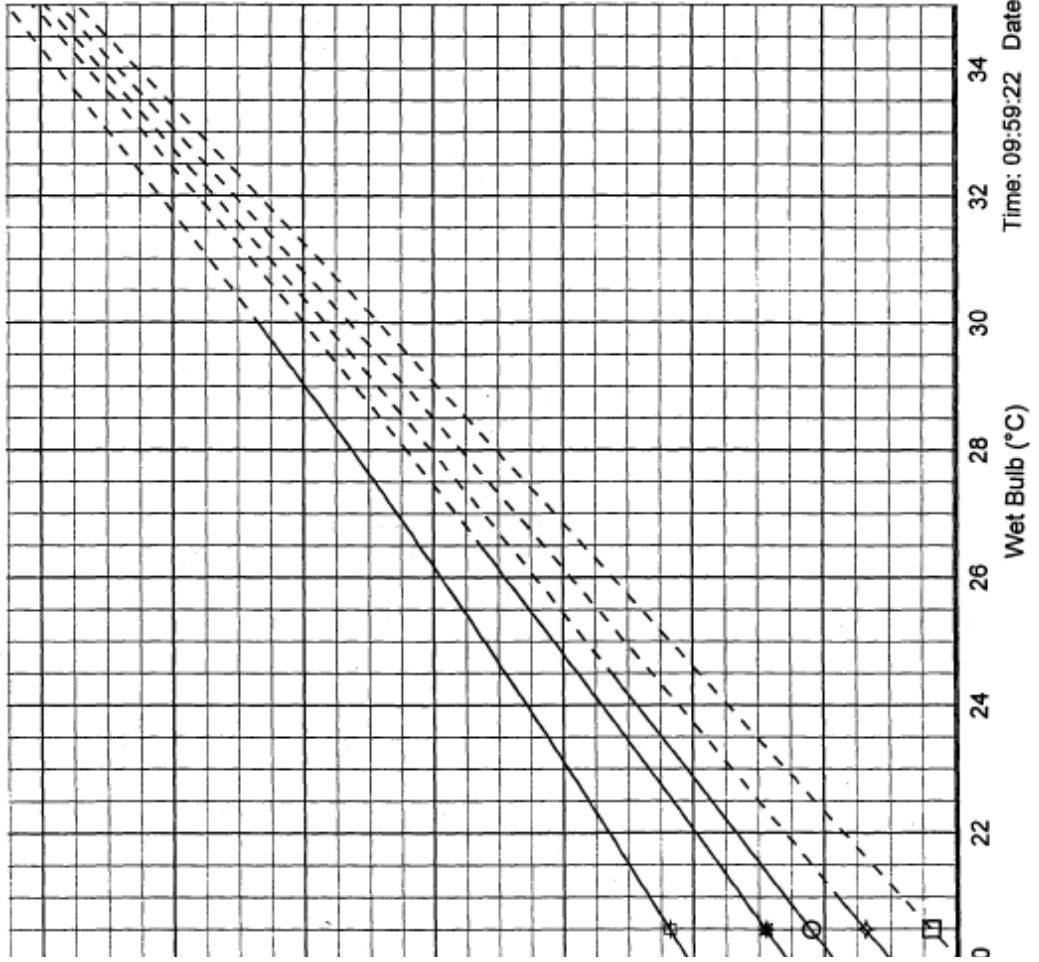
Design Conditions:  
Flow Rate 4  
Hot Water 3  
Cold Water 3  
Wet-Bulb 2

Curve Conditions:  
Fan Pitch Cons  
Flow Rate 3  
( 77.38% Design Flc

OO# 168792

15 °C Ra  
9 °C Ra  
7 °C Ra  
5 °C Ra  
3 °C Ra

⊕ \* ○ ◇ □



Anexo 6: Condiciones de la torre al 77.38% desing flow

Polipropileno Del Caribe S.A.  
Cartagena, Colombia

CONFIDENTIAL: The contents of this document are confidential and constitute the exclusive property of the Marley Cooling Tower Company. This document and its contents may not be made public in any manner, distributed or loaned to any person, or used in any way, without the prior written consent of the Marley Cooling Tower Company.  
© 2000. As of the date of this document, the Marley Cooling Tower Company is a registered trademark of the Marley Cooling Tower Company.  
Reproduced: - All rights reserved under the copyright laws.

