

01178

3
2 y

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

METODOLOGIA DE ANALISIS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO PARA EL AHORRO DE ENERGIA EN PLANTAS TERMOELECTRICAS

T E S I S

que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA
(ENERGETICA)

presenta

ARTURO FLORENTINO MONEDERO DE LA VEGA

Director : ING. JULIO MILAN FORESSI

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO D.F., CIUDAD UNIVERSITARIA

1991



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

| | Página |
|--|--------|
| INTRODUCCION | ... 1 |
| | |
| CAPITULO I EL SECTOR ELECTRICO NACIONAL | |
| 1.1 Descripción General | ... 7 |
| | |
| CAPITULO II ESTRUCTURA DE GENERACION DEL SECTOR ELECTRICO NACIONAL | |
| 2.1 Magnitud de la generación de electricidad | ... 11 |
| 2.2 Tamaño del sistema de generación por tipo de planta | ... 13 |
| 2.3 Edad del sistema de generación | ... 15 |
| 2.4 Importancia de las centrales termoeléctricas en el ahorro de energía en el sector eléctrico nacional | ... 17 |
| | |
| CAPITULO III CENTRALES TERMOELECTRICAS | |
| 3.1 Descripción general | ... 19 |
| 3.2 Eficiencia de las transformaciones de energía | ... 21 |
| 3.3 Ciclos de vapor | ... 22 |
| 3.3.1 Ciclo Rankine sencillo | ... 25 |
| 3.3.2 Ciclo Rankine con sobrecalentamiento | ... 28 |
| 3.3.3 Ciclo Rankine con sobrecalentamiento y recalentamiento | ... 30 |
| 3.3.4 Ciclo Rankine regenerativo con sobrecalentamiento y recalentamiento | ... 32 |
| 3.4 Consumo Térmico Unitario de centrales termoeléctricas | ... 35 |
| 3.5 Impacto del sistema de enfriamiento en la eficiencia de las centrales termoeléctricas | ... 36 |
| | |
| CAPITULO IV SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO | |
| 4.1 Función del sistema de enfriamiento | ... 39 |
| 4.2 Tipos de sistemas de enfriamiento | ... 40 |
| 4.2.1 Sistemas secos | ... 40 |
| 4.2.2 Sistemas evaporativos | ... 41 |
| 4.3 Sistemas de enfriamiento evaporativos en centrales termoeléctricas | ... 44 |
| 4.3.1 Descripción de componentes principales | ... 46 |
| 4.3.2 Descripción operativa | ... 49 |

CAPITULO V TORRES DE ENFRIAMIENTO

| | | |
|---|-----|----|
| 5.1 Tipos de torres de enfriamiento | ... | 53 |
| 5.2 Torres húmedas con relleno, tiro inducido y corriente cruzada | ... | 55 |
| 5.2.1 Elementos de torres de enfriamiento | ... | 58 |
| 5.3 Principios de operación de torres de enfriamiento | ... | 64 |
| 5.4 Evaluación de la ecuación de Merkel | ... | 70 |
| 5.4.1 Método numérico | ... | 70 |
| 5.4.2 Método gráfico | ... | 74 |

CAPITULO VI PROCEDIMIENTO DE DIAGNOSTICO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

| | | |
|--|-----|-----|
| 6.1 Aspectos generales sobre operación y diagnóstico de torres de enfriamiento | ... | 78 |
| 6.2 Procedimiento de diagnóstico utilizado | ... | 82 |
| 6.2.1 Condiciones del equipo | ... | 82 |
| 6.2.2 Condiciones de prueba y mediciones | ... | 83 |
| 6.3 Cálculo de la capacidad de una torre de enfriamiento | ... | 87 |
| 6.3.1 Método de curvas características | ... | 87 |
| 6.3.2 Método de las curvas de comportamiento | ... | 92 |
| 6.3.3 Ejemplo de aplicación | ... | 100 |
| 6.3.4 Relaciones causa-efecto en torres de enfriamiento | ... | 116 |
| 6.4 Curva de comportamiento real de una torre de enfriamiento | ... | 117 |

CAPITULO VII ESTIMACION DEL POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO MEDIANTE EL ANALISIS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

| | | |
|---|-----|-----|
| 7.1 Procedimiento general | ... | 121 |
| 7.2 Consumo Térmico Unitario para diferentes presiones en el condensador | ... | 124 |
| 7.3 Evaluación de la carga térmica a capacidad nominal y diferentes presiones en el condensador | ... | 127 |
| 7.4 Cálculo de la temperatura requerida a la entrada del condensador (TAFC) | ... | 127 |
| 7.5 Cálculo de la temperatura de agua fría que proporciona la torre de enfriamiento (TAFT) | ... | 129 |
| 7.6 Evaluación de la carga térmica a la máxima presión permisible en el condensador | ... | 130 |
| 7.7 Cálculo de la energía consumida por la unidad | ... | 130 |
| 7.8 Potencial de ahorro energético | ... | 132 |

CAPITULO VIII ESTUDIO DE CASO : UNIDAD 2 DE LA CENTRAL TERMoeLECTRICA ALTAMIRA

| | |
|---|---------|
| 8.1 Descripción de la unidad | ... 134 |
| 8.2 Descripción del problema | ... 134 |
| 8.3 Actividades realizadas | ... 135 |
| 8.4 Preparación de pruebas | ... 136 |
| 8.5 Resultados obtenidos | ... 141 |
| 8.5.1 Medición de flujo de agua | ... 141 |
| 8.5.2 Medición de flujo de aire | ... 145 |
| 8.5.3 Relación L/G | ... 153 |
| 8.6 Pruebas de comportamiento térmico de la torre de enfriamiento | ... 153 |
| 8.7 Capacidad de la torre de enfriamiento | ... 155 |
| 8.8 Curva real de comportamiento de la torre de enfriamiento | ... 156 |
| 8.9 Potencial de ahorro energético | ... 159 |
| 8.10 Definición de alternativas para mejorar el comportamiento de la torre de enfriamiento | ... 183 |
| 8.11 Potencial de ahorro energético a nivel nacional | ... 184 |

CONCLUSIONES ... 187

REFERENCIAS ... 190

ANEXO A *Presiones en el condensador para condición de diseño de la torre*

ANEXO B *Presiones en el condensador para condición actual de la torre*

ANEXO C *Generación derrateada al año para el estado actual de la torre*

ANEXO D *Potencial de ahorro energético anual (sustituyendo la generación derrateada)*

ANEXO E *Potencial de ahorro energético anual (sin sustituir la generación derrateada)*

ANEXO F *Vocabulario y definiciones de torres de enfriamiento*

INTRODUCCION

A nivel mundial el interés por el ahorro y uso eficiente de la energía tiene su origen en los fuertes aumentos de los precios del petróleo a partir del conflicto armado del Medio Oriente de los años 1973-1974, y sobre todo al subsecuente incremento de 1978-1979, como resultado de los problemas en Iran.

Estas crisis petroleras hicieron cobrar conciencia que lo que se había manejado como flujos de energéticos prácticamente inagotables no era una aseveración certera, y cuyo agotamiento podría iniciarse, por lo menos para el petróleo, en lo que resta del presente siglo y culminar en la primera mitad del próximo.

En México, entre 1960 y 1980 se impulsó fuertemente al sector eléctrico incrementándose la capacidad instalada en más de 300%. Por diversas razones este crecimiento estuvo basado en el uso de centrales termoelectricas (45.1% de la generación total), cuya eficiencia global final en 1982 fue del orden del 30% contrastando con el 34% que se maneja de manera internacional.

En el año de 1979 la Comisión Federal de Electricidad (CFE) estableció el Programa Nacional de Uso Racional de Energía Eléctrica (PRONUREE), que en una primera fase se enfocó al sector consumidor sin realizar actividades hacia el interior de la propia CFE. Actualmente se encuentra en vigencia el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE).

Con la aparición del Programa de Energéticos 1984-1988 se vuelve obligatorio para la CFE la implantación y operación de un programa de uso eficiente de la energía en dos áreas: externa, mediante la difusión de técnicas y medidas de uso eficiente hacia los usuarios, eliminación de subsidios y el estudio del marco legal del sector eléctrico; e interna, mediante la reducción de los

consumos propios en sus centrales y la diversificación de fuentes de suministro.

Posteriormente, mediante Acuerdo Presidencial del 26 de septiembre de 1989, se crea la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía que funge como órgano técnico de consulta de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, de los gobiernos estatales y municipales y de los particulares en materia de ahorro y uso eficiente de la energía.

En el Programa Nacional de Modernización Energética 1990-1994, el ahorro y uso eficiente de la energía se señala como una de las cinco prioridades del programa y establece que las empresas paraestatales serán vanguardia en el esfuerzo nacional.

Parte de las acciones tomadas por la CFE para cumplir con los Programas de Energéticos ha sido incrementar la eficiencia en las plantas generadoras, particularmente de las centrales termoelectricas por su importante participación en el sistema eléctrico nacional. Alcanzando en 1989, una eficiencia de 33.4% .

Si bien la eficiencia de estas centrales se ve afectada por el comportamiento de cualquier equipo o sistema involucrado en el ciclo termodinámico, el sistema de enfriamiento juega un papel de suma importancia, ya que, basicamente, la eficiencia teórica del ciclo depende de dos fuentes: la fuente caliente (sistema de generación de vapor) y la fuente fría (sistema de rechazo de calor); Cualquier cambio que sufran estas fuentes se reflejará directamente en la eficiencia y por lo tanto en un mayor o menor consumo de energía primaria.

En la práctica, estas fuentes reciben, por diversas razones, diferente atención: mientras que buena parte del personal de operación esta pendiente del funcionamiento del generador de vapor, casi nadie toma en cuenta la fuente fría.

La poca atención que se le presta al sistema de rechazo de calor, y en particular a las torres de enfriamiento, se debe a múltiples

causas, como la relativa lejanía de estos equipos con respecto a los demás, la sencillez de sus diseños y nobleza de los mismos, así como la inexistencia de una metodología simple para el análisis de la operación de torres y su impacto en el consumo térmico unitario (CTU); si bien existen métodos para evaluar la capacidad de las torres, éstos se utilizan con fines de aceptación del equipo, durante la construcción de las centrales y casi no se utilizan durante su operación comercial.

El presente estudio se realizó con el fin de destacar y cuantificar el impacto del sistema de enfriamiento en el consumo de energía de la central, atendiendo las causas anteriores.

Sus objetivos fueron desarrollar una metodología de análisis de torres de enfriamiento, evaluar el su comportamiento de las torres y cuantificar el potencial de ahorro de energía, así como demostrar su validez aplicándola a una central termoeléctrica en operación.

Se Parte de la estructura general del Sistema Eléctrico Nacional para destacar la participación de las centrales termoeléctricas en la capacidad instalada total.

Luego se revisaron los ciclos de vapor con el objeto de destacar el impacto del sistema de enfriamiento en la eficiencia de los mismos, y por ende, de toda la central. Posteriormente, se realiza una descripción de los sistemas de enfriamiento usados en centrales termoeléctricas para enseguida analizar exhaustivamente la teoría, el diseño y la operación de las torres de enfriamiento húmedas con relleno, tiro inducido y flujo cruzado, ampliamente usadas en nuestro país.

En el capítulo 6 se presenta el procedimiento de diagnóstico de torres de enfriamiento y en el 7 se describe la metodología para estimar el potencial de ahorro de energía que se puede lograr en una central al mejorar el funcionamiento de las torres de enfriamiento.

Por último en el capítulo 8 se lleva a cabo la aplicación del procedimiento de diagnóstico y metodología de estimación de ahorro energético en un caso específico, la unidad 2 de la central termoeléctrica de Altamira.

No obstante su origen específico, la metodología desarrollada puede extrapolarse a cualquier planta térmica, tomando en cuenta sus particularidades, esto es: el arreglo físico de los sistemas, el tipo de operación de la central, los costos asociados a la generación y otros.

CAPITULO I

EL SECTOR ELECTRICO NACIONAL

1.1 DESCRIPCION GENERAL

La magnitud del sector eléctrico se encuentra determinada por la capacidad instalada para la generación de electricidad y por el total del número de kilómetros de líneas de transmisión existentes.

El sector eléctrico se encuentra conformado por sistemas interconectados, que están formados por plantas generadoras y enlazadas entre sí mediante líneas de transmisión y subestaciones permitiendo el transporte y manejo de grandes bloques de energía. Facilitando así el servicio a los centros de consumo.

Actualmente se tienen 5 regiones hidroeléctricas, 5 regiones termoeléctricas y 2 divisiones teniendo una participación en la generación del país de 41.1%, 50.7% y 8% respectivamente.

El país se divide en 104 zonas y 14 sistemas aislados, las zonas a su vez se agrupan en áreas o en sistemas. Por otro lado, únicamente para las áreas occidental y oriental se tiene el concepto de región.

Con el propósito de ilustrar la distribución geográfica del sistema de generación, los datos inherentes a estos aspectos se presentan en la tabla 1.1.

T A B L A 1.1

CENTRALES GENERADORAS POR : REGION, TIPO Y
CAPACIDAD REAL INSTALADA EN 1988 Y 1989.

| | CAPACIDAD (MW) | | PARTICIPACION (%) |
|---------------------------------|----------------|---------------|-------------------|
| | <u>1988</u> | <u>1989</u> | <u>1989</u> |
| SECTOR ELECTRICO NACIONAL a) b) | <u>23,954</u> | <u>24,445</u> | <u>100.0</u> |
| TOTAL REGIONES | 21,985 | 22,434 | 91.8 |
| REGIONES HIDROELECTRICAS | <u>9,705</u> | <u>10,038</u> | <u>41.1</u> |
| Región Yaqui-Mayo | 419 | 419 | 1.7 |
| Región Balsas Santiago | 3,225 | 3,604 | 14.8 |
| Región Ixtapantongo | 1,614 | 1,598 | 6.5 |
| Región Papaloapan | 485 | 485 | 2.0 |
| Región Grijalva | 3,932 | 3,932 | 16.1 |
| REGIONES TERMOELECTRICAS | <u>12,280</u> | <u>12,396</u> | <u>50.7</u> |
| Región Pacífico-Norte | 1,854 | 1,998 | 8.2 |
| Región Centro-Norte | 1,384 | 1,389 | 5.7 |
| Región Noroeste | 2,870 | 2,843 | 11.6 |
| Región Central | 4,917 | 4,911 | 20.1 |
| Región Golfo | 1,255 | 1,255 | 5.1 |
| DIVISIONES | <u>1,925</u> | <u>1,965</u> | <u>8.0</u> |
| División Baja California | 1,297 | 1,325 | 5.4 |
| División Peninsular | 628 | 640 | 2.6 |

a) Para 1988 incluye 44 MW en unidades móviles de emergencia.

b) Para 1989 incluye 46 MW en unidades móviles de emergencia.

FUENTE : CFE, INFORME DE OPERACION DE 1989, PAG 10.

Cabe destacar que en términos generales, la capacidad instalada de generación hidroeléctrica se localiza en el sur del país, mientras que la termoeléctrica se ubica en la zona central y norte.

Como se observa en la tabla, dentro del tipo de generación hidroeléctrica, la región de mayor capacidad de generación es la del Grijalva, con una capacidad instalada de 3,932 MW, cifra que representa el 16.1% del total nacional.

Por otra parte, la región de mayor capacidad instalada del tipo termoeléctrico es la central, con un total de 4,911 MW, cifra que representa el 20.1 % de la capacidad instalada nacional.

CAPITULO II

**ESTRUCTURA DE GENERACION
DEL SECTOR ELECTRICO NACIONAL**

2.1 MAGNITUD DE LA GENERACION DE ELECTRICIDAD

El crecimiento de la generación de electricidad en México ha sido notable en la última década, al pasar de 61,868 GWH en 1980 a 110,103 GWH en 1989. En la tabla 2.1 se presenta el origen y los montos de la energía eléctrica generada de 1980 a 1989.

T A B L A 2.1

EVOLUCION DE LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA 1980 - 1989

| <u>Años</u> | <u>Tipo de Plantas</u> | | <u>Total</u> (GWH) |
|-------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------|
| | <u>Hidráulica</u> (GWH) | <u>Térmica</u> (GWH) | |
| 1980 | 16,740 | 45,128 | 61,868 |
| 1981 | 24,446 | 43,433 | 67,879 |
| 1982 | 22,729 | 50,496 | 73,225 |
| 1983 | 20,583 | 54,248 | 74,831 |
| 1984 | 23,448 | 56,059 | 79,507 |
| 1985 | 26,087 | 59,265 | 85,352 |
| 1986 | 19,876 | 69,507 | 89,383 |
| 1987 | 18,200 | 78,110 | 96,310 |
| 1988 | 20,778 | 81,127 | 101,905 |
| 1989 | 24,200 | 85,903* | 110,103 |

*Incluye 372 GWh de la Central Nucleoelectrica Laguna Verde

FUENTE : CFE, INFORME DE OPERACION DE 1989, PAG 7.

En forma complementaria se incluyen en la tabla 2.2 los datos de generación de 1988 y 1989, clasificados de acuerdo con los diferentes sistemas que se encuentran operando.

T A B L A 2.2

GENERACION BRUTA
1988 - 1989
(GWH)

| | <u>1989</u> | <u>1988</u> |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| Sector Eléctrico Nacional | 110,103 | 101,905 |
| Sistema Eléctrico Nacional | 108,930 | 101,187 |
| Sistema Interconectado Nacional | 100,752 | 93,347 |
| Sistema Interconectado Norte | 35,606 | 34,257 |
| Sistema Interconectado Sur | 65,146 | 59,090 |
| Baja California | 5,781 | 5,655 |
| Peninsular | 2,397 | 2,185 |
| Centrales aisladas | 781 | 718 |

FUENTE : CFE, INFORME DE OPERACION DE 1989, PAG 8.

2.2 TAMAÑO DEL SISTEMA DE GENERACION POR TIPO DE PLANTA

Desde 1971, la capacidad de generación está dominada por la participación mayoritaria de las centrales termoeléctricas, que en 1980 llegó a representar el 72.9 %. En la tabla 2.3 se observa la evolución de la capacidad instalada desde 1980.

T A B L A 2.3

EVOLUCION DE LA CAPACIDAD INSTALADA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA : 1980-1986

| <u>Año</u> | <u>Tipo de Planta</u> | | <u>Total</u> (MW) |
|------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| | <u>Hidráulica</u> (MW) | <u>Térmica</u> (MW) | |
| 1980 | 4,541 | 10,080 | 14,625 |
| 1981 | 4,723 | 12,673 | 17,396 |
| 1982 | 6,550 | 11,840 | 18,390 |
| 1983 | 6,532 | 12,472 | 19,004 |
| 1984 | 6,532 | 12,828 | 19,360 |
| 1985 | 6,532 | 14,275 | 20,807 |
| 1986 | 6,532 | 14,734 | 21,266 |
| 1987 | 7,546 | 15,599 | 23,145 |
| 1988 | 7,749 | 16,205 | 23,954 |
| 1989 | 7,761 | 16,684 | 24,445 |

FUENTE : CFE, INFORME DE OPERACION DE 1989, PAG 6.

Para los años de 1988 y 1989, el porcentaje de participación de las centrales termoeléctricas se mantuvo prácticamente estable, ya que en 1988 representaba el 67.7 % y en 1989 el 68.2 % de la capacidad instalada total; por su parte las centrales hidroeléctricas aportaron un 32.3 % en 1988 y 31.7 % en 1989. En la tabla 2.4 se detalla más para los años de 1988 y 1989.

T A B L A 2.4

POTENCIA REAL INSTALADA EN 1988 Y 1989

| | <u>1989</u> | | <u>1988</u> | |
|--------------------|-------------|-------|-------------|-------|
| | (MW) | (%) | (MW) | (%) |
| Hidroeléctrica | 7,761 | 31.7 | 7,749 | 32.3 |
| Térmica | 16,684 | 68.3 | 16,205 | 67.7 |
| Termoeléctrica | 11,300 | 46.2 | 10,800 | 66.6 |
| Ciclo combinado | 1,618 | 6.6 | 1,624 | 10.0 |
| Turbogas | 1,779 | 7.3 | 1,792 | 11.0 |
| Combustión interna | 87 | 0.4 | 89 | 0.5 |
| Geotermoeléctrica | 700 | 2.9 | 700 | 4.2 |
| Carboeléctrica | 1,200 | 4.9 | 1,200 | 7.7 |
| T O T A L | 24,445 | 100.0 | 23,954 | 100.0 |

FUENTE : CFE, INFORME DE OPERACION DE 1989, PAG 6.

Aunque en la tabla anterior no se menciona, hacia principios de 1990, se integró al sistema eléctrico nacional la primera unidad de la central nuclear de Laguna Verde, que consta de dos unidades, cada una con capacidad de 654 MW netos. Se espera que la segunda unidad entre en operación en 1993.

2.3 EDAD DEL SISTEMA DE GENERACION

Mediante el proceso de nacionalización de la industria eléctrica, se heredaron centrales generadoras con una antigüedad que se remonta a 1898, la mayoría de ellas del tipo hidroeléctrico.

En términos generales, se observa que el 57 % de la capacidad instalada actual se construyó a partir de 1971. Si se considera una vida media de 30 años, se puede afirmar que se encuentran a la mitad de su vida útil. Un 28 % de las plantas se construyó entre 1961 y 1970, el restante 15 % de las plantas se construyó entre 1898 y 1960.

Por el tipo de generación se observan las siguientes tendencias en la construcción de las centrales:

Las centrales geotérmicas son de reciente construcción, ya que el 74 % de la capacidad instalada se construyó a partir de 1981. El restante 26 % se instaló entre 1971 y 1980.

Las centrales hidroeléctricas son las más antiguas, la primera de ellas (Portezuelo I) se construyó en 1898. El 19 % de la capacidad instalada actual fue construida entre 1898 y 1960; después de este año y hasta 1970, se observó un ritmo acelerado en su construcción. En ese periodo se construyó el 42 % de la actual capacidad instalada. Desde 1971, ha disminuido el ritmo de construcción de estas centrales, al construirse solamente un 39 % de la actual capacidad instalada.

La mayor parte de las centrales termoeléctricas (58.5 %), se construyó a partir de 1971; el 26 % se construyó entre 1961 y 1970 y el 15 % entre 1900 y 1960.

Finalmente, hacia 1987 se terminó de construir la última unidad de la única central carboeléctrica que se encuentra en operación.

La antigüedad del sistema de generación se muestra en la tabla 2.5

T A B L A 2.5

ANTIGÜEDAD DEL SISTEMA DE GENERACION
1900 - 1988

DE ACUERDO A LA FECHA DE ENTRADA
EN OPERACION DE CADA PLANTA

| Intervalo | Total | Hidro. | Termo. | Geotermla. | Carbo. |
|-----------|----------|---------|----------|------------|---------|
| 00-10 | 159450 | 159450 | 0 | 0 | 0 |
| 11-20 | 59400 | 59400 | 0 | 0 | 0 |
| 21-30 | 285300 | 72300 | 213000 | 0 | 0 |
| 31-40 | 430750 | 80750 | 350000 | 0 | 0 |
| 41-50 | 759075 | 251200 | 507875 | 0 | 0 |
| 51-60 | 1749435 | 599935 | 1149500 | 0 | 0 |
| 61-70 | 6386910 | 2650450 | 3736460 | 0 | 0 |
| 71-80 | 5109710 | 1294000 | 3635710 | 180000 | 0 |
| 81-89 | 9498970 | 2593515 | 5185455 | 520000 | 1200000 |
| | 24439000 | 7761000 | 14778000 | 700000 | 1200000 |

Unidades en kilowatts.

Nota : La muestra analizada en esta tabla abarca al 94 % de la capacidad instalada a 1989.

FUENTE : IIE CON BASE EN DATOS DE LA CFE

En la tabla anterior (2.5) se puede observar que aproximadamente 8.8 millones de kilowatts, fueron instalados con plantas termoeléctricas y, los cuales tienen una antigüedad entre 10 y 20 años, siendo muy probable, que en muchas de las plantas citadas exista un deterioro en sus sistemas de enfriamiento que provoque una operación ineficiente del ciclo, o bien, dicho en otras palabras un potencial de ahorro de energía.

2.4 IMPORTANCIA DE LAS CENTRALES TERMOELECTRICAS EN EL AHORRO DE ENERGIA EN EL SECTOR

Como se mencionó anteriormente, con la aparición del Programa de Energéticos 1984-1988 se vuelve obligatorio para la CFE la implantación y operación de un programa de uso eficiente de la energía orientado tanto al consumidor como a la generación.

Donde la acción de mayor impacto tomada en el área interna de la CFE de ha sido incrementar la eficiencia en las plantas generadoras, particularmente de las centrales termoeléctricas, ya que en general estas centrales presentaban una eficiencia 4% menor a la que se maneja mundialmente. Y al lograr elevar la eficiencia de las centrales termoeléctricas a valores equiparables mundialmente (33.4%) se obtuvo un ahorro de energía cercano al consumo que tiene el sector agropecuario nacional, (ref.17)

CAPITULO III

CENTRALES TERMoeLECTRICAS

3.1 DESCRIPCION GENERAL

Una central termoeléctrica es una instalación en la que se produce energía eléctrica a partir de combustibles fósiles.

Las transformaciones de energía que se efectúan en estas centrales son las siguientes:

La fuente de energía disponible es un combustible (combustibles residuales, gas, diesel, carbón, etc.). La energía se encuentra almacenada en el combustible según su composición química y se libera haciendo que se produzca una reacción química que en este caso es la combustión.

Al producirse la combustión, ya se tiene la primera transformación de energía, es decir, que la energía química del combustible se transforma en calor (energía calorífica) en la flama y en los gases calientes producto de la combustión. La combustión se realiza en el hogar de un generador de vapor.

Si la energía calorífica de los gases se emplea para calentar agua y producir vapor, ya se tiene otra transformación de energía. Los gases ceden parte de su energía que se le llamará térmica (para diferenciarla del término energía calorífica asignado a los gases calientes).

La energía del vapor se transforma en trabajo mecánico en una turbina de vapor con lo que se tiene otra transformación. El vapor de escape de la turbina se descarga a un condensador, donde se condensa para luego ser bombeado al generador de vapor y así cerrar el proceso.

Finalmente, la turbina está acoplada mecánicamente a un generador eléctrico, y se tiene la última transformación de la energía al producirse energía eléctrica.

En la figura 3.1 se muestra un arreglo típico de los equipos principales que corresponden a una central termoeléctrica.

ESQUEMA DE UNA PLANTA TERMoeLECTRICA

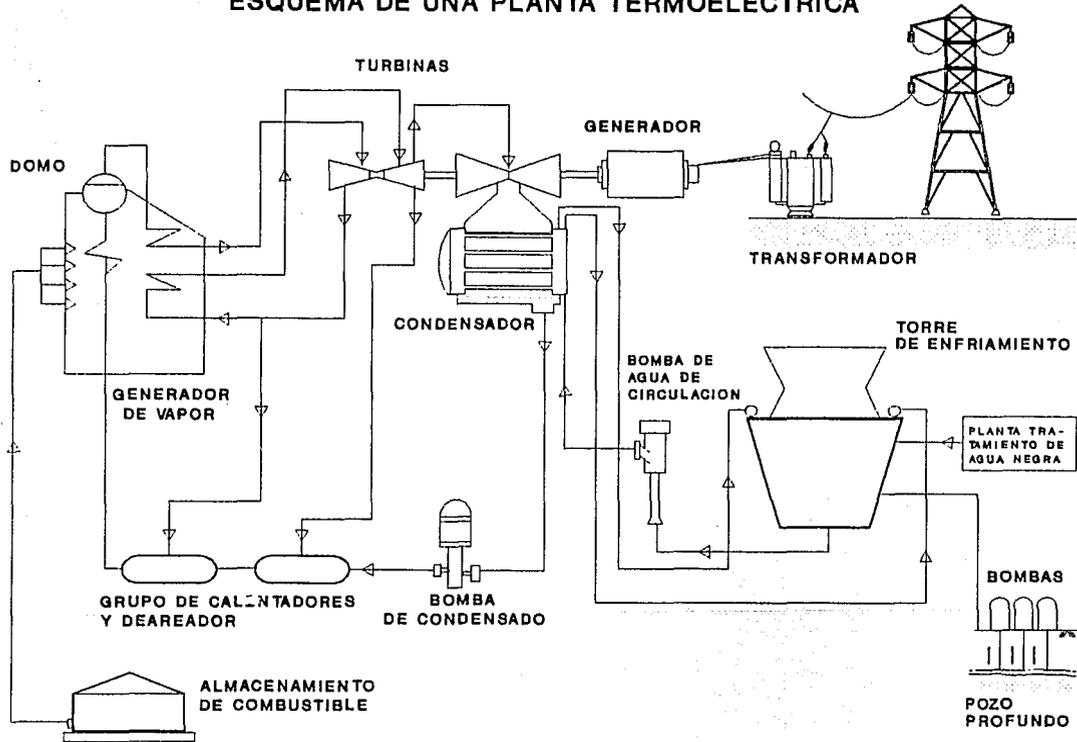


FIGURA 3.1

3.2 EFICIENCIA DE LAS TRANSFORMACIONES DE ENERGIA

Las diferentes transformaciones de energía descritas se realizan normalmente con distintas eficiencias. Así mientras que la conversión de energía química en térmica (combustión) tiene una $\eta = 99\%$, la de energía térmica en energía interna (gases de combustión a vapor) posee $\eta = 80\%$. De este modo, la eficiencia global del generador de vapor, que es el equipo en el que se realizan ambas conversiones, es de aproximadamente 79%.

El vapor producido describe un ciclo termodinámico, cediendo energía a la turbina y condensándose en el condensador para regresar así al generador de vapor. La eficiencia teórica de este ciclo termodinámico es normalmente de 45%.

Finalmente la eficiencia de transformación de energía mecánica en eléctrica en el generador eléctrico es de aproximadamente 98%.

Ahora bien, analizando los valores de las eficiencias en cada una de las transformaciones que se realizan en el proceso de generación eléctrica es evidente que, desde el punto de vista de ahorro de energético, el potencial máximo de ahorro existe en el ciclo termodinámico, ya que la ganancia de unos cuantos puntos en el porcentaje de la eficiencia del ciclo significa proporcionalmente un gran incremento en la eficiencia de la unidad con el consecuente ahorro de energía.

3.3 CICLOS DE VAPOR

Antes de describir los diversos ciclos de vapor, cabe recordar que un ingeniero francés, Nicholas Leonard Sadi Carnot, estudió los ciclos de energía y formuló las condiciones para el ciclo ideal de mayor eficiencia concebible, al cual se le conoce (en honor a él) con el nombre de ciclo de Carnot. Este ciclo está representado en la figura 3.2 en coordenadas entropía-temperatura.

Consiste en dos procesos isotérmicos y dos isoentrópicos, y puede concebirse para cualquier sustancia.

Iniciando en el punto 1, se tiene:

- 1.- El suministro de calor se efectúa a temperatura constante desde 1 hasta 2, siguiendo una isoterma.
- 2.- La expansión se efectúa isoentrópicamente de 2 a 3, durante la cual no se añade ni sustrae calor.
- 3.- La condensación se lleva a cabo a temperatura constante de 3 a 4, siguiendo otra isoterma.
- 4.- Por último tiene lugar la compresión isoentrópica de 4 a 1, completándose así el ciclo.

CICLO DE CARNOT PARA CUALQUIER SUSTANCIA

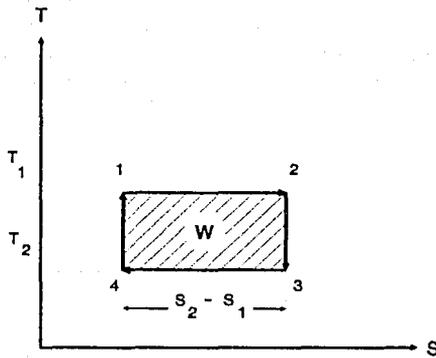


FIGURA 3.2

La eficiencia térmica del ciclo de Carnot está representada por :

$$\eta_{\text{C}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

donde,

T_1 = Temperatura de la fuente de calor

T_2 = Temperatura del sumidero de calor

El ciclo de Carnot es el ciclo de mayor eficiencia, entre todos los que puedan concebirse con los mismos límites de temperatura. Sin embargo, el ciclo de Carnot no es prácticamente realizable con vapor de agua, razón por la cual se han estudiado otros ciclos (todos, naturalmente con eficiencia inferior a la de Carnot), los cuales se pueden aproximar a las realizaciones prácticas.

William John M. Rankine modificó el ciclo de Carnot y obtuvo un ciclo de vapor que es menos efectivo, pero que está más de acuerdo con los sucesos reales que ocurren en una planta de vapor. Este ciclo, conocido con el nombre de ciclo Rankine, es la base de las plantas termoeléctricas modernas, aunque el mismo ciclo Rankine se haya modificado y cambiado con el paso del tiempo.

En el análisis del ciclo Rankine, es útil pensar en la eficiencia como dependiente de la temperatura promedio a la cual se añade el calor, y de la temperatura promedio a la cual el calor es cedido. Cualquier cambio que aumente la temperatura promedio a la que el calor se suministra, o que disminuya la temperatura promedio a la que el calor es cedido, incrementará la eficiencia del ciclo Rankine.

A continuación se describe el ciclo Rankine ideal y sus modificaciones más importantes. Aunque un ciclo ideal no corresponde a uno real, constituye una útil referencia para el estudio termodinámico de las plantas termoeléctricas,

particularmente para comprender cómo influyen las condiciones de funcionamiento y poder comparar diversos ciclos entre sí.

3.3.1 CICLO RANKINE SENCILLO

El ciclo teórico más simple realizable, usando como medio de trabajo el agua, es el ciclo Rankine mostrado en la figura 3.3. En este ciclo ideal, en la unidad generadora de vapor (caldera) se suministra calor (Q_5) al agua hasta convertirla en vapor, trayectoria B-4-1. Posteriormente el vapor se transporta por medio de tuberías a la turbina, donde se expande (isoentrópicamente) produciendo trabajo, trayectoria 1-2. De la turbina, el vapor expandido fluye hacia el condensador, trayectoria 2-3, donde un fluido (principalmente agua o aire) condensan el vapor hasta líquido saturado (proceso isotérmico).

Finalmente el líquido es bombeado isoentrópicamente para introducirlo a la caldera en el estado B de líquido subenfriado, trayectoria 3-Bm completándose así el ciclo.

CICLO DE VAPOR RANKINE SENCILLO

ESQUEMA Y DIAGRAMA T - S

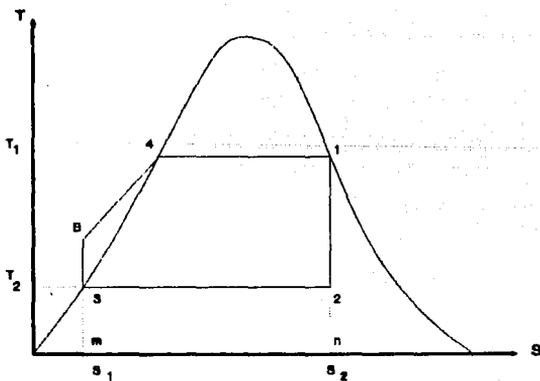
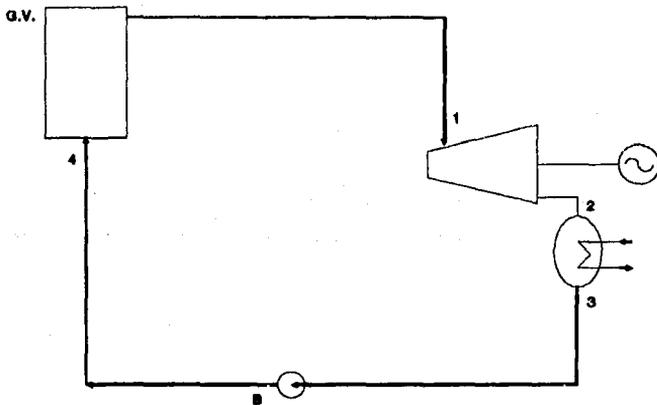


FIGURA 3.3

En el ciclo Rankine, se determina la eficiencia a partir de las entalpías. El cálculo puede realizarse como sigue:

Considerando despreciable el trabajo de la bomba, se tiene:

$$H_B = H_3$$

El calor suministrado es :

$$Q_s = H_1 - H_3$$

representado por el área :

$$A = B - 4 - 1 - n$$

El calor rechazado es :

$$Q_r = H_2 - H_3$$

representado por el área :

$$A = n - 2 - 3 - m$$

El trabajo neto del ciclo es :

$$W = Q_s - Q_r$$

$$W = (H_1 - H_3) - (H_2 - H_3) = H_1 - H_2$$

representado por el área :

$$A = B - 4 - 1 - 2 - 3$$

Por lo tanto, la eficiencia térmica del ciclo resulta :

$$\eta_{TC} = \frac{Q_c - Q_r}{Q_s} = \frac{W}{Q_s}$$

$$\eta_{TC} = \frac{H_1 - H_2}{H_2 - H_3}$$

3.3.2 Ciclo Rankine con Sobrecalentamiento

Con objeto de evitar que el vapor que se expande en la turbina alcance condiciones de humedad que excedan el 10 %, el vapor es sobrecalentado en el generador de vapor (el ciclo Rankine correspondiente se muestra en la figura 3.4). Como resultado de este sobrecalentamiento se observa un aumento del área útil de trabajo y por lo tanto, de la eficiencia del ciclo. Se puede visualizar este incremento al comparar el área de trabajo útil de este ciclo (fig 3.4) con el área de trabajo útil del ciclo Rankine ideal sencillo (fig 3.3).

La eficiencia termodinámica del ciclo es :

$$\eta_{TC} = \frac{Q_s - Q_r}{Q_s} = \frac{H_1 - H_3 - (H_2 - H_3)}{H_1 - H_3} = \frac{H_1 - H_2}{H_1 - H_3}$$

CICLO RANKINE CON SOBREAQUENTAMIENTO ESQUEMA Y DIAGRAMA T - S

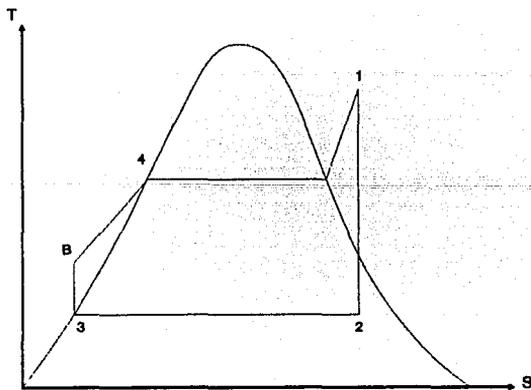
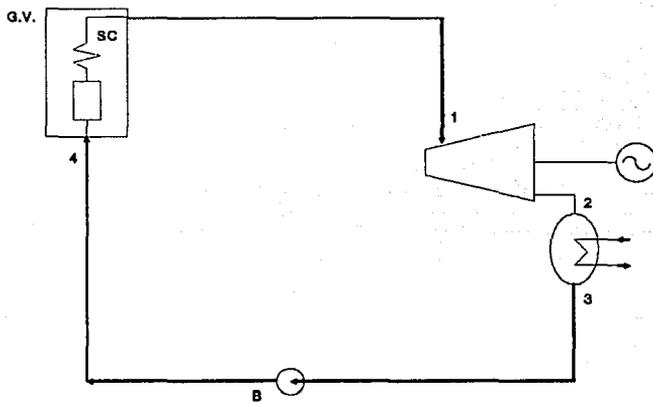


FIGURA 3.4

3.3.3 Ciclo Rankine con Sobrecalentamiento y Recalentamiento

Con objeto de mejorar aún más la eficiencia termodinámica y lograr que el vapor se conserve seco en la mayor parte de la expansión, se emplea el ciclo Rankine ideal con sobrecalentamiento y recalentamiento, que se muestra en la figura 3.5.

En este ciclo el vapor es sobrecalentado en el generador de vapor y después de que se expande en una turbina de alta presión, se regresa al generador de vapor para volverlo a calentar o recalentar, lo que constituye el recalentamiento, y posteriormente se expande en una turbina de baja presión, de donde sale al condensador y continúa el ciclo.