Marley Cooling Tower  
TRACS Version 0

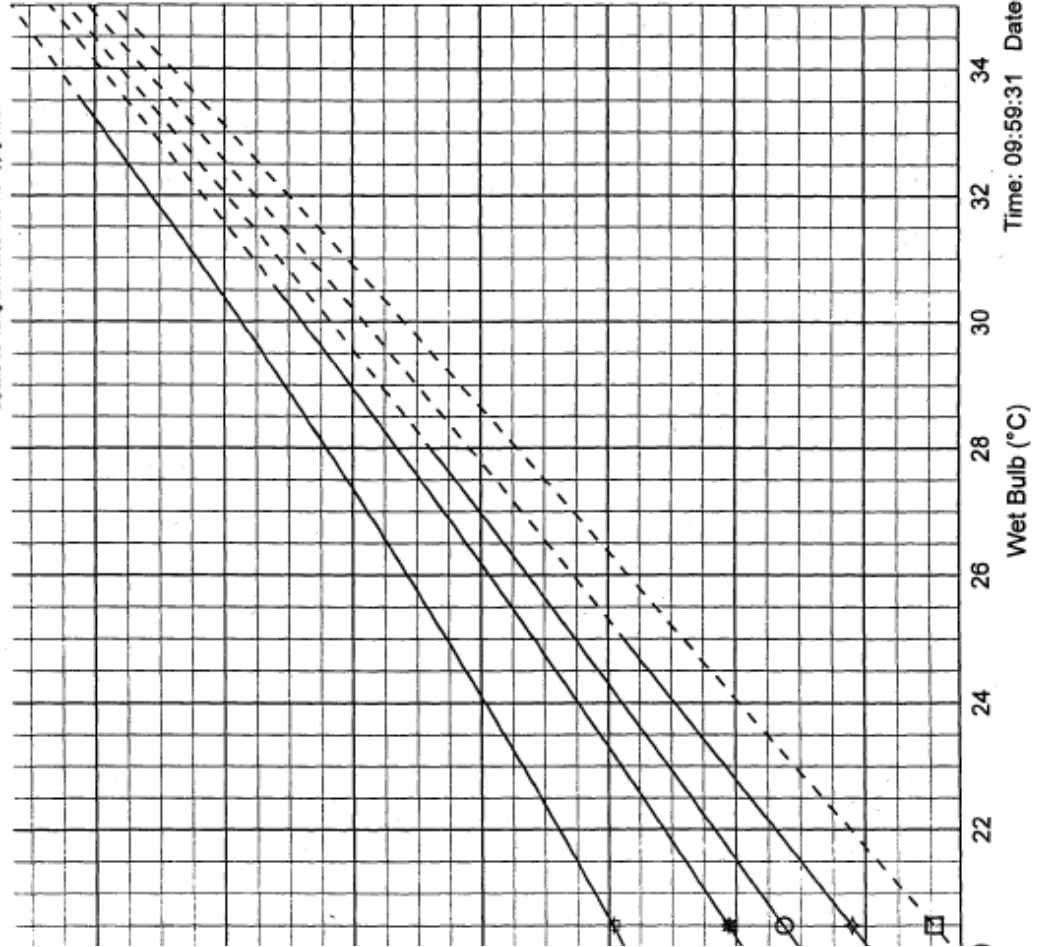
Model B83635-  
Number of Cells  
Motor Output  
Motor RPM 264  
Fan RPM  
Fan RPM  
(Full Speed)

Design Conditions:  
Flow Rate  
Hot Water  
Cold Water  
Wet-Bulb

Curve Conditions:  
Fan Pitch Co  
Flow Rate  
(90% Design Flow)  
OO# 168792

15 °C |  
9 °C |  
7 °C |  
5 °C |  
3 °C |

⊕ \* ○ ◇ □



Anexo 7: condiciones de la torre al 90% design flow

olipropileno Del Caribe S.A.  
 artagena, Colombia

CONFIDENTIAL: The Contents of this document are confidential and constitute the exclusive property of the Marley Cooling Tower Company. This document and its contents may not be made public in any manner, distributed or loaned to any person, or used in any way, without the prior written consent of the Marley Cooling Tower Company.  
 © 2000 All of the data in this block, the Marley Cooling Tower Company unpublished. All rights reserved under the copyright laws.

Marley Cooling Tower  
 TRACS Version 07.10

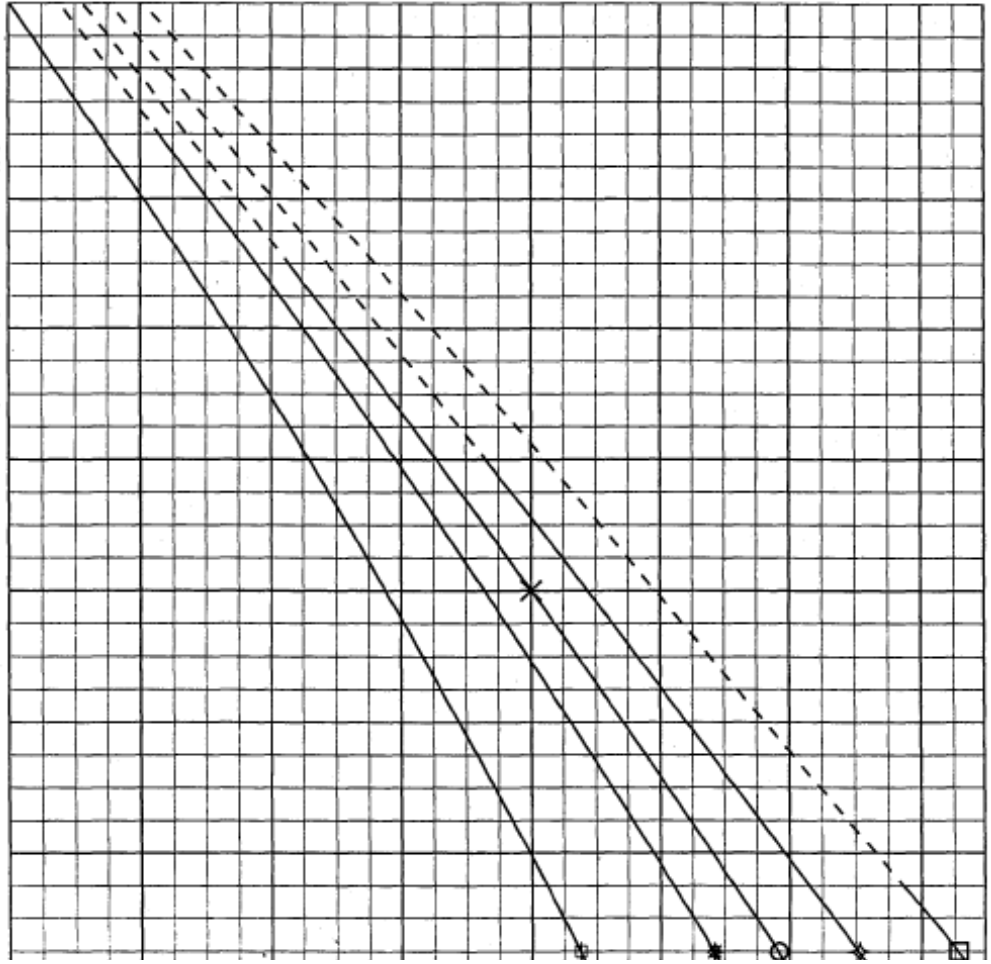
Model B83635-5.0-(  
 Number of Cells 1  
 Motor Output 18(  
 Motor RPM 264HP7  
 Fan RPM 11  
 (Full Speed)

Design Conditions:  
 Flow Rate 42(  
 Hot Water 37.0  
 Cold Water 30.0  
 Wet-Bulb 26.0

Curve Conditions:  
 Fan Pitch Consta  
 Flow Rate 42(  
 ( 100% Design Flow )

OO# 168792

15 °C Range  
 9 °C Range  
 7 °C Range  
 5 °C Range  
 3 °C Range  
 Design Poi



Anexo 8: Condiciones de la torre al 100% design flow.