La eficiencia termodinámica del ciclo es :

$$\eta_{TC} = \frac{Q_s - Q_r}{Q_s} = \frac{(H_1 - H_5) + (H_3 - H_2) - (H_4 - H_5)}{(H_1 - H_5) + (H_3 - H_2)}$$

$$\eta_{TC} = \frac{(H_1 - H_2) + (H_3 - H_4)}{(H_1 - H_5) + (H_3 - H_2)}$$

**CICLO RANKINE CON
SOBRECALENTAMIENTO Y RECALENTAMIENTO
ESQUEMA Y DIAGRAMA T - S**

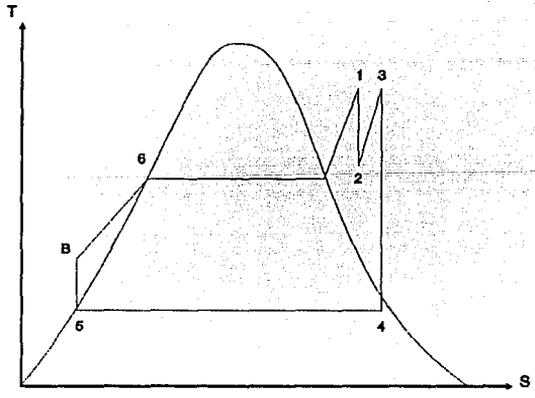
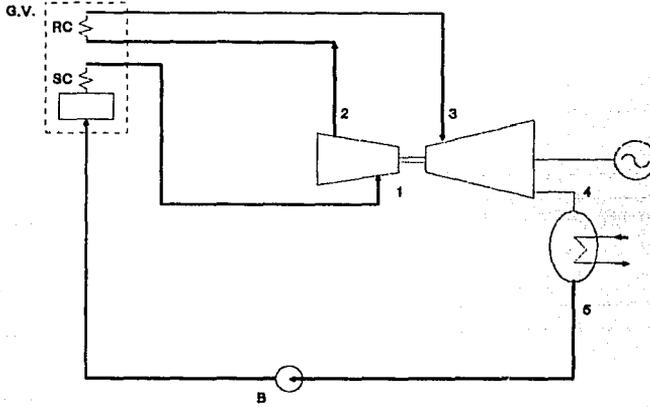


FIGURA 3.6

3.3.4 Ciclo Rankine Regenerativo con Sobrecalentamiento y Recalentamiento

Se llama regenerativo, debido a que durante la expansión del vapor, se efectúan extracciones (sangrado) de pequeñas cantidades de vapor en varios puntos, empleándose éste para calentar el agua de alimentación al generador de vapor.

El ciclo Rankine ideal regenerativo con sobrecalentamiento y recalentamiento se muestra en la figura 3.6. Es el ciclo de vapor de mayor eficiencia, debido principalmente a que el vapor que se emplea para calentar el agua de alimentación, ya ha efectuado una cantidad considerable de trabajo, por lo que su energía es pequeña. Cuando el agua de alimentación se calienta progresivamente, hasta aproximadamente la temperatura de saturación del generador de vapor, el calor que debe suministrarse al ciclo disminuye. También como resultado de las extracciones de vapor, el flujo de éste al condensador disminuye y con ello el calor rechazado. Por otro lado, tanto el condensador como la turbina pueden construirse de menor tamaño.

Por lo anterior, el ciclo Rankine regenerativo con sobrecalentamiento y recalentamiento, es el que se aplica actualmente en forma generalizada en centrales térmicas, que cuentan con unidades de más de 100 MW. Para tamaños menores ya no resulta económico recalentar el vapor y se utiliza el ciclo Rankine regenerativo con sobrecalentamiento solamente.

La eficiencia termodinámica del ciclo Rankine ideal regenerativo con sobrecalentamiento y recalentamiento es :

(considerando el trabajo de la bomba despreciable y $Z_1+Z_2+Z_3+Z_4 = 1$)

$$\eta_{TC} = \frac{W}{Q_s}$$

$$\eta_{TC} = \frac{(H_1 - H_2) + (H_3 - Z_1 H_3 - Z_2 H_4 - Z_3 H_5 - Z_4 H_6)}{(H_1 - H_{12}) + (H_3 - H_2) - Z_1 (H_3 - H_2)}$$

**CICLO RANKINE REGENERATIVO CON
SOBRECALENTAMIENTO Y RECALENTAMIENTO
ESQUEMA Y DIAGRAMA T - S**

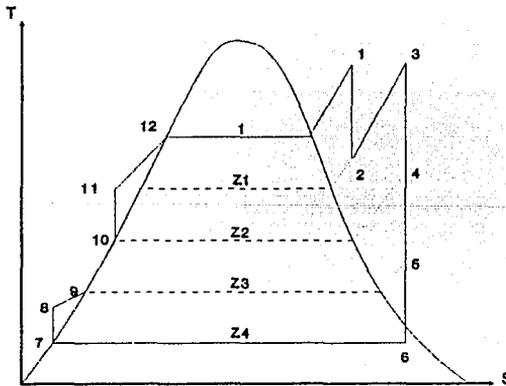
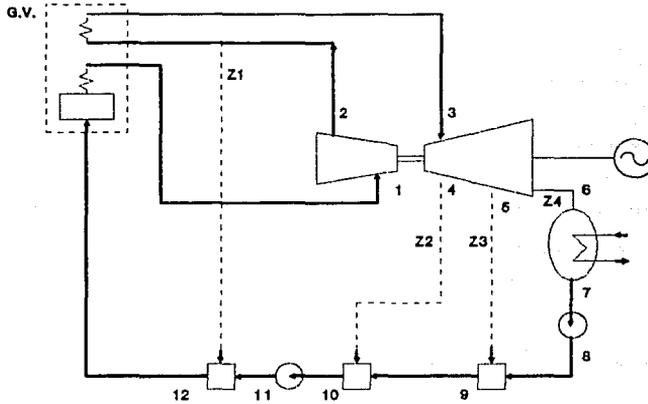


FIGURA 3.6

3.4 CONSUMO TERMICO UNITARIO DE CENTRALES TERMOELECTRICAS

La eficiencia de una central termoeléctrica es generalmente expresado mediante el concepto de Consumo Térmico Unitario (CTU), que se define como la relación de calor suministrado al ciclo en kJ/h entre la generación eléctrica por la unidad en kW. El CTU se relaciona con la eficiencia térmica de la unidad mediante la expresión:

$$\eta = \frac{3600}{\text{CTU}}$$

El CTU es calculado mediante un balance térmico, en el que se consideran las condiciones y el flujo del vapor, la eficiencia de la expansión del vapor en la turbina, las pérdidas en la descarga de la turbina al condensador, la eficiencia del generador de vapor, los flujos y condiciones de las extracciones para los calentadores de agua de condensado y de agua de alimentación y las pérdidas mecánicas, eléctricas y térmicas de los equipos que componen el ciclo.

El CTU puede expresarse como CTU neto o CTU bruto: en el primer caso a la energía eléctrica generada por la unidad se le resta la energía que consumen las bombas de agua de alimentación y otros equipos propios; en el CTU bruto se omite esta resta.

3.5 IMPACTO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN LA EFICIENCIA DE LAS CENTRALES TERMOELECTRICAS

Al describir el ciclo Rankine, se mencionó que para condensar el vapor de escape se emplea un fluido, que generalmente es agua. Por lo tanto, la temperatura de condensación teórica más baja que puede obtenerse está determinada por la temperatura del fluido, que actúa como receptor del rechazo de calor. Sin embargo, la temperatura de condensación real, depende principalmente del tipo de sistema de enfriamiento y estado operativo del mismo, así como del medio ambiente ya que éste influye en la temperatura del fluido de enfriamiento. Como consecuencia, se tendrán variaciones en la temperatura de condensación, que provocarán una ganancia o pérdida de capacidad de la turbina y también aumento o disminución de la eficiencia del ciclo. La variación de la eficiencia del ciclo termodinámico con la temperatura de condensación puede observarse en la figura 3.7, en donde para el mismo calor suministrado (Q_s), una disminución de la temperatura de condensado de T_2 a T'_2 , provoca un aumento del área útil de trabajo y por lo tanto incrementa la eficiencia termodinámica del ciclo. En el caso contrario, un aumento en la temperatura de condensación de T_2 a T''_2 , provoca una disminución del área útil de trabajo y por lo tanto de la eficiencia del ciclo.

El vacío en un condensador, es decir, la presión de descarga de la turbina de vapor de baja presión, es la presión de saturación correspondiente a la temperatura del vapor de escape (temperatura de condensación), y mientras menor sea la presión de escape, se obtendrá una mayor eficiencia del ciclo al aprovecharse más la energía del vapor. De acuerdo con lo expuesto, la temperatura de condensación del vapor influye en la eficiencia de una planta termoeléctrica. Como la temperatura de condensación depende del tipo de sistema de enfriamiento, del estado operativo del mismo y de las condiciones ambientales, estos sistemas constituyen un elemento muy valioso e importante en las plantas termoeléctricas, ya que determinan la presión de descarga de la turbina y por lo tanto su eficiencia, y de este modo, tienen un fuerte impacto en el CTU de una central.

CICLO RANKINE REGENERATIVO CON SOBREACALENTAMIENTO Y RECALENTAMIENTO

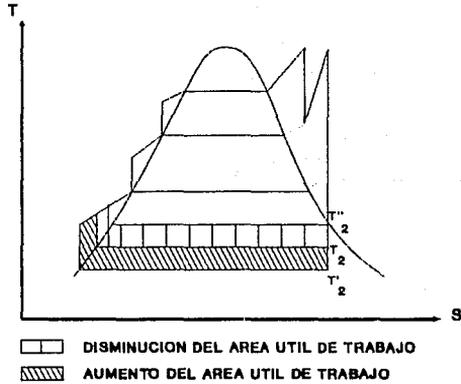


FIGURA 3.7

CAPITULO IV

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

4.1 FUNCION DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

La función del sistema de enfriamiento se ha descrito con suficiente amplitud en el capítulo anterior. Solo se agregará aquí que en la generación de energía eléctrica a través de plantas termoelectricas, más del 40 % de la energía suministrada al ciclo térmico se rechaza en el condensador.

El calor rechazado es absorbido por el agua de enfriamiento o directamente por el aire, dependiendo del tipo de sistema de enfriamiento que tenga.

Los dos tipos básicos de condensadores son : el de superficie y el de mezcla (contacto directo), y ambos se utilizan actualmente.

El condensador de superficie se caracteriza porque al efectuarse la condensación del vapor de escape de la turbina, no existe un contacto íntimo entre el vapor y el fluido refrigerante (agua o aire), sino que ésta se efectúa a través de paredes de tubos.

En el condensador de mezcla existe un contacto íntimo entre el vapor y el fluido refrigerante.

Para rechazo de calor en el condensador existen dos sistemas de enfriamiento fundamentales :

- Sistemas Secos
- Sistemas Evaporativos

4.2 TIPOS DE SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

4.2.1 SISTEMAS SECOS

Los sistemas secos son aquellos en los que el enfriamiento del agua que absorbe el calor del ciclo o la condensación del vapor de escape de la turbina, se efectúa a través de paredes de tubos, es decir, no existe un contacto íntimo entre el agua o el vapor y el aire. No hay pérdidas de agua y se pueden utilizar tanto condensadores de superficie como de mezcla.

Los sistemas de enfriamiento secos se clasifican en :

a) SISTEMAS SECOS DIRECTOS

En estos el vapor de escape de la turbina se conduce por medio de una tubería o serpentines de enfriamiento, que consisten en tubos aletados, en donde exteriormente se hace pasar una corriente de aire, para que el vapor se condense directamente en los tubos, y posteriormente el condensado es enviado al sistema de agua de alimentación de la planta.

b) SISTEMAS SECOS INDIRECTOS

Utilizan torres de enfriamiento secas y se caracterizan porque al efectuar el enfriamiento del agua no existe un contacto directo entre el agua caliente y el aire, sino que éste se efectúa a través de paredes de tubos.

El agua proveniente del condensador circula a través de los serpentines de enfriamiento, que se encuentran en el interior de la torre, enfriándose por medio del aire.

Dependiendo de la forma en que se lleva a cabo la condensación del vapor de escape de la turbina los sistemas se clasifican en :

- Sistema de enfriamiento indirecto con torre seca con condensador de mezcla.

En éste se emplea un condensador de mezcla en donde se condensa el vapor, una parte del condensado es enviada al circuito de agua de alimentación y la parte restante se envía a los serpentines de enfriamiento, que como ya se mencionó, constan de tubos aletados. El agua se enfría y posteriormente regresa al condensador, para condensar el vapor de escape de la turbina.

- Sistema de enfriamiento indirecto con torre seca con condensador de superficie.

Aquí se emplea un condensador de superficie convencional y el agua de circulación se enfría en los serpentines.

4.2.2 SISTEMAS EVAPORATIVOS

Los sistemas evaporativos son aquellos en los que el agua, después de absorber el calor del ciclo, es enfriada por contacto directo con el aire.

En estos sistemas se tienen pérdidas de cierto porcentaje del agua de circulación.

Cuando se emplea este tipo de sistema de enfriamiento, se utilizan únicamente condensadores de superficie.

Los sistemas de enfriamiento evaporativos se clasifican en :

- Sistemas Evaporativos Abiertos
- Sistemas Evaporativos Cerrados

- Sistemas evaporativos abiertos.

En los evaporativos abiertos, el agua de enfriamiento se toma de mares, ríos o lagos haciéndola pasar a través del condensador en donde absorbe calor del ciclo para después regresar a la fuente. Se conocen también con el nombre de sistemas de enfriamiento de un solo paso, debido a que el agua circula a través del condensador una sola vez.

- Sistemas evaporativos cerrados.

En éstos, el agua de enfriamiento se toma de un depósito artificial: estanque, pileta o torre de enfriamiento húmeda, y se hace pasar a través del condensador donde absorbe calor del ciclo. Posteriormente regresa al depósito, donde es enfriada antes de volver a recircularse al condensador.

Durante el enfriamiento del agua se presentan tres procesos simultáneos, ya que existe un contacto directo entre el agua caliente proveniente del condensador y el aire. Dichos procesos son los siguientes :

- Transferencia de calor sensible por convección entre el agua caliente y el aire frío.

- Si la presión del vapor de agua en el aire es menor que en la superficie del agua, se tiene transferencia de masa en forma de moléculas de agua; es decir, existe una evaporación. Normalmente la mayor transferencia de calor se realiza en este proceso.

- Movimiento de calor desde el cuerpo del líquido a la superficie del mismo. Este efecto es pequeño y no se llega a tomar en cuenta en los cálculos de enfriamiento.

También se pueden instalar sistemas híbridos, es decir sistemas que están constituidos por una parte seca y otra húmeda, los arreglos de las partes pueden ser en paralelo o en serie.

4.3 SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVOS EN CENTRALES TERMOELECTRICAS

El sistema de enfriamiento de una central termoeléctrica, comúnmente llamado sistema de agua de circulación, está constituido por varios equipos, que se mencionan a continuación :

- a) TORRE DE ENFRIAMIENTO
- b) BOMBAS DE AGUA DE CIRCULACION
- c) CONDENSADOR PRINCIPAL

Estos equipos generalmente se arreglan del modo mostrado en la figura 4.1, que es un diagrama simplificado del Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) del sistema de enfriamiento. En este DTI se pueden observar claramente las trayectorias de los flujos de agua, así como el arreglo de los diferentes equipos.

SISTEMA DE AGUA DE CIRCULACION

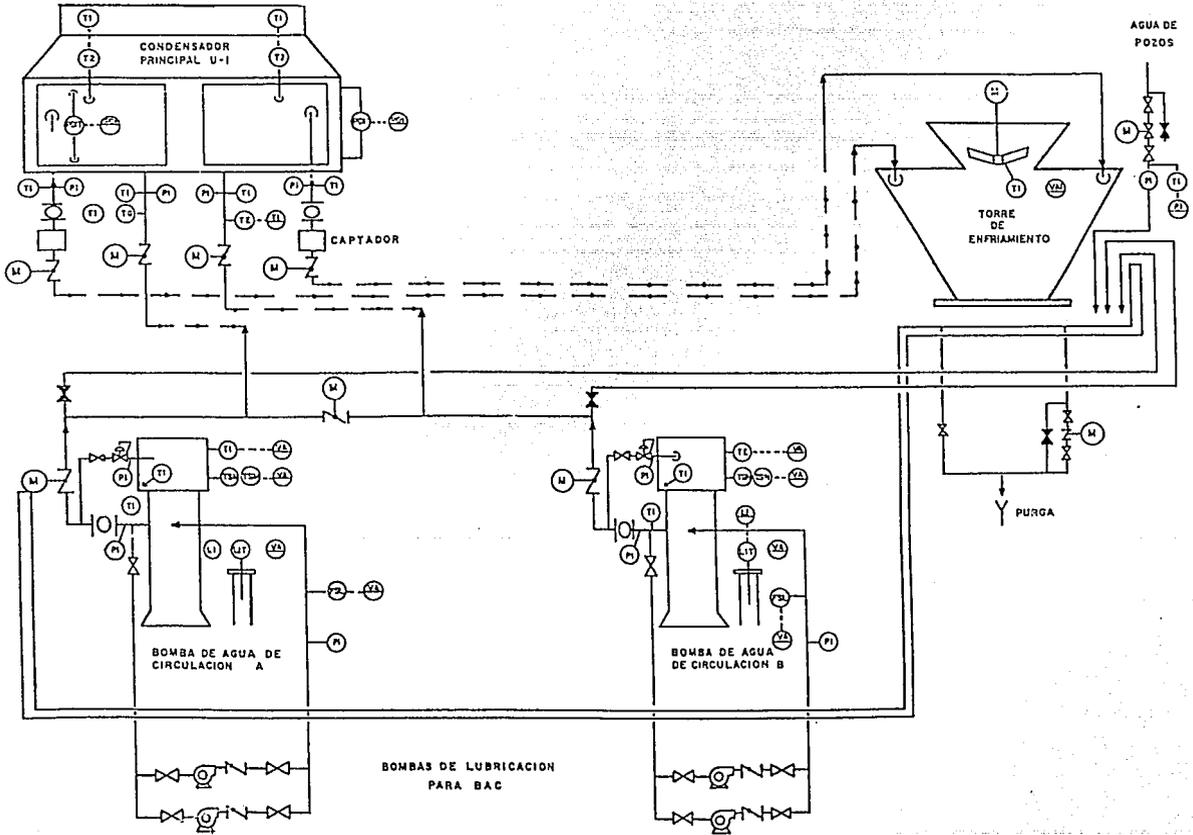


FIGURA 4.1

4.3.1 DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES PRINCIPALES

La descripción de los componentes se basa en las características de las unidades de 300 MW, dado que son de las más grandes en el país y, dentro de las de mayor capacidad, las más numerosas.

Torres de Enfriamiento

Por su importancia para este trabajo, este equipo se describe ampliamente en el capítulo V, en el cual se presenta también los aspectos teóricos involucrados en su operación.

Bombas de agua de circulación

Este sistema cuenta con dos bombas, que succionan del cárcamo (cuya profundidad es de aprox 4 metros) y proporcionan el agua con la suficiente presión para que circule a través de las tuberías del condensador, enfriadores y finalmente para vencer la altura estática de la torre de enfriamiento.

Cada bomba proporciona un flujo de agua suficiente para que la unidad genere el 50 % de su carga, son del tipo de propela vertical de un solo paso.

Las bombas son impulsadas por un motor eléctrico de inducción, con chumaceras lubricadas con aceite. Estas bombas se accionan desde la sala de control de la central termoeléctrica.

En la descarga, cada bomba cuenta con una válvula de mariposa, accionada por un motor eléctrico, que abrirá o cerrará automáticamente al arrancar o parar la bomba de agua de circulación, respectivamente. Esta válvula también cuenta con un volante para ser accionada manualmente en caso de emergencia (figura 4.2).

También cuenta cada bomba de circulación con una bomba auxiliar de lubricación, que succiona de la línea principal y proporciona el agua necesaria para producir el sello en el estopero, y para enfriar y lubricar el cojinete superior de la bomba de circulación.

Condensador

Es de dos pasos, esto indica que el agua hace dos recorridos a través del condensador, primero en un sentido y después en sentido contrario.

Cuenta con dos cajas de agua individuales, donde se distribuye el agua a los tubos (aproximadamente 15,000) y en los que se absorbe el calor latente del vapor que descarga de la turbina. Las cajas de agua son de acero al carbón con un recubrimiento interior de resina epóxica. En las cajas de entrada y salida del condensador se tienen válvulas de venteo, así como válvulas de drenaje en la entrada de ambas cajas de agua.

Además cuenta con un sistema de limpieza continua que tiene como función limpiar al condensador durante la operación normal de la central mediante la introducción en la corriente de agua de circulación de esferas limpiadoras haciéndolas pasar antes por la trampa de esferas y por el distribuidor.

El captador tiene como propósito recoger y separar las esferas limpiadoras del agua de circulación, evitando que lleguen hasta la torre de enfriamiento donde podrían tapan las espreas de las charolas, o simplemente perderse y no retornar al condensador.

BOMBA DE AGUA DE CIRCULACION

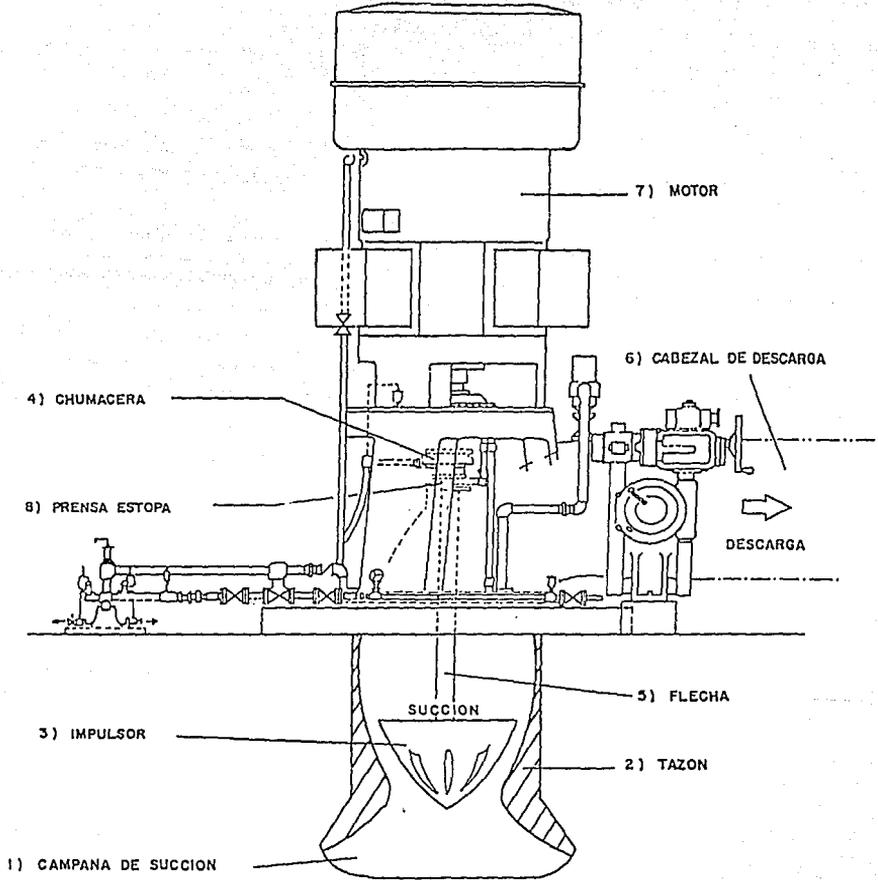


FIGURA 4.2

4.3.2 DESCRIPCION OPERATIVA

Durante la operación normal del sistema de enfriamiento el agua es succionada por las dos bombas de agua de circulación del cárcamo de succión de la torre. La descarga es a través de las válvulas de mariposa motorizadas. Más adelante hay una línea igualadora de presión, que cuenta con una válvula de mariposa normalmente cerrada.

Después de la línea igualadora, la tubería se conecta a un ducto de concreto; hasta cerca del condensador donde se tiene nuevamente tubería de acero al carbón, donde el agua pasa al condensador a través de válvulas de aislamiento, tipo mariposa y motorizadas.

Posteriormente, se tienen las conexiones del sistema de limpieza del condensador.

El agua entra a cada una de las cajas de agua del condensador pasando por el interior de los tubos; a la salida de éste se encuentra el captador del sistema de limpieza del condensador, que recoge las esferas limpiadoras, después de que han limpiado el interior de los tubos, evitando que lleguen hasta la torre de enfriamiento. Las esferas son succionadas por la bomba de retorno, a través de las salidas del captador de las válvulas de compuerta y de la mirilla. La bomba descarga las esferas junto con un poco de agua de circulación, a través de la válvula macho, la trampa o canastilla, la mirilla y las válvulas de compuerta del distribuidor para incorporarlas nuevamente al agua de circulación, cerrándose el circuito (figura 4.3).

Luego del captador existe una válvula de mariposa motorizada en cada línea de retorno. Después de estas válvulas, el agua circula por ductos de concreto, hasta las proximidades de la torre de enfriamiento, en donde nuevamente circula por tubería de acero al carbón.

El agua descarga en la parte superior de la torre por medio de dos cabezales y válvulas de descarga, distribuyéndose uniformemente en las celdas de la torre, en donde caerá en forma de gotas a través del relleno, enfriándose con el aire succionado por los ventiladores y recolectándose en la pileta para ser succionada nuevamente por las bombas de agua de circulación.

SISTEMA DE AUTOLIMPIEZA DEL CONDENSADOR (TAPROGGE)

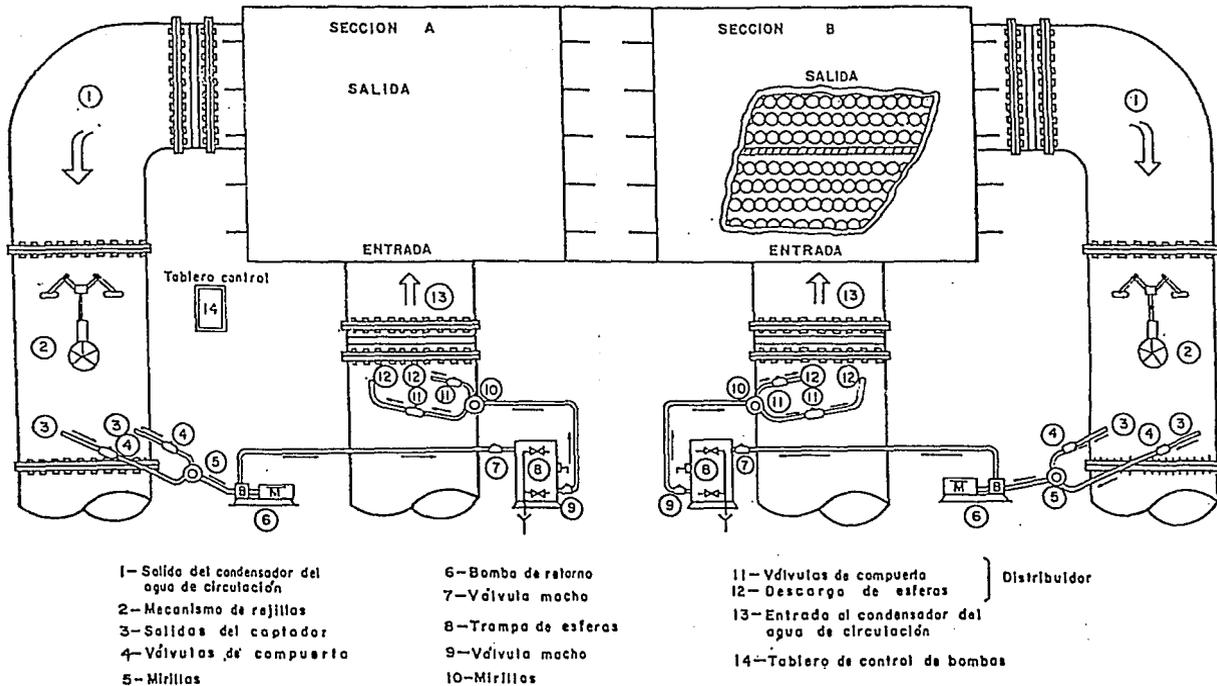


FIGURA 4.3

CAPITULO V

TORRES DE ENFRIAMIENTO

5.1 TIPOS DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las Torres de Enfriamiento son enfriadores artificiales en donde tiene lugar un cambio de calor organizado entre un volumen de líquido y el aire atmosférico.

Estas se pueden clasificar en varios tipos, atendiendo a diferentes características :

- Según la forma en que se realiza el contacto con el aire.

a) Húmedas (transferencia de calor con contacto directo, aire-agua)

- Con relleno

- Atmosféricas

b) Secas (transferencia de calor a través de paredes de tubos, aire-pared-agua)

- Según la forma de producir el flujo de aire.

c) Tiro natural (producido por diferencia de densidades del aire)

d) Tiro mecánico (producido por medio de ventiladores)

- Tiro inducido

- Tiro forzado

- Según la dirección relativa entre los flujos de agua y aire.

e) **Contra corriente (flujos paralelos fluyendo en sentidos contrarios)**

f) **Corriente cruzada (flujos perpendiculares)**

5.2 TORRES HUMEDAS CON RELLENO, TIRO INDUCIDO Y CORRIENTE CRUZADA

Este tipo de torres es el más utilizado, ya que al ser húmedas poseen una gran capacidad y eficiencia para la transferencia de calor. Se prefieren sobre las secas, ya que en estas el calor se transfiere al aire a través de una pared, por los mecanismos de convección y conducción, y ambos procesos son mucho menos eficientes que el de evaporación, que representa 80% del calor total transferido en los sistemas evaporativos.

En estas torres, se reduce la temperatura del agua de enfriamiento por debajo de la temperatura de bulbo seco del aire, hasta cerca de su temperatura de bulbo húmedo. Los sistemas secos, sin embargo, sólo pueden disminuir la temperatura del agua de enfriamiento por arriba de la temperatura de bulbo seco. Esto significa que los sistemas evaporativos son capaces de reducir la temperatura del agua de 8° a 14° por debajo de lo que pueden enfriarla los sistemas secos, lo que significa mayor eficiencia en el ciclo termodinámico.

La razón de utilizar relleno en las torres de enfriamiento, es aumentar la superficie de contacto entre el agua y el aire, mediante un balance óptimo entre las pérdidas de presión y la transferencia de calor.

Para producir el flujo de aire, lo más empleado es el tiro mecánico, ya que la circulación del aire en la torre de enfriamiento tiene un papel primordial en el fenómeno de enfriamiento; con un flujo mayor de aire para el mismo flujo de agua, se obtiene un enfriamiento del agua más eficaz y la temperatura del agua a la salida de la torre puede aproximarse más a la temperatura de bulbo húmedo, que es el límite físico de enfriamiento.

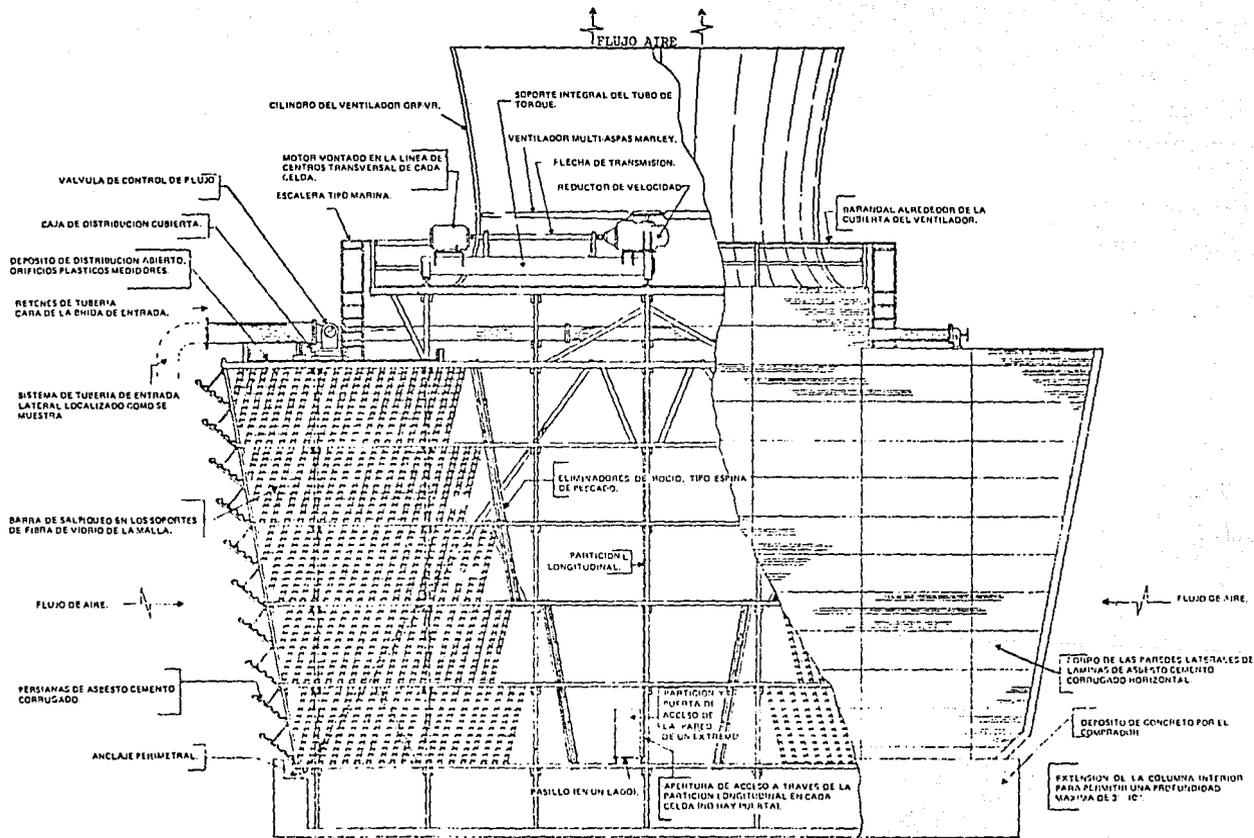
Cuando hay limitaciones en la configuración de las torres de enfriamiento y se quiere aprovechar la velocidad y dirección del viento, se utiliza el tiro inducido, esto se logra con una ubicación adecuada de la torre de enfriamiento.

Aunque las torres de contraflujo son más eficientes en el proceso de enfriamiento y se pueden adaptar en un menor espacio, las torres de corriente cruzada son las más empleadas por presentar ventajas :

- El ancho de la torre de corriente cruzada disminuye la caída de presión del aire a través de la torre y da mayor uniformidad en la distribución de flujos de aire y agua.

- El arreglo de estas torres es por medio de celdas, en las que cada una tiene su propio ventilador, relleno, cono, entradas de aire, etc., lo que permite unir las una detrás de otra formando una hilera, y así hacer el arreglo más conveniente para la capacidad térmica que se requiera.

Además de lo anterior, este tipo de torres presenta una economía en cuanto a la construcción del depósito receptor del agua (pileta). Debido a la forma trapezoidal de los lados de las celdas, el agua que cae por su interior sigue el perfil que presenta la torre y, con la ayuda del flujo de aire, que se mueve en forma horizontal es llevada hacia el centro, lo que permite reducir el ancho de la pileta (figura 5.1).



CORTE TRANSVERSAL DE UNA TORRE DE DOBLE FLUJO

FIGURA 5.1

Como ya se ha dicho, la torre de enfriamiento es el equipo por medio del cual se transfiere a la atmósfera el calor extraído del condensador por el agua de circulación.

Para lograr esta transferencia de calor en forma eficiente, es necesario mantener un contacto íntimo entre el agua de circulación y el aire atmosférico durante el tiempo necesario para que ésta se complete.

La Torre de Enfriamiento está por lo tanto constituida por una serie de elementos diseñados para lograr ese contacto íntimo y para mantenerlo durante el tiempo requerido.

5.2.1 ELEMENTOS DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

Válvulas y Charolas Distribuidoras de Agua

Instalados en la parte superior de la torre de enfriamiento, estos elementos tienen por función distribuir uniformemente, en toda la planta de la misma, el agua de circulación caliente proveniente del condensador.

La salida de las válvulas de control del flujo de agua es a las cajas de salpicado, en donde la parte inferior, tiene la función de distribuir uniformemente el agua, y la parte superior la de disipar la velocidad direccional y evitar salpicado. De las cajas de salpicado se distribuye el agua en la charola distribuidora que efectúa esta función por medio de orificios hechos en el piso de la misma que contienen otros elementos, generalmente de plástico, llamados espreas.

Espreas

Colocadas en orificios ubicados en el fondo de las charolas de distribución, las espreas son las encargadas de romper el chorro de agua que pasa por ellas. Su correcto funcionamiento requiere que no estén deterioradas, ni tapadas y, como operan por gravedad, es también requisito que los niveles de las charolas sean uniformes y cercanos a los especificados por diseño.

Dada la importancia de la función de estos elementos, una torre de enfriamiento que opere con espreas faltantes, deterioradas o tapadas, así como con niveles no uniformes en sus charolas, verá severamente disminuida su capacidad de enfriamiento.

Relleno

La finalidad del relleno consiste en hacer que la corriente de agua caliente que sale de las espreas se fraccione en pequeñas gotas, y que su descenso a través de la torre se prolongue tanto como sea posible. Es conveniente también que el área mojada de la torre sea grande y que la caída de presión del aire al circular a través de la torre sea pequeña.

El relleno deberá proporcionar una superficie y un tiempo de contacto entre el agua y el aire, lo más grandes posible, con el fin de aumentar la capacidad de enfriamiento del agua. Es necesario considerar, sin embargo, que si el relleno es demasiado denso, la superficie mojada expuesta al contacto con el aire (superficie de transferencia de calor) aumentará, pero sucederá lo propio con la resistencia al flujo de aire que circula a través de la torre. Ahora bien, reducir la resistencia al flujo de aire puede significar que la superficie mojada expuesta al contacto con el aire disminuya, o que el tiempo durante el cual se encuentran en contacto directo el aire y el agua sea menor, afectando de manera adversa la capacidad de enfriamiento. Por lo tanto el arreglo y distribución óptimo del relleno, es generalmente un compromiso entre eficiencia y caída de presión.

El relleno de una torre de enfriamiento puede realizarse en un gran número de formas y arreglos, por lo que los fabricantes construyen modelos y efectúan pruebas con diferentes opciones. Para determinar la óptima, generalmente efectúan un balance entre las pérdidas de presión por fricción y la transferencia de calor.

También en las torres que se encuentran en operación y tienen zonas con relleno faltante o deteriorado, se producirán canalizaciones tanto de agua como de aire y la transferencia de calor será muy pobre. Esto afectará incluso a las zonas aledañas, las que tampoco podrán operar correctamente pues quedarán secas y sin aire. Como consecuencia de esto, disminuirá la capacidad de enfriamiento de la torre.

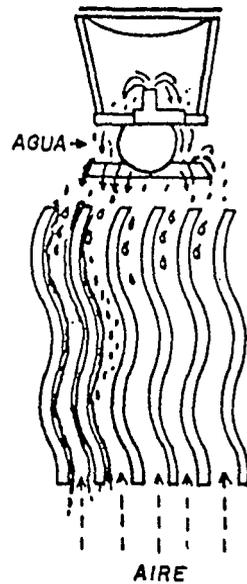
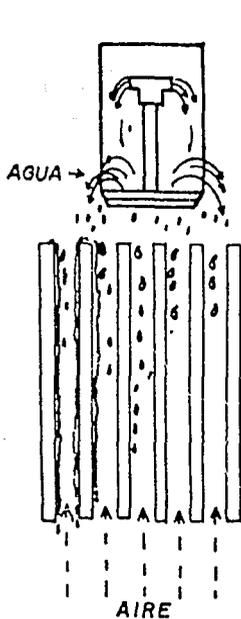
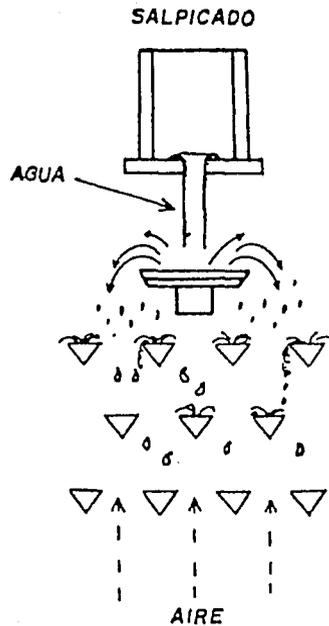
Existen dos tipos básicos de relleno : los de salpicado y de flujo de película, que no producen salpicado (fig 5.2).

Para el relleno de salpicado se utilizan barras de diferentes formas y diferentes arreglos con el objeto de que el agua al caer choque contra éstas y se fraccione en pequeñas gotas; en el relleno de película el agua se distribuye finamente sobre la superficie del relleno.

Eliminadores de Rocío

Formados por superficies entrecruzadas, los eliminadores de rocío no participan directamente en el proceso de transferencia de calor. Su función consiste en evitar que las gotas más pequeñas sean arrastradas por el aire fuera de la torre de enfriamiento, con lo cual se ayuda a controlar la llovizna en los alrededores de la torre y a evitar perder agua innecesariamente.

Básicamente los eliminadores de rocío funcionan forzando al aire a hacer un cambio brusco de dirección con lo que la fuerza centrífuga resultante separa las gotas de agua, lanzándolas contra las placas del mismo eliminador, en donde se forma una película delgada de agua que fluye hacia la pileta de la torre.



TIPOS BASICOS DE RELLENO DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO HUMEDAS

FIGURA 5.2

Ventiladores

Su tarea es crear una corriente uniforme de aire a través del relleno de la torre de enfriamiento. La importancia de su correcto funcionamiento se debe a que para enfriar el agua hasta la temperatura requerida, es imprescindible que la cantidad y velocidad del aire sean apropiadas.

Toda falta de aire producirá inevitablemente un fuerte deterioro en la capacidad de la torre de enfriamiento.

Se debe cuidar muy especialmente que no se produzcan cortocircuitos de aire manteniendo en buen estado las bases de los ventiladores y sus conos de ganancia de velocidad, así como bien cerradas las puertas de acceso a la torre de enfriamiento y las de intercomunicación entre celdas.

El flujo de aire que producen los ventiladores puede modificarse entre ciertos límites, variando el ángulo de inclinación de sus aspas. En principio, cuanto mayor sea el ángulo de ataque, mayor será el flujo de aire, pero esto sólo es válido hasta llegar a cierto ángulo máximo, propio de cada diseño, a partir del cual un ulterior incremento disminuirá el flujo en lugar de aumentarlo, debido a que la componente tangencial de la velocidad del aire superará a la componente axial.

Conos de Ganancia de Velocidad

Los conos de ganancia de velocidad o chimeneas de los ventiladores se utilizan para ayudar a eliminar la turbulencia del aire en la sección de la garganta, producir un efecto de venturi y aumentar la velocidad de salida del aire y actuar como guarda del ventilador para reducir la recirculación.

Mamparas de Distribución de Aire

Ubicadas en los lados de la torre de enfriamiento, estas mamparas cumplen la importante función de orientar al aire de modo que se distribuya en todo el relleno. Por lo tanto es necesario cuidar que se conserven limpias y en buen estado, ya que de lo contrario propiciarán irregularidades en la distribución del aire dentro de la torre de enfriamiento, con el consiguiente deterioro de su capacidad.

Normalmente las persianas se colocan con una pendiente hacia el centro de la torre de enfriamiento con respecto a la horizontal.

Pileta

Esta cumple la función de receptor del agua que cae por el interior de la torre. Además el cárcamo de succión de las bombas de agua de circulación se encuentra generalmente integrado a la pileta.

Las piletas normalmente se construyen de concreto, y se deben evitar las fugas de líquido, principalmente en las juntas de construcción. Las piletas deben tener pendiente normal hacia el cárcamo de succión.

5.3 PRINCIPIOS DE OPERACION DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

Los principios físicos en los que se basa la operación de una torre de enfriamiento húmeda son dos : transferencia de calor sensible y enfriamiento evaporativo.

La transferencia de calor sensible ocurre debido a que el aire a la entrada de la torre de enfriamiento está a menor temperatura que el agua; por ello absorbe calor y el agua se enfría.

El enfriamiento evaporativo involucra intercambio simultáneo de calor y masa. Durante su caída a través del relleno de la torre de enfriamiento, las gotas de agua se evaporan parcialmente en contacto con el aire. El calor necesario para este cambio de estado lo proporciona el agua que no se evapora y, como consecuencia, lo que queda de la gota se enfría.

Para que este proceso se lleve a cabo es necesario que el aire posea la capacidad para absorber el vapor de agua que se produce, es decir, que no esté saturado de humedad. Afortunadamente, aún cuando el aire que rodea a la torre (en un día húmedo y lluvioso, por ejemplo) esté saturado, la transferencia de calor sensible que ocurre apenas ingresa el aire a la torre, incrementa su temperatura y con ello su capacidad de absorber más humedad.

A la salida de una torre de enfriamiento bien diseñada, en la descarga de los ventiladores, el aire se encontrará prácticamente saturado.

Lo anterior permite plantear la ecuación del calor total q_T transferido, como:

$$dq_T = dq_s + dq_e \quad (1)$$

donde dq_s es la porción de calor sensible transferido y dq_e es el enfriamiento evaporativo producido.

De acuerdo con Kern (ref 14), estos dos términos pueden expresarse como :

$$dq_s = h (T - t) a \, dV \quad (2)$$

y

$$dq_E = K \lambda (X' - X) a \, dV \quad (3)$$

donde

- a - Superficie del agua por metro cúbico de la torre, tanto de gotas como de película
- dV - Volumen diferencial de la torre en que existe la superficie
- h - Coeficiente total de transferencia de calor de la fase gaseosa
- T - Temperatura del agua
- t - Temperatura del aire
- k - Coeficiente total de transferencia de masa
- λ - Calor latente promedio de vaporización
- X' - Humedad del aire a la temperatura T del agua
- X - Humedad del aire a la temperatura t del aire

por lo tanto,

$$dq_T = dq_s + dq_d = h(T - t) a \, dV + k \lambda (X' - X) a \, dV \quad (4)$$

reagrupando esta ecuación,

$$dq_T = K a \, dV \left[\left(\frac{h T}{K} + \lambda X' \right) - \left(\frac{h t}{K} + \lambda X \right) \right] \quad (5)$$

Por otra parte, la entalpía del aire húmedo H, es igual a :

$$H = ct + \lambda X \quad (6)$$

donde,

$$\begin{aligned} c &= ca + cv X = \text{calor húmedo} \\ ca &= \text{calor específico del aire} \\ cv &= \text{calor específico del vapor de agua} \end{aligned}$$

suponiendo λ aproximadamente constante y usando un valor de "c" promedio, todo lo cual es permitido en los rangos relativamente cortos en los que las torres de enfriamiento operan para una mezcla de aire-agua.

Sumando y restando $c(T-t)$ en la ec. 5 :

$$dq_T = K a dV \left[\left[cT + \lambda X' \right] - \left[ct + \lambda X \right] + c (T - t) \left[\frac{h}{Kc} - 1 \right] \right] \quad \dots(7)$$

y sustituyendo la expresión para λx en la anterior, se tiene :

$$dq_T = K a dV \left[\left[H' - H \right] + c (T - t) \left[\frac{h}{Kc} - 1 \right] \right] \quad (8)$$

donde H y H' son: la entalpía del aire y la entalpía de saturación del aire respectivamente (esta diferencia es conocida como fuerza impulsora).

Por otro lado dq_T puede expresarse en términos de un balance térmico donde el calor perdido por el agua es ganado por el aire, es decir, la disminución de entalpía del agua es igual al aumento de la entalpía del aire húmedo, esto es :

$$dq_T = d(LCT) = G dH$$

donde,

- L - Flujo de agua por unidad de área
- G - Flujo de aire por unidad de área
- C - Calor específico del agua
- dH - Incremento de entalpía del aire entre la entrada y salida del volumen de control
- dT - Incremento de la temperatura del agua entre la entrada y salida del volumen de control

El flujo de aire G permanece constante a través de la torre, ya que se considera únicamente el aire seco. El flujo de líquido no es constante debido a la evaporación de agua en el aire seco. Sin embargo, las pérdidas al saturar el agua al aire ascienden a menos del 2 % del agua circulada en la torre y puede ser despreciada sin introducir un grave error, entonces :

$$d(LCT) = LC dT \quad (9)$$

y

$$LC dT = G dH \quad (10)$$

Dado que la relación h/Kc (que es el número de Lewis), para agua que se difunde en el aire es aproximadamente 1, el último término de la ec. 8 desaparece, quedando :

$$dq = LC dT = G dH = k (H' - H) a dV \quad (11)$$

En realidad h/Kc para el sistema aire-agua no es 1 como lo predice el número de Lewis. Los datos de varios investigadores indican que el valor del número de Lewis es cercano a 0.9. Lo anterior no genera un error importante en los cálculos, ya que para las torres de enfriamiento, la transferencia de calor sensible representa menos del 20 % de la carga térmica total.

La clave tanto para el cálculo del diseño como para el análisis de comportamiento de las torres es la ec. 11. En esta ecuación K es el término de la tasa de transferencia total análogo a Uc en los intercambiadores de calor, y debe recordarse que no hay factor de obstrucción para transferencia de calor por contacto directo. Sin embargo, en los intercambiadores tubulares, la superficie de transferencia de calor usualmente se conoce o puede fácilmente calcularse, en cambio, en las torres el valor "a" no puede determinarse directamente, ya que está compuesta de disposiciones al azar de gotas y superficie de película. En una torre de caída interrumpida obviamente hay otros factores que considerar. La imposibilidad de calcular "a" es obvia, requiriendo entonces, determinar experimentalmente el producto Ka , como un solo factor para un tipo particular de relleno a flujos específicos para los fluidos que componen el sistema.

La ec. 11, conocida como "ecuación de Merkel", se puede expresar de dos formas :

$$\frac{K a V}{G} = \int_{H_2}^{H_1} \frac{d H}{H' - H} \quad (12)$$

$$\frac{K a V}{L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{d T}{H' - H} \quad (13)$$

mientras la ec. 12 no es muy conveniente para el cálculo o análisis de torres de enfriamiento, dado que el interés principal se sitúa en la temperatura del agua producida, la ec. 13 sí lo es.

El valor numérico de la integral se conoce como "número de unidades de difusión", y su expresión es:

$$n_d = \frac{K a V}{L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{H' - H} \quad (14)$$

Este parámetro indica la dificultad del proceso de enfriamiento, o bien el trabajo que tendrá que realizarse en la torre para obtener la temperatura deseada en el agua que sale de la misma mientras más grande sea, mayor será la dificultad para lograr las condiciones deseadas o, con otras palabras, más grande tendrá que ser el equipo.

Para determinar la altura de relleno que requerirá una torre de enfriamiento para cumplir su función se utiliza la expresión :

$$Z = N_d \times h_d \quad (15)$$

En donde N_d se calcula de la expresión anterior y h_d , altura de una unidad de transferencia, es un valor particular para cada tipo de relleno determinado experimentalmente por el fabricante.

5.4 EVALUACION DE LA ECUACION DE MERKEL

Puesto que la temperatura T del agua no es una función simple de H' y H, es conveniente efectuar la integración de la ec. 14 por medio de métodos analíticos o gráficos.

5.4.1 METODO NUMERICO

Para el cálculo de las unidades de difusión por el método analítico, se lleva a cabo la integración de la ecuación 14, por el método de Tchebycheff.

El método de Tchebycheff para evaluar numéricamente una integral de la forma $\int_a^b y dx$, usa valores de "y" calculados a valores predeterminados de "x" dentro de los límites "a" y "b", de tal forma que la suma de estos valores de "y" multiplicados por una constante del intervalo (b-a) da el valor deseado de la integral. En esta forma de cuatro puntos, los valores de "y" seleccionados son tomados a valores de "x" de 0.102675, 0.406204, 0.593796 y 0.897327 del intervalo (b-a); para la determinación de KaV/L los valores anteriores redondeados a un décimo son enteramente adecuados. La fórmula entonces se transforma en :

$$\frac{K a V}{L} = \int_a^b y dx = \frac{(b-a)}{4} \left[y_1 + y_2 + y_3 + y_4 \right]$$

en donde,

y₁ = valor de "y" a X = a + 0.1 (b-a)

y₂ = valor de "y" a X = a + 0.4 (b-a)

y₃ = valor de "y" a X = b - 0.4 (b-a)

y₄ = valor de "y" a X = b - 0.1 (b-a)

para la ecuación de KaV/L

$$\frac{K a V}{L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{H' - H} = \frac{T_1 - T_2}{4} \left[\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4} \right]$$

(16)

en donde :

Δh_1 = valor de $(H' - H)$ a $T_2 + 0.1 (T_1 - T_2)$

Δh_2 = valor de $(H' - H)$ a $T_2 + 0.4 (T_1 - T_2)$

Δh_3 = valor de $(H' - H)$ a $T_1 - 0.4 (T_1 - T_2)$

Δh_4 = valor de $(H' - H)$ a $T_1 - 0.1 (T_1 - T_2)$

Con el fin de mostrar claramente la aplicación de este método, se procederá a desarrollar un ejemplo numérico.

EJEMPLO :

Supóngase que una torre de enfriamiento recibe agua caliente (T_1) a 40.4 °C y que la enfría hasta una temperatura (T_2) de 26.3 °C, con una temperatura de bulbo húmedo (TBH) en el aire ambiente de 22.8 °C y que la torre opera con una relación líquido-gas (L/G) igual a 0.815 .

SOLUCION :

La entalpía del aire a la entrada de la torre (H_1) se lee en tablas de mezcla de aire-vapor de agua, a la TBH = 22.8 °C obteniéndose :

$$H_1 = 20.46 \text{ kcal/Kg}$$

la entalpía del aire a la salida de la torre se calcula con un balance térmico de la torre (ec. 10).

$$LC (T_1 - T_2) = G(H_2 - H_1)$$

$$H_2 = H_1 + L/G (T_1 - T_2) \quad (17)$$

donde $C = 1 \text{ kcal/Kg}$, y se obtiene :

$$H_2 = 20.46 + 0.815(40.4 - 26.3)$$

$$H_2 = 31.95 \text{ Kcal/Kg}$$

Conociendo los valores anteriores y aplicando el método de Tcheycheff, el cálculo de KaV/L es :

TABLA 5.1

METODO NUMERICO / MERKEL

| T (°C) | H' (de tabla a T2) | H | (H' - H) | (T/ Δh) |
|----------------------------|--------------------|--------------------------------|------------|---------|
| T2 = 26.30 | 23.86 | H1 = 20.46 | | |
| T2 + 0.1 (T1 - T2) = 27.67 | 25.37 | H1 + 0.1 L/G (T1 - T2) = 21.61 | h1 = 3.76 | 0.2657 |
| T2 + 0.4 (T1 - T2) = 31.94 | 30.68 | H1 + 0.4 L/G (T1 - T2) = 25.06 | h2 = 5.62 | 0.1779 |
| T2 - 0.4 (T1 - T2) = 34.72 | 34.74 | H2 - 0.4 L/G (T1 - T2) = 27.36 | h3 = 7.38 | 0.1355 |
| T1 - 0.1 (T1 - T2) = 39.00 | 42.12 | H2 - 0.1 L/G (T1 - T2) = 30.81 | h4 = 11.31 | 0.0884 |
| T1 = 40.40 | 44.84 | H2 = 31.95 | | |

de la ecuación 16:

$$KaV/L = \left(\frac{40.4 - 26.3}{4} \right) (0.2657 + 0.1779 + 0.1355 + 0.0884)$$

$$KaV/L = 2.356$$

5.4.2 METODO GRAFICO

Este método requiere para su aplicación de las curvas características de torres de enfriamiento, que vienen en el conocido como "libro azul" del Cooling Tower Institute (CTI).

Dicho libro contiene 821 páginas de curvas en papel logarítmico, con la relación líquido-aire (L/G) como abscisa, el valor de las unidades de difusión (KaV/L) de las torres de enfriamiento como ordenada y la aproximación (A) como parámetro. Cada página representa una combinación fija de temperatura de bulbo húmedo (TBH) y rango de enfriamiento (R).

Estas curvas se utilizan para diseñar, analizar y predecir el comportamiento de las torres de enfriamiento húmedas.

Para el cálculo de las unidades de difusión, con las curvas características, debe seleccionarse la curva correspondiente a la TBH y R que se requiere. Conocidos los valores L/G y A, se lee el valor de KaV/L en la intersección del valor de L/G y la curva correspondiente a A.

A continuación se desarrolla un ejemplo :

Conociendo : R = 15.5 °C
 TBH = 24.4 °C
 L/G = 1.80
 A = 7.77 °C

se procede conforme a la descripción anterior y se obtiene $KaL/V=1.75$ (figura 5.3)

Aunque los dos métodos proporcionan el mismo valor de KaV/L para una misma torre operando a las mismas condiciones tanto atmosféricas como de proceso, es importante destacar que ambos requieren de valores diferentes entre sí, es decir, mientras que

para el método analítico se debe conocer las entalpías del aire y las temperaturas del agua, tanto a la entrada como a la salida, el método gráfico requiere el rango y la aproximación.

La relación L/G y la temperatura de bulbo húmedo son requeridas por los dos métodos.

La aplicación de los dos métodos es también diferente: mientras que el método analítico constituye una herramienta idónea para el diseño de torres, ya que parte de los valores empleados en este método son las temperaturas requeridas por el proceso; el método gráfico se utiliza más para el análisis del comportamiento de las torres, debido a que tiene en cuenta, preferentemente los parámetros de operación de la torre.



COOLING TOWER INSTITUTE

76 WET BULB (°F)
28 RANGE (°F)

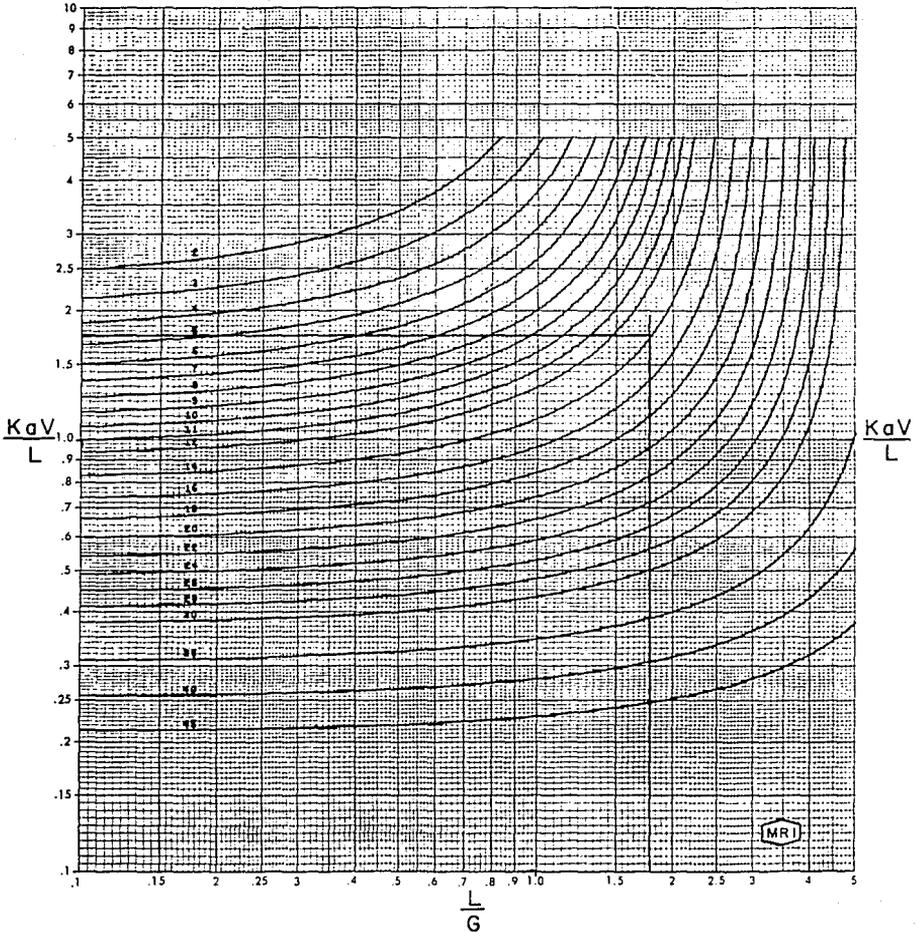


FIGURA 5.3

CAPITULO VI

***PROCEDIMIENTO DE DIAGNOSTICO
DE TORRES DE ENFRIAMIENTO***

6.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE OPERACION Y DIAGNOSTICO DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

El primer signo de mal funcionamiento de una torre de enfriamiento es una temperatura de agua fría demasiado elevada. Si se presenta esta situación, para intentar corregirla será necesario un análisis del comportamiento de la torre.

La realización de este análisis es una tarea relativamente compleja, ya que las torres de enfriamiento se diseñan para condiciones muy específicas, esto es, para manejar un cierto flujo de agua de circulación (L), que llega a la torre a una temperatura especificada (TAC), enfriándola hasta otra temperatura también fija (TAF), utilizando para ello un flujo de aire ambiente (G) que posee una temperatura de bulbo húmedo determinada (TBH).

En otras palabras, se especifica un rango ($R=TAC-TAF$), una aproximación al bulbo húmedo ($A=TAF-TBH$) y una carga térmica ($Q=LxR$), y el fabricante calcula el tamaño de la torre de enfriamiento, el número y tipo de espreas, el relleno y el flujo de aire requerido.

Es necesario tener presente que, como ya se dijo, la torre de enfriamiento es un equipo que transfiere calor del agua de circulación a la atmósfera. No constituye, por lo tanto, ni un acumulador ni un sumidero de energía.

Esto significa que cualquier torre, independientemente de su tamaño, transferirá a la atmósfera todo el calor que el agua de circulación extraiga del condensador sin importar su cantidad. Lo que dependerá del tamaño o capacidad de la torre será el nivel de temperaturas al que se realice este proceso. Para una misma carga térmica, una torre de mayor capacidad entregará agua más fría que una de menor capacidad o, en otras palabras, tendrá una aproximación más pequeña.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

Una medida cualitativa de la capacidad de la torre de enfriamiento es entonces qué tan cerca de la temperatura de bulbo húmedo del aire que la rodea es capaz de enfriar al agua de circulación, esto es, qué tan pequeña es su aproximación.

Mientras más baja sea la temperatura de bulbo húmedo (lo que indica que el aire está más frío, o más seco, o ambas cosas) tanto más baja será la temperatura a la que la torre podrá enfriar el agua, pero debido a los principios en que se basa su operación, ninguna torre podrá enfriar agua por debajo de la temperatura de bulbo húmedo del aire. Es decir que la aproximación podrá ser pequeña (y en el caso hipotético de una torre de dimensiones infinitas podría ser cero), pero nunca negativa.

En la mayoría de los casos las torres se diseñan para brindar aproximaciones entre 5 y 10 °C, ya que para aproximaciones menores de 5°C el tamaño (y el costo) de una torre se incrementan exponencialmente.

La temperatura de bulbo húmedo seleccionada para el diseño de la torre es usualmente cercana a la temperatura de bulbo húmedo máxima promedio en los meses de verano en el sitio donde se instalará.

Los valores de L, G, TAC, TAF, Q, R y A están estrechamente relacionados entre sí y un cambio en cualquiera de ellos afectará fuertemente a uno o más de los otros.

La dificultad para evaluar el comportamiento de una torre comparando sus valores de operación real con los de diseño radica en que es muy poco probable que durante operación normal se cumplan simultáneamente todas las condiciones de diseño, y que además esto ocurra en el momento en que se debe realizar el análisis.

Por lo anterior, para evaluar una torre es necesario recurrir a métodos de extrapolación de condiciones y parámetros a los efectos

de poder realizar la comparación entre el comportamiento real y el esperado por diseño. Estos métodos han sido estandarizados por el COOLING TOWER INSTITUTE en su procedimiento CTI-ATC-105, y permiten calcular un índice cuantitativo del buen o mal comportamiento de la torre denominado "CAPACIDAD" (CAPABILITY).

Es importante aclarar que el procedimiento del CTI-ATC-105 es un método creado para realizar pruebas de aceptación de torres de enfriamiento, pruebas que se realizan con el objeto de evaluar si el equipo que ha proporcionado el fabricante cumple con lo ofrecido por él, y de no ser así imponer sanciones económicas sobre el pago del equipo. Sin embargo cuando se lleva a cabo una prueba de diagnóstico lo relevante a observar es la capacidad real que tiene la torre durante la prueba y las oportunidades que existen para incrementarla. Por lo anterior fué necesario desarrollar, con base en el CTI-ATC-105, un procedimiento que arroje datos adecuados para mejorar la operación del equipo.

Resumiendo, el procedimiento para el diagnóstico de una torre consiste entonces en realizar las mediciones y cálculos necesarios para determinar la capacidad e identificar las causas de su decremento, si existe.

Si el valor de la capacidad es igual o mayor que 100%, la torre estará operando correctamente, de acuerdo con su diseño.

Si en cambio la capacidad calculada resulta menor que 100%, esto indica que el comportamiento de la torre es pobre respecto al esperado por diseño; será entonces conveniente realizar una inspección exhaustiva de todos y cada uno de los elementos de la torre (especialmente los indicados en el capítulo 5), ajustando, reparando y/o reemplazando aquellos que muestren signos de deterioro.

Es importante indicar que se puede obtener un valor de capacidad de la torre mayor al 100%, indicando ésto, que la torre esta sobrada para las condiciones operativas a las que esta sometida,

como puede ser el caso en que la temperatura de bulbo húmedo de diseño se superior a la real.

Una vez realizado lo anterior se determinará nuevamente la capacidad, la que deberá ser 100% o mayor. De no ser así será necesario realizar un estudio detallado tanto del estado de conservación como del diseño mismo de la torre de enfriamiento.

Puede darse el caso en que aún cuando la capacidad de la torre sea igual o mayor que 100%, la temperatura de agua fría sea superior a la requerida por el condensador. Esto puede deberse a dos causas: o bien la torre está recibiendo una carga térmica excesiva (por problemas en el ciclo agua-vapor) o bien el diseño de la torre es incorrecto, esto es, la torre resulta demasiado pequeña para la tarea que debe realizar.

En el primer caso se deberán verificar, y en su caso corregir, las anomalías en el ciclo. En el segundo, deberá realizarse una evaluación del diseño, así como de las opciones más convenientes para el eventual rediseño de la torre.

6.2 PROCEDIMIENTO DE DIAGNOSTICO UTILIZADO

A continuación se describe la instrumentación, condiciones de prueba, forma de evaluar la capacidad y limitaciones que presenta este procedimiento.

6.2.1 CONDICIONES DEL EQUIPO

En el momento de realizar la prueba, la torre deberá estar en buenas condiciones de operación, cumpliendo con todos y cada uno de los puntos que a continuación se describen. Esto permitirá obtener un diagnóstico veraz de la torre.

Sistema de Distribución de Agua

Debe estar limpio y libre de materiales extraños, los cuales pudieran restringir el flujo de agua de circulación.

Ventiladores

Las aspas deben tener una inclinación que no exceda $\pm 10\%$ de la de diseño. La inclinación debe ser la misma para todos los ventiladores así como para todas las aspas de un mismo ventilador.

Eliminadores de Arrastre

Deben estar limpios y libres de algas u otros depósitos que puedan impedir el libre flujo de aire.

Espreas

Deben estar completas en número y libres de cuerpos extraños como aceite, incrustaciones, algas o basura en general.

Nivel de Agua de las Charolas

Será el indicado en diseño e igualado en todas las charolas y mantenido constante durante la prueba.

Líneas de Agua de Repuesto y Drenaje

Es conveniente que permanezcan cerradas durante la prueba. Sin embargo, la apertura momentánea de una o más de ellas no afectara sustancialmente los resultados.

6.2.2 CONDICIONES DE PRUEBA Y MEDICIONES

Medición de Flujo de Agua

La medición de flujo de agua puede ser realizada con varios instrumentos, sin embargo se recomienda el uso de un tubo Pitot el que deberá ser introducido en el(los) tubo(s) ascendente(s) de la torre en forma perpendicular a la dirección del flujo y sobre los dos ejes del tubo ascendente conociendo así el perfil completo de velocidades y posteriormente evaluar el caudal que llega al sistema de distribución de la torre.

Medición de Flujo de Aire

Para medir flujo de aire, también se recomienda el uso de un tubo Pitot el que se introducirá a todo lo largo de cada uno de los conos de los ventiladores en forma perpendicular a la dirección del flujo, obteniendo así el perfil de velocidades para cada ventilador y posteriormente evaluar cada uno de los caudales que manejan los ventiladores de la torre.

Medición de Temperaturas de Agua

Esta medición puede ser hecha con cualquier instrumento sensible a la temperatura como termopares o termómetros de mercurio en vidrio. Estos instrumentos deben tener graduaciones en intervalos de 0.2 °C.

La medición de la temperatura de agua caliente de circulación se lleva a cabo en los tubos ascendentes, o en el sistema de distribución.

La medición de la temperatura del agua fría de circulación se efectúa preferentemente en la descarga de las bombas de agua de circulación.

Medición de la Temperatura del Aire a la Entrada y Salida de la Torre

La medición de la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la torre (aire atmosférico) se realiza con un termómetro de aspiración mecánica, al cual su bulbo sensor es cubierto con un capuchón de gasa que continuamente se moja con agua limpia, de preferencia agua destilada, y la longitud del capuchón deberá cubrir totalmente al bulbo sensor del termómetro.

Las mediciones de temperatura se realizan dentro de un radio de 10m a todo alrededor de la torre y la temperatura de bulbo húmedo a reportar es un promedio de 3 lecturas sucesivas.

La medición de temperatura de bulbo seco del aire atmosférico se realiza con un termómetro sin capuchón en su bulbo sensor, ubicando al instrumento y reportando la temperatura de la misma forma en que se lleva a cabo la medición de la temperatura de bulbo húmedo.

Para la medición de temperatura de bulbo húmedo del aire a la salida de la torre, se requiere hacer una perforación en el cono

del ventilador, si no cuenta con un orificio de inspección, para introducir por este un termómetro con el bulbo sensor encapuchado. El orificio debe estar por arriba de la trayectoria de las aspas, para evitar que estas rompan el termómetro y además se aproveche la corriente de aire que induce el ventilador.

La temperatura de bulbo seco a la salida de la torre se realiza de igual forma que la anterior, pero en este caso el termómetro no requiere capucha en su bulbo sensor.

Potencia de Ventiladores

La potencia de los ventiladores se determina por la medición en las terminales de cada motor de: tensión, corriente y factor de potencia, o por la medición directa de la potencia utilizando un Wattmetro.

Velocidad del Viento

Para la medición de la velocidad del viento se utiliza un anemómetro, éste se ubica en un radio de hasta de 35 m de la torre, del lado de barlovento y, a 1.5 m por arriba del nivel de la pileta y en un lugar sin obstrucción del flujo.

Dado que los fabricante de torres de enfriamiento diseñan sus equipos para operar con velocidades de viento inferiores a los 25km/h, este parámetro se registra con objeto de verificar que una velocidad de viento elevada no favorezca el comportamiento del equipo.

Nivel de Charolas

El nivel de las charolas se mide con un flexómetro, se registra la altura del líquido en diferentes zonas de la charola, obteniéndose un promedio de estas lecturas.

Duración de la Prueba

Después de alcanzar condiciones estables en los parámetros de operación, no podrá ser menor de una hora de duración. Si se tuviera un disturbio que afectara alguna condición térmica por un lapso mayor a 5 minutos, se tendría que reanudar la prueba durante una hora, a partir del instante en que se presentó el contratiempo.

Frecuencia de Lecturas

A continuación se muestra en la tabla 6.1 la frecuencia con que se deben medir las variables antes mencionadas, basada en el código CTI-ATC-105.

Tabla 6.1

| MEDICION | LECTURA POR HORA | EXACTITUD DE REGISTRO |
|----------------------------|------------------|-----------------------|
| Temperatura bulbo húmedo | 12 | 0.1 |
| Temperatura bulbo seco | 12 | 0.1 |
| Temperatura agua caliente | 12 | 0.1 |
| Temperatura de agua fría | 12 | 0.1 |
| Flujo agua de circulación | 1 | 1 |
| Flujo de aire en la torre | 1 | 1 |
| Potencia de ventiladores | 1 | 0.1 |
| Velocidad del viento | 6 | 0.1 |
| Nivel de charolas | 2 | 1 |
| Temp. b.h. aire sal. vent. | 2 | 0.1 |
| Temp. b.s. aire sal. vent. | 2 | 0.1 |

- * Si la torre cuenta con dos tubos ascendentes, se requiere una medición por cada tubo.
- ** Se deben medir para cada uno de los ventiladores.

6.3 CALCULO DE LA CAPACIDAD DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO

El CTI plantea dos métodos para el cálculo de la capacidad: el de las curvas características (Characteristic Curve Method) y el de las curvas de comportamiento (Performance Curve Method).

6.3.1 METODO DE CURVAS CARACTERISTICAS

Este método permite evaluar el comportamiento de una torre de enfriamiento, dentro de límites de operación razonables, sin la necesidad de tener las curvas del fabricante. Sin embargo para aplicarlo se requiere disponer de las curvas características de las torres, contenidas, en el "Libro Azul" del CTI (descripción en el inciso 5.4.2.), ref. 19.

Datos Requeridos

a) Las curvas características (libro azul del CTI)

b) Los valores de flujo de agua de circulación (L), temperatura de agua fría (TAF), temperatura de agua caliente (TAC), temperatura de bulbo húmedo (TBH), relación agua/aire (L/G), rango (R) y aproximación de diseño(A), así como la potencia que por diseño deben tomar los ventiladores.

c) Medir las siguientes variables (datos de prueba)

Temperatura de agua fría (TAF).

Temperatura de agua caliente (TAC).

Temperatura de bulbo húmedo (TBH).

Potencia tomada por los ventiladores (P).

Flujo de agua de circulación (L)

d) Con los valores medidos deberán calcularse :

Rango (R=TAC-TAF)

Aproximación (A=TAF-TBH)

Procedimiento de Cálculo

Paso 1:

Se calcula $(L/G)_{prueba}$ mediante la ecuación:

$$(L/G)_{prueba} = (L/G)_{diseño} \times \left(\frac{L_{prueba}}{L_{diseño}} \right)$$

Paso 2:

Se selecciona del "Libro Azul" la hoja de curvas que corresponde a la TBH y el R de prueba.

Paso 3:

Con el $(L/G)_{prueba}$ calculado en el paso 1 y la A de prueba se ubica en la gráfica el punto de operación de prueba de la torre. Se lee el valor de prueba de KaV/L .

Paso 4:

Se selecciona del "Libro Azul" la hoja de curvas que corresponde a la TBH y R de diseño.

Paso 5:

Utilizando los valores de $(L/G)_{prueba}$ y $(KaV/L)_{prueba}$ determinados en los pasos 1 y 3, se ubica en la hoja del paso 4 el punto de operación de la torre. Se traza por dicho punto una recta de pendiente -0.6 y se prolonga hasta intersectar la curva correspondiente a la A de diseño. El punto determinado por esta intersección representa al punto de operación real de la torre extrapolado a las condiciones de diseño.

El valor de la pendiente igual -0.6, es un valor encontrado experimentalmente, por el COOLING TOWER INSTITUTE, para torres de enfriamiento comerciales, según ref.21.

Paso 6:

Se lee en la gráfica anterior el L/G correspondiente al punto de operación extrapolado a las condiciones de diseño. Este será el (L/G)_{extrapolado}.

Paso 7:

Se calcula la capacidad de la torre mediante la expresión

$$C = \frac{(L/G)_{\text{extrapolado}}}{(L/G)_{\text{diseño}}} \times 100$$

Cálculos y Valores Adicionales

a) Capacidad Potencial

Si bien la capacidad calculada por el procedimiento anterior puede ser menor que 100% por cualquiera de las causas mencionadas en 6.1, una situación que suele presentarse con cierta frecuencia es aquella en que el ángulo de ataque de las aspas de los ventiladores está ajustado a un valor inferior al de diseño. Esto se traduce en que la potencia tomada por los ventiladores resulta menor que la especificada en el diseño de la torre e implica que por la torre circula un flujo de aire menor que el requerido.

Considerando que para un ventilador el gasto es proporcional al cubo de la potencia consumida, es posible calcular la capacidad que podría alcanzar la TDE si se ajustara el ángulo de ataque de las aspas hasta que los ventiladores tomaran su potencia de diseño. A este valor se le llama "Capacidad Potencial" y se calcula mediante el mismo procedimiento anterior pero utilizando (L/G)_{corregido} en lugar de (L/G)_{prueba}.

$$(L/G)_{\text{corregido}} = (L/G)_{\text{diseño}} \times \left(\frac{L_{\text{prueba}}}{L_{\text{diseño}}} \right) \times \left(\frac{P_{\text{diseño}}}{P_{\text{prueba}}} \right)^{1/3}$$

Y posteriormente se siguen los pasos del 2 al 7.

b) Capacidad Potencial Máxima

En aquellos casos en que se requiera, es posible considerar la alternativa de mejorar el comportamiento de la torre incrementando el flujo de aire mediante un ulterior ajuste del ángulo de ataque de las aspas de los ventiladores hasta que alcancen la potencia de diseño de sus motores (que usualmente es mayor que la de diseño del ventilador). A este nuevo valor se le llama "Capacidad Potencial Máxima" y se calcula mediante el mismo procedimiento comenzando por:

$$(L/G)_{\text{corregido}} = (L/G)_{\text{diseño}} \times \left(\frac{L_{\text{prueba}}}{L_{\text{diseño}}} \right) \times \left(\frac{P_{\text{maxima}}}{P_{\text{prueba}}} \right)^{1/3}$$

c) Efecto de la Temperatura de Bulbo Húmedo

Usando los valores de $(KaV/L)_{\text{prueba}}$ y $(L/G)_{\text{prueba}}$ determinados anteriormente, es posible predecir la temperatura de agua fría que producirá la torre para diferentes temperaturas de bulbo húmedo. Si R, L y G permanecen constantes pero TBH varía hasta TBH^* , TAF y TAC se pueden predecir del siguiente modo:

Se selecciona la curva de TBH^* y R, se ubica el punto de prueba con $(kaV/L)_{\text{prueba}}$ y $(L/G)_{\text{prueba}}$ y se lee A^* . La TAF será entonces igual a la $TBH^* + A^*$ y la TAC será igual a TAF + R.

d) Efectos del Rango de Enfriamiento

Usando los valores de $(KaV/L)_{prueba}$ y $(L/G)_{prueba}$ determinados anteriormente es también posible predecir TAF y TAC para varios R. Si TBH, L y G permanecen constantes pero R cambia hasta R^* , TAF y TAC se pueden predecir del siguiente modo:

Se selecciona la curva para TBH y R^* , se ubica en ella el punto de prueba con $(KaV/L)_{prueba}$ y $(L/G)_{prueba}$ y se lee A^* . La TAF será entonces $TBH + A^*$ y la TAC será igual a $TAF + R^*$.

e) Efecto del Agua de Circulación y/o del Gasto de Aire

Supóngase que se modifica el flujo de agua de circulación desde L hasta L^* y/o el flujo de aire G^* , manteniendo R y TBH constante. La recta de pendiente -0.6 trazada en el paso 5 del cálculo de la capacidad se puede usar para determinar los nuevos valores de TAF y TAC del siguiente modo:

$$(L/G)_{nuevo} = (L/G)_{prueba} \times \frac{L^*}{L_{prueba}} \times \frac{G_{prueba}}{G^*}$$

El nuevo KaV/L se lee en la intersección de la recta de pendiente -0.6 y el nuevo L/G .

Yendo ahora a la hoja de curvas de las condiciones de prueba, la intersección de los nuevos KaV/L y L/G ocurrirá a un cierto A^* . La TAF será entonces $TBH + A^*$ y la TAC será $TAF + R$.

6.3.2 METODO DE LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO

Este método permite la evaluación del comportamiento de una torre si se tienen las curvas de comportamiento suministradas por el fabricante.

Datos Requeridos

a) Los tres juegos de curvas de comportamiento de la torre suministrados por el fabricante. Cada uno de ellos consiste en una representación gráfica de la TAF que suministra por diseño la TDE en función de la TBH, para dos o tres rangos de enfriamiento diferentes y un cierto porcentaje del L de diseño (usualmente 90,100,110%), como se muestra en las siguientes curvas.