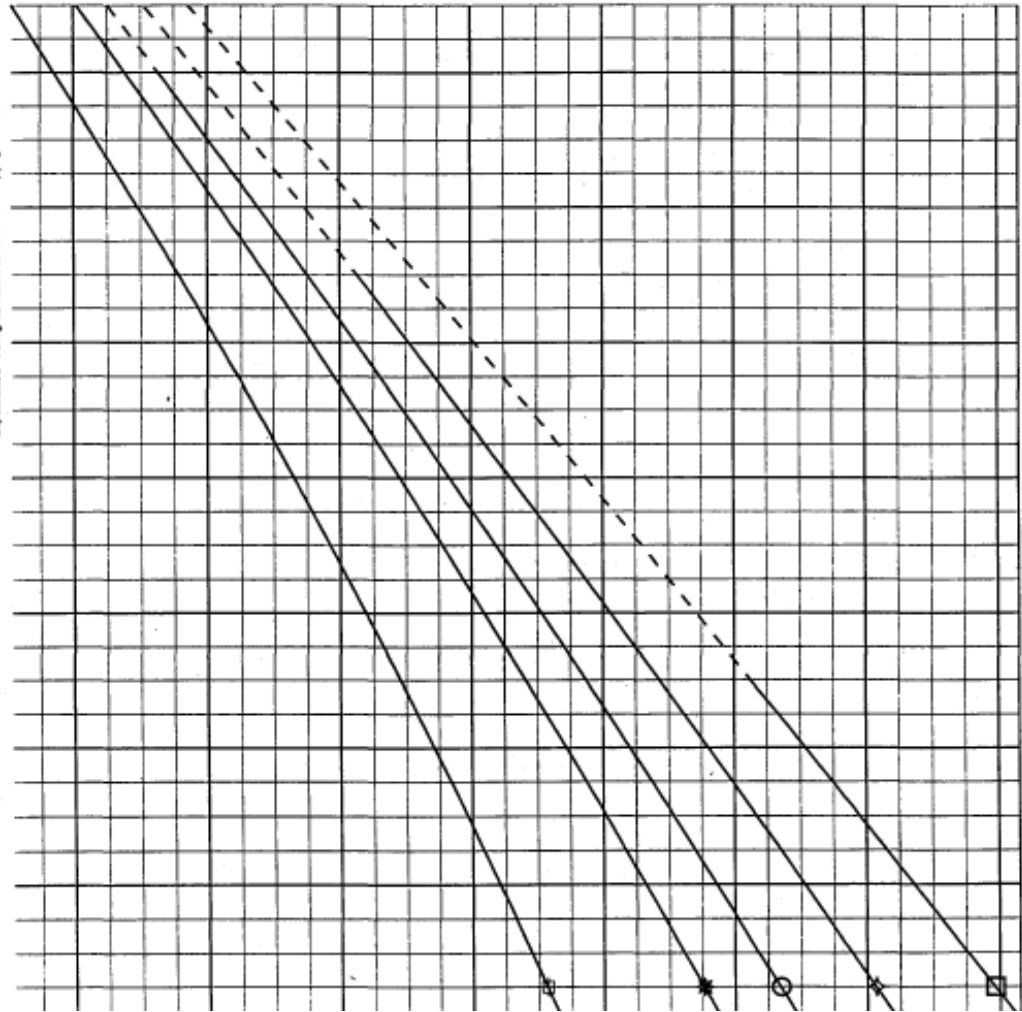
Polipropileno Del Caribe S.A.  
Cartagena, Colombia

Marley Cooling Tower  
TRACS Version C

Model B83635-  
Number of Cells  
Motor Output  
Motor RPM 264  
Fan RPM  
Fan RPM (Full Speed)  
Design Condition  
Flow Rate  
Hot Water  
Cold Water  
Wet-Bulb  
Curve Conditions  
Fan Pitch Cc  
Flow Rate  
Flow Rate (110% Design Flow)  
OO# 168792

⊕ 15 °C  
\* 9 °C  
○ 7 °C  
◇ 5 °C  
□ 3 °C

CONFIDENTIAL: The contents of this document are confidential and constitute the exclusive property of the Marley Cooling Tower Company. This document and its contents may not be made public in any manner, distributed or loaned to others, or reproduced or copied either in whole or in part without the prior written consent of the Marley Cooling Tower Company.  
© 2000 All rights reserved under the copyright laws.