CURVA DE COMPORTAMIENTO A 90% DEL FLUJO DE DISEÑO

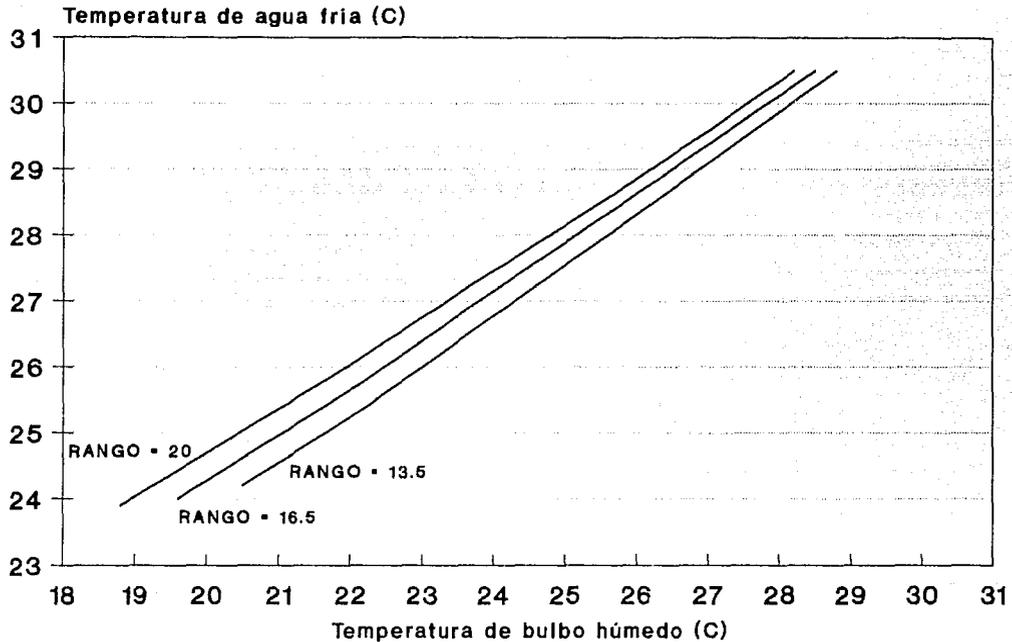


FIGURA 6.1

CURVA DE COMPORTAMIENTO A 100% DEL FLUJO DE DISEÑO

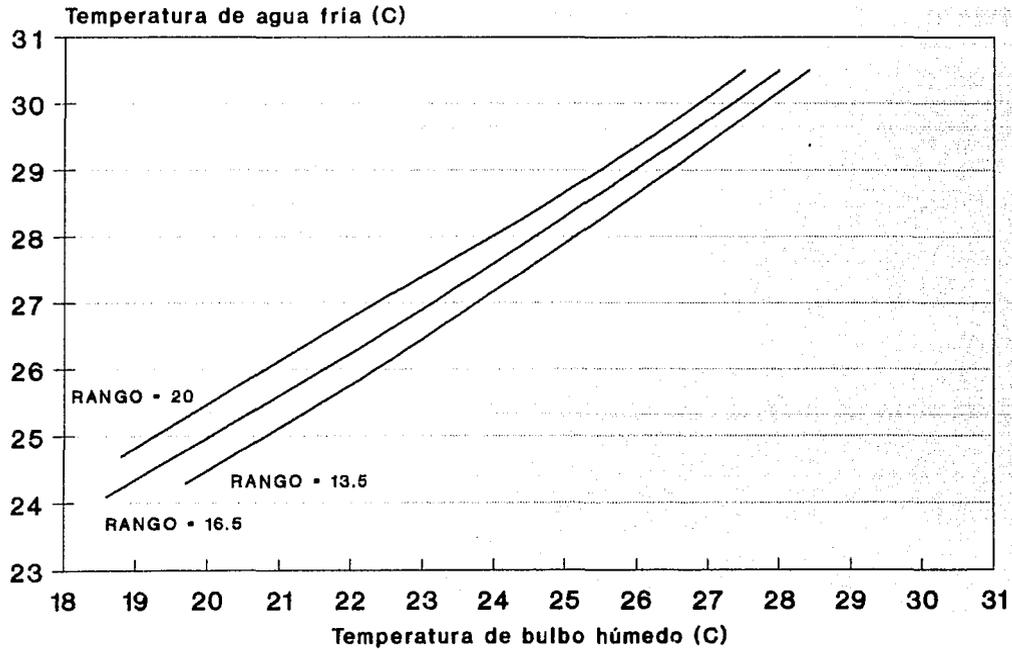


FIGURA 6.2

CURVA DE COMPORTAMIENTO A 110% DEL FLUJO DE DISEÑO

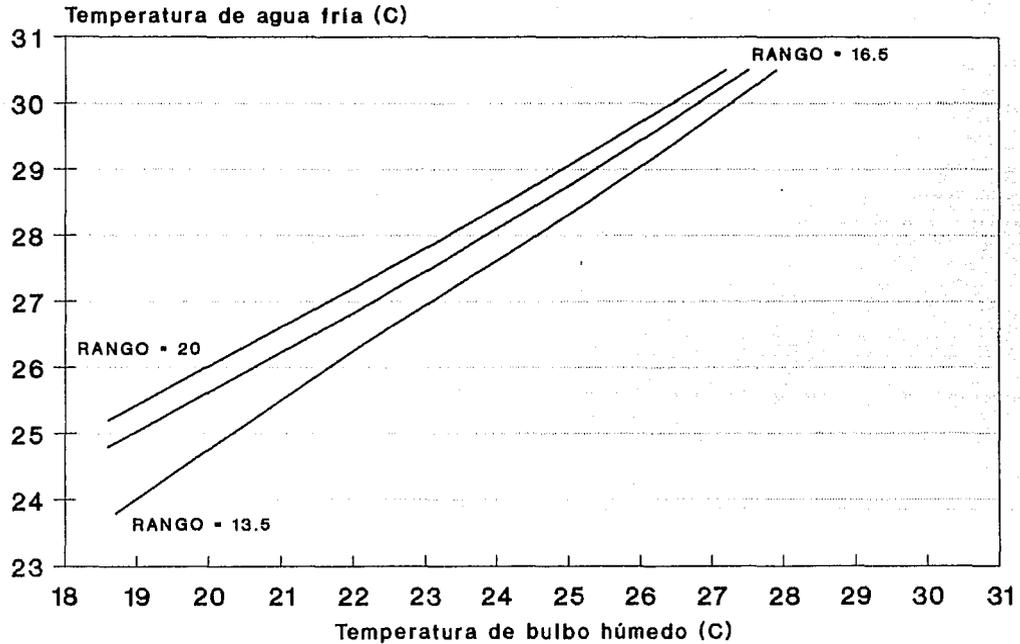


FIGURA 6.3

b) La potencia que por diseño de la torre deben tomar los ventiladores.

c) Medir las siguientes variables (datos de prueba).

Temperatura de agua fría (TAF).

Temperatura de agua caliente (TAC).

Temperatura de bulbo húmedo (TBH).

Potencia tomada por los ventiladores (P).

Flujo de agua de circulación (L)

d) Con los valores medidos deberán calcularse:

Rango ($R = TAC - TAF$)

Aproximación ($A = TAF - TBH$)

Procedimiento de Cálculo

Paso 1:

Sobre cada uno de los juegos de curvas de comportamiento indicados en 6.5.2 inciso a, se traza una vertical en la abscisa correspondiente a la TBH de prueba. Estas verticales cortarán a las curvas definiendo 3 puntos para cada juego, cada uno de los cuales representa, para la TBH de prueba, una TAF y un R. Con estos pares de valores de R y TAF (9 en total) se trazará, en otro papel, una familia de 3 curvas de TAF vs R con L como parámetro. Quedará entonces la curva 6.4 de TAF vs R.

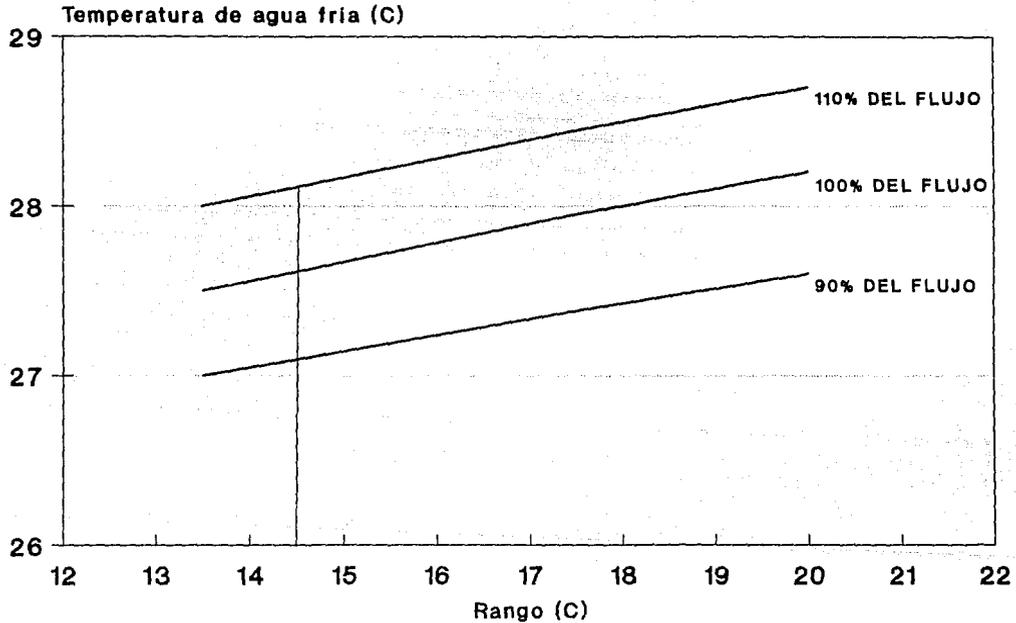
Paso 2:

Sobre la gráfica anterior se traza ahora una vertical en la abscisa correspondiente al R de prueba. En su intersección con las 3 curvas, ésta vertical determinará 3 puntos, es decir 3 pares de valores (L, TAF).

Con ellos se trazará una última curva de TAF vs L, como se muestra en la curva 6.5.

CURVA DE AGUA FRIA vs RANGO

A 90%, 100% Y 110% DEL FLUJO DE DISEÑO



Para una temperatura de bulbo húmedo de prueba de 24.5 (C)

FIGURA 6.4

CURVA DE AGUA FRIA vs FLUJO DE AGUA A RANGO Y TBH DE PRUEBA

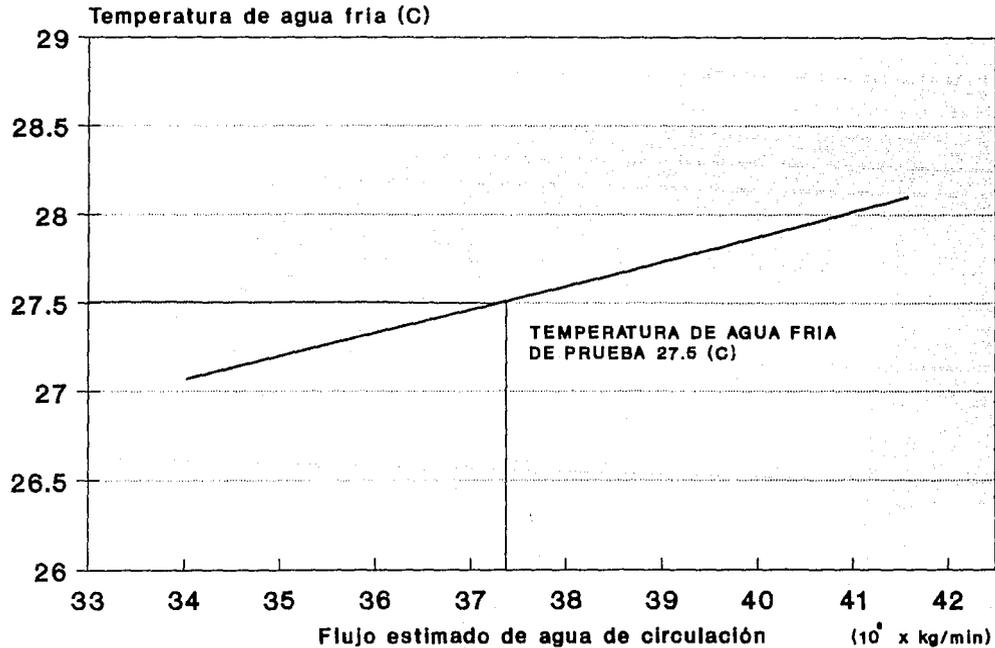


FIGURA 6.5

Paso 3:

En la curva del paso 2, entrando con la TAF de prueba se obtiene el gasto L (L calculado). Este gasto es el que deberá poder enfriar la torre en las condiciones de TBH,R y TAF de prueba, si su capacidad fuera del 100%.

Paso 4:

Se calcula la capacidad de la torre (tal y como operó durante la prueba) mediante la expresión :

$$\text{CAPACIDAD ACTUAL} = \frac{L_{\text{prueba}}}{L_{\text{calculado}}} \times 100$$

Cálculo y Valores Adicionales

Así como en el método de las curvas características, en éste también es factible el cálculo de las capacidades potencial y potencial máxima. A continuación se muestran las expresiones utilizadas para el cálculo de estas capacidades:

$$\text{CAPACIDAD POTENCIAL} = \frac{L_{\text{prueba}}}{L_{\text{calculado}}} \times \left(\frac{P_{\text{diseño}}}{P_{\text{prueba}}} \right)^{1/3} \times 100$$

$$\text{CAPACIDAD POTENCIAL MAXIMA} = \frac{L_{\text{prueba}}}{L_{\text{calculado}}} \times \left(\frac{P_{\text{maxima}}}{P_{\text{prueba}}} \right)^{1/3} \times 100$$

6.3.3 EJEMPLO DE APLICACION

A continuación se desarrollará un ejercicio numérico de evaluación de la capacidad de una torre y de calculos de los valores adicionales, aplicando tanto el método de las curvas características como el de las curvas de comportamiento.

Supongase una torre de enfriamiento cuyos datos de diseño y prueba son:

| | DISEÑO | PRUEBA |
|---------------------------------|---------------|--------------|
| L Flujo de agua kg/min (GPM) | 10000 (37800) | 9177 (34689) |
| TAC Temp. agua caliente °C (°F) | 115 (46.1) | 106.7 (41.5) |
| TAF Temp. agua fría °C (°F) | 85 (29.5) | 81.5 (27.5) |
| TBH Temp. bulbo húmedo °C (°F) | 80 (26.7) | 76.1 (24.5) |
| R Rango °C (°F) | 30 (16.5) | 25.2 (14.0) |
| A Aproximación °C (°F) | 5 (2.8) | 5.4 (3.0) |
| L/G Relación líquido/aire | 0.86 | ----- |
| P Potencia de ventiladores kW | 90 | 78 |

a) Metodo Curvas Características

Capacidad

Siguiendo el procedimiento de evaluación de la capacidad descrito en 6.5.1. se tiene:

Paso 1:

Se calcula la L/G de prueba como :

$$L/G \text{ prueba} = 0.86 \times \left(\frac{34689}{37800} \right) = 0.79$$

Paso 2:

Se selecciona del libro azul la hoja de curvas que más se acerque a las condiciones de prueba $TBH=76.1 \cdot F$ (24.5°C) y $R=25.2 \cdot F$ (14°C), figura 6.6.

Paso 3:

Se ubica en la figura 6.6 el punto de operación de prueba con $(L/G)_{prueba}=0.79$ y $A=5.4 \cdot F$ (3°C) y se lee el valor de $(KaV/L)_{prueba}$.

$$(KaV/L)_{prueba} = 2.3$$

Paso 4:

Se selecciona del libro azul la hoja de curvas que más se acerque a las condiciones de diseño $TBH=80 \cdot F$ (26.6°C) y $R=30 \cdot F$ (16.5°C) figura 6.7.

Paso 5:

Se ubica en la figura 6.7 el punto de operación ($L/G=0.79$, $KaV/L=2.3$) y se traza la recta, de acuerdo con el procedimiento descrito.

Paso 6:

Se lee en la figura 6.7 el $(L/G)_{extrapolado}$ en la intersección de la recta de pendiente -0.6 y la $A=5 \cdot F$ (2.8°C).

$$(L/G)_{extrapolado} = 0.8$$

Paso 7:

Se calcula la capacidad, como:

$$C = \frac{0.8}{0.86} \times 100$$

$$C = 93\%$$

Valores Adicionales

Capacidad Potencial

Para determinar la capacidad potencial, la L/G de prueba se calcula con la potencia de los ventiladores, tanto de diseño como de prueba, quedando la expresión:

$$(L/G)_{\text{prueba}} = 0.86 \times \frac{34689}{37800} \times \left(\frac{90}{78} \right)^{1/3} = 0.83$$

Y realizando con este valor los pasos 2,3,4,5 y 6 anteriores se encuentran en las figuras 6.6 y 6.7 los valores extrapolados $(K\alpha V/L)_{\text{extrapolado}}=2.4$ y $(L/G)_{\text{extrapolado}}=0.84$.

Aplicando la ecuación de la capacidad se obtiene:

$$C_p = \frac{0.84}{0.86} \times 100$$

$$C_p = 98\%$$

Capacidad Potencial Máxima

Para encontrar la capacidad potencial máxima, la L/G de prueba se calcula con la potencia de los ventiladores, tanto la máxima como la de prueba, quedando la expresión:

$$(L/G)_{\text{prueba}} = 0.86 \times \frac{34689}{37800} \times \left(\frac{99}{78} \right)^{1/3} = 0.85$$

Y realizando con este valor los mismos pasos se encuentra en las figuras 6.6 y 6.7 los valores extrapolados de $(K\alpha V/L)_{\text{extrapolado}}=2.45$ y $(L/G)_{\text{extrapolado}} = 0.87$.

Aplicando la ecuación de la capacidad se obtiene:

$$C_{pm} = \frac{0.87}{0.86} \times 100$$

$$C_{pm} = 101.1\%$$

Efecto de la Temperatura de Bulbo Húmedo

En la torre del ejemplo, si la TBH pasa de $T_{BH\text{prueba}}=76.1\text{°F}$ (24.5°C) a $T_{BH}^*=81\text{°F}$ (27.2°C) (valor cercano a diseño) y los demás parámetros permanecen constantes, las nuevas TAF y TAC podrán conocerse seleccionando del "libro azul" la hoja de curvas que corresponde a la $T_{BH}^*=81\text{°F}$ (27.2°C) y $R=25.2\text{°F}$ (14°C) (figura 6.8), ubicando en ésta el punto $(K_aV/L)_{\text{prueba}}=2.3$ y $(L/G)_{\text{prueba}}=0.79$, leyendo la aproximación $A^*=4.3\text{°F}$ (2.4°C) y calculando la TAF como:

$$TAF = 27.2 + 2.4 = 29.6\text{°C}$$

y la TAC como:

$$TAC = 29.6 + 14 = 43.6\text{°C}$$

Efecto del Rango de Enfriamiento

Si el Rango pasa de $R_{\text{prueba}}=25.2\text{°F}$ (14°C) a un valor $R^*=28\text{°F}$ (15.5°C) y los demás parámetros permanecen constantes, las nuevas TAF y TAC se obtendrán seleccionando del libro azul la hoja de curvas que corresponde a la $T_{BH}=76.1\text{°F}$ (24.5°C) y $R^*=28\text{°F}$ (15.5°C), (figura 6.9) ubicando en ésta el punto $(K_aV/L)_{\text{prueba}}=2.3$ y $(L/G)_{\text{prueba}}=0.79$, leyendo la aproximación $A^*=5.9\text{°F}$ (3.3°C) y calculando la TAF como:

$$TAF = 24.5 + 3.3 = 27.8\text{°C}$$

Y la TAC como:

$$TAC = 27.8 + 15.5 = 43.3\text{°C}$$

Efecto del Agua de Circulación

Supóngase ahora que se incrementa el flujo de agua al valor de diseño, es decir $L=37800$ kg/min, manteniéndose constante los parámetros restantes.

Se calcula el nuevo valor de L/G .

$$(L/G)_{\text{nuevo}} = 0.79 \times \frac{37800}{34689} = 0.86$$

En la figura 6.7, que corresponde a las condiciones de diseño (según paso 5 del procedimiento general), en la intersección de la recta de pendiente -0.6 del cálculo de la capacidad y el nuevo L/G , se lee el nuevo valor de $KaV/L=2.15$.

Y con los nuevos valores de $(KaV/L)_{\text{nuevo}}=2.5$ y $(L/G)_{\text{nuevo}}=0.86$ se entra a la figura 6.6 (correspondiente a las condiciones de prueba) y se lee en su intersección, el valor de $A^{\bullet}=6.3^{\bullet}F$ ($3.5^{\bullet}C$).

Los valores de TAF y TAC son entonces:

$$TAF = 24.5 + 3.5 = 28^{\bullet}C$$

$$TAC = 28 + 14 = 42^{\bullet}C$$



76 WET BULB (°F)
26 RANGE (°F)

- 1 Punto de operación de prueba (paso 1)
- 2 Punto de operación a potencia de ventiladores de diseño
- 3 Punto de operación a potencia de ventiladores máxima
- 4 Punto del valor de A^* al variar L/G

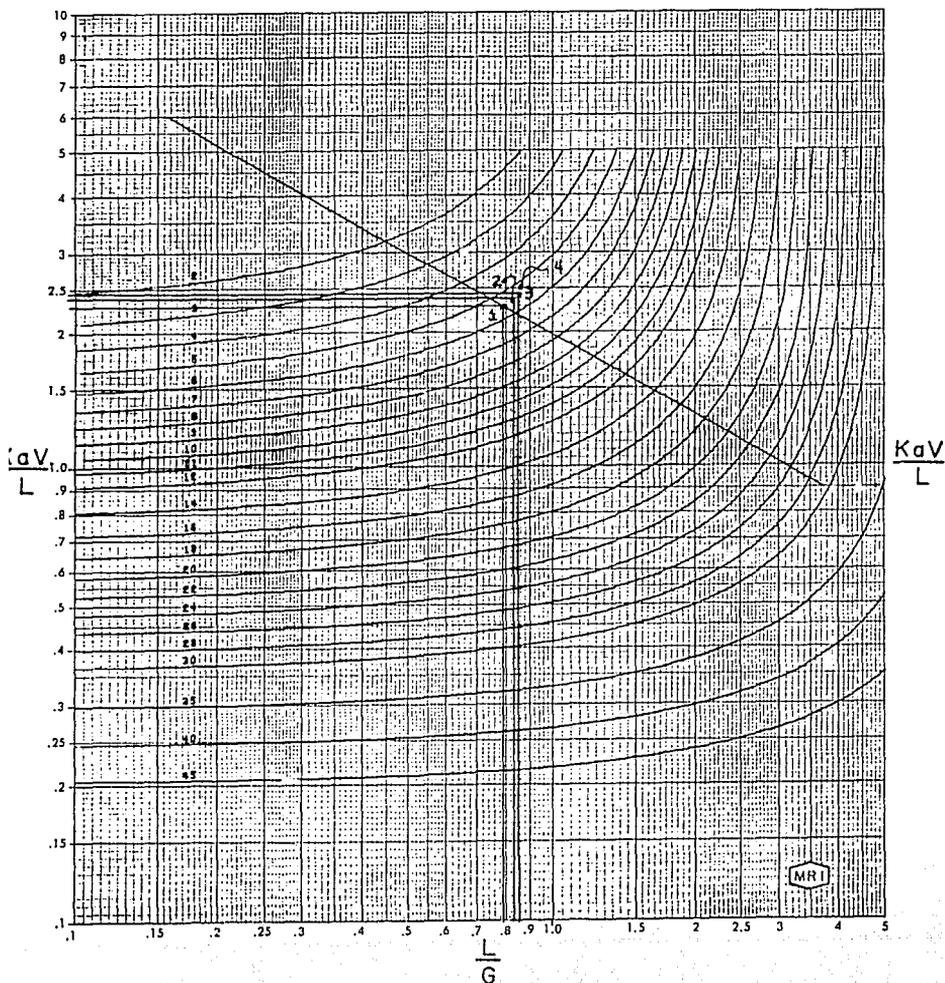


FIGURA 6.6



80 WET BULB (°F)

30 RANGE (°F)

- 1 Punto de operación de prueba extrapolado (paso 5)
- 2 Punto correspondiente a L/G de prueba extrapolado (paso 6)
- 3 Punto de operación extrapolado a pot. de vent. de diseño
- 4 Punto correspondiente a L/G de prueba extrapolado para pot. de vent. de diseño
- 5 Punto de operación extrapolado a pot. de vent. máxima
- 6 Punto correspondiente a L/G de prueba extrapolado para pot. de vent. máxima
- 7 Punto del valor de KaV/L al variar L/G

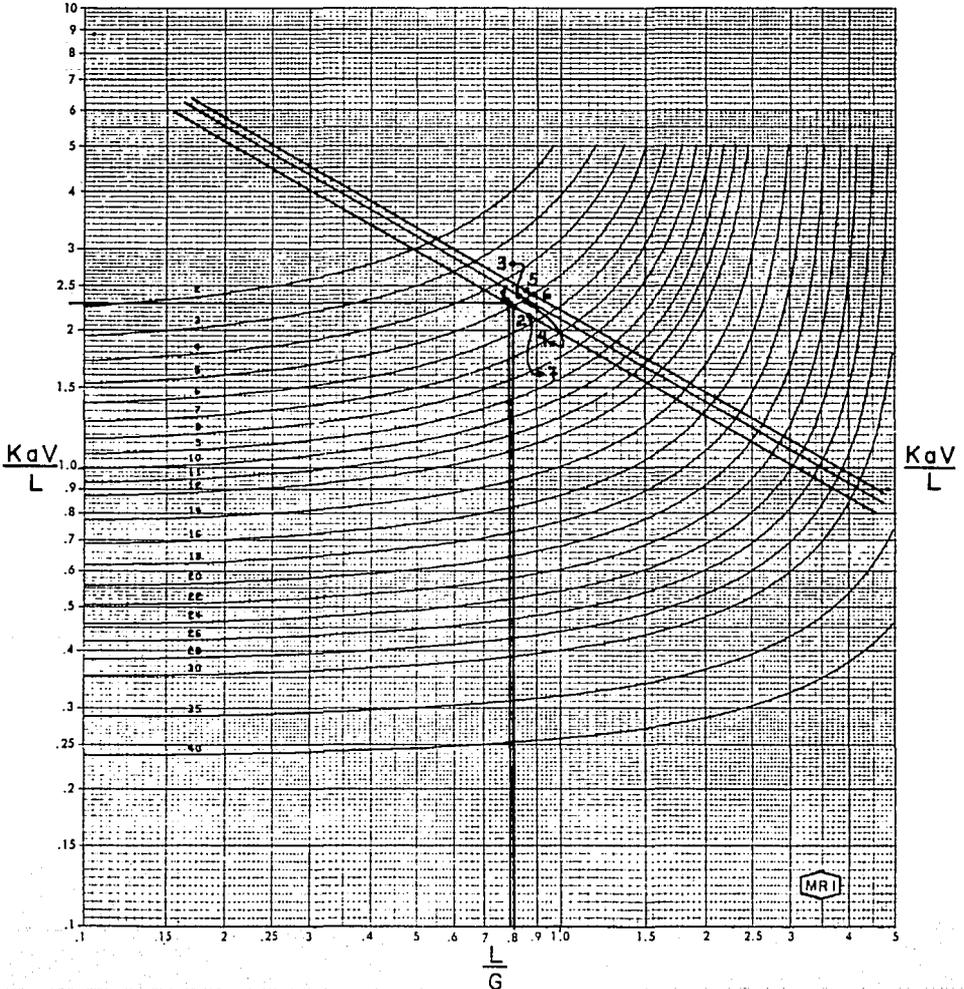


FIGURA 6.7



81 WET BULB (°F)
26 RANGE (°F)

1 Punto del valor de A* al variar la TBH.

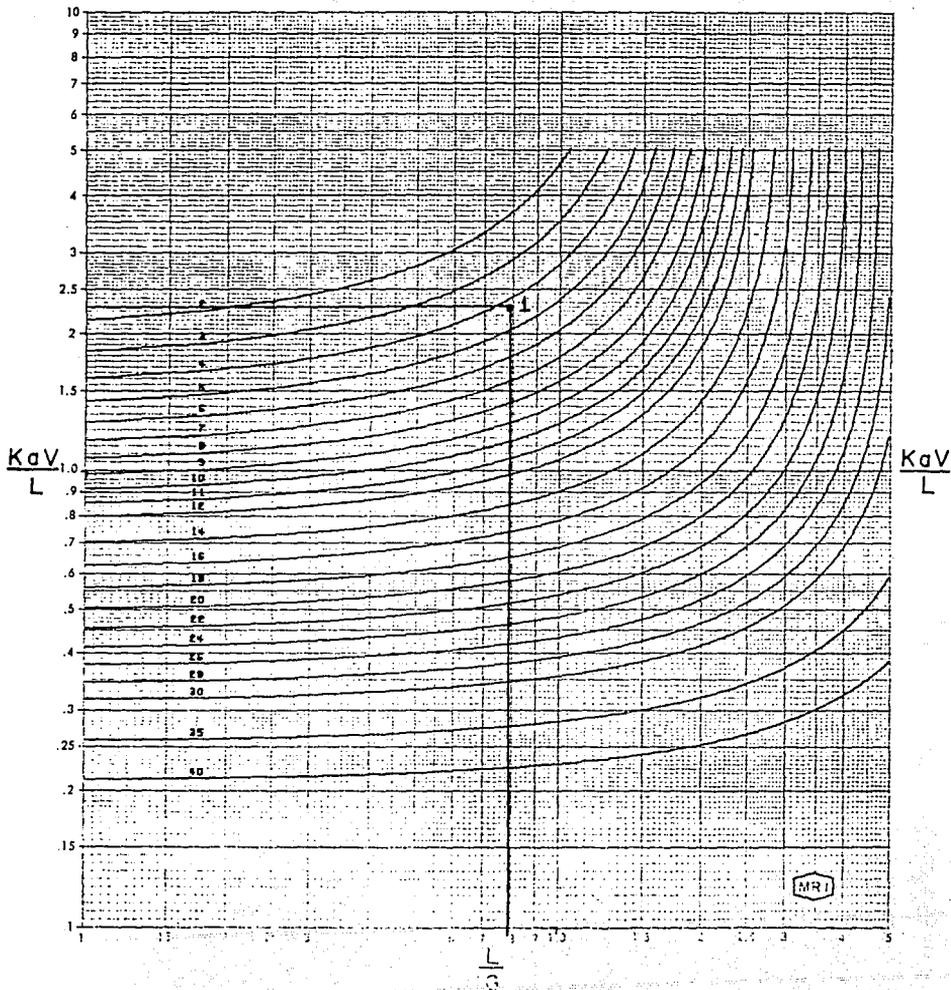


FIGURA - 6.8



76 WET BULB (°F)
28 RANGE (°F)

1 Punto del valor de A* al variar R

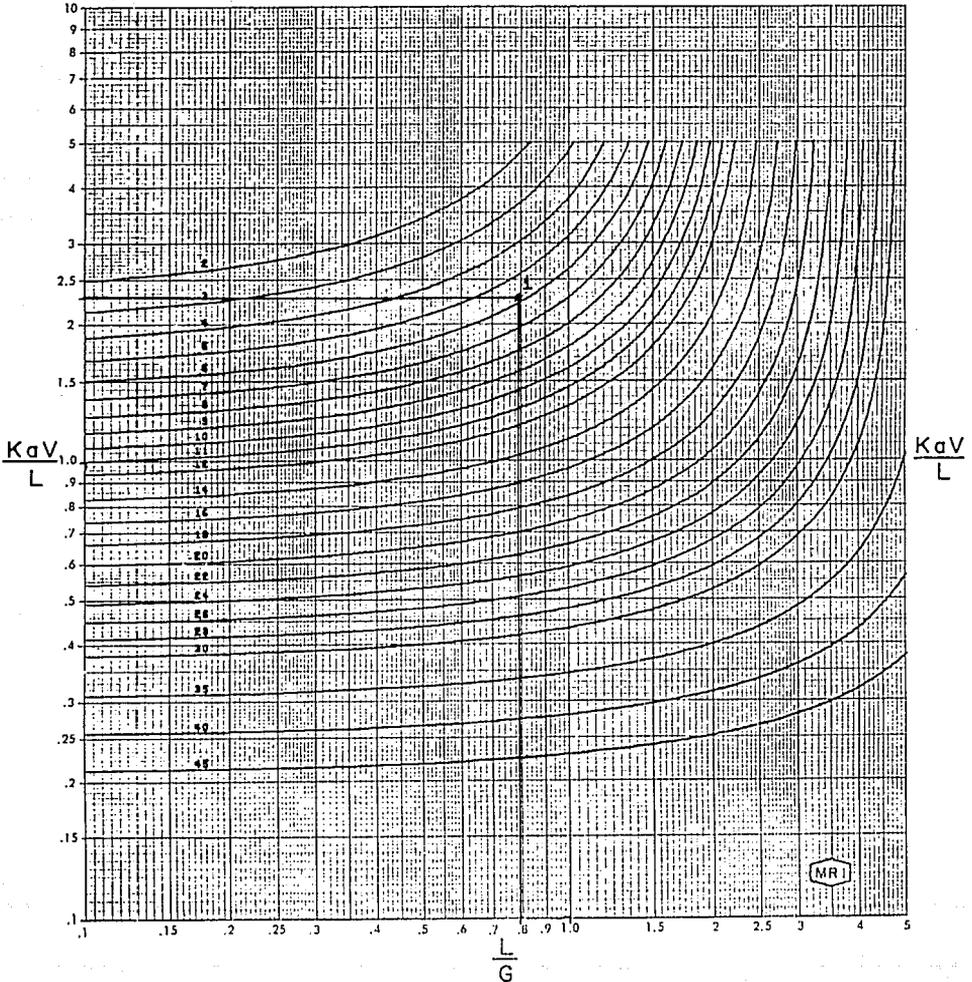


FIGURA 6.9

b) Método de las Curvas Características

Capacidad

Tomando los datos anteriores y basándose en el procedimiento de evaluación de la capacidad descrito en el inciso 6.5.2. se tiene:

Paso 1:

Con las curvas de las figuras 6.10, 6.11 Y 6.12 de comportamiento de la torre y la $TBH_{prueba}=24.5 \text{ } ^\circ C$, se obtiene la figuras 6.13 de TAF vs R

Paso 2:

Intersectando las curvas de la figura 6.13 con el valor de $R_{prueba}=14 \text{ } ^\circ C$ se obtiene la de TAF vs L (figura 6.14)

Paso 3:

Entrando a la curva de TAF vs L obtenida con la $TAF_{prueba}=27.5 \text{ } ^\circ C$, se puede leer el flujo de agua de circulación que podrá enfriar la TDE, $L = 37300 \text{ Kg/min}$.