Anexo 9: Condiciones de la torre al 110% design flow.

**SPECIFICATION FOR  
COOLING TOWER POLYPROPYLENE PLANT**

TON	94 E 010
ITEM	
REV:	00

**Appendix 1: Data Sheet**

Pos.	Rev.	Info.	Units		Vendor
1			Manufacturer		
2			Erection by		MANLEY
3			<b>Specified Design Conditions:</b>		
4		*	Circulating Water Flow	m <sup>3</sup> /h	4200
5		*	Hot water inlet temperature	°C	37
6		*	Cold water outlet temperature	°C	30
7		*	Design wet bulb temperature <sup>Inlet</sup>	°C	26
8			Minimum ambient dry bulb temperature	°C	20
9			Prevailing wind direction		NNE-NNW
10		*	Seismic load; ATC 3		Zone 1
11		*	Site elevation	m	Sea level
12		*	Design barometric pressure	mbar a	1 008
13		*	Snow load		NIL
14		*	Tower orientation		NIL
15		*	Drift loss of circulating water flow	%	< 0,05
16		*	Design wind velocity at 10 m	m/s	28
17		*	Tower type		induced draught
18		*	Quantity of cells	pieces	2
19		*	Basin depth below curb stone	mm	2400
20		*	Water level (normal)	mm	2000
21		*	Water level diff. norm / -max.	mm	300
22		*	Basin curb stone elevation above grade	mm	2400
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					

Remarks: \*) = Information shall be given or be confirmed by vendor.

**Anexo 10: specification cooling tower polypropilene plant.**



SPECIFICATION FOR COOLING TOWER POLYPROPYLENE PLANT		TON	94 E 010
		ITEM	
		REV:	00

Appendix 1: Data Sheet

Pos.	Rev.	Info.	Units	Vendor
1				
		<b>Engineering Data:</b>		
2	*	L/G Ratio		
3	*	Total wetted surface of fill	m <sup>2</sup>	1.5
4	*	Total air flow	m <sup>3</sup> /s	56564
5	*	Air flow per fan	m <sup>3</sup> /s	678
6	*	Air velocity at top of diffuser	m/s	339
7	*	Air temperature at top of diffuser	°C	7.4
8	*	Fill velocity	m/s	34.7
9	*	Design pressure drop (dynamical)	Pa	3.03
10	*	Design pressure drop (static)	Pa	.031
11	*	Rated power per fan incl. gear loss	kW	.195
12	*	Fan static efficiency	%	169
13	*	Fan total efficiency	%	51.5
14	*	Water load per square meter	kg/MIN/M <sup>2</sup>	71.7
15		Design evaporation loss of circulating water flow	%	316
16		Design evaporation loss	m <sup>3</sup> /h	1.2
17	*	Design drift loss of circulating water flow	%	50
18	*	Design drift loss	m <sup>3</sup> /h	< 0,05 005
19		Pump head at design flow rate	Ft.	21
20	*	Static pump head from basin curb stone	Ft.	44 28.43
21				20.17
		<b>Structure</b>		
22	*	Inside length • width (each cell)	m • m	
23	*	Inside basin length • width (each cell)	m • m	See
24	*	Overall tower length	m	Drawi
25	*	Overall tower width	m	
26	*	Overall tower height	m	
27	*	Height - basin curb stone to top	m	
28	*	Dry weight	kg	
29	*	Operating weight	kg	
30	*	Tower structure		concrete
31	*	Fan deck material		concrete
32	*	Design load / m <sup>2</sup> (live + snow, if applic.)	kg/m <sup>2</sup>	
33				
34				
35				

Remarks: \*) = Information shall be given or be confirmed by vendor.

Anexo 11: specification cooling tower polypropilene plant.