Paso 4:

Se calcula la capacidad con el flujo anterior y el de prueba, obteniéndose:

$$C = \frac{34689}{37300} \times 100$$

$$C = 93\%$$

Valores Adicionales

Capacidad Potencial

Conforme al punto 6.5.2, la capacidad potencial será:

$$C_p = \frac{34689}{37300} \times \left(\frac{90}{78}\right)^{1/3} \times 100$$

$$C_p = 98\%$$

Capacidad Potencial Máxima

Suponiendo que la potencia máxima de los motores es de 99 kW/celda, la capacidad potencial máxima queda como:

$$C_{pm} = \frac{34689}{37300} \times \left(\frac{99}{78}\right)^{1/3} \times 100$$

$$C_{pm} = 100.7\%$$

CURVA DE COMPORTAMIENTO A 90% DEL FLUJO DE DISEÑO

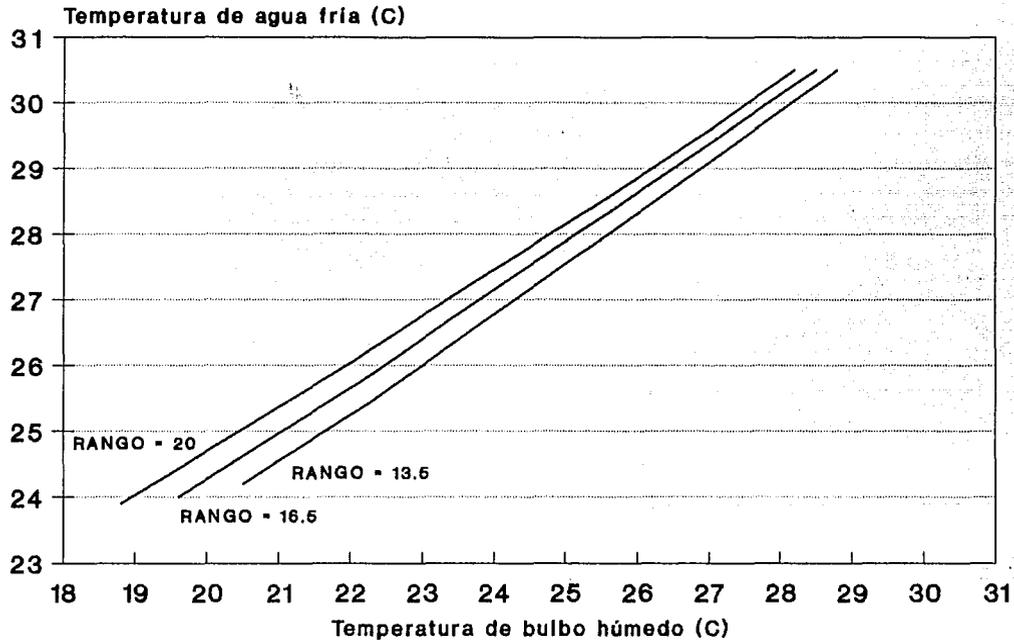


FIGURA 6.10

CURVA DE COMPORTAMIENTO A 100% DEL FLUJO DE DISEÑO

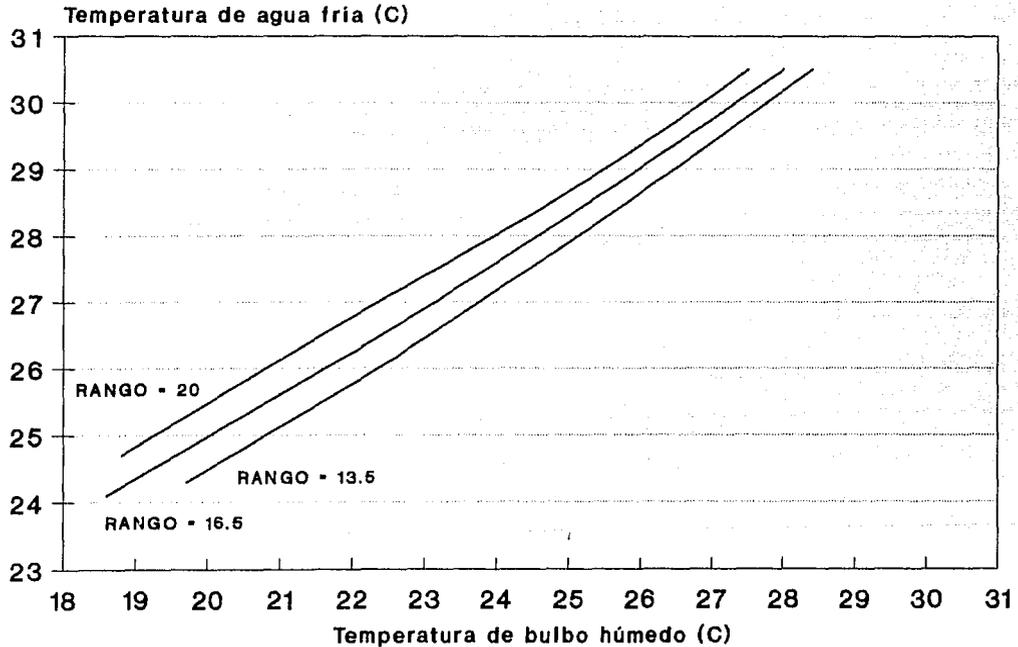


FIGURA 6.11

CURVA DE COMPORTAMIENTO A 110% DEL FLUJO DE DISEÑO

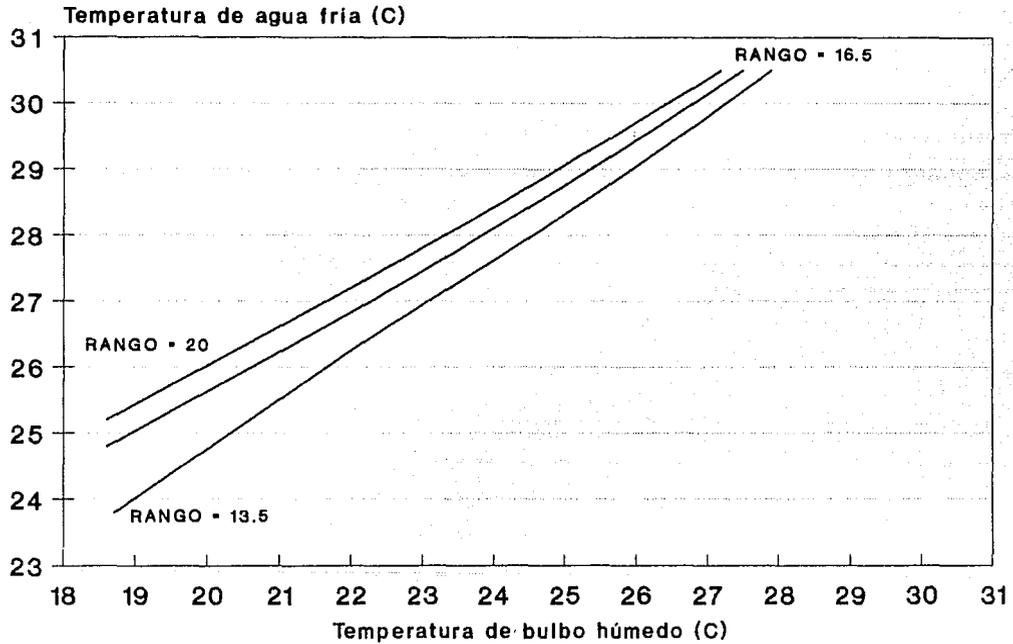
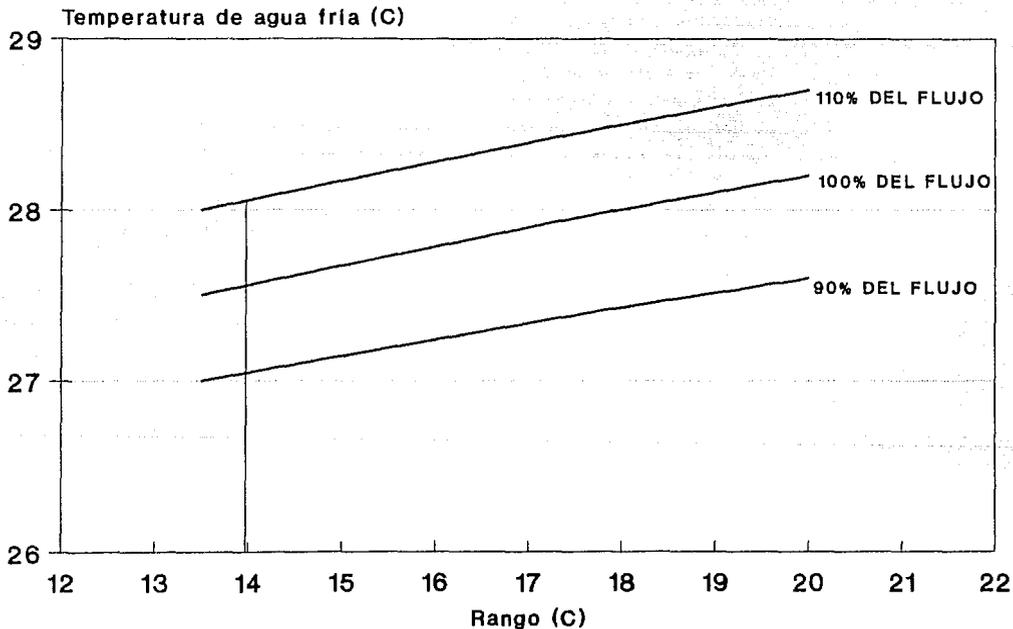


FIGURA 6.12

CURVA DE AGUA FRIA vs RANGO

A 90%,100% Y 110% DEL FLUJO DE DISEÑO



A una temperatura de bulbo
húmedo de prueba de 24.5 (C)

FIGURA 6.13

CURVA DE AGUA FRIA vs FLUJO DE AGUA A RANGO Y TBH DE PRUEBA

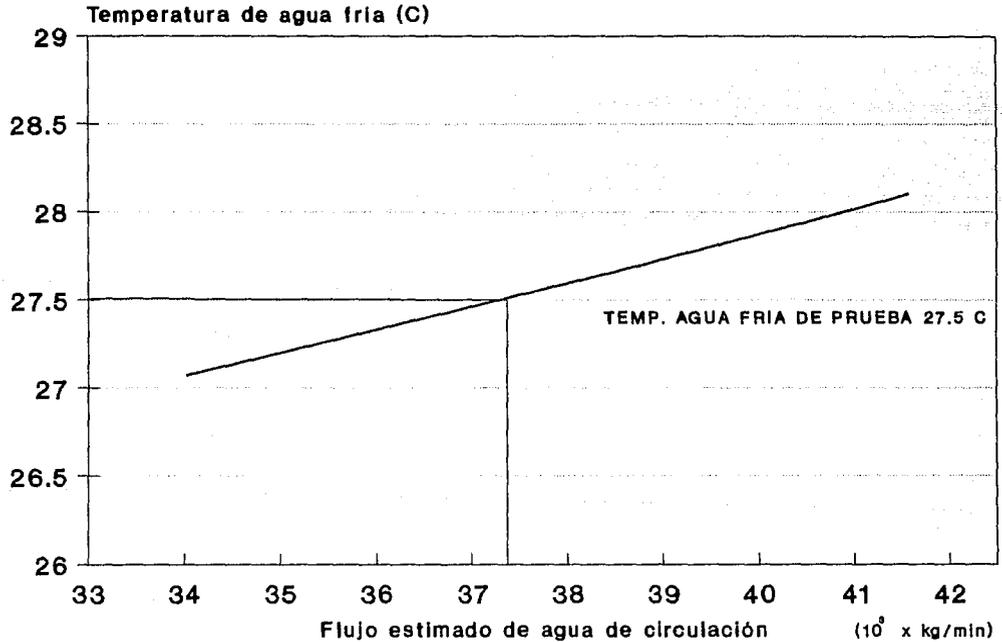


FIGURA 6.14

6.3.4 RELACIONES CAUSAS-EFECTOS EN TORRES DE ENFRIAMIENTO

Como ya se ha dicho, los parámetros de operación de una torre están estrechamente vinculados, de modo tal que un cambio en cualquiera de ellos afecta a uno o más de los otros. En el siguiente cuadro se resumen algunas de las relaciones causa-efecto más importantes.

| UN INCREMENTO EN (MANTENIENDO EL RESTO CONSTANTE) | PRODUCE EL SIGUIENTE EFECTO EN | | | | |
|---|--------------------------------|---|---|-----|-----------|
| | L/G | R | A | TAF | CAPACIDAD |
| TBH | N | N | D | A | N |
| TBS 1 | D | N | A | A | D |
| CARGA TERMICA | N | A | A | A | N |
| G | D | N | D | D | A |
| L | A | D | A | A | D |
| TAC | N | N | A | A | N |
| RESISTENCIA AL 2 CONTACTO AGUA-AIRE | N | N | A | A | D |
| VELOCIDAD DEL VIENTO | A | N | A | A | D |
| RESISTENCIA 3 AL FLUJO DE AIRE | A | N | A | A | D |

- 1) Los efectos son los indicados, pero en general serán de muy pequeña intensidad.
- 2) Se refiere a que el contacto agua-aire se deteriora debido a problemas en válvulas, charolas, espreas, relleno y mamparas distribuidoras de aire. así como a cortocircuito de aire.
- 3) Por lo general, debido a acumulación de depósitos o de materiales extraños en el relleno.

6.4 CURVA DE COMPORTAMIENTO REAL DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO

La curva de comportamiento real de una torre de enfriamiento muestra las diferentes temperaturas de agua fría que ésta es capaz de proporcionar en función de la temperatura de bulbo húmedo a la que opere.

Su utilidad radica en que permite predecir como se comportará la torre de enfriamiento cuando deba operar en condiciones atmosféricas diversas, ya sea en diferentes horas del día o, lo que es más común, en diferentes épocas del año.

Un aspecto muy importante en la caracterización de una torre de enfriamiento es entonces determinar su curva de comportamiento real, la que no sólo indicará si la torre puede realizar correctamente su trabajo el día de la prueba o cual será su comportamiento cuando las condiciones atmosféricas varíen de los valores con que fué diseñada sino también mostrará cual es deterioro que ha sufrido la torre durante su vida útil.

Es por lo anterior, que al conocer la curva de comportamiento real de la torre se puede cuantificar cual es su desviación con respecto a el comportamiento de diseño en cualquier condición o época del año, mostrando así cual sería el beneficio que se tendría en el enfriamiento del agua al llevar la torre a sus condiciones de operación de diseño o, mediante algunas modificaciones de sus elementos, llevarla a condiciones superiores a las de diseño, lo que se puede traducir en ahorro de energía, al evaluar el ciclo termodinámico trabajando con un sistema de rechazo de calor más frío.

El método de obtención de esta curva también requiere, como en el caso de la capacidad, evaluada por el método de las curvas características, recurrir al "Libro Azul" del CTI y tomar el valor de R de prueba, así como, los parámetros de L/G y KaV/L de prueba.

Los pasos para la obtención de la curva son los siguientes:

Paso 1:

Se selecciona del "Libro Azul" la hoja de curvas que corresponde al R de prueba y a la TBH a la que se desea conocer la TAF.

Paso 2:

En las curvas anteriores y con el punto de intersección de los valores de L/G_{prueba} y KaV/L_{prueba} se encuentra el valor de la aproximación A, que daría esa torre al operar a la TBH seleccionada.

Paso 3:

Se calcula la TAF que daría la torre en esas condiciones mediante la expresión:

$$TAF = TBH + A$$

Paso 4:

Se repiten los pasos del 1 al 3 hasta tener suficiente parejas de valores (TBH,TAF) para poder trazar la curva de comportamiento real de la TDE.

En la figura 6.15 se presenta una curva de comportamiento típica de una torre de enfriamiento.

CURVA DE COMPORTAMIENTO TIPICA CONDICIONES DE OPERACION

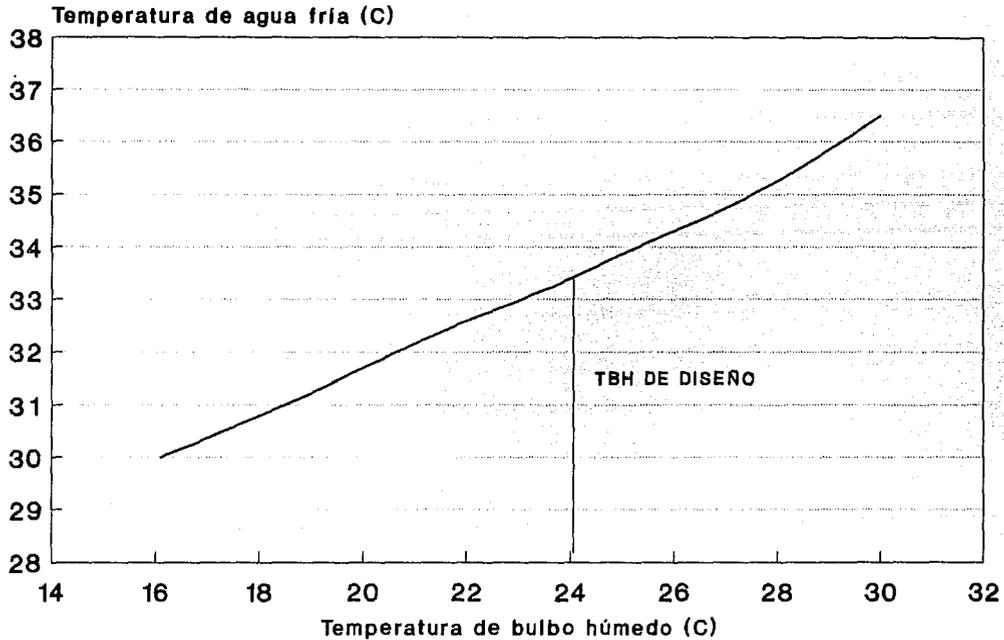


FIGURA 6.15

CAPITULO VII

**ESTIMACION DEL POTENCIAL DE
AHORRO ENERGETICO MEDIANTE
EL ANALISIS DE TORRES DE
ENFRIAMIENTO**

7.1 PROCEDIMIENTO GENERAL

Las unidades de generación no siempre pueden operar con su eficiencia de diseño. En un sistema como el de México en el cual la capacidad instalada es apenas mayor que la demanda de energía eléctrica, es muchas veces necesario anteponer la disponibilidad a la eficiencia es decir, se deben continuar operando las unidades con la mayor potencia posible aún cuando algunos de los equipos que las componen presenten deficiencias.

Es relativamente frecuente que esto ocurra con las torres de enfriamiento y que las unidades de generación deben operar con temperaturas de agua de enfriamiento superiores a las de diseño.

Como ya se ha visto, esta situación afecta la eficiencia de la unidad, ya que al presentarse un aumento de la temperatura en el agua fría que produce la torre, la presión de saturación en el condensador se incrementa provocando una disminución en la generación neta de la unidad (al mantenerse constante tanto el flujo de vapor principal, como las propiedades termodinámicas de éste), siendo práctica usual para mantener la generación de la unidad, aumentar el flujo de vapor hacia la turbina y consecuentemente el flujo de combustible en el generador de vapor.

Lo anterior es factible hasta donde la curva de generación-vacío de la turbina y las limitaciones físicas del generador de vapor lo permiten, ya que de lo contrario es necesario disminuir la carga de la unidad, es decir, "derratearla".

Este último término de "derrateo" es empleado en el lenguaje común utilizado en las plantas de generación para indicar la pérdida de energía debida a condiciones críticas de operación en algún equipo, o sea que, se disminuye la capacidad voluntariamente para no dañar al o los equipos.

La estimación del potencial de ahorro energético que se puede tener en una central al mejorar la operación de la torre, es

decir, al tener agua más fría a la entrada del condensador, se basa en cuantificar la diferencia de la energía requerida, para generar la misma carga eléctrica, entre la condición de diseño de la torre (CDT) y la condición actual de la torre (CAT).

La dificultad para evaluar la diferencia de las energías requeridas en cada condición, radica en la compleja relación de las variables que se ven involucradas, ya que la temperatura de bulbo húmedo del sitio donde se encuentra la torre no es constante y fluctúa a través del día, ocasionando una variación en la temperatura del agua fría que produce la torre y que a su vez modifica la presión en el condensador produciendo una variación en el CTU de la unidad, que representa la relación de calor suministrado al ciclo entre la generación eléctrica de la unidad, y que al ser restados los CTU correspondientes para las condiciones analizadas (CDT y CAT) se puede obtener la diferencia de energía calorífica requerida en cada condición, es decir, se puede saber cuanto más combustible se está gastando por unidad generada.

Por lo anterior fue necesario desarrollar una metodología de cálculo que permita tomar en cuenta todas las variables. Dicha metodología consta de los siguientes pasos:

Paso 1:

Se cuantifica el valor de CTU de la unidad para las presiones en el condensador que sean de interés, (inciso 7.2).

Paso 2.

Se evalúa la carga térmica que tiene al condensador para la capacidad nominal y a las presiones analizadas (inciso 7.3).

Paso 3:

Conocidas las cargas térmicas del paso 2, se evalúa la temperatura que debe tener el agua de circulación a la entrada del condensador (TAFC), para poder retirar la carga térmica correspondiente a cada presión analizada (inciso 7.4).

Paso 4:

Por otra parte, se obtiene la temperatura de agua fría que proporciona la torre (TAFT) para cada hora de un día promedio de cada mes del año. Este paso se debe realizar para la condición de diseño de la torre CDT y para la condición actual de la torre (CAT), (inciso 7.5).

Paso 5:

Comparando cada temperatura de agua fría de la torre (de la CDT y de la CAT) con las temperaturas de agua fría del condensador se obtiene la presión del condensador que se podrá lograr durante cada hora del día (en cada condición de la torre), ya que, cuando $TAFT \leq TAFC$ se fija durante esa hora la presión correspondiente a la TAFC.

Puede darse el caso que algunos valores de temperatura del agua fría de la torre sean mayores a la temperatura de agua fría del condensador mínima permisible (normalmente para la CAT), requiriéndose entonces "derratear" la unidad para lograr tener la presión máxima permisible antes del disparo de la unidad al accionarse la protección de bajo vacío en el condensador.

Paso 6:

Para calcular la cantidad de MW a derratear en horas críticas, si existen, se llevan a cabo los siguientes pasos:

- La evaluación de la carga térmica correspondiente a la máxima presión permisible en el condensador para diferentes cargas de la unidad (inciso 7.6).
- Se evalúa la TAFC según paso 3, para la carga térmica anterior.
- Se comparan las TAFT obtenidas en el paso 4 con las TAFC anteriores y se determina cual es la máxima generación posible para cada TAFT.
- Restando de la capacidad nominal la máxima generación posible se obtiene la carga a derratear.

Paso 7:

Se calcula la energía consumida por la unidad a la condición de presión obtenida en el paso 5, tanto para la condición de diseño, como para la condición actual de la torre (inciso 7.7).

Paso 8:

Se restan las energías obtenidas en el paso 7, para cada hora, encontrándose la energía que es posible ahorrar (cada hora) al pasar la torre de la condición actual a la condición de diseño y anualizando este ahorro al sumar las 24 horas del día, multiplicando por el número de días de cada mes de trabajo y sumando todos los meses, se obtiene el potencial de ahorro al año.

7.2 CONSUMO TERMICO UNITARIO PARA DIFERENTES PRESIONES EN EL CONDENSADOR

En la tabla 7.1 se muestran los valores de CTU para diferentes presiones en el condensador y diferentes capacidades nominales de centrales. La tabla está basada en los valores de la ref. 15, de CTU promedio, condiciones de presión y temperaturas de vapor principal y presiones en el condensador; de las cuales por medio de las tablas de vapor se obtuvieron los valores correspondientes de entalpia de vapor principal (H_v), entalpia de saturación del vapor entrando al condensador (H_s) y temperatura de saturación a la presión del condensador (T_s) y posteriormente se evaluaron los CTU para cada capacidad nominal de la central y presiones en el condensador, mediante la ecuación siguiente:

$$CTU_c = \frac{CTU_p \times (H_v - H_{s1})}{(H_v - H_{s2})} \quad (7.1)$$

donde:

CTU_c = Consumo Térmico Unitario calculado, a la nueva condición de presión en el condensador.

CTU_p = Consumo Térmico Unitario promedio, reportado para esa capacidad y presión en el condensador.

H_v = Entalpía del vapor principal, evaluada con los valores reportados de presión y temperatura del vapor principal.

H_{s1} = Entalpía de saturación del vapor entrando al condensador, evaluada a la presión del condensador reportada.

H_{s2} = Entalpía de saturación del vapor entrando al condensador, evaluada a la presión del condensador que se desea calcular.

TABLA 7.1

CONSUMO TERMICO UNITARIO

(Según presión en el condensador)

Para diferentes capacidades de plantas

| CONDICION | Diseño | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| VACIO (mm Hg) | 760.00 | 760.00 | 760.00 | 760.00 | 760.00 | 760.00 |
| PRESION (bar abs) | 0.136 | 0.143 | 0.151 | 0.158 | 0.165 | 0.173 |
| TEMP.SAT (T _s) (°C) | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 |
| ENTALPIA (H _s) (kJ/kg) | 2595.6 | 2597.4 | 2599.1 | 2600.9 | 2602.6 | 2604.4 |

| CAPACIDAD MW * | Hv * (kJ/kg) | CTUd (kJ/kWh) | CTU1 (kJ/kWh) | CTU2 (kJ/kWh) | CTU3 (kJ/kWh) | CTU4 (kJ/kWh) | CTU5 (kJ/kWh) |
|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 12.5 | 3301 | 11793 | 11823 | 11852 | 11882 | 11911 | 11942 |
| 22 | 3382 | 10692 | 10717 | 10740 | 10765 | 10788 | 10813 |
| 44 | 3382 | 10278 | 10301 | 10324 | 10347 | 10370 | 10394 |
| 66 | 3382 | 10033 | 10056 | 10078 | 10102 | 10124 | 10147 |
| 100 | 3444 | 9619 | 9639 | 9659 | 9679 | 9699 | 9720 |
| 150 | 3444 | 9095 | 9115 | 9133 | 9152 | 9171 | 9191 |
| 235 | 3444 | 8609 | 8628 | 8645 | 8663 | 8681 | 8699 |
| 250 | 3444 | 8580 | 8598 | 8615 | 8634 | 8651 | 8670 |
| 300 | 3444 | 8566 | 8584 | 8601 | 8620 | 8637 | 8655 |
| 500 | 3398 | 8389 | 8408 | 8426 | 8445 | 8463 | 8482 |
| 700 | 3398 | 8349 | 8368 | 8386 | 8405 | 8422 | 8442 |

* datos basados en ref 15

7.3 EVALUACION DE LA CARGA TERMICA A CAPACIDAD NOMINAL Y DIFERENTES PRESIONES EN EL CONDENSADOR

Con el balance térmico de diseño de la unidad al 100% de carga, se estima la carga térmica para diferentes condiciones de vacío en el condensador, mediante la expresión siguiente:

$$Q_{r_p} = Q_{r_D} + \Delta CTU_p \times G_T \quad (7.2)$$

donde:

Q_{r_p} = Carga Térmica al condensador para la condición de presión deseada. (kJ/h)

Q_{r_D} = Carga Térmica al condensador para condiciones de presión de diseño. (kJ/h)

G_T = Generación nominal de la unidad. (kJ/kWh)

ΔCTU_p = Incremento del CTU al pasar de una condición de vacío a otra. (kW/kJ)

Finalmente el incremento de CTU se obtiene restando los CTU a la presión de diseño y el correspondiente a la presión deseada, utilizando los datos de la tabla 7.1

7.4 CALCULO DE LA TEMPERATURA REQUERIDA A LA ENTRADA DEL CONDENSADOR (TAFG)

Para calcular la temperatura que debe tener el agua de circulación a la entrada del condensador para poder retirar la carga térmica que se tiene al operar la unidad a diferentes presiones, se utiliza la ecuación siguiente:

$$Q_T = A U_d \times \frac{R}{\ln \left[\frac{T_{sat} - T_{AF}}{T_{sat} - (R + T_{AF})} \right]} \quad (7.3)$$

donde:

- Q_T = Carga Térmica en el condensador para la presión que se desea conocer la temperatura de agua fría
- A = Area de transferencia de calor en el condensador (dato de diseño)
- U_d = Coeficiente global de transferencia de calor en el condensador (dato de diseño) = $U_t \times F_c$.
 U_t = Coeficiente de transferencia de calor teórico.
 F_c = Factor de limpieza.
- R = Rango de calentamiento del agua de circulación ($T_{AC} - T_{AF}$)
- T_{sat} = Temperatura de saturación en el condensador a la presión de operación correspondiente.
- T_{AF} = Temperatura de agua fría, agua de circulación a la entrada del condensador
- T_{AC} = Temperatura de agua caliente, agua de circulación a la salida del condensador

Y despejando de la ecuación anterior la T_{AF} que es la variable buscada, queda como:

$$T_{AF} = \frac{T_{sat} (e^X - 1) - e^X R}{(e^X - 1)} \quad (7.4)$$

donde el valor del exponente X se evalúa como:

$$X = R A U_d / Q_T \quad (7.5)$$

Con los valores de A y U_d de diseño y el valor de R evaluado como:

$$R = \frac{Q_T}{L c_p} \quad (7.6)$$

donde:

L = Flujo de agua de circulación que entra al condensador

c_p = Calor específico del agua, a la temperatura promedio del agua de circulación

Si no se tienen los valores de diseño de A y U_d se puede llegar a obtener el producto de estas variables mediante los valores de Q_T, T_{sat}, T_{AC} y T_{AF} de diseño del condensador, a partir de la expresión 7.3, quedando:

$$A U_d = \frac{Q_T \ln \left[\frac{T_{sat} - T_{AF}}{T_{sat} - T_{AC}} \right]}{T_{AC} - T_{AF}} \quad (7.7)$$

7.5 CALCULO DE LA TEMPERATURA DE AGUA FRIA QUE PROPORCIONA LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

(TAFT)

Para poder evaluar la temperatura de agua que puede proporcionar la torre a lo largo de un día, es necesario contar con datos de las temperaturas de bulbo húmedo del sitio en que se encuentra ubicada la torre, reportadas para cada hora de un día promedio de cada mes del año.

Por otro lado se necesitan las curvas de comportamiento de la torre para la condición de diseño y para la condición actual; estas curvas se generan con base en el procedimiento descrito en el inciso 6.6.

Al contar con los datos anteriores y la curva de comportamiento de la torre, se entra con el valor de temperatura de bulbo húmedo de una hora determinada al eje de las abscisas y se sube hasta intersectar la curva de la torre, leyendo en el eje de las ordenadas el valor de TAFT para esa hora y condición.

7.6 EVALUACION DE LA CARGA TERMICA A LA MAXIMA PRESION PERMISIBLE EN EL CONDENSADOR

Con los balances térmicos de diseño de la unidad al 100%, 75% y 50% de carga, se puede obtener la curva de carga térmica contra generación eléctrica, pudiendo encontrar para cada valor de generación su correspondiente carga térmica.

Posteriormente siguiendo el procedimiento del inciso 7.3 se encuentra el valor de la carga térmica para cada valor de generación eléctrica en la condición de máxima presión en el condensador. tomando los valores de Q_{rD} y G_T correspondientes al valor de la generación eléctrica analizada.

7.7 CALCULO DE LA ENERGIA CONSUMIDA POR LA UNIDAD

La energía consumida por la unidad se evalúa para cada hora, dado que se conoce la presión con que opera durante ese tiempo, y para las CDT Y CAT.

De la tabla 7.1 se lee el valor de CTU que corresponde al punto analizado y se multiplica por la generación eléctrica de la unidad, obteniéndose la energía consumida por la unidad en kJ/h.

La generación eléctrica de la unidad es la nominal si no existe derrateo; en caso contrario se debe restar a la capacidad nominal de la unidad el derrateo que existe en esa hora (y que se calcula con el paso 6 del procedimiento general).

Por otro lado, si además se considera en el estudio que se realice que la energía derrateada es sustituida por alguna otra unidad del sistema eléctrico, se debe sumar la energía que ésta consume, es decir:

Sin derrateo:

$$E_c = CTU_p \times G_T \quad (7.8)$$

Con derrateo:

$$E_c = CTU_p \times (G_T - G_D) + (CTU_s \times G_D) \quad (7.9)$$

donde:

E_c = Energía consumida por la unidad para dar la generación máxima.

CTU_p = Consumo Térmico Unitario a la presión del condensador analizada.

CTU_s = Consumo Térmico Unitario de la unidad que substituirá la energía derrateada.

G_T = Generación nominal de la unidad.

G_D = Generación derrateada en la unidad.

7.8 POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO

Como ya se comentó anteriormente, la estimación del potencial de ahorro energético que se puede tener en una central al mejorar la operación de la torre se basa en cuantificar la diferencia de la energía requerida, para generar la misma carga eléctrica, entre la condición de diseño de la torre (CDT) y la condición actual de la torre (CAT).

Ahora bien, ya conocido el potencial de ahorro energético también se puede conocer el potencial de ahorro de combustible si se divide el primero entre la eficiencia de la caldera multiplicada por el poder calorífico del combustible utilizado.

Para lograr lo anterior, se llevan a cabo los pasos 1 a 8 descritos en el inciso 7.1. En los que se determina el CTU y la carga térmica rechazada para diferentes presiones en el condensador de la unidad. Además, se obtienen las temperaturas de agua fría tanto las requeridas por el condensador para retirar cada una de las cargas térmicas necesarias, como las que puede proporcionar la torre para las condiciones de diseño y actuales, a las diferentes temperaturas de bulbo húmedo a las que está expuesta durante todo el año. Con lo anterior, se establece la presión en el condensador con que opera la máquina cada hora, el momento y la magnitud del derrateo si es que este ocurre y la energía que consume la unidad para cada hora y a cada condición de la torre. Obteniendo finalmente el potencial de ahorro energético que se tiene en esa unidad generadora, al restar las energías requeridas por la unidad en cada condición de la torre.

Es importante destacar que cuando se evalúa el paso número 7 del procedimiento, en el que se obtiene la energía consumida por la unidad para cada una de las condiciones de la torre (CDT y CAT), se debe tener muy en claro si se desea considerar o no, en caso de existir derrateo, la sustitución de energía por medio de otra unidad y el tipo de ésta, ya que el potencial de ahorro energético dependerá de estos dos factores.

CAPITULO VIII

***ESTUDIO DE CASO : UNIDAD 2 DE
LA CENTRAL TERMOELECTRICA
ALTAMIRA***

8.1 DESCRIPCION DE LA UNIDAD

La Central Termoeléctrica Altamira, se localiza a 40 kilómetros al noroeste del puerto de Tampico a la orilla de la laguna de Champayán, en las afueras de la Ciudad de Altamira de donde toma su nombre. Ocupa una superficie de 64.5 hectáreas a una elevación de 13 metros sobre el nivel del mar.

Cuenta con 2 unidades de 158 MW y 2 unidades de 300 MW, para sumar un total de 916MW. La casa de máquinas alberga los 4 turbogeneradores y contiene el cuarto de control localizado en la parte central de la misma.

Recibe combustóleo mediante un oleoducto de 30 cm. de diámetro y 32 Kms. de longitud desde la Refinería de Cd. Madero. Obtiene gas de la línea troncal del Sistema Nacional de Gas.

Originalmente diseñadas para quemar combustóleo, los generadores de vapor fueron adaptados para usar también gas natural, pudiendo utilizar cualquiera de esos combustibles indistintamente. Además todas las unidades están provistas de torres de enfriamiento para disipar el calor de rechazo de los ciclos.

Las Unidades fueron integrándose al Sistema Eléctrico Nacional con la entrada en operación comercial, la unidad 1 el 19 de mayo de 1976, la unidad 2 el 26 de septiembre de 1976, la unidad 3 el 8 de agosto de 1978 y la unidad 4 el 26 de septiembre de 1978.

8.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La torre unidad 2 de la C.T. Altamira presenta la problemática de que la torre de enfriamiento no entrega, en ciertas épocas del año, el agua fría a las condiciones de diseño. Esto es, mientras que el diseño indica que la torre debería entregar agua fría a 32°C, en los meses más calurosos del año, la torre entrega agua más caliente.

Esta diferencia de temperaturas constituye una de las principales causas del problema de bajo vacío que, a cargas elevadas, presenta la máquina citada y que, tal vez entre otras, le impide alcanzar su potencia de placa durante los meses del verano.

Debido al tiempo que esta unidad ha estado en servicio comercial, se estimó que pudiera existir un decremento de la capacidad de la torre de enfriamiento. Por lo anterior se vió la necesidad de realizar un estudio para evaluar la torre de enfriamiento con objeto de cuantificar su capacidad real actual, obtener su curva real de comportamiento y con base en esta información, estimar el potencial de energía que se puede ahorrar en la unidad al mejorar la operación de la torre, además de estimar el derrateo que el estado de la torre provoca en la generación de la unidad.

8.3 ACTIVIDADES REALIZADAS

Se realizaron mediciones de los flujos de agua de circulación y de aire que maneja la torre, así como pruebas de comportamiento y cálculos del calor rechazado por el ciclo a diferentes cargas. Con los datos anteriores se obtuvieron la capacidad real y la curva de comportamiento real de la torre. A partir de estos resultados se cuantificó el potencial de ahorro de energía de la unidad por efecto del mal comportamiento de la torre.

Las pruebas para evaluar el comportamiento real de la torre de enfriamiento se basaron en los procedimientos descritos en el capítulo VI. Para la medición de los flujos de agua de circulación y aire a través de la torre, se emplearon instrumentos desarrollados, fabricados y calibrados por el autor de este trabajo, en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).

En los puntos que a continuación se desarrollan se describen detalladamente las mediciones, pruebas referidas y resultados obtenidos.

8.4 PREPARACION DE PRUEBAS

Para poder realizar las mediciones de flujo y la toma de datos de campo durante las pruebas de comportamiento, fue necesario procurar algunos puntos de muestreo en diferentes partes tanto de la torre de enfriamiento como del sistema de agua de circulación, así como efectuar una supervisión de las condiciones de los equipos antes de proceder con las pruebas, atendiendo a lo descrito en el capítulo VI. Estos trabajos fueron realizados por personal de la C.T. Altamira y consistieron principalmente en :

- Limpieza exhaustiva del sistema de distribución de agua a través de la torre con objeto de eliminar materiales extraños.
- Balanceo y ajuste de las aspas de los ventiladores, observando que la inclinación de las aspas fuera la misma en todos ventiladores, así como que el ángulo no excediera ± 10 % de lo especificado por el fabricante.
- Revisión de las boquillas o espreas (limpieza, integridad y que no existieran faltantes de las mismas).
- Instalación de tomas con válvulas en el tubo ascendente de cada torre, como se muestra en las figuras 8.1 y 8.2.
- Perforación de los conos de los ventiladores, como se muestra en la figura 8.3.
- Instalación de una toma con válvula en la tubería de descarga de cada bomba de agua de circulación según se indica en la figura 8.4.
- Construcción de andamios e instalación de los mismos, para permitir el acceso a las válvulas instaladas en el ducto ascendente y a las perforaciones de los conos de los ventiladores.

**PUNTO DE MEDICION DE TEMPERATURA
DE AGUA CALIENTE Y FLUJO DE AGUA**

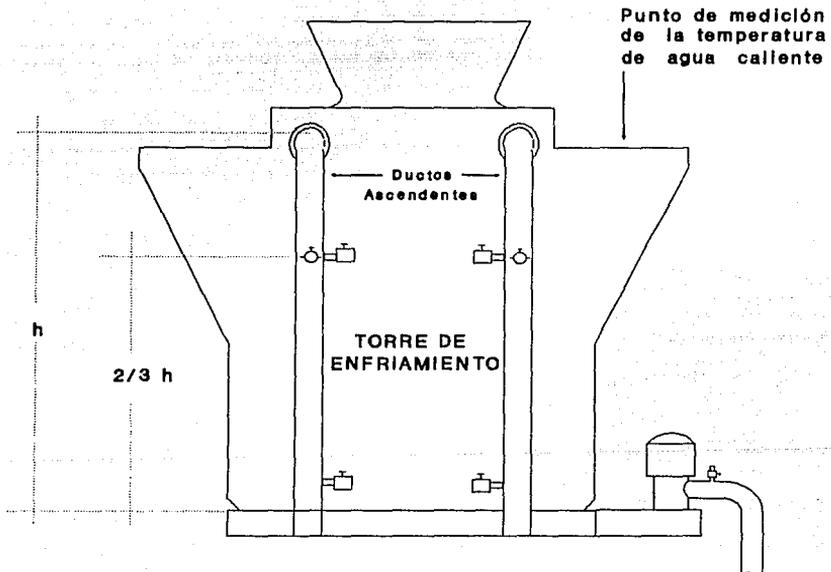


FIGURA 8.1

DETALLES DE LA INSTALACION PARA LA MEDICION DE FLUJO DE AGUA CON EL TUBO DE PITOT

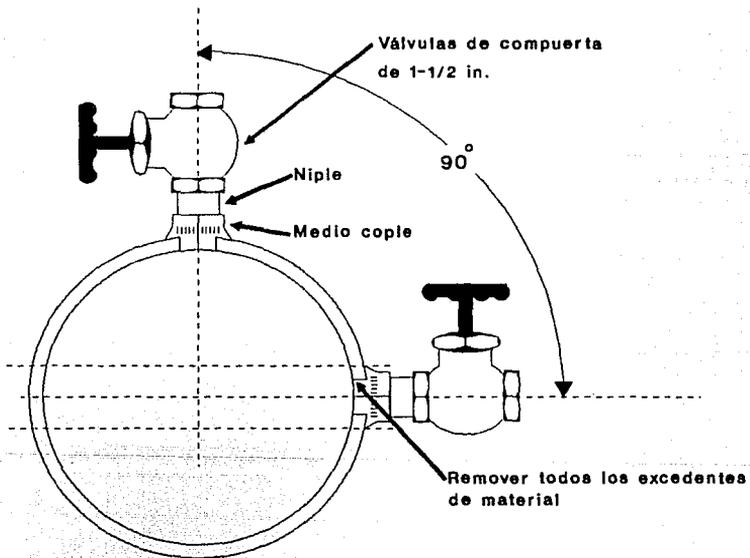
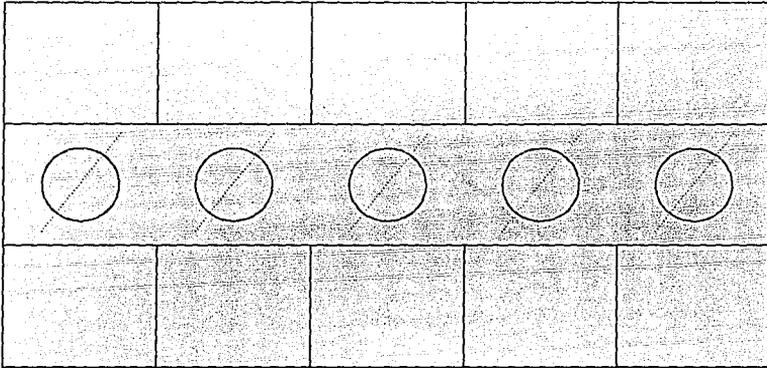


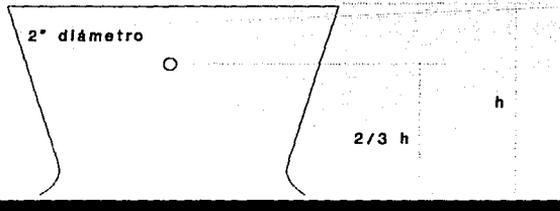
FIGURA 8.2

TORRE DE ENFRIAMIENTO

Vista Superior



Cono del Ventilador



Localización de los puntos de
medición para el flujo de aire

FIGURA 8.3

PUNTO DE MEDICION PARA LA TEMPERATURA DE AGUA FRIA

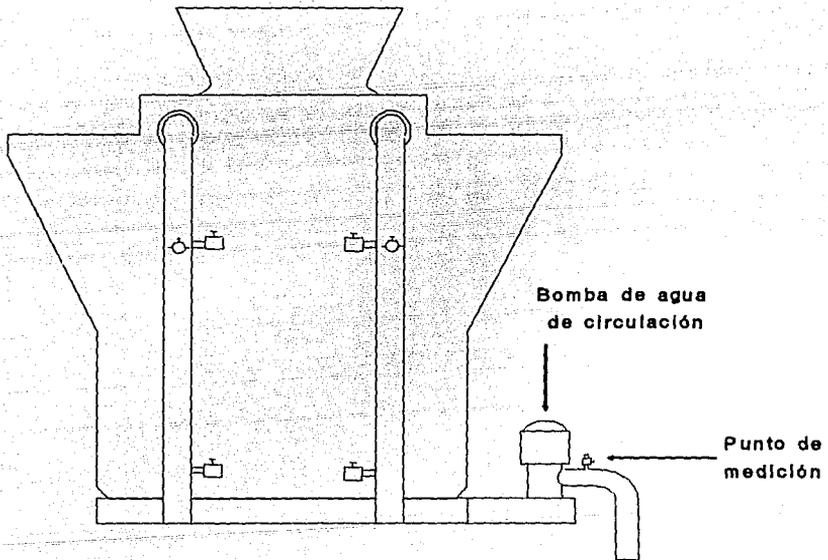


FIGURA 8.4

8.5 RESULTADOS OBTENIDOS

8.5.1 MEDICION DE FLUJO DE AGUA

Para la medición del flujo de agua se empleó un tubo de Prandtl de tipo dedal, mostrado en la figura 8.5. El instrumento proporciona dos señales : la presión total y la presión estática del flujo, donde la resta de estas señales proporciona la presión dinámica con la cual se calcula la velocidad. Se utilizó una columna invertida para el registro de la presión total y estática, y posteriormente se realizó la resta.