SPECIFICATION FOR  
COOLING TOWER POLYPROPYLENE PLANT

TON	94 E 010
ITEM	
REV:	00

Appendix 1: Data Sheet

Pos.	Rev.	Info.	Units		Ver
1					
2		<b>Mechanical Equipment:</b>			
3		<b>Fan driver:</b>			
4		Manufacturer			
5	*	Type		B 3	B3 4.
6		Voltage / Frequency (up to 200 kW)	V / Hz	480 / 60	4680/
7	*	Rated power	kW		111.
8		Type of construction		Two speed	2
9	*	Speed	rpm	900 / 1 800	18 / 9
10		Enclosure			
11		Insulation class			TEEC
12		Max. ambient temperature	°C		F
13		Quantity required	pieces	2	40 °C
14	*	Supplied by		Vendor	2
15		Auxiliaries			Marle
16					N/A
17					
18		<b>Fan Data:</b>			
19	*	Manufacturer			
20	*	Tip Speed	m/s		Marle
21	*	Type / Model No.			3897
22	*	Fans per cell		1	264HI
23	*	Quantity required, total	pieces	2	1
24	*	Diameter	mm		2
25	*	Quantity of blades / material	pieces		6705/
26		Hub type / material		GRP	7
27	*	Hub cover / material		Carbon Steel	Carbc Steel
28	*	Fan hardware material		Stainless Steel	GRP
29	*	Blades adjustable (in stand still)		to be provided	SS
30	*	Fan angle design	°		Yes
31	*	Fan angle max.	°		15
32	*	Air flow at max. angle (at design)	m³/s		N/A
33	*	Power consumption at max. angle (at design)	kW		4391/
34	*	Cold water temperature at max. angle	°C		111.0
35					N/A

Remarks: \*) = Information shall be given or be confirmed by vendor.

**Anexo 12: specification cooling tower polypropilene plant.**



PROFICCO		FF PROFICCO	03-2016-000
SPECIFICATION FOR COOLING TOWER POLYPROPYLENE PLANT			TON 94 E 010
			ITEM
			REV: 00

Appendix 1: Data Sheet

Pos.	Rev.	Info.	Units	Vendor
1		<b>Piping Data:</b>		
2	*	Quantity of hot water inlet nozzles	pieces	2
3	*	Supplied by		Vendor Marley
4	*	Size of hot water inlet nozzles DN / PN	mm / bar	1
5		Quantity of valves	pieces	0
6		Supplied by		Owner
7		Type of valves		Owner
8		Hot water distribution, Type		N/A
9	*	Piping supplied by		gravity low pres.
10	*	Material		Vendor Marley
11	*	Height inlet above basin curb stone (bottom or centerline of distr. tubes)	m	CS PVC 6.15 ( / )
12				
13		<b>Gear Drive Data:</b>		
14	*	Manufacturer		
15	*	Type / Model No.		Marley
16	*	Quantity	pieces	Series
17	*	Ratio		2
18	*	Number of reductions		9.62 /
19	*	A. G. M. A. Service Factor		2
20	*	Rated power	kW	2.6
21	*	Lubrication type		286
22	*	Output shaft diameter	mm	Splash
23	*	efficiency	%	105.4 96.4
24		<b>Drive Shaft Data:</b>		
25	*	Manufacturer		
26	*	Type / Model No.		Marley
27	*	Rated power	kW	Series
28	*	Material of construction - shaft		130
29	*	Material of construction - couplings		Stainless Steel SS
30	*	Quantity of coupling guards	pieces	H SS
31	*	Quantity of shaft guards	pieces	1
32	*	Quantity of intermediate bearings	pieces	2
33	*	Diameter of shaft	mm	0
34				1016
35				

Remarks: \*) = Information shall be given or be confirmed by vendor.

Anexo 13: specification cooling tower polypropilene plant.

PROPIECO		PP Propico	03-0018-000	1
SPECIFICATION FOR COOLING TOWER POLYPROPYLENE PLANT			TON	94 E 010
			ITEM	
			REV:	00

Appendix 1: Data Sheet

Pos.	Rev.	Info.	Units		Vendor
1		<b>Internals:</b>			
2		<b>Drift Eliminator Data:</b>			
3	*	Materials of construction			
4	*	Type		PVC	PVC
5	*	Support materials			Cellulose
6	*	Support centres			Concrete
7	*	Number of passes	mm		1829
8					3
9		<b>Fill Data:</b>			
10	*	Materials of construction			
11	*	Type		PVC	PVC
12	*	Total volume		Film	Film
13	*	Surface per volume	m <sup>3</sup>		275
14	*	Spacing of foils			46.7
15	*	Support materials	mm		191
16	*	Support centres			Concrete
17		<b>Fan Stack Data:</b>			6'
18		Materials of construction			
19	*	1. Stack			
20	*	2. Connectors		Concrete	GRP
21	*	3. Spiders			SS
22	*	Type (conical / cylindrical)			N/A
23	*	Height			Reflex
24	*	Inlet throat diameter	mm		36576
25	*	Outlet throat diameter	mm		67,691
26			mm		76,200
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					

Remarks: \*) = Information shall be given or be confirmed by vendor.