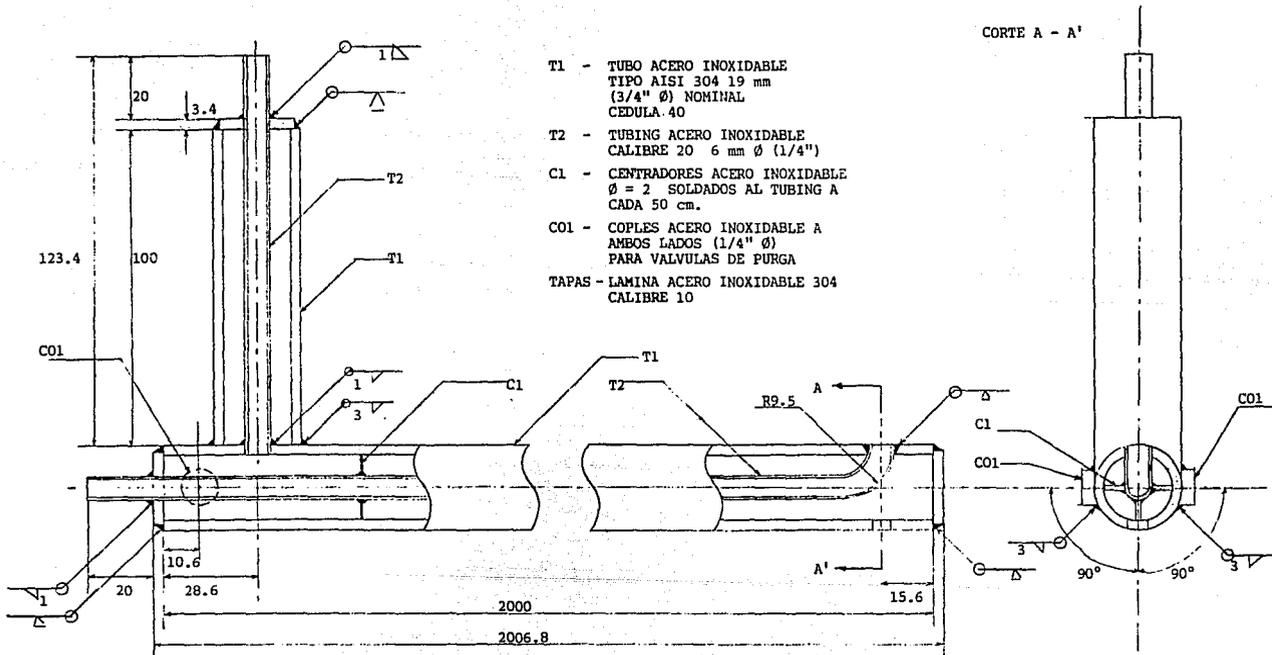
Los valores de presiones para el flujo de agua se registraron introduciendo el tubo de Prandtl en el ducto ascendente (por medio de las válvulas instaladas en éste a 90° una con respecto de la otra) a través de todo su diámetro. Con esta técnica se pudo comprobar que el flujo presenta perfiles de velocidad muy semejantes en ambos planos. Para cada plano se realizaron tres mediciones obteniéndose tres perfiles de velocidad (figura 8.6.)

Promediando estos perfiles se obtuvo el perfil de velocidad en el ducto ascendente de la torre (figura 8.7.)

El flujo calculado a partir de dichos perfiles utilizando integración gráfica resultó:

$$\text{Flujo de agua} = 14,750.88 \text{ Ton/h}$$

Como el flujo de agua de diseño de la torre de enfriamiento es de 12,717.60 Ton/h, se concluye que la TDE opera con un flujo real 16% mayor que el de diseño, lo que constituye una ventaja para el ciclo pero no para la torre de enfriamiento.



TUBO DE PRANDTL

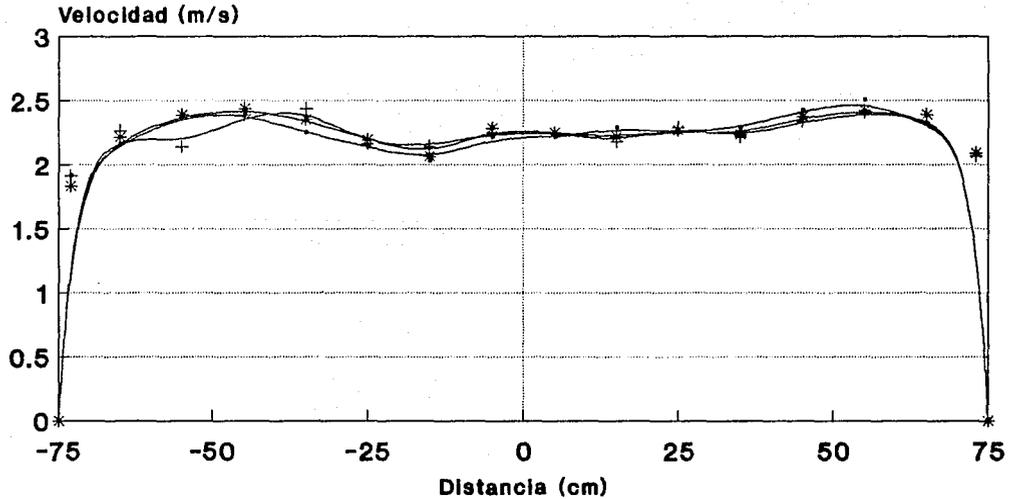
ACOTACIONES : mm

MATERIAL : ACERO INOXIDABLE

ESCALA : 1:1

FIGURA 8.5

PERFIL EN DUCTO DE AGUA PRUEBA A FLUJO TOTAL



Datos en Campo

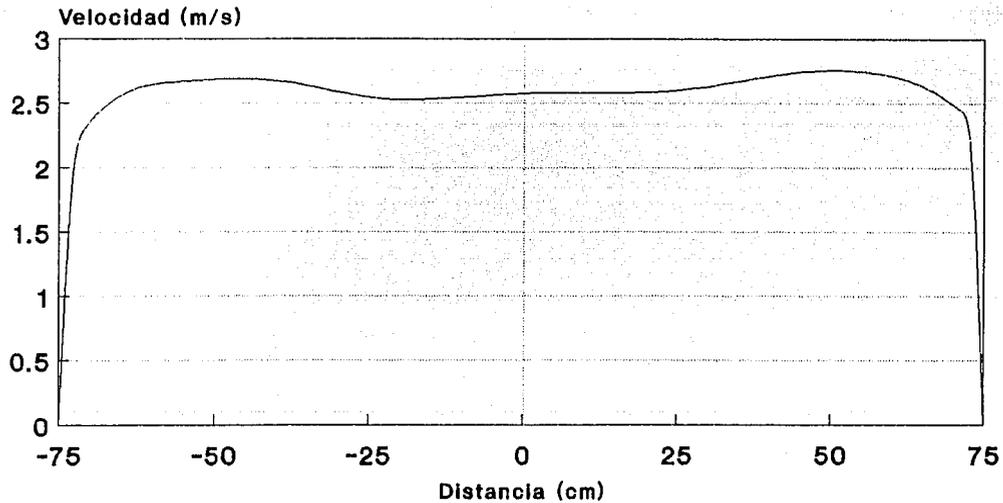
—+— 1ª Medición

—+— 2ª Medición

—*— 3ª Medición

FIGURA 8.6

PERFIL EN DUCTO DE AGUA PROMEDIO GLOBAL DE VELOCIDADES



Datos en Campo

FIGURA 8.7

8.5.2 MEDICION DE FLUJO DE AIRE

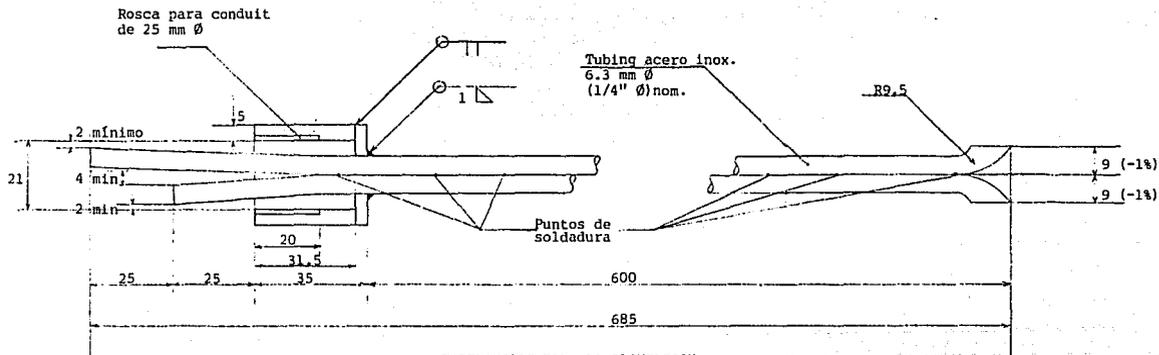
Para medir el flujo de aire se utilizó un tubo de Prandtl de tipo S, figura 8.8, el cual proporciona dos señales: la presión total y la presión estática del flujo, donde, al igual que en el caso del flujo de agua, la resta de estas señales proporciona la presión dinámica con la cual se calcula la velocidad. En el caso del flujo de aire se utilizó para el registro de las presiones un micromanómetro diferencial, el que proporcionó directamente el valor de la presión dinámica.

Para medir el flujo de aire en los ventiladores se introdujo el tubo de Prandtl por las dos perforaciones realizadas en cada cono de los mismos, de tal forma que la medición se realizó en dos partes, primero se introdujo el tubo de Prandtl por uno de los orificios y se barrió la mitad del diámetro del cono (4m) y posteriormente por medio del otro orificio se barrió la otra mitad (4m). Para cada ventilador se llevaron a cabo dos mediciones, obteniéndose con el promedio de éstas el perfil de velocidades para cada uno de los ventiladores. Como se puede observar en las curvas 8.9, 8.10, 8.11, 8.12 y 8.13. Todos los ventiladores presentaron el mismo comportamiento (con pequeñas diferencias), reflejando esto una repetitividad adecuada en las mediciones realizadas.

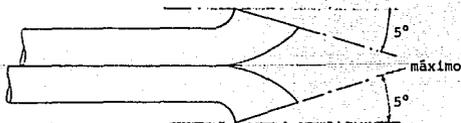
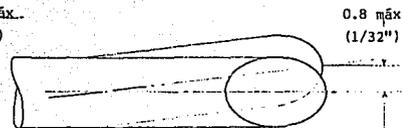
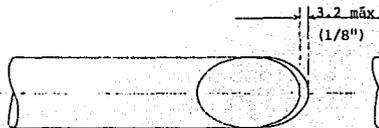
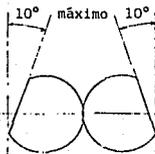
Después de haber obtenido los perfiles de velocidad se procedió a la estimación de los flujos, realizando la integración de cada una de las gráficas. Utilizando en este caso el método de radios iguales.

| | | | |
|---------------|-------------|---|----------------------|
| Flujo de aire | Vent 5 (2A) | = | 2002.80 ton/h |
| | Vent 4 (2B) | = | 1952.84 ton/h |
| | Vent 3 (2C) | = | 1985.58 ton/h |
| | Vent 2 (2B) | = | 2029.57 ton/h |
| | Vent 1 (2A) | = | 2027.60 ton/h |
| | Total | = | <u>9998.39 ton/h</u> |

Dado que el flujo total de diseño es 10,310 ton/h, el flujo medido resultó 3% menor que el de diseño. Esta diferencia (que constituye una desventaja) pudiera recuperarse ajustando el ángulo de ataque de las aspas de los ventiladores.



TOLERANCIAS PARA LA ALINEACION



TUBO DE PRANDTL TIPO "S"

ACOTACIONES : mm

MATERIAL : ACERO INOXIDABLE

ESCALA : 1:1

FIGURA 8.8

VENTILADOR 2A PERFIL DE VELOCIDADES

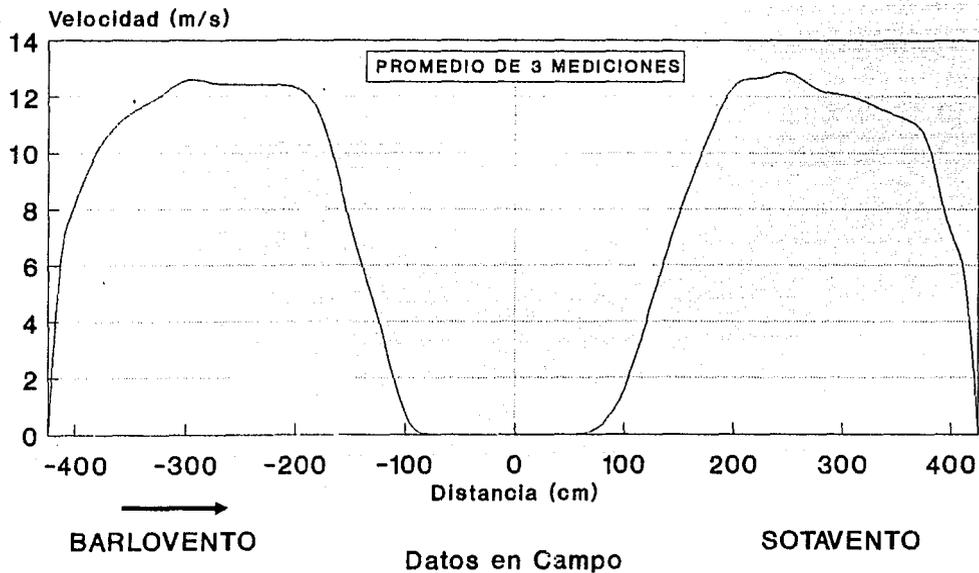


FIGURA 8.9

VENTILADOR 2B PERFIL DE VELOCIDADES

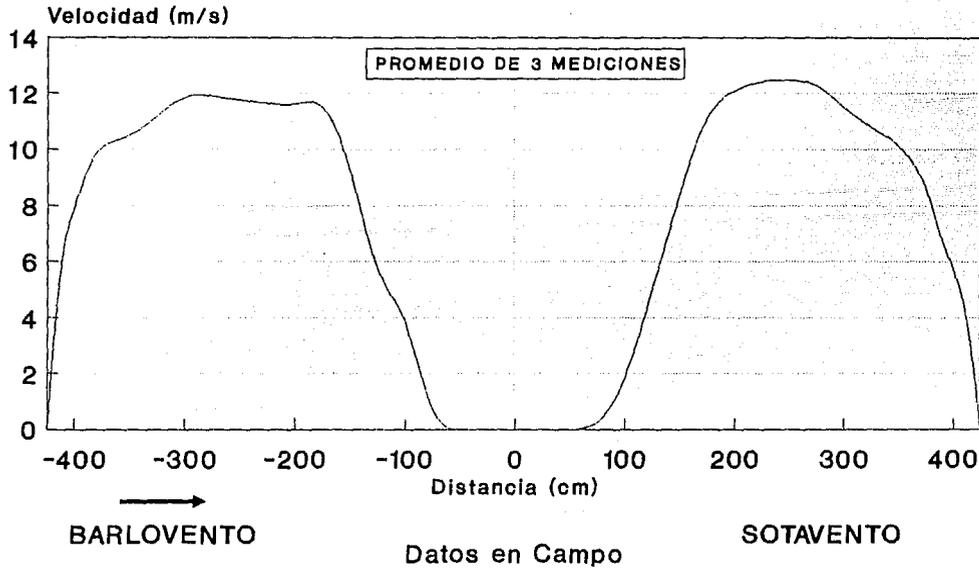


FIGURA 8.10

VENTILADOR 2C PERFIL DE VELOCIDADES

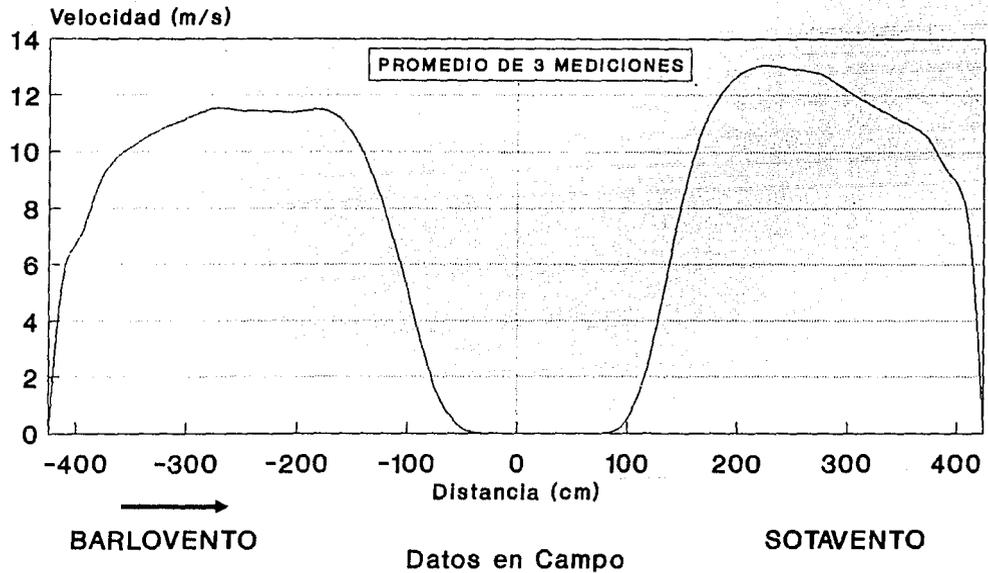


FIGURA 8.11

VENTILADOR 2D PERFIL DE VELOCIDADES

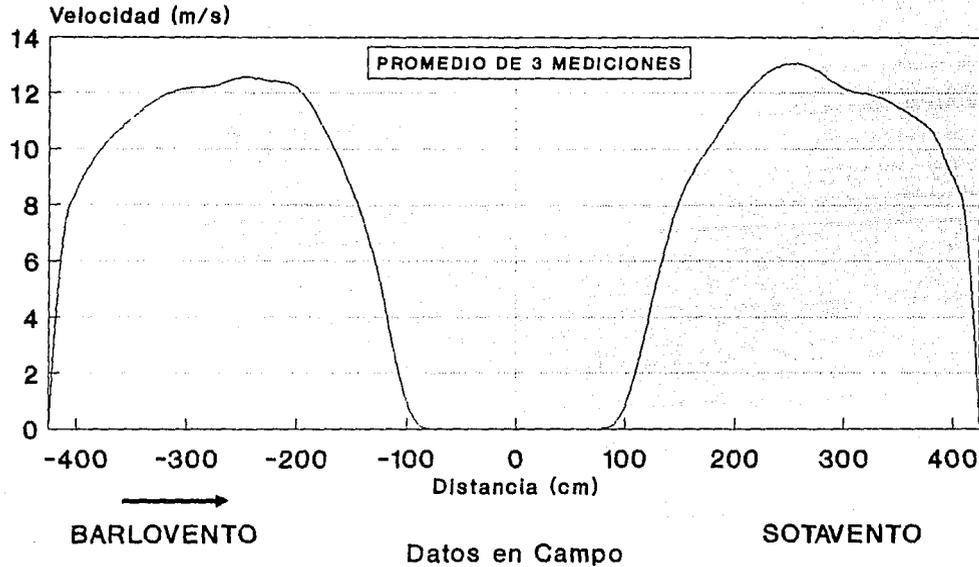


FIGURA 8.12

VENTILADOR 2E PERFIL DE VELOCIDADES

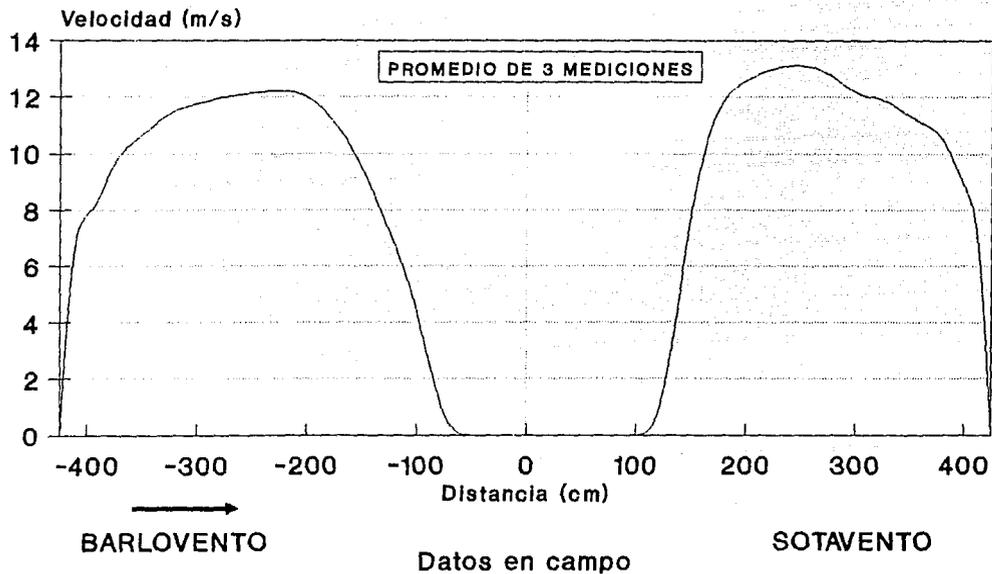


FIGURA 8.13

8.5.3 RELACION L/G

Con los valores medidos de los flujos de agua y de aire se calculó la relación líquido-aire real de la torre de enfriamiento L/G. El valor obtenido fué de $L/G = 1.48$, siendo el valor de diseño $L/G = 1.23$. Se tiene entonces que dicha relación es 20% mayor que la de diseño.

8.6 PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO TERMICO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

La torre de enfriamiento se sometió a "la prueba a condiciones normales de operación y máxima carga".

Esta prueba tuvo como objetivo lograr información suficiente para construir la curva de comportamiento real de la torre, y así, conocer tanto su capacidad actual, como poder pronosticar su comportamiento a través de todo el año.

La prueba se llevó a cabo en condiciones normales de operación manejando el flujo total tanto de aire como de agua y también manteniendo las líneas de agua de repuesto y drenaje cerradas en lo posible. En la tabla 8.1 se presenta un promedio de lecturas realizadas en la prueba de la torre de enfriamiento de la U-2.

Durante la prueba se pudo observar una mala distribución del flujo de agua en las charolas, no pudiendo ser niveladas y presentando diferencias de 2.5 a 7 cms. Esa mala distribución se vió confirmada con diferencias en las temperaturas de agua fría muestreadas a ambos lados de cada una de las celdas, midiéndose temperaturas hasta 4°C más altas en el lado de sotavento que en el de barlovento.

TABLA 8.1

PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO
EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Promedio de lecturas realizadas

CENTRAL TERMoeLECTRICA ALTAMIRA U-2

| PARAMETROS | PRUEBA 100 % CARGA | | DATOS DE DISEÑO |
|--|--------------------|------------------|-----------------|
| CARGA DE LA UNIDAD [MW] | 154 | | 158 |
| VACIO EN EL CONDENSADOR [mm Hg] | 652.43 | | |
| PRESION ATMOSFERICA [mm Hg] | 758.7 | | |
| NIVEL EN CHAROLAS [cm] | <u>Barlovento</u> | <u>Sotavento</u> | |
| CELDA 2E | 3.11 | 9.77 | |
| 2D | 7.78 | 10.11 | |
| 2C | 4.33 | 9.44 | |
| 2B | 5.66 | 9.11 | |
| 2A | 6.44 | 10.33 | |
| PROMEDIO | 5.46 | 9.75 | |
| TEMPERATURA DE AIRE [°C] (a la entrada de la torre) | <u>Barlovento</u> | <u>Sotavento</u> | |
| TBH aire | 16.68 | 17.25 | |
| TBS aire | 25.25 | 26.3 | |
| TEMPERATURA DE AIRE [°C] (a la salida de la torre) | <u>TBH aire</u> | <u>TBS aire</u> | |
| CELDA 2E | 39.00 | 39.75 | |
| 2D | 39.63 | 40.5 | |
| 2C | 40.63 | 41.13 | |
| 2B | 40.75 | 41.38 | |
| 2A | 41.25 | 41.25 | |
| PROMEDIO | 40.25 | 40.8 | |
| TEMPERATURA DE AGUA [°C] (a la entrada de la torre) | <u>Barlovento</u> | <u>Sotavento</u> | 48.18 |
| | 46.35 | 46.31 | |
| TEMPERATURA DE AGUA [°C] (a la salida de la torre) | <u>Salida A</u> | <u>Salida B</u> | 32.07 |
| | 29.96 | 30.05 | |
| RANGO DE ENFRIAMIENTO [°C] | 16.33 | | 16.11 |
| APROXIMACION [°C] | 13.04 | | 5.97 |
| CORRIENTE CONSUMIDA POR VENTILADORES [A] | | | |
| CELDA 2E | 118.00 | | |
| 2D | 119.30 | | |
| 2C | 122.67 | | |
| 2B | 120.00 | | |
| 2A | 120.00 | | |
| PROMEDIO | 119.99 | | 110.00 |
| VOLTAJE BUS | 472.00 | | 480.00 |
| VENTILADORES [Volts] | | | |

8.8 CURVA REAL DE COMPORTAMIENTO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Aplicando el procedimiento del punto 6.4, se obtuvieron las curvas de comportamiento de diseño y real de la torre, expresadas en términos de temperatura de bulbo húmedo en el eje de las abscisas, y temperatura de agua fría que produce la torre en el eje de las ordenadas, que se muestra en la figura 8.14 respectivamente.

En la figura 8.15 se puede observar que para las condiciones de temperatura de bulbo húmedo de diseño (26 °C), la torre producirá agua fría con una temperatura mayor a los 34.5 °C, valor que se encuentra por arriba del de diseño de la torre (32°C). En cambio, como es de esperarse, en la curva 8.8 se puede observar que para la TBH de diseño la torre sí es capaz de producir el agua fría al valor de diseño, es decir a 32 °C.

CURVA DE COMPORTAMIENTO DE DISEÑO

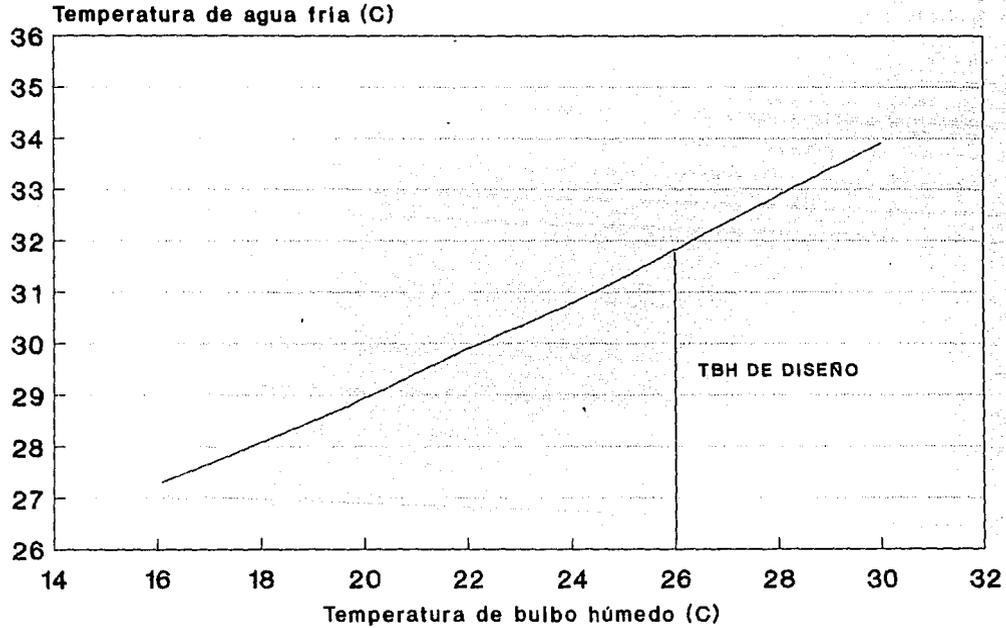
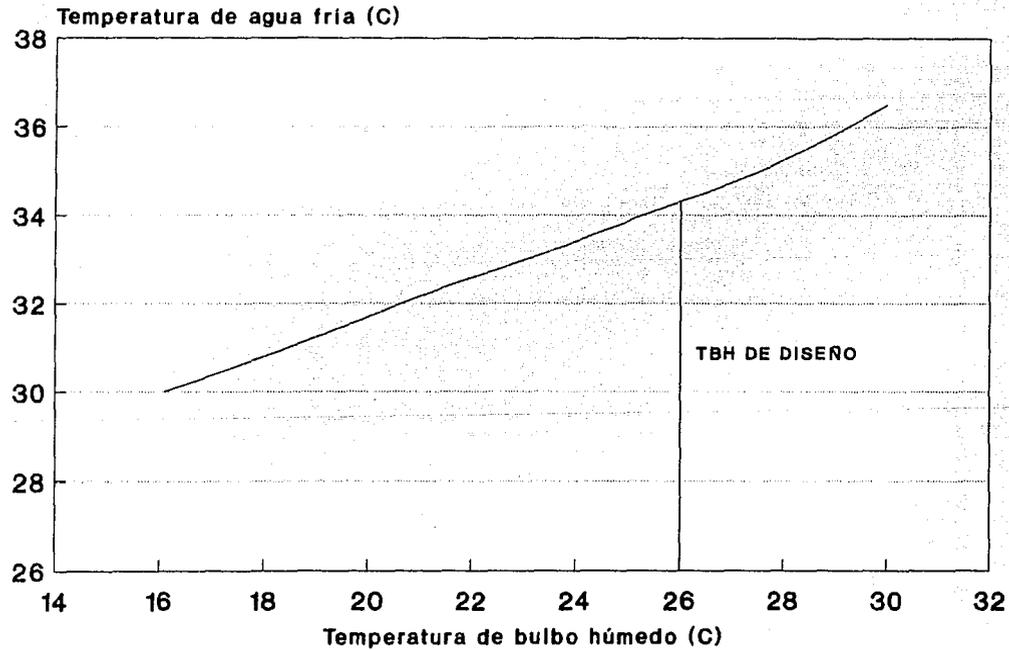


FIGURA 8.14

CURVA DE COMPORTAMIENTO REAL CONDICIONES DE OPERACION ACTUAL



Relación líquido gas (L/G) = 1.48

FIGURA 8.15

8.9 POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO

Conforme a lo descrito en el capítulo VII, se procede a evaluar el potencial de ahorro energético en la U2 de la Central Altamira.

Al llevar a cabo cada paso del procedimiento general se encuentran los siguientes resultados:

Paso 1:

Se toman de la tabla 7.1 los valores de CTU a presiones que van desde 0.136 a 0.173 bar para una carga nominal de 150 MW, dado que la unidad analizada cuenta con una capacidad de placa de 158 MW, y se tiene:

VALORES DE CTU PARA DIFERENTES PRESIONES EN EL CONDENSADOR PARA UNA C.T. DE 158 MW

| Valor CTU (kJ/kg) | Presión Condensador(bar) |
|----------------------|-----------------------------|
| 9095 | 0.136 |
| 9115 | 0.143 |
| 9133 | 0.151 |
| 9152 | 0.158 |
| 9171 | 0.165 |
| 9191 | 0.173 |

Paso 2:

Del balance térmico de la unidad al 100% de carga, es decir 158 MW de generación nominal, se encuentra el valor de la carga térmica de diseño $Q_{rn} = 1062.85$ GJ, y mediante la ecuación 7.2 y los valores de la tabla anterior, con los que se evalúa el ΔCTU al pasar de una presión a otra, se calculan las siguientes cargas térmicas para cada presión analizada.

**CARGAS TERMICAS A DIFERENTES PRESIONES EN EL CONDENSADOR
PARA EL 100% DE CARGA DE UNA C.T. DE 158MW**

| PRESION (bar) | TEMP. SAT (C) | CARGA TERMICA (GJ) |
|------------------|------------------|-----------------------|
| 0.136 | 52 | 1062.85 |
| 0.143 | 53 | 1065.905 |
| 0.151 | 54 | 1068.802 |
| 0.158 | 55 | 1071.883 |
| 0.165 | 56 | 1074.805 |
| 0.173 | 57 | 1077.911 |

Paso 3:

Evaluando con la ecuación 7.6 el producto AU_d , con los valores de diseño del condensador de la planta de Altamira:

$$Q_r = 822.8 \text{ GJ/h}$$

$$T_{sat} = 47.66 \text{ C}$$

$$TAC = 44.13 \text{ C}$$

$$TAF = 27.77 \text{ C}$$

Se tiene el valor de AU_d de diseño del condensador:

$$AU_d = 86953200 \text{ kJ/h C}$$

Por otro lado, evaluando el R (ecuación 7.6), el coeficiente X (ecuación 7.5) y la TAF (ecuación 7.4), correspondientes a cada presión del condensador, se obtiene el valor de temperatura de agua fría que es requerida a la entrada del condensador (TAF_C) para poder retirar la carga térmica correspondiente a la presión en el condensador.

DATOS TERMICOS DEL CONDENSADOR PARA DIFERENTES PRESIONES

| PRESION (bar) | TEMP. SAT. (C) | R (C) | TAC (C) | TAFC (C) |
|------------------|-------------------|----------|------------|-------------|
| 0.136 | 52 | 17.21 | 46.43 | 29.21 |
| 0.143 | 53 | 17.26 | 47.41 | 30.15 |
| 0.151 | 54 | 17.31 | 48.40 | 31.09 |
| 0.158 | 55 | 17.36 | 49.38 | 32.02 |
| 0.165 | 56 | 17.41 | 50.36 | 32.96 |
| 0.173 | 57 | 17.46 | 51.35 | 33.89 |

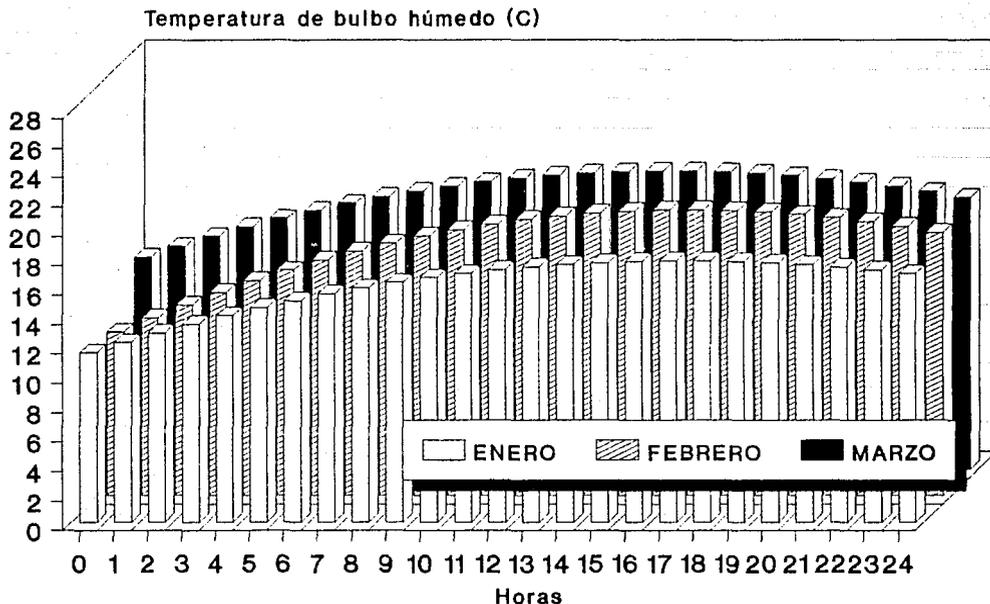
Paso 4:

Con base en los datos proporcionados en la referencia 16 (datos bioclimáticos de la República Mexicana), se obtienen las curvas mostradas en las figuras 8.16, 8.17, 8.18 y 8.19, que indican la temperatura de bulbo húmedo para cada hora de un día promedio de cada mes del año en Tampico, Tamps.

Por otro lado, mediante el procedimiento del inciso 6.4, se obtiene la curva de la figura 8.20, que muestra las curvas de comportamiento para las condiciones de diseño y actual de la torre.

Conociendo así el valor de la temperatura de agua fría que puede producir la torre (TAFT) para una determinada hora y condición.

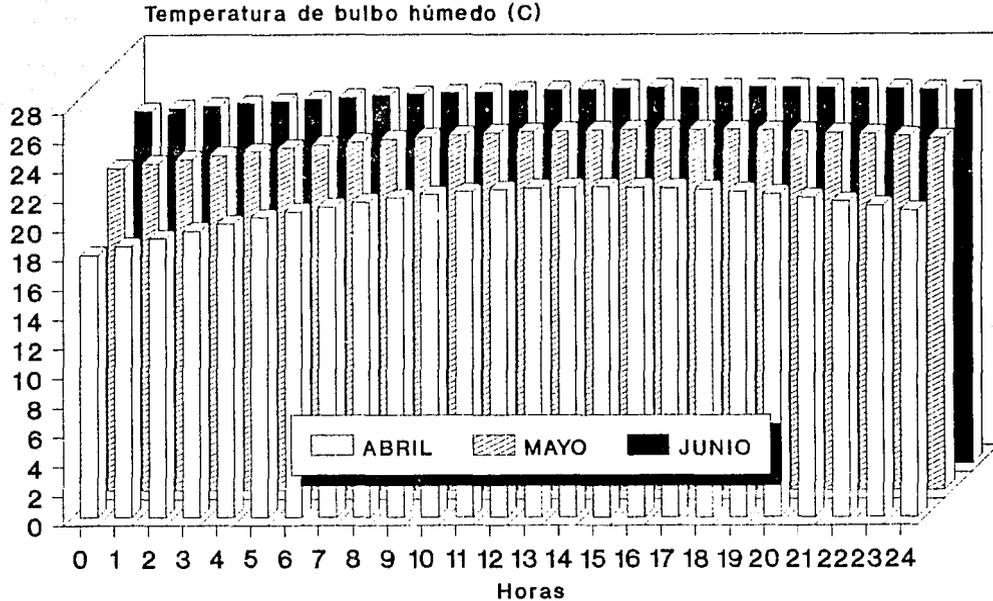
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO TAMPICO, TAMPS.



Fuente: CARTOGRAFIA DE ELEMENTOS
BIOCLIMATICOS EN LA REPUBLICA MEXICANA
Instituto de Geografía, UNAM.

FIGURA 8.16

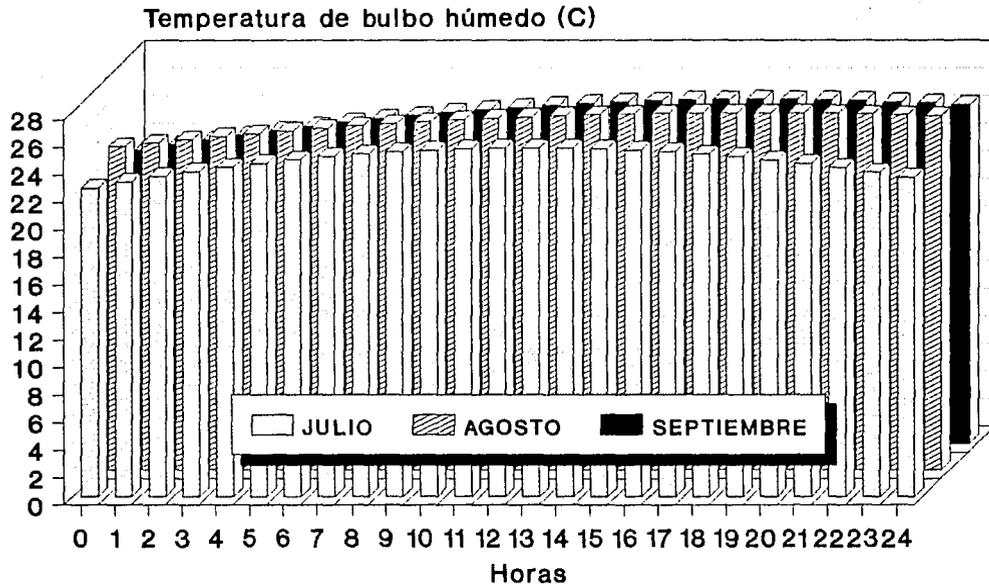
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO TAMPICO, TAMPS.



Fuente: CARTOGRAFIA DE ELEMENTOS
BIOCLIMATICOS EN LA REPUBLICA MEXICANA
Instituto de Geografía, UNAM

FIGURA 8.17

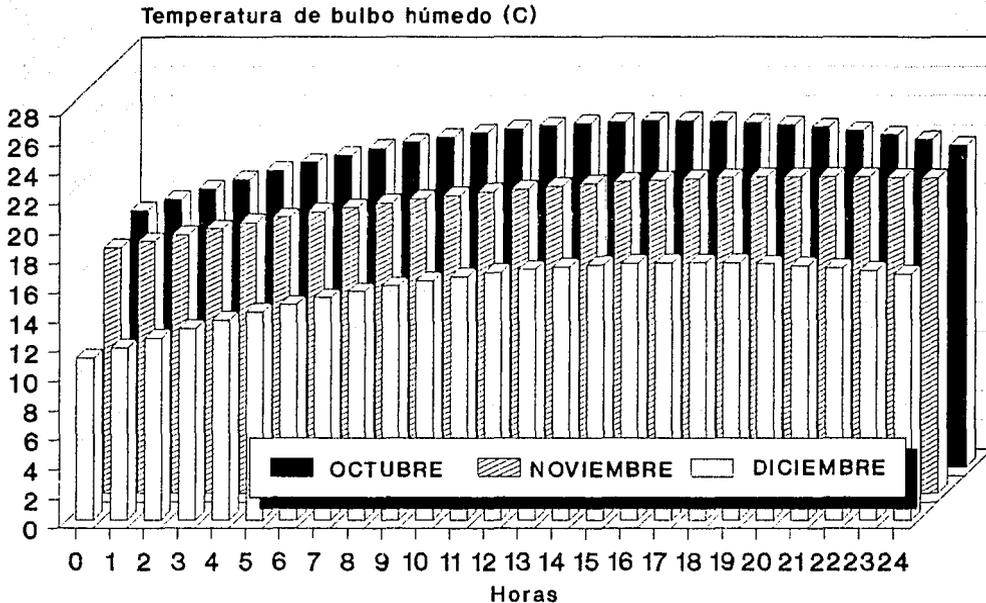
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO TAMPICO, TAMPS.



Fuente: CARTOGRAFIA DE ELEMENTOS
BIOClimáticos EN LA REPUBLICA MEXICANA
Instituto de Geografía, UNAM

FIGURA 8.18

TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO TAMPICO, TAMPS.



Fuente: CARTOGRAFIA DE ELEMENTOS
BIOClimATICOS EN LA REPUBLICA MEXICANA
Instituto de Geografía, UNAM

FIGURA 8.19

CURVAS DE COMPORTAMIENTO DISEÑO Y REAL

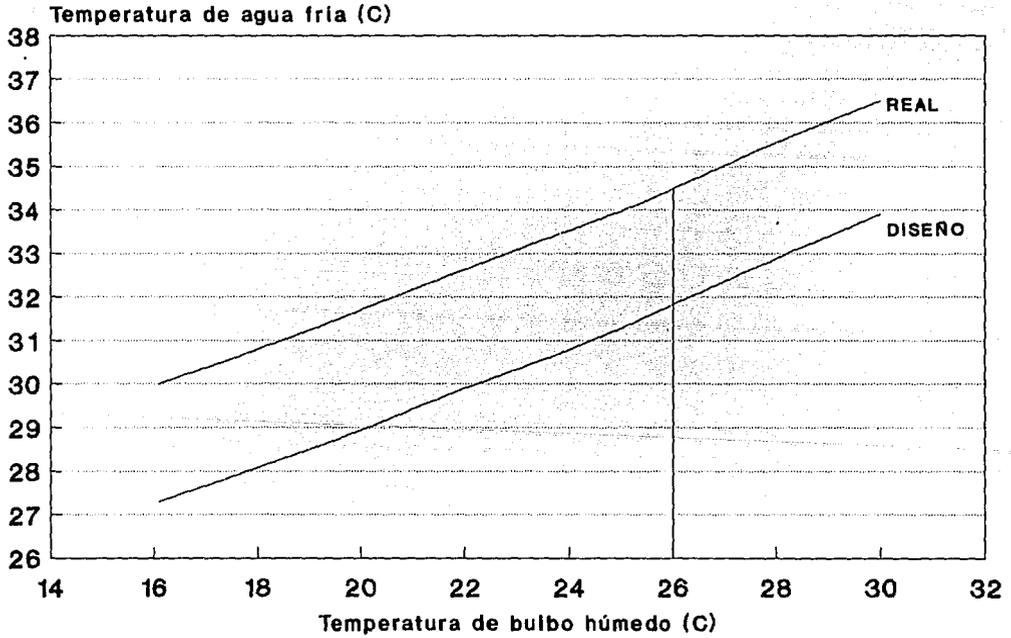


FIGURA 8.20

Paso 5:

Comparando los valores de TAFT obtenidos en el paso 4 con las TAFC del paso 3, se encuentra la presión en el condensador que se puede lograr en cada hora de un día promedio y para cada condición de la torre, como se muestra a continuación para el mes de enero, y donde los resultados para todo el año se adjuntan en el anexo A (condición de diseño de la torre) y B (condición actual de la torre).

Es importante mencionar que en los resultados anteriores (anexos A y B) se puede observar que para la condición actual de la torre se presenta derrateo de la unidad en los meses de junio, julio y agosto, lo que hace necesario evaluar la cantidad de MW a derratear en las horas en que se indica mediante DERRA, y se procede conforme al paso siguiente.

CONDICION DE DISEÑO DE LA TORRE

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Enero

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | ---- | ---- | 0.136 |
| 2 | ---- | ---- | 0.136 |
| 3 | ---- | ---- | 0.136 |
| 4 | ---- | ---- | 0.136 |
| 5 | ---- | ---- | 0.136 |
| 6 | ---- | ---- | 0.136 |
| 7 | ---- | ---- | 0.136 |
| 8 | ---- | ---- | 0.136 |
| 9 | 16.28 | 28.80 | 0.136 |
| 10 | 16.80 | 28.77 | 0.136 |
| 11 | 16.89 | 28.87 | 0.136 |
| 12 | 17.13 | 29.01 | 0.136 |
| 13 | 17.34 | 29.15 | 0.136 |
| 14 | 17.50 | 29.28 | 0.143 |
| 15 | 17.62 | 29.38 | 0.143 |
| 16 | 17.70 | 29.44 | 0.143 |
| 17 | 17.74 | 29.47 | 0.143 |
| 18 | 17.74 | 29.47 | 0.143 |
| 19 | 17.70 | 29.44 | 0.143 |
| 20 | 17.62 | 29.38 | 0.143 |
| 21 | 17.50 | 29.28 | 0.143 |
| 22 | 17.34 | 29.15 | 0.136 |
| 23 | 17.13 | 29.01 | 0.136 |
| 24 | 16.89 | 28.87 | 0.136 |

CONDICION ACTUAL DE LA TORRE

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Enero

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|----------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE | | [bar abs] |
| | [°C] | [°C] | |
| 1 | --- | --- | 0.136 |
| 2 | --- | --- | 0.136 |
| 3 | --- | --- | 0.136 |
| 4 | --- | --- | 0.136 |
| 5 | --- | --- | 0.136 |
| 6 | --- | --- | 0.136 |
| 7 | --- | --- | 0.136 |
| 8 | --- | --- | 0.136 |
| 9 | 16.28 | 30.20 | 0.151 |
| 10 | 16.60 | 30.44 | 0.151 |
| 11 | 16.89 | 30.56 | 0.151 |
| 12 | 17.13 | 30.63 | 0.151 |
| 13 | 17.34 | 30.67 | 0.151 |
| 14 | 17.50 | 30.70 | 0.151 |
| 15 | 17.62 | 30.73 | 0.151 |
| 16 | 17.70 | 30.74 | 0.151 |
| 17 | 17.74 | 30.75 | 0.151 |
| 18 | 17.74 | 30.75 | 0.151 |
| 19 | 17.70 | 30.74 | 0.151 |
| 20 | 17.62 | 30.73 | 0.151 |
| 21 | 17.50 | 30.70 | 0.151 |
| 22 | 17.34 | 30.67 | 0.151 |
| 23 | 17.13 | 30.63 | 0.151 |
| 24 | 16.89 | 30.56 | 0.151 |

Paso 6:

Dado que la máxima presión permisible en el condensador antes de requerirse derratear la unidad, para no dañar la turbina, es $P=0.173$ bar, primero se calcula cual es la carga térmica que se rechaza a diferentes generaciones eléctricas para esa presión, utilizando los datos de los balances térmicos de diseño de la unidad para 25, 50, 75 y 100 % de carga y la ecuación 7.2. Posteriormente se calcula la TAFC conforme al paso 3 del procedimiento general obteniendo los resultados de la tabla que se muestra a continuación.

TEMPERATURA DE AGUA FRIA REQUERIDA POR EL CONDENSADOR

(A diferentes generaciones de la unidad y máxima presión en el condensador)

DATOS

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| <i>Presión condensador</i> | 0,173 [bar abs] |
| <i>Temperatura saturación</i> | 57 [°C] |
| <i>Flujo agua circulación</i> | 14750880 [kg/h] |
| <i>Coefficiente AUd</i> | 86953200 [kJ/h°C] |
| <i>Exponente X</i> | 1.4082132142 [adlm] |

| GENERACION | CARGA TERMICA | RANGO | T.A.C. | T.A.F.C. |
|------------|------------------|-------|--------|----------|
| [MW] | [kJ/h] | [°C] | [°C] | [°C] |
| 158 | 1.07791E+09 | 17.46 | 51.35 | 33.89 |
| 157 | 1.06891E+09 | 17.31 | 51.40 | 34.08 |
| 156 | 1.05995E+09 | 17.17 | 51.44 | 34.28 |
| 155 | 1.05103E+09 | 17.02 | 51.49 | 34.47 |
| 154 | 1.04215E+09 | 16.88 | 51.54 | 34.66 |
| 153 | 1.03331E+09 | 16.73 | 51.58 | 34.85 |
| 152 | 1.02451E+09 | 16.59 | 51.63 | 35.04 |
| 151 | 1.01575E+09 | 16.45 | 51.67 | 35.22 |
| 150 | 1.00703E+09 | 16.31 | 51.72 | 35.41 |
| 149 | 9.98355E+08 | 16.17 | 51.77 | 35.60 |
| 148 | 9.89715E+08 | 16.03 | 51.81 | 35.78 |
| 147 | 9.81113E+08 | 15.89 | 51.86 | 35.97 |
| 146 | 9.72550E+08 | 15.75 | 51.90 | 36.15 |
| 145 | 9.64026E+08 | 15.61 | 51.95 | 36.33 |
| 144 | 9.55540E+08 | 15.48 | 51.99 | 36.51 |
| 143 | 9.47092E+08 | 15.34 | 52.03 | 36.70 |
| 142 | 9.38682E+08 | 15.20 | 52.08 | 36.88 |
| 141 | 9.30309E+08 | 15.07 | 52.12 | 37.06 |
| 140 | 9.21974E+08 | 14.93 | 52.17 | 37.23 |
| 139 | 9.13676E+08 | 14.80 | 52.21 | 37.41 |
| 138 | 9.05415E+08 | 14.66 | 52.25 | 37.59 |
| 137 | 8.97191E+08 | 14.53 | 52.30 | 37.77 |
| 136 | 8.89003E+08 | 14.40 | 52.34 | 37.94 |
| 135 | 8.80851E+08 | 14.27 | 52.38 | 38.12 |
| 134 | 8.72736E+08 | 14.13 | 52.42 | 38.29 |
| 133 | 8.64656E+08 | 14.00 | 52.47 | 38.46 |

| GENERACION | CARGA | RANGO | T.A.C. | T.A.F.C. |
|------------|-------------------|-------|--------|----------|
| [MW] | TERMICA [kJ/h] | [°C] | [°C] | [°C] |
| 132 | 8.56612E+08 | 13.87 | 52.51 | 38.64 |
| 131 | 8.48603E+08 | 13.74 | 52.55 | 38.81 |
| 130 | 8.40630E+08 | 13.61 | 52.59 | 38.98 |
| 129 | 8.32691E+08 | 13.49 | 52.63 | 39.15 |
| 128 | 8.24787E+08 | 13.36 | 52.68 | 39.32 |
| 127 | 8.16918E+08 | 13.23 | 52.72 | 39.49 |
| 126 | 8.09083E+08 | 13.10 | 52.76 | 39.65 |
| 125 | 8.01281E+08 | 12.98 | 52.80 | 39.82 |
| 124 | 7.93514E+08 | 12.85 | 52.84 | 39.99 |
| 123 | 7.85780E+08 | 12.73 | 52.88 | 40.15 |
| 122 | 7.78080E+08 | 12.60 | 52.92 | 40.32 |
| 121 | 7.70413E+08 | 12.48 | 52.96 | 40.48 |
| 120 | 7.62778E+08 | 12.35 | 53.00 | 40.65 |
| 119 | 7.55177E+08 | 12.23 | 53.04 | 40.81 |
| 118 | 7.47607E+08 | 12.11 | 53.08 | 40.97 |
| 117 | 7.40070E+08 | 11.99 | 53.12 | 41.13 |
| 116 | 7.32566E+08 | 11.86 | 53.16 | 41.29 |
| 115 | 7.25092E+08 | 11.74 | 53.20 | 41.46 |
| 114 | 7.17651E+08 | 11.62 | 53.24 | 41.61 |
| 113 | 7.10241E+08 | 11.50 | 53.28 | 41.77 |
| 112 | 7.02862E+08 | 11.38 | 53.31 | 41.93 |
| 111 | 6.95513E+08 | 11.26 | 53.35 | 42.09 |
| 110 | 6.88196E+08 | 11.15 | 53.39 | 42.25 |
| 109 | 6.80909E+08 | 11.03 | 53.43 | 42.40 |
| 108 | 6.73652E+08 | 10.91 | 53.47 | 42.56 |
| 107 | 6.66425E+08 | 10.79 | 53.51 | 42.71 |
| 106 | 6.59228E+08 | 10.68 | 53.54 | 42.87 |
| 105 | 6.52061E+08 | 10.56 | 53.58 | 43.02 |
| 104 | 6.44923E+08 | 10.44 | 53.62 | 43.17 |
| 103 | 6.37814E+08 | 10.33 | 53.66 | 43.33 |
| 102 | 6.30734E+08 | 10.21 | 53.69 | 43.48 |
| 101 | 6.23682E+08 | 10.10 | 53.73 | 43.63 |
| 100 | 6.16659E+08 | 9.99 | 53.77 | 43.78 |
| 99 | 6.09665E+08 | 9.87 | 53.80 | 43.93 |
| 98 | 6.02698E+08 | 9.76 | 53.84 | 44.08 |
| 97 | 5.95759E+08 | 9.65 | 53.88 | 44.23 |
| 96 | 5.88848E+08 | 9.54 | 53.91 | 44.38 |
| 95 | 5.81963E+08 | 9.42 | 53.95 | 44.52 |
| 94 | 5.75106E+08 | 9.31 | 53.98 | 44.67 |
| 93 | 5.68276E+08 | 9.20 | 54.02 | 44.82 |
| 92 | 5.61473E+08 | 9.09 | 54.06 | 44.96 |
| 91 | 5.54696E+08 | 8.98 | 54.09 | 45.11 |
| 90 | 5.47945E+08 | 8.87 | 54.13 | 45.25 |
| 89 | 5.41220E+08 | 8.77 | 54.16 | 45.40 |
| 88 | 5.34521E+08 | 8.66 | 54.20 | 45.54 |

| GENERACION | CARGA TERMICA | RANGO | T.A.C. | T.A.F.C. |
|------------|------------------|-------|--------|----------|
| [MW] | [kJ/h] | [°C] | [°C] | [°C] |
| 87 | 5.27848E+08 | 8.55 | 54.23 | 45.68 |
| 86 | 5.21199E+08 | 8.44 | 54.27 | 45.83 |
| 85 | 5.14576E+08 | 8.33 | 54.30 | 45.97 |
| 84 | 5.07978E+08 | 8.23 | 54.34 | 46.11 |
| 83 | 5.01404E+08 | 8.12 | 54.37 | 46.25 |
| 82 | 4.94855E+08 | 8.01 | 54.41 | 46.39 |
| 81 | 4.88330E+08 | 7.91 | 54.44 | 46.53 |
| 80 | 4.81829E+08 | 7.80 | 54.47 | 46.67 |
| 79 | 4.75351E+08 | 7.70 | 54.51 | 46.81 |
| 78 | 4.68898E+08 | 7.59 | 54.54 | 46.95 |
| 77 | 4.62467E+08 | 7.49 | 54.58 | 47.09 |
| 76 | 4.56060E+08 | 7.39 | 54.61 | 47.22 |
| 75 | 4.49675E+08 | 7.28 | 54.64 | 47.36 |
| 74 | 4.43313E+08 | 7.18 | 54.68 | 47.50 |
| 73 | 4.36974E+08 | 7.08 | 54.71 | 47.63 |
| 72 | 4.30656E+08 | 6.97 | 54.74 | 47.77 |
| 71 | 4.24361E+08 | 6.87 | 54.77 | 47.90 |
| 70 | 4.18087E+08 | 6.77 | 54.81 | 48.04 |
| 69 | 4.11835E+08 | 6.67 | 54.84 | 48.17 |
| 68 | 4.05604E+08 | 6.57 | 54.87 | 48.30 |
| 67 | 3.99394E+08 | 6.47 | 54.91 | 48.44 |
| 66 | 3.93205E+08 | 6.37 | 54.94 | 48.57 |
| 65 | 3.87037E+08 | 6.27 | 54.97 | 48.70 |
| 64 | 3.80889E+08 | 6.17 | 55.00 | 48.83 |
| 63 | 3.74761E+08 | 6.07 | 55.03 | 48.97 |
| 62 | 3.68654E+08 | 5.97 | 55.07 | 49.10 |
| 61 | 3.62565E+08 | 5.87 | 55.10 | 49.23 |
| 60 | 3.56497E+08 | 5.77 | 55.13 | 49.36 |
| 59 | 3.50447E+08 | 5.68 | 55.16 | 49.49 |
| 58 | 3.44417E+08 | 5.58 | 55.19 | 49.62 |
| 57 | 3.38406E+08 | 5.48 | 55.23 | 49.75 |
| 56 | 3.32413E+08 | 5.38 | 55.26 | 49.87 |
| 55 | 3.26438E+08 | 5.29 | 55.29 | 50.00 |
| 54 | 3.20482E+08 | 5.19 | 55.32 | 50.13 |
| 53 | 3.14544E+08 | 5.09 | 55.35 | 50.26 |
| 52 | 3.08623E+08 | 5.00 | 55.38 | 50.38 |
| 51 | 3.02720E+08 | 4.90 | 55.41 | 50.51 |
| 50 | 2.96834E+08 | 4.81 | 55.44 | 50.64 |
| 49 | 2.90965E+08 | 4.71 | 55.47 | 50.76 |
| 48 | 2.85113E+08 | 4.62 | 55.51 | 50.89 |
| 47 | 2.79277E+08 | 4.52 | 55.54 | 51.01 |
| 46 | 2.73458E+08 | 4.43 | 55.57 | 51.14 |

Y al comparar los valores de TAFC anteriores con los TAFT obtenidos en el paso 4, se encuentra la cantidad de MW necesarios a derratear y la hora en que esto ocurrirá, según se muestra en el anexo C.

A continuación se presentan en forma resumida los MW derrateados en cada mes del año, así como el total de los mismos.

DERRATEO TOTAL AL AÑO

(Para el estado actual de la torre)

| Mes | MWh/día | Días | MWh/mes |
|-----|---------|------|---------|
| ENE | 0 | 31 | 0 |
| FEB | 0 | 28 | 0 |
| MZO | 0 | 31 | 0 |
| ABR | 0 | 30 | 0 |
| MAY | 0 | 31 | 0 |
| JUN | 29 | 30 | 870 |
| JUL | 7 | 31 | 217 |
| AGO | 42 | 31 | 1302 |
| SEP | 0 | 30 | 0 |
| OCT | 0 | 31 | 0 |
| NOV | 0 | 30 | 0 |
| DIC | 0 | 31 | 0 |

| | |
|------------------------|-------------|
| TOTAL [MWh/año] | 2389 |
|------------------------|-------------|

| | |
|---|----------------|
| Total Producción posible [MWh/año] | 1384080 |
|---|----------------|

| | |
|--------------------------------------|---------------|
| Porcentaje de derrateo al año | 0.17 % |
|--------------------------------------|---------------|

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| MW Promedio derrateados | 0.272716 |
|--------------------------------|-----------------|

Pasos 7 y 8:

Por último se procede a calcular cuanta energía es posible ahorrar, es decir valuar el potencial energético que se tiene si la torre de enfriamiento es llevada a sus condiciones de diseño.

Lo anterior puede ser evaluado básicamente bajo dos escenarios: (1) sustituyendo en el sistema eléctrico la generación derrateada de la unidad y (2) sin sustituir la generación derrateada.

Para este caso en estudio se analizarán los dos escenarios, para el primero se considera que el tipo de unidad que sustituirá toda la energía derrateada es una unidad turbogas que cuenta con un $CTU=14400$ kJ/kWh.

Ahora bien, planteados los escenarios anteriores se calcula para cada uno de ellos la energía consumida a la presión obtenida en el paso 5 para cada condición de la torre; empleando las ecuaciones 7.8 y 7.9 respectivamente, y al restar las energías que consume la unidad para cada condición de la torre se encuentra la energía que se puede ahorrar cada hora al pasar la torre de una a otra condición como se muestran en los anexos D y E, escenario 1 y escenario 2 respectivamente. Y dividiendo la energía que se puede ahorrar entre el producto de la eficiencia del generador de vapor por el poder calorífico del combustible se obtiene el ahorro de combustible que esto representa.

Al anualizar estos valores se obtiene el ahorro en un año, y se muestran a continuación en los resúmenes.

ENERGIA AHORRADA EN UN AÑO

(Sustituyendo la generación derrateada)

| MES | ENERGIA [kJ/mes] |
|---|---------------------|
| ENE | 2.1949 E+09 |
| FEB | 1.5965 E+09 |
| MZO | 2.2564 E+09 |
| ABR | 2.3938 E+09 |
| MAY | 2.4752 E+09 |
| JUN | 5.3126 E+09 |
| JUL | 2.8673 E+09 |
| AGO | 7.5889 E+09 |
| SEP | 2.3898 E+09 |
| OCT | 2.5258 E+09 |
| NOV | 2.4845 E+09 |
| DIC | 2.3893 E+09 |
| Energía ahorrada en un año típico [kJ/año] 3.6457 E+10 | |

*Energía ahorrada para un año
considerando un factor de planta
igual a 80 %* **2.918E+10 [kJ/año]**

*Equivalencia total en barriles
de petróleo* **5.086.9 [barril/año]**

ENERGIA AHORRADA EN UN AÑO

(Sin sustituir la generación derrateada)

| MES | ENERGIA [kJ/mes] |
|--|---------------------|
| ENE | 2.1949 E+09 |
| FEB | 1.5965 E+09 |
| MZO | 2.2564 E+09 |
| ABR | 2.3938 E+09 |
| MAY | 2.4752 E+09 |
| JUN | 7.4556 E+08 |
| JUL | 1.7220 E+09 |
| AGO | 7.7041 E+08 |
| SEP | 2.3898 E+09 |
| OCT | 2.5258 E+09 |
| NOV | 2.4845 E+09 |
| DIC | 2.3893 E+09 |
| Energía ahorrada en un año típico [kJ/año] 2.3944 E+10 | |

*Energía ahorrada para un año
considerando un factor de planta
igual a 80 % **1.916E+10 [kJ/año]***

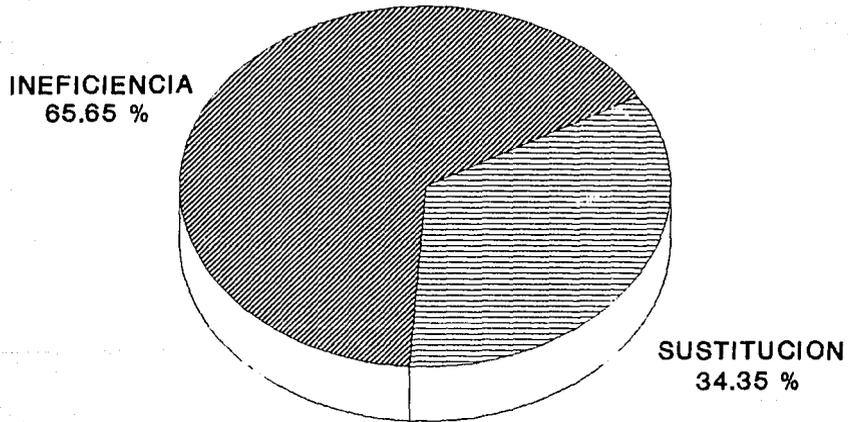
*Equivalencia total en barriles
de petróleo **3339.3 [barril/año]***

De lo anterior, se concluye que es posible ahorrar 36,475 GJ/año en el escenario 1 y 23,944 GJ/año en el escenario 2, sin embargo hay que tomar en cuenta que ninguna central generadora es capaz de estar conectada al sistema durante un año en forma ininterrumpida, debido a que requiere mantenimiento, ocurren fallas que obligan a operar a cargas menores a la nominal o que producen el disparo de la unidad sacándola del sistema durante un determinado periodo de tiempo, es necesario entonces tomar en cuenta el parámetro conocido como factor de planta, que se define como el número de horas al año que la unidad generadora está en servicio, en relación al número total de horas en un año, definición que implica que la unidad generadora funciona siempre a plena carga. En otros términos, el factor de planta es la relación entre la energía anual producida y la que se habría generado, si dicha unidad hubiera trabajado a su capacidad total durante todo el año. Siendo este valor para plantas termoeléctricas en el sistema eléctrico nacional igual a 80%, lo que implica que la energía ahorrada se reduce a 29,180 GJ/año en el escenario 1 y a 19,155 GJ/año en el escenario 2 que equivalen en barriles de petróleo, tomando como poder calorífico del combustible 6.67 GJ/barril (ref 12) y como eficiencia del generador de vapor 86% (ref 20), a un total de 5,086.99 y 3,339.38 barriles/año.

Cabe reiterar que en la evaluación anterior el escenario 1 consideró que toda la energía derrateada es sustituida por una central turbogas que cuenta con un CTU = 14,400 kJ/kW . Por lo tanto aquí se pueden diferenciar dos tipos de ahorros, uno por ineficiencia de la unidad al ser operada con la torre de enfriamiento en mal estado ,que es la energía evaluada en el escenario 2, y otro por sustitución de la energía derrateada.

En la figuras 8.21 y 8.22 se muestra en forma desagregada el ahorro total de energía mensual que se tendría al mejorar la torre de enfriamiento, por un lado se indica la energía desperdiciada por causa de la ineficiencia de la torre (65.65%) y por el otro la energía que se gastaría en la unidad turbogas para lograr la sustitución de la generación derrateada (34.35%).

ENERGIA PERDIDA POR CONCEPTO



ENERGIA TOTAL
Equivalente a 5086 barriles de petróleo

FIGURA 8.21

ENERGIA DESPERDICIADA MENSUALMENTE

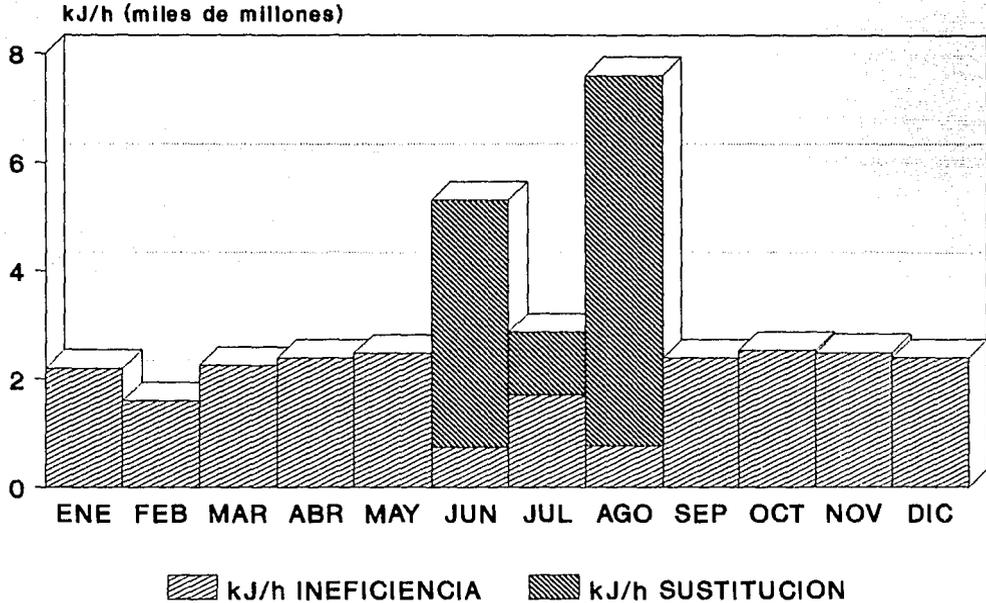


FIGURA 8.22

ENERGIA DESPERDICIADA MENSUALMENTE

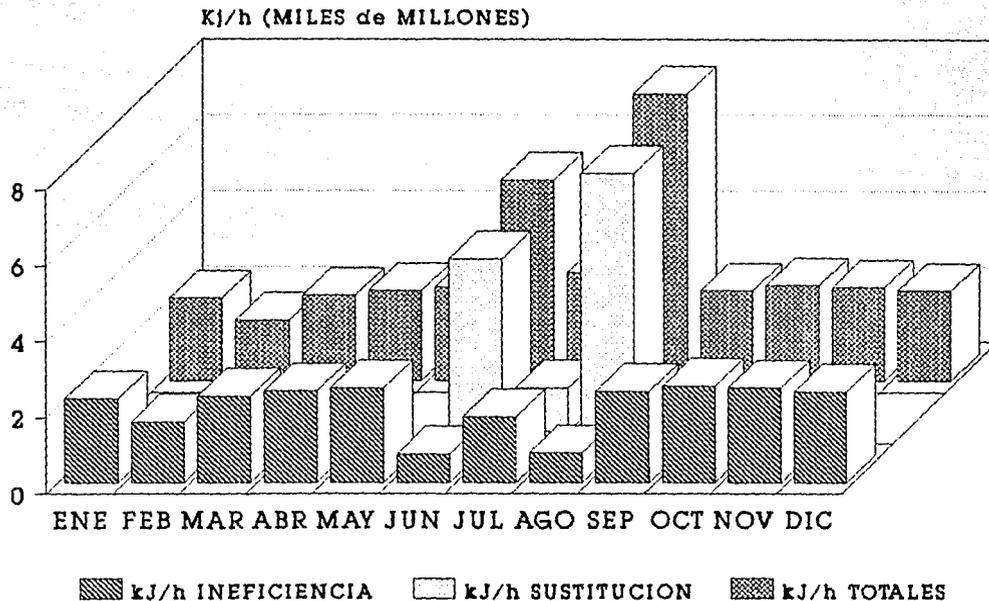


FIGURA 8.23

8.10 DEFINICION DE ALTERNATIVAS PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Dado que durante las pruebas de comportamiento de la torre se determinó que su capacidad es de 90.73%, resulta aconsejable antes de tomar una acción más radical, plantear como primera alternativa realizarle un mantenimiento, con objeto de llevar su capacidad al 100%. Si con ello no se lograra obtener la disminución requerida de la temperatura del agua fría, se procedería a realizar un análisis para determinar cual de las opciones siguientes pudiera ser la más adecuada.

Para obtener agua más fría a la salida de la torre de enfriamiento de la unidad 2 de la C.T. Altamira, las opciones básicas son tres:

- 1- Incremento en el flujo de aire.
- 2- Modificación de la superficie de transferencia de calor.
- 3- Disminución del flujo de agua.

A continuación se discute la factibilidad de cada una, así como su potencial para disminuir la temperatura del agua fría.

Para incrementar el flujo de aire se puede optar por modificar el ángulo de ataque de ventiladores o instalar conos del ventilador con ganancia de velocidad (que pueden generar hasta un 7% más de aire debido a que alivian la presión de salida contra la cual trabaja el ventilador). Es posible también considerar la instalación de motores o ventiladores más grandes, con sus respectivos incrementos en la energía consumida y pérdida de agua por incremento en el arrastre al operar la torre.

Sobre la modificación de las superficies de transferencia de calor, la mejora más considerable en la capacidad de la torre puede obtenerse mediante la instalación de un relleno celular, es decir, un relleno de película densa con alta eficiencia, con el cual se reportan disminuciones de hasta 5 °C en la temperatura de agua fría, lo que equivaldría a tener un incremento de la capacidad de la torre de un 25 a 30%. Sin embargo para la

adquisición y montaje de estos rellenos se requiere un estudio específico para cada caso y la remodelación de las torres no siempre es posible. Se suelen presentar problemas de incrustación en el relleno cuando el agua tiene gran contenido de sales disueltas, y para evitarlos deben incrementarse las purgas de la torre al tener que operar con ciclos de concentración bajos. Adicionalmente, el costo de la remodelación y compra del relleno puede llegar a ser superior al de instalar una torre nueva.

Para disminuir el flujo de agua la única opción es, desviar parte del mismo a otro equipo con objeto de reducir la relación agua-aire y aumentar así la capacidad del equipo. Esta medida lleva implícito un gran costo.

8.11 POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO A NIVEL NACIONAL

Los resultados obtenidos en el caso estudiado en este trabajo llevan a plantear una pregunta inevitable, cuál es el potencial de ahorro energético existente en el país si se analizaran todas las centrales térmicas que cuentan con un sistema de enfriamiento del tipo evaporativo cerrado, es decir con torre de enfriamiento.

Para poder dar una respuesta exacta a esta pregunta se tendría que realizar un estudio profundo de las condiciones operativas de cada una de las torres, sin embargo con el objeto de tener una idea, aunque aproximada pero que muestre un orden de magnitud de este potencial de ahorro, se lleva a cabo la siguiente evaluación.

Primeramente recordemos que la capacidad eléctrica en nuestro país asciende, hasta el año de 1989, a 24,445MW instalados, de los cuales 16,684MW corresponden a centrales térmicas (tabla 2.4).

La capacidad a base de centrales térmicas se puede dividir a su vez en capacidad con sistema evaporativo cerrado y capacidad con otro tipo de sistema.

La capacidad instalada de centrales térmicas con torre de enfriamiento en el país es de 9278 MW, cifra que se conforma de 7107 MW a base de termoelectricas, 1501 MW de ciclos combinados y 670 MW de geotermoelectricas.

En efecto el 38.7% de la capacidad total instalada y el 57.6% de las centrales térmicas cuentan con este tipo de sistema de enfriamiento.

Como se mencionó anteriormente, calcular a nivel Nacional la contribución de las torres de enfriamiento en un posible derrateo de las unidades es un estudio arduo y cae fuera de los alcances del presente. Sin embargo, con el interés de contar con unas cifras generales, se optó por extrapolar los valores encontrados para el caso particular de la central Altamira para estimar tanto la capacidad de potencia perdida por derrateo, como el potencial de ahorro energético que se tendría si las torres se llevasen a condiciones óptimas de operación.

En la central antes mencionada, el porcentaje de derrateo que la torre de enfriamiento produce en un año es de 0.17% de su capacidad de placa, aunque cabe destacar que este se presenta sólo en junio, julio y agosto, meses donde llega a proporciones de 0.76%, 0.18% y 1.10%, respectivamente. Más aún, como la demanda más alta del Sistema Nacional Interconectado se presenta en los 3 meses mencionados, que son también los más calurosos del año, el derrateo corresponde a energía del más alto valor, es decir aquella que se consume en la estación pico del año y para la cual se requiere tener capacidad instalada para generarla.

Al generalizar los resultados de Altamira a todas aquellas centrales que cuentan con torre de enfriamiento, se estima que, a nivel Nacional, las potencias derrateadas ascenderían a 70MW, 17MW, y 102MW para junio, julio y agosto, respectivamente. Como el mes de junio es el más crítico por presentarse en éste la demanda máxima se estima que el Sistema Nacional Interconectado cuenta con alrededor de 70MW adicionales de capacidad instalada debido al problema de derrateo. Esto significa una inversión adicional de 216 miles de millones de pesos, si se considerara un costo por kW

instalado igual a 3.083 millones de pesos.

Por último, cabe agregar que el derrateo no sólo se presenta en los meses de más alta demanda, sino que además ocurre de manera concentrada en las horas pico. En efecto, en el caso de Altamira, el 28% del derrateo de junio y agosto se presenta de 20 a 23 horas. Lo anterior hace suponer que la capacidad instalada que se utiliza para sustituir el derrateo seguramente supera la cifra estimada (70 MW).

Por otro lado, en el estudio realizado a la central de Altamira se plantearon dos escenarios: sustituir la energía que se derratea en la unidad, por medio de una planta turbogas, y sin sustituir la energía derrateada; de esta manera, se estimó el potencial de ahorro de energía en 5087 y 3339 barriles de petróleo al año, respectivamente.

Si se supone que todas las centrales térmicas que emplean torres de enfriamiento presentan estos mismos índices, se podrían tener un ahorro aproximado de 298,706 y 196,087 barriles de petróleo al año. Desde otro punto de vista, si se supone un precio del petróleo igual a \$45,000 (15 dólares) por barril se estarían quemando innecesariamente 13,441 y 8,824 millones de pesos/año, para cada uno de los escenarios planteados.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Se ha mostrado a través de este trabajo la importancia que tiene el estudio y análisis de los sistemas de enfriamiento como una buena oportunidad de mejorar el uso de la energía en las centrales termoeléctricas.

Las centrales térmicas juegan un papel muy relevante en el contexto del Sistema Eléctrico Nacional ya que el 67.7% de la capacidad instalada en el país es a base de ellas. Además, las centrales termoeléctricas convencionales representan el 66.6% de las térmicas, es decir, son las más abundantes dentro de las consumidoras de hidrocarburos.

Por otro lado, se ha constatado que los sistemas de enfriamiento constituyen un elemento muy valioso e importante en las centrales termoeléctricas, debido a que determinan la presión de descarga de la turbina y por lo tanto su eficiencia, y de este modo, tienen un fuerte impacto en el consumo térmico unitario de la central. Así mismo, a la fecha el 57.25% de la capacidad instalada en centrales termoeléctricas utilizan sistemas de enfriamiento del tipo evaporativo cerrado, debido a que éstos, por medio de las torres de enfriamiento, proporcionan una gran capacidad y eficiencia para la transferencia del calor que se requiere rechazar del ciclo, a comparación de los sistemas tipo seco.

Para el estudio de las torres de enfriamiento se desarrolló un procedimiento de diagnóstico basado en la obtención de la curva real de comportamiento de la torre, así como una metodología para estimar el potencial de ahorro energético basada en dicho diagnóstico. Al ser aplicados estos en el caso particular de la unidad 2 de la central Altamira, se llegó a las siguientes conclusiones:

La torre de enfriamiento tiene una relación líquido/aire (L/G) 20% mayor a la de diseño, situación que aunada a una baja capacidad, igual a 90.73%, provoca que la torre no sea capaz de suministrar agua fría a una temperatura que impida derratear la unidad en los meses más calurosos del año para operar en zona segura a la

turbina. Esto lleva a tener un derrateo de 870, 217 y 1302 MWh en los meses de junio, julio y agosto respectivamente, que equivale a un porcentaje promedio de derrateo de 0.17% al año, cifra que llega a 1.1% en el mes de agosto.

Además, se encontró que el ahorro de energía que se podría lograr si se realizara un mantenimiento en la torre y ésta se llevara al 100% de su capacidad de enfriamiento (para evitar que la unidad opere a presiones mayores en el condensador con el correspondiente incremento del consumo térmico unitario) sería de 5,087 y 3,339 barriles de petróleo/año, donde la primera cifra corresponde al análisis hecho al suponer que la energía derrateada es sustituida por una unidad turbogas, y la segunda al suponer que la energía no es sustituida.