Anexo 14: specification cooling tower polypropilene plant.



**SPECIFICATION FOR  
COOLING TOWER POLYPROPYLENE PLANT**

TON	94 E 010
ITEM	
REV:	00

**Appendix 1: Data Sheet**

Pos.	Rev.	Info.	Units		Vendo
1					
2		*			
3		*			
4					
5					
6		*			
7		*			
8		*			
9					
10					
11					
12		*			
13		*			
14		*			
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

Remarks: \*) = Information shall be given or be confirmed by vendor.

**Anexo 15: specification cooling tower polypropilene plant.**

**SPECIFICATION FOR  
COOLING TOWER POLYPROPYLENE PLANT**

TON	94 E 010
ITEM	
REV:	00

**Appendix 1: Data Sheet**

Pos.	Rev.	Info.	Units	Vendor
1		<b>Materials Summary:</b>		
2		<b>Component:</b>		
3		* Tower structure		
4		* Wood treatment	concrete	concret
5		* Fill	Not applicable	N/A
6		* Fill supports	PVC	PVC
7		* Drift eliminators	concrete	Concret
8		* Fan deck	PVC	pvc
9		* Drift eliminator supports	concrete	concret
10		* Hot water receiver	PVC	PVC
11		* Hot water piping	concrete	RTR
12		* Hot water spray nozzles	CS	pvc
13		* Mechanical supports	plastic	Plastic
14		* Fan blades	HDGS	HDG/Ste
15		* Fan hubs	GRP	GRP
16		* Drive shafts	coated steel	Coated Steel
17		* Fan stacks	Stainless Steel	SS
18		* Outside casing	concrete	GRP
19		* Anchor casing	concrete	Concret
20		* Anchor bolts	concrete	Concret
21		* Partition walls	HDGS	N/A
22		* Air inlet louvers	concrete	Concret
23		* Stairway	concrete	N/A
24		* Ladders	concrete	Concret
25		* Bolts / Nuts / Washers	HDGS	HDG/Ste
26		* Connectors (structural)	HDGS	SS
27		* Nails	Stainless Steel	N/A
28		* Misc. Hardware		SS
29		Cold water basin	Concrete	Concret
30				
31				
32				
33				
34				
35				
35				

Remarks: \*) = Information shall be given or be confirmed by vendor.

**Table 1 Typical Inspection and Maintenance Schedule\***

	Fan	Motor	Gear Reducer	Drive Shaft	V-Belt Drives	Fan Shaft Bearings	Drift Eliminators	Fill	Cold Water Basin	Distribution System	Structural Members	Casing	Float Valve	Bleed Rate	Flow Control Valves	Suction Screen
1. Inspect for clogging							W	W		W						W
2. Check for unusual noise or vibration	D	D	D	D							Y					
3. Inspect keys and set screws		S	S	S	S	S										
4. Lubricate		Q				Q									S	
5. Check oil seals			S													
6. Check oil level			W													
7. Check oil for water and dirt			M													
8. Change oil (at least)			S													
9. Adjust tension					M											
10. Check water level									W	W						
11. Check flow rate														M		
12. Check for leakage									S	S			S			
13. Inspect general condition				S	M		Y	Y	Y		S	Y	Y		S	
14. Tighten loose bolts	S	S	S	S		S					Y	R				
15. Clean	R	S	R	R			R	R	S	R			R		R	W
16. Repaint	R	R	R	R					R		R	R				
17. Completely open and close															S	
18. Make sure vents are open			M													

D—daily; W—weekly; M—monthly; Q—quarterly; S—semiannually; Y—yearly; R—as required.

\*More frequent inspections and maintenance may be desirable.