Por último, al estimar en forma gruesa el potencial de ahorro energético en el país, basado en los resultados encontrados en la unidad de Altamira, se concluye que la potencia derrateada a nivel nacional por una mala operación de las torres de enfriamiento de las centrales que cuentan con este sistema ascendería a 70MW, 17MW y 102MW para los meses de junio, julio y agosto, respectivamente. En consecuencia, el ahorro de energía sería de 298,706 y 196,087 barriles de petróleo por año para los mismos escenarios planteados en Altamira, es decir con y sin sustitución de la generación derrateada.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

- 1 **Acceptance test code for Water Cooling Towers, ATC-105.**
Cooling Towers Institute, June 1982.
- 2 **Atmospheric Water Cooling equipment.**
ANSI / ASME PTC 23 - 1986.
- 3 **Water Cooling Tower thermal performance testing procedures and instrumentation.**
Cooling Tower Institute, January 1977.
- 4 **Examination of specific aspects of Cooling Tower testing methodology.**
EPRI FP-953, december 1978.
- 5 **Cooling Tower performance analysis - VERA 2D.**
EPRI FS6419B/F, december 1986.
- 6 **Fundamentals of Cooling Towers.**
Jeanina Katzel, Plant Engineering, april 27, 1969.
- 7 **Proper Cooling Tower operation makes money.**
James L. Willa. Presented to CTI annual meeting, february 11, 1975.
- 8 **How to repair a Cooling Tower.**
James I. Willa / David Hoffmann, Presented to CTI annual meeting, february 1, 1977.
- 9 **Principios de Torres de Enfriamiento.**
Arturo F. Monedero, IIE, 1988.
- 10 **Métodos de cálculo en los procesos de transferencia de Materia.**
H. Sawistowski / W. Smith, 1967.
- 11 **Ingeniería Económica.**
Anthony J. Tarquin / Leland T. Blank, agosto 1981.
- 12 **Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el Sector Eléctrico.**
Comisión Federal de Electricidad, 1989.
- 13 **Informe de operaciones de CFE.**
Comisión Federal de Electricidad, 1987.

- 14 **Procesos de transferencia de calor.**
Donald Q. Kern. Trad. Nicolás Marino Ambrossi, 1a. ed., México.
Mc Graw-Hill, 1965.
- 15 **Standard Handbook for Mechanical Engineers.**
I. Marks Lionel Simeon, 8a. ed., New York, Mc Graw-Hill, 1978.
- 16 **Cartografía de elementos bioclimáticos de la República Mexicana.**
Instituto de Geografía, UNAM, 1985.
- 17 **Apuntes del curso de Energía y Desarrollo Económico de la DEFP.**
Jacinto Viqueira Landa, UNAM, 1984.
- 18 **Cooling Towers loom large in overall profit / loss picture.**
Robert Burger, Power Engineering, Mayo 1990.
- 19 **Cooling Tower Performance Curves.**
Cooling Tower Institute; Houston, Texas, CTI, 1967.
- 20 **Power Handbook.**
New York, Mc Graw-Hill, 1951.
- 21 **Cooling Tower Manual, capítulo 2.**
Cooling Tower Institute, January 1977.

ANEXO A

CONDICION DE DISEÑO DE LA TORRE

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Enero

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | ---- | ---- | 0.136 |
| 2 | ---- | ---- | 0.136 |
| 3 | ---- | ---- | 0.136 |
| 4 | ---- | ---- | 0.136 |
| 5 | ---- | ---- | 0.136 |
| 6 | ---- | ---- | 0.136 |
| 7 | ---- | ---- | 0.136 |
| 8 | ---- | ---- | 0.136 |
| 9 | 16.28 | 28.80 | 0.136 |
| 10 | 16.60 | 28.77 | 0.136 |
| 11 | 16.89 | 28.87 | 0.136 |
| 12 | 17.13 | 29.01 | 0.136 |
| 13 | 17.34 | 29.15 | 0.136 |
| 14 | 17.50 | 29.28 | 0.143 |
| 15 | 17.62 | 29.38 | 0.143 |
| 16 | 17.70 | 29.44 | 0.143 |
| 17 | 17.74 | 29.47 | 0.143 |
| 18 | 17.74 | 29.47 | 0.143 |
| 19 | 17.70 | 29.44 | 0.143 |
| 20 | 17.62 | 29.38 | 0.143 |
| 21 | 17.50 | 29.28 | 0.143 |
| 22 | 17.34 | 29.15 | 0.136 |
| 23 | 17.13 | 29.01 | 0.136 |
| 24 | 16.89 | 28.87 | 0.136 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Febrero

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 1 | ---- | ---- | 0.136 |
| 2 | ---- | ---- | 0.136 |
| 3 | ---- | ---- | 0.136 |
| 4 | ---- | ---- | 0.136 |
| 5 | ---- | ---- | 0.136 |
| 6 | ---- | ---- | 0.136 |
| 7 | 16.60 | 28.77 | 0.136 |
| 8 | 17.15 | 29.02 | 0.136 |
| 9 | 17.64 | 29.39 | 0.143 |
| 10 | 18.07 | 29.73 | 0.143 |
| 11 | 18.44 | 30.00 | 0.143 |
| 12 | 18.75 | 30.20 | 0.151 |
| 13 | 19.01 | 30.35 | 0.151 |
| 14 | 19.20 | 30.45 | 0.151 |
| 15 | 19.33 | 30.52 | 0.151 |
| 16 | 19.41 | 30.56 | 0.151 |
| 17 | 19.43 | 30.56 | 0.151 |
| 18 | 19.38 | 30.54 | 0.151 |
| 19 | 19.28 | 30.50 | 0.151 |
| 20 | 19.12 | 30.41 | 0.151 |
| 21 | 18.90 | 30.29 | 0.151 |
| 22 | 18.62 | 30.12 | 0.143 |
| 23 | 18.28 | 29.89 | 0.143 |
| 24 | 17.88 | 29.58 | 0.143 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bubo húmedo promedio)

Mes : Marzo

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|----------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE | | |
| | [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 0 | ---- | ---- | 0.136 |
| 1 | ---- | ---- | 0.136 |
| 2 | ---- | ---- | 0.136 |
| 3 | 16.45 | 28.76 | 0.136 |
| 4 | 17.04 | 28.95 | 0.136 |
| 5 | 17.57 | 29.34 | 0.143 |
| 6 | 18.06 | 29.72 | 0.143 |
| 7 | 18.50 | 30.04 | 0.143 |
| 8 | 18.89 | 30.29 | 0.151 |
| 9 | 19.23 | 30.47 | 0.151 |
| 10 | 19.52 | 30.61 | 0.151 |
| 11 | 19.77 | 30.71 | 0.151 |
| 12 | 19.96 | 30.78 | 0.151 |
| 13 | 20.10 | 30.84 | 0.151 |
| 14 | 20.20 | 30.87 | 0.151 |
| 15 | 20.25 | 30.89 | 0.151 |
| 16 | 20.24 | 30.89 | 0.151 |
| 17 | 20.19 | 30.87 | 0.151 |
| 18 | 20.09 | 30.83 | 0.151 |
| 19 | 19.94 | 30.78 | 0.151 |
| 20 | 19.75 | 30.70 | 0.151 |
| 21 | 19.50 | 30.60 | 0.151 |
| 22 | 19.20 | 30.46 | 0.151 |
| 23 | 18.86 | 30.27 | 0.151 |
| 24 | 18.47 | 30.02 | 0.143 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Abril

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 0 | 17.80 | 29.52 | 0.143 |
| 1 | 18.39 | 29.97 | 0.143 |
| 2 | 18.95 | 30.32 | 0.151 |
| 3 | 19.46 | 30.58 | 0.151 |
| 4 | 19.93 | 30.77 | 0.151 |
| 5 | 20.36 | 30.93 | 0.151 |
| 6 | 20.75 | 31.06 | 0.151 |
| 7 | 21.10 | 31.18 | 0.158 |
| 8 | 21.41 | 31.29 | 0.158 |
| 9 | 21.68 | 31.39 | 0.158 |
| 10 | 21.90 | 31.48 | 0.158 |
| 11 | 22.09 | 31.56 | 0.158 |
| 12 | 22.23 | 31.62 | 0.158 |
| 13 | 22.34 | 31.66 | 0.158 |
| 14 | 22.40 | 31.69 | 0.158 |
| 15 | 22.42 | 31.70 | 0.158 |
| 16 | 22.40 | 31.69 | 0.158 |
| 17 | 22.34 | 31.67 | 0.158 |
| 18 | 22.24 | 31.62 | 0.158 |
| 19 | 22.10 | 31.56 | 0.158 |
| 20 | 21.92 | 31.49 | 0.158 |
| 21 | 21.70 | 31.40 | 0.158 |
| 22 | 21.44 | 31.30 | 0.158 |
| 23 | 21.13 | 31.19 | 0.158 |
| 24 | 20.79 | 31.07 | 0.151 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Mayo

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 0 | 21.90 | 31.48 | 0.158 |
| 1 | 22.22 | 31.61 | 0.158 |
| 2 | 22.52 | 31.74 | 0.158 |
| 3 | 22.79 | 31.87 | 0.158 |
| 4 | 23.05 | 31.99 | 0.158 |
| 5 | 23.29 | 32.10 | 0.165 |
| 6 | 23.50 | 32.21 | 0.165 |
| 7 | 23.70 | 32.30 | 0.165 |
| 8 | 23.88 | 32.39 | 0.165 |
| 9 | 24.03 | 32.46 | 0.165 |
| 10 | 24.17 | 32.53 | 0.165 |
| 11 | 24.28 | 32.58 | 0.165 |
| 12 | 24.37 | 32.63 | 0.165 |
| 13 | 24.45 | 32.66 | 0.165 |
| 14 | 24.50 | 32.69 | 0.165 |
| 15 | 24.53 | 32.70 | 0.165 |
| 16 | 24.54 | 32.71 | 0.165 |
| 17 | 24.54 | 32.71 | 0.165 |
| 18 | 24.51 | 32.69 | 0.165 |
| 19 | 24.46 | 32.67 | 0.165 |
| 20 | 24.39 | 32.64 | 0.165 |
| 21 | 24.30 | 32.59 | 0.165 |
| 22 | 24.19 | 32.54 | 0.165 |
| 23 | 24.06 | 32.48 | 0.165 |
| 24 | 23.91 | 32.40 | 0.165 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Junio

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|--------|--------|-----------|
| [horas] | [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 0 | 24.00 | 32.45 | 0.165 |
| 1 | 24.17 | 32.53 | 0.165 |
| 2 | 24.34 | 32.61 | 0.165 |
| 3 | 24.49 | 32.68 | 0.165 |
| 4 | 24.63 | 32.75 | 0.165 |
| 5 | 24.77 | 32.81 | 0.165 |
| 6 | 24.89 | 32.87 | 0.165 |
| 7 | 25.00 | 32.92 | 0.165 |
| 8 | 25.10 | 32.97 | 0.173 |
| 9 | 25.19 | 33.01 | 0.173 |
| 10 | 25.28 | 33.05 | 0.173 |
| 11 | 25.35 | 33.08 | 0.173 |
| 12 | 25.41 | 33.11 | 0.173 |
| 13 | 25.46 | 33.13 | 0.173 |
| 14 | 25.50 | 33.15 | 0.173 |
| 15 | 25.53 | 33.17 | 0.173 |
| 16 | 25.55 | 33.18 | 0.173 |
| 17 | 25.56 | 33.18 | 0.173 |
| 18 | 25.56 | 33.18 | 0.173 |
| 19 | 25.55 | 33.18 | 0.173 |
| 20 | 25.53 | 33.17 | 0.173 |
| 21 | 25.50 | 33.15 | 0.173 |
| 22 | 25.46 | 33.13 | 0.173 |
| 23 | 25.41 | 33.11 | 0.173 |
| 24 | 25.35 | 33.08 | 0.173 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Julio

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 0 | 22.40 | 31.69 | 0.158 |
| 1 | 22.83 | 31.89 | 0.158 |
| 2 | 23.23 | 32.07 | 0.165 |
| 3 | 23.59 | 32.25 | 0.165 |
| 4 | 23.92 | 32.41 | 0.165 |
| 5 | 24.22 | 32.55 | 0.165 |
| 6 | 24.48 | 32.68 | 0.165 |
| 7 | 24.70 | 32.78 | 0.165 |
| 8 | 24.89 | 32.87 | 0.165 |
| 9 | 25.04 | 32.94 | 0.165 |
| 10 | 25.17 | 33.00 | 0.173 |
| 11 | 25.25 | 33.04 | 0.173 |
| 12 | 25.30 | 33.06 | 0.173 |
| 13 | 25.32 | 33.07 | 0.173 |
| 14 | 25.30 | 33.06 | 0.173 |
| 15 | 25.25 | 33.04 | 0.173 |
| 16 | 25.16 | 33.00 | 0.173 |
| 17 | 25.04 | 32.94 | 0.165 |
| 18 | 24.88 | 32.87 | 0.165 |
| 19 | 24.69 | 32.78 | 0.165 |
| 20 | 24.46 | 32.67 | 0.165 |
| 21 | 24.20 | 32.55 | 0.165 |
| 22 | 23.90 | 32.40 | 0.165 |
| 23 | 23.57 | 32.24 | 0.165 |
| 24 | 23.21 | 32.06 | 0.165 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Agosto

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 0 | 23.50 | 32.21 | 0.165 |
| 1 | 23.76 | 32.33 | 0.165 |
| 2 | 24.00 | 32.45 | 0.165 |
| 3 | 24.23 | 32.56 | 0.165 |
| 4 | 24.44 | 32.66 | 0.165 |
| 5 | 24.64 | 32.76 | 0.165 |
| 6 | 24.83 | 32.84 | 0.165 |
| 7 | 25.00 | 32.92 | 0.165 |
| 8 | 25.16 | 32.99 | 0.173 |
| 9 | 25.30 | 33.06 | 0.173 |
| 10 | 25.43 | 33.12 | 0.173 |
| 11 | 25.54 | 33.17 | 0.173 |
| 12 | 25.64 | 33.22 | 0.173 |
| 13 | 25.73 | 33.26 | 0.173 |
| 14 | 25.80 | 33.29 | 0.173 |
| 15 | 25.86 | 33.32 | 0.173 |
| 16 | 25.90 | 33.34 | 0.173 |
| 17 | 25.93 | 33.36 | 0.173 |
| 18 | 25.94 | 33.36 | 0.173 |
| 19 | 25.94 | 33.36 | 0.173 |
| 20 | 25.93 | 33.36 | 0.173 |
| 21 | 25.90 | 33.34 | 0.173 |
| 22 | 25.86 | 33.32 | 0.173 |
| 23 | 25.80 | 33.29 | 0.173 |
| 24 | 25.73 | 33.26 | 0.173 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : *Septiembre*

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 0 | 21.30 | 31.25 | 0.158 |
| 1 | 21.70 | 31.40 | 0.158 |
| 2 | 22.07 | 31.55 | 0.158 |
| 3 | 22.42 | 31.70 | 0.158 |
| 4 | 22.75 | 31.85 | 0.158 |
| 5 | 23.06 | 31.99 | 0.158 |
| 6 | 23.34 | 32.13 | 0.165 |
| 7 | 23.60 | 32.25 | 0.165 |
| 8 | 23.84 | 32.37 | 0.165 |
| 9 | 24.06 | 32.48 | 0.165 |
| 10 | 24.25 | 32.57 | 0.165 |
| 11 | 24.42 | 32.65 | 0.165 |
| 12 | 24.57 | 32.72 | 0.165 |
| 13 | 24.70 | 32.78 | 0.165 |
| 14 | 24.80 | 32.83 | 0.165 |
| 15 | 24.88 | 32.87 | 0.165 |
| 16 | 24.94 | 32.89 | 0.165 |
| 17 | 24.98 | 32.91 | 0.165 |
| 18 | 24.99 | 32.92 | 0.165 |
| 19 | 24.98 | 32.91 | 0.165 |
| 20 | 24.95 | 32.90 | 0.165 |
| 21 | 24.90 | 32.88 | 0.165 |
| 22 | 24.82 | 32.84 | 0.165 |
| 23 | 24.73 | 32.79 | 0.165 |
| 24 | 24.61 | 32.74 | 0.165 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Octubre

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 0 | 17.40 | 29.20 | 0.136 |
| 1 | 18.15 | 29.79 | 0.143 |
| 2 | 18.84 | 30.26 | 0.151 |
| 3 | 19.49 | 30.59 | 0.151 |
| 4 | 20.09 | 30.83 | 0.151 |
| 5 | 20.64 | 31.03 | 0.151 |
| 6 | 21.15 | 31.20 | 0.158 |
| 7 | 21.60 | 31.36 | 0.158 |
| 8 | 22.00 | 31.52 | 0.158 |
| 9 | 22.36 | 31.67 | 0.158 |
| 10 | 22.67 | 31.81 | 0.158 |
| 11 | 22.92 | 31.93 | 0.158 |
| 12 | 23.13 | 32.03 | 0.165 |
| 13 | 23.29 | 32.10 | 0.165 |
| 14 | 23.40 | 32.16 | 0.165 |
| 15 | 23.46 | 32.19 | 0.165 |
| 16 | 23.47 | 32.19 | 0.165 |
| 17 | 23.44 | 32.17 | 0.165 |
| 18 | 23.35 | 32.13 | 0.165 |
| 19 | 23.22 | 32.07 | 0.165 |
| 20 | 23.03 | 31.98 | 0.158 |
| 21 | 22.80 | 31.87 | 0.158 |
| 22 | 22.52 | 31.74 | 0.158 |
| 23 | 22.19 | 31.60 | 0.158 |
| 24 | 21.81 | 31.44 | 0.158 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Noviembre

| TIEMPO | T.B.H. AMBIENTE | T.A.F. | PRESION |
|---------|--------------------|--------|-----------|
| [horas] | [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 0 | 16.70 | 28.79 | 0.136 |
| 1 | 17.15 | 29.02 | 0.136 |
| 2 | 17.58 | 29.34 | 0.143 |
| 3 | 17.99 | 29.67 | 0.143 |
| 4 | 18.38 | 29.96 | 0.143 |
| 5 | 18.74 | 30.20 | 0.151 |
| 6 | 19.08 | 30.39 | 0.151 |
| 7 | 19.40 | 30.55 | 0.151 |
| 8 | 19.70 | 30.68 | 0.151 |
| 9 | 19.97 | 30.79 | 0.151 |
| 10 | 20.22 | 30.88 | 0.151 |
| 11 | 20.45 | 30.96 | 0.151 |
| 12 | 20.66 | 31.03 | 0.151 |
| 13 | 20.84 | 31.09 | 0.158 |
| 14 | 21.00 | 31.15 | 0.158 |
| 15 | 21.14 | 31.19 | 0.158 |
| 16 | 21.26 | 31.24 | 0.158 |
| 17 | 21.35 | 31.27 | 0.158 |
| 18 | 21.42 | 31.30 | 0.158 |
| 19 | 21.47 | 31.31 | 0.158 |
| 20 | 21.50 | 31.32 | 0.158 |
| 21 | 21.50 | 31.32 | 0.158 |
| 22 | 21.48 | 31.32 | 0.158 |
| 23 | 21.44 | 31.30 | 0.158 |
| 24 | 21.38 | 31.28 | 0.158 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Diciembre

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 0 | ---- | ---- | 0.136 |
| 1 | ---- | ---- | 0.136 |
| 2 | ---- | ---- | 0.136 |
| 3 | ---- | ---- | 0.136 |
| 4 | ---- | ---- | 0.136 |
| 5 | ---- | ---- | 0.136 |
| 6 | ---- | ---- | 0.136 |
| 7 | ---- | ---- | 0.136 |
| 8 | ---- | ---- | 0.136 |
| 9 | ---- | ---- | 0.136 |
| 10 | 16.24 | 28.81 | 0.136 |
| 11 | 16.54 | 28.76 | 0.136 |
| 12 | 16.80 | 28.83 | 0.136 |
| 13 | 17.02 | 28.94 | 0.136 |
| 14 | 17.20 | 29.06 | 0.136 |
| 15 | 17.34 | 29.15 | 0.136 |
| 16 | 17.43 | 29.23 | 0.143 |
| 17 | 17.49 | 29.27 | 0.143 |
| 18 | 17.50 | 29.28 | 0.143 |
| 19 | 17.48 | 29.26 | 0.143 |
| 20 | 17.41 | 29.21 | 0.136 |
| 21 | 17.30 | 29.13 | 0.136 |
| 22 | 17.15 | 29.02 | 0.136 |
| 23 | 16.96 | 28.91 | 0.136 |
| 24 | 16.73 | 28.80 | 0.136 |

ANEXO B

CONDICION ACTUAL DE LA TORRE

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Enero

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 1 | --- | --- | 0.136 |
| 2 | --- | --- | 0.136 |
| 3 | --- | --- | 0.136 |
| 4 | --- | --- | 0.136 |
| 5 | --- | --- | 0.136 |
| 6 | --- | --- | 0.136 |
| 7 | --- | --- | 0.136 |
| 8 | --- | --- | 0.136 |
| 9 | 16.28 | 30.20 | 0.151 |
| 10 | 16.60 | 30.44 | 0.151 |
| 11 | 16.89 | 30.56 | 0.151 |
| 12 | 17.13 | 30.63 | 0.151 |
| 13 | 17.34 | 30.67 | 0.151 |
| 14 | 17.50 | 30.70 | 0.151 |
| 15 | 17.62 | 30.73 | 0.151 |
| 16 | 17.70 | 30.74 | 0.151 |
| 17 | 17.74 | 30.75 | 0.151 |
| 18 | 17.74 | 30.75 | 0.151 |
| 19 | 17.70 | 30.74 | 0.151 |
| 20 | 17.62 | 30.73 | 0.151 |
| 21 | 17.50 | 30.70 | 0.151 |
| 22 | 17.34 | 30.67 | 0.151 |
| 23 | 17.13 | 30.63 | 0.151 |
| 24 | 16.89 | 30.56 | 0.151 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Febrero

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | ---- | ---- | 0.136 |
| 2 | ---- | ---- | 0.136 |
| 3 | ---- | ---- | 0.136 |
| 4 | ---- | ---- | 0.136 |
| 5 | ---- | ---- | 0.136 |
| 6 | ---- | ---- | 0.136 |
| 7 | ---- | ---- | 0.151 |
| 8 | ---- | ---- | 0.151 |
| 9 | 17.64 | 30.73 | 0.151 |
| 10 | 18.07 | 30.83 | 0.151 |
| 11 | 18.44 | 30.95 | 0.151 |
| 12 | 18.75 | 31.07 | 0.151 |
| 13 | 19.01 | 31.18 | 0.158 |
| 14 | 19.20 | 31.28 | 0.158 |
| 15 | 19.33 | 31.35 | 0.158 |
| 16 | 19.41 | 31.38 | 0.158 |
| 17 | 19.43 | 31.39 | 0.158 |
| 18 | 19.38 | 31.37 | 0.158 |
| 19 | 19.28 | 31.32 | 0.158 |
| 20 | 19.12 | 31.24 | 0.158 |
| 21 | 18.90 | 31.13 | 0.158 |
| 22 | 18.62 | 31.02 | 0.151 |
| 23 | 18.28 | 30.89 | 0.151 |
| 24 | 17.88 | 30.78 | 0.151 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de budo húmedo promedio)

Mes : Marzo

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | ---- | ---- | 0.136 |
| 2 | ---- | ---- | 0.136 |
| 3 | 16.45 | 30.35 | 0.151 |
| 4 | 17.04 | 30.60 | 0.151 |
| 5 | 17.57 | 30.72 | 0.151 |
| 6 | 18.06 | 30.83 | 0.151 |
| 7 | 18.50 | 30.97 | 0.151 |
| 8 | 18.89 | 31.13 | 0.158 |
| 9 | 19.23 | 31.29 | 0.158 |
| 10 | 19.52 | 31.44 | 0.158 |
| 11 | 19.77 | 31.57 | 0.158 |
| 12 | 19.96 | 31.68 | 0.158 |
| 13 | 20.10 | 31.76 | 0.158 |
| 14 | 20.20 | 31.81 | 0.158 |
| 15 | 20.25 | 31.83 | 0.158 |
| 16 | 20.24 | 31.83 | 0.158 |
| 17 | 20.19 | 31.80 | 0.158 |
| 18 | 20.09 | 31.75 | 0.158 |
| 19 | 19.94 | 31.67 | 0.158 |
| 20 | 19.75 | 31.56 | 0.158 |
| 21 | 19.50 | 31.43 | 0.158 |
| 22 | 19.20 | 31.28 | 0.158 |
| 23 | 18.86 | 31.12 | 0.158 |
| 24 | 18.47 | 30.96 | 0.151 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Abril

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | 18.39 | 30.93 | 0.151 |
| 2 | 18.95 | 31.16 | 0.158 |
| 3 | 19.46 | 31.41 | 0.158 |
| 4 | 19.93 | 31.66 | 0.158 |
| 5 | 20.36 | 31.89 | 0.158 |
| 6 | 20.75 | 32.09 | 0.165 |
| 7 | 21.10 | 32.25 | 0.165 |
| 8 | 21.41 | 32.38 | 0.165 |
| 9 | 21.68 | 32.49 | 0.165 |
| 10 | 21.90 | 32.58 | 0.165 |
| 11 | 22.09 | 32.64 | 0.165 |
| 12 | 22.23 | 32.69 | 0.165 |
| 13 | 22.34 | 32.73 | 0.165 |
| 14 | 22.40 | 32.75 | 0.165 |
| 15 | 22.42 | 32.76 | 0.165 |
| 16 | 22.40 | 32.75 | 0.165 |
| 17 | 22.34 | 32.73 | 0.165 |
| 18 | 22.24 | 32.70 | 0.165 |
| 19 | 22.10 | 32.65 | 0.165 |
| 20 | 21.92 | 32.58 | 0.165 |
| 21 | 21.70 | 32.50 | 0.165 |
| 22 | 21.44 | 32.40 | 0.165 |
| 23 | 21.13 | 32.27 | 0.165 |
| 24 | 20.79 | 32.11 | 0.165 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Mayo

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | 22.22 | 32.69 | 0.165 |
| 2 | 22.52 | 32.79 | 0.165 |
| 3 | 22.79 | 32.88 | 0.165 |
| 4 | 23.05 | 32.97 | 0.173 |
| 5 | 23.29 | 33.06 | 0.173 |
| 6 | 23.50 | 33.14 | 0.173 |
| 7 | 23.70 | 33.22 | 0.173 |
| 8 | 23.88 | 33.29 | 0.173 |
| 9 | 24.03 | 33.36 | 0.173 |
| 10 | 24.17 | 33.42 | 0.173 |
| 11 | 24.28 | 33.47 | 0.173 |
| 12 | 24.37 | 33.52 | 0.173 |
| 13 | 24.45 | 33.56 | 0.173 |
| 14 | 24.50 | 33.58 | 0.173 |
| 15 | 24.53 | 33.60 | 0.173 |
| 16 | 24.54 | 33.61 | 0.173 |
| 17 | 24.54 | 33.60 | 0.173 |
| 18 | 24.51 | 33.59 | 0.173 |
| 19 | 24.46 | 33.56 | 0.173 |
| 20 | 24.39 | 33.53 | 0.173 |
| 21 | 24.30 | 33.48 | 0.173 |
| 22 | 24.19 | 33.43 | 0.173 |
| 23 | 24.06 | 33.37 | 0.173 |
| 24 | 23.91 | 33.30 | 0.173 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bubo húmedo promedio)

Mes : Junio

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | 24.17 | 33.42 | 0.173 |
| 2 | 24.34 | 33.50 | 0.173 |
| 3 | 24.49 | 33.58 | 0.173 |
| 4 | 24.63 | 33.65 | 0.173 |
| 5 | 24.77 | 33.72 | 0.173 |
| 6 | 24.89 | 33.79 | 0.173 |
| 7 | 25.00 | 33.85 | 0.173 |
| 8 | 25.10 | 33.91 | DERRA |
| 9 | 25.19 | 33.97 | DERRA |
| 10 | 25.28 | 34.01 | DERRA |
| 11 | 25.35 | 34.05 | DERRA |
| 12 | 25.41 | 34.09 | DERRA |
| 13 | 25.46 | 34.12 | DERRA |
| 14 | 25.50 | 34.14 | DERRA |
| 15 | 25.53 | 34.16 | DERRA |
| 16 | 25.55 | 34.17 | DERRA |
| 17 | 25.56 | 34.18 | DERRA |
| 18 | 25.56 | 34.18 | DERRA |
| 19 | 25.55 | 34.17 | DERRA |
| 20 | 25.53 | 34.16 | DERRA |
| 21 | 25.50 | 34.14 | DERRA |
| 22 | 25.46 | 34.12 | DERRA |
| 23 | 25.41 | 34.09 | DERRA |
| 24 | 25.35 | 34.05 | DERRA |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Julio

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | 22.83 | 32.90 | 0.165 |
| 2 | 23.23 | 33.03 | 0.173 |
| 3 | 23.59 | 33.17 | 0.173 |
| 4 | 23.92 | 33.31 | 0.173 |
| 5 | 24.22 | 33.44 | 0.173 |
| 6 | 24.48 | 33.57 | 0.173 |
| 7 | 24.70 | 33.69 | 0.173 |
| 8 | 24.89 | 33.79 | 0.173 |
| 9 | 25.04 | 33.88 | 0.173 |
| 10 | 25.17 | 33.95 | DERRA |
| 11 | 25.25 | 34.00 | DERRA |
| 12 | 25.30 | 34.03 | DERRA |
| 13 | 25.32 | 34.04 | DERRA |
| 14 | 25.30 | 34.03 | DERRA |
| 15 | 25.25 | 34.00 | DERRA |
| 16 | 25.16 | 33.95 | DERRA |
| 17 | 25.04 | 33.88 | 0.173 |
| 18 | 24.98 | 33.79 | 0.173 |
| 19 | 24.69 | 33.68 | 0.173 |
| 20 | 24.46 | 33.56 | 0.173 |
| 21 | 24.20 | 33.44 | 0.173 |
| 22 | 23.90 | 33.30 | 0.173 |
| 23 | 23.57 | 33.16 | 0.173 |
| 24 | 23.21 | 33.03 | 0.173 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Agosto

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 1 | 23.76 | 33.24 | 0.173 |
| 2 | 24.00 | 33.34 | 0.173 |
| 3 | 24.23 | 33.45 | 0.173 |
| 4 | 24.44 | 33.56 | 0.173 |
| 5 | 24.64 | 33.66 | 0.173 |
| 6 | 24.83 | 33.76 | 0.173 |
| 7 | 25.00 | 33.85 | 0.173 |
| 8 | 25.16 | 33.94 | DERRA |
| 9 | 25.30 | 34.03 | DERRA |
| 10 | 25.43 | 34.10 | DERRA |
| 11 | 25.54 | 34.17 | DERRA |
| 12 | 25.64 | 34.22 | DERRA |
| 13 | 25.73 | 34.27 | DERRA |
| 14 | 25.80 | 34.31 | DERRA |
| 15 | 25.86 | 34.35 | DERRA |
| 16 | 25.90 | 34.37 | DERRA |
| 17 | 25.93 | 34.39 | DERRA |
| 18 | 25.94 | 34.39 | DERRA |
| 19 | 25.94 | 34.39 | DERRA |
| 20 | 25.93 | 34.39 | DERRA |
| 21 | 25.90 | 34.37 | DERRA |
| 22 | 25.86 | 34.35 | DERRA |
| 23 | 25.80 | 34.31 | DERRA |
| 24 | 25.73 | 34.27 | DERRA |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : *Septiembre*

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F. | PRESION |
|---------|------------------|--------|-----------|
| [horas] | AMBIENTE [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | 21.70 | 32.50 | 0.165 |
| 2 | 22.07 | 32.64 | 0.165 |
| 3 | 22.42 | 32.76 | 0.165 |
| 4 | 22.75 | 32.87 | 0.165 |
| 5 | 23.06 | 32.97 | 0.173 |
| 6 | 23.34 | 33.07 | 0.173 |
| 7 | 23.60 | 33.18 | 0.173 |
| 8 | 23.84 | 33.27 | 0.173 |
| 9 | 24.06 | 33.37 | 0.173 |
| 10 | 24.25 | 33.46 | 0.173 |
| 11 | 24.42 | 33.54 | 0.173 |
| 12 | 24.57 | 33.62 | 0.173 |
| 13 | 24.70 | 33.69 | 0.173 |
| 14 | 24.80 | 33.74 | 0.173 |
| 15 | 24.88 | 33.79 | 0.173 |
| 16 | 24.94 | 33.82 | 0.173 |
| 17 | 24.98 | 33.84 | 0.173 |
| 18 | 24.99 | 33.85 | 0.173 |
| 19 | 24.98 | 33.85 | 0.173 |
| 20 | 24.95 | 33.83 | 0.173 |
| 21 | 24.90 | 33.80 | 0.173 |
| 22 | 24.82 | 33.76 | 0.173 |
| 23 | 24.73 | 33.70 | 0.173 |
| 24 | 24.61 | 33.64 | 0.173 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Octubre

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 1 | 18.15 | 30.85 | 0.151 |
| 2 | 18.84 | 31.11 | 0.158 |
| 3 | 19.49 | 31.43 | 0.158 |
| 4 | 20.09 | 31.75 | 0.158 |
| 5 | 20.64 | 32.04 | 0.165 |
| 6 | 21.15 | 32.27 | 0.165 |
| 7 | 21.60 | 32.46 | 0.165 |
| 8 | 22.00 | 32.61 | 0.165 |
| 9 | 22.36 | 32.74 | 0.165 |
| 10 | 22.67 | 32.84 | 0.165 |
| 11 | 22.92 | 32.93 | 0.165 |
| 12 | 23.13 | 33.00 | 0.173 |
| 13 | 23.29 | 33.06 | 0.173 |
| 14 | 23.40 | 33.10 | 0.173 |
| 15 | 23.46 | 33.12 | 0.173 |
| 16 | 23.47 | 33.13 | 0.173 |
| 17 | 23.44 | 33.11 | 0.173 |
| 18 | 23.35 | 33.08 | 0.173 |
| 19 | 23.22 | 33.03 | 0.173 |
| 20 | 23.03 | 32.96 | 0.173 |
| 21 | 22.80 | 32.88 | 0.165 |
| 22 | 22.52 | 32.79 | 0.165 |
| 23 | 22.19 | 32.68 | 0.165 |
| 24 | 21.81 | 32.54 | 0.165 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Noviembre

| TIEMPO | T.B.H. AMBIENTE | T.A.F. | PRESION |
|---------|--------------------|--------|-----------|
| [horas] | [°C] | [°C] | [bar abs] |
| 1 | 17.15 | 30.63 | 0.151 |
| 2 | 17.58 | 30.72 | 0.151 |
| 3 | 17.99 | 30.81 | 0.151 |
| 4 | 18.38 | 30.93 | 0.151 |
| 5 | 18.74 | 31.06 | 0.151 |
| 6 | 19.08 | 31.22 | 0.158 |
| 7 | 19.40 | 31.38 | 0.158 |
| 8 | 19.70 | 31.54 | 0.158 |
| 9 | 19.97 | 31.68 | 0.158 |
| 10 | 20.22 | 31.82 | 0.158 |
| 11 | 20.45 | 31.94 | 0.158 |
| 12 | 20.66 | 32.04 | 0.165 |
| 13 | 20.84 | 32.13 | 0.165 |
| 14 | 21.00 | 32.21 | 0.165 |
| 15 | 21.14 | 32.27 | 0.165 |
| 16 | 21.26 | 32.32 | 0.165 |
| 17 | 21.35 | 32.36 | 0.165 |
| 18 | 21.42 | 32.39 | 0.165 |
| 19 | 21.47 | 32.41 | 0.165 |
| 20 | 21.50 | 32.42 | 0.165 |
| 21 | 21.50 | 32.42 | 0.165 |
| 22 | 21.48 | 32.41 | 0.165 |
| 23 | 21.44 | 32.40 | 0.165 |
| 24 | 21.38 | 32.37 | 0.165 |

PRESIONES EN EL CONDENSADOR

(Según temperatura de bulbo húmedo promedio)

Mes : Diciembre

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F. [°C] | PRESION [bar abs] |
|-------------------|----------------------------|----------------|----------------------|
| 1 | ---- | ---- | 0.136 |
| 2 | ---- | ---- | 0.136 |
| 3 | ---- | ---- | 0.136 |
| 4 | ---- | ---- | 0.136 |
| 5 | ---- | ---- | 0.136 |
| 6 | ---- | ---- | 0.136 |
| 7 | ---- | ---- | 0.136 |
| 8 | ---- | ---- | 0.136 |
| 9 | ---- | ---- | 0.136 |
| 10 | 16.24 | 30.17 | 0.151 |
| 11 | 16.54 | 30.41 | 0.151 |
| 12 | 16.80 | 30.53 | 0.151 |
| 13 | 17.02 | 30.60 | 0.151 |
| 14 | 17.20 | 30.64 | 0.151 |
| 15 | 17.34 | 30.67 | 0.151 |
| 16 | 17.43 | 30.69 | 0.151 |
| 17 | 17.49 | 30.70 | 0.151 |
| 18 | 17.50 | 30.70 | 0.151 |
| 19 | 17.48 | 30.70 | 0.151 |
| 20 | 17.41 | 30.69 | 0.151 |
| 21 | 17.30 | 30.66 | 0.151 |
| 22 | 17.15 | 30.63 | 0.151 |
| 23 | 16.96 | 30.58 | 0.151 |
| 24 | 16.73 | 30.50 | 0.151 |

ANEXO C

GENERACION DERRATEADA AL AÑO PARA EL ESTADO ACTUAL DE LA TORRE

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fría)

Mes : Enero

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|---------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | --- | --- | 158 | 0 |
| 2 | --- | --- | 158 | 0 |
| 3 | --- | --- | 158 | 0 |
| 4 | --- | --- | 158 | 0 |
| 5 | --- | --- | 158 | 0 |
| 6 | --- | --- | 158 | 0 |
| 7 | --- | --- | 158 | 0 |
| 8 | --- | --- | 158 | 0 |
| 9 | 16.28 | 30.20 | 158 | 0 |
| 10 | 16.60 | 30.44 | 158 | 0 |
| 11 | 16.89 | 30.56 | 158 | 0 |
| 12 | 17.13 | 30.63 | 158 | 0 |
| 13 | 17.34 | 30.67 | 158 | 0 |
| 14 | 17.50 | 30.70 | 158 | 0 |
| 15 | 17.62 | 30.73 | 158 | 0 |
| 16 | 17.70 | 30.74 | 158 | 0 |
| 17 | 17.74 | 30.75 | 158 | 0 |
| 18 | 17.74 | 30.75 | 158 | 0 |
| 19 | 17.70 | 30.74 | 158 | 0 |
| 20 | 17.62 | 30.73 | 158 | 0 |
| 21 | 17.50 | 30.70 | 158 | 0 |
| 22 | 17.34 | 30.67 | 158 | 0 |
| 23 | 17.13 | 30.63 | 158 | 0 |
| 24 | 16.89 | 30.56 | 158 | 0 |
| MW TOTALES : | | | | 0 |

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fría)

Mes : Febrero

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 2 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 3 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 4 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 5 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 6 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 7 | 16.60 | 30.44 | 158 | 0 |
| 8 | 17.15 | 30.63 | 158 | 0 |
| 9 | 17.64 | 30.73 | 158 | 0 |
| 10 | 18.07 | 30.83 | 158 | 0 |
| 11 | 18.44 | 30.95 | 158 | 0 |
| 12 | 18.75 | 31.07 | 158 | 0 |
| 13 | 19.01 | 31.18 | 158 | 0 |
| 14 | 19.20 | 31.28 | 158 | 0 |
| 15 | 19.33 | 31.35 | 158 | 0 |
| 16 | 19.41 | 31.38 | 158 | 0 |
| 17 | 19.43 | 31.39 | 158 | 0 |
| 18 | 19.38 | 31.37 | 158 | 0 |
| 19 | 19.28 | 31.32 | 158 | 0 |
| 20 | 19.12 | 31.24 | 158 | 0 |
| 21 | 18.90 | 31.13 | 158 | 0 |
| 22 | 18.62 | 31.02 | 158 | 0 |
| 23 | 18.28 | 30.89 | 158 | 0 |
| 24 | 17.88 | 30.78 | 158 | 0 |

MW TOTALES : 0

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fria)

Mes : Marzo

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 2 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 3 | 16.45 | 30.35 | 158 | 0 |
| 4 | 17.04 | 30.60 | 158 | 0 |
| 5 | 17.57 | 30.72 | 158 | 0 |
| 6 | 18.06 | 30.83 | 158 | 0 |
| 7 | 18.50 | 30.97 | 158 | 0 |
| 8 | 18.89 | 31.13 | 158 | 0 |
| 9 | 19.23 | 31.29 | 158 | 0 |
| 10 | 19.52 | 31.44 | 158 | 0 |
| 11 | 19.77 | 31.57 | 158 | 0 |
| 12 | 19.96 | 31.68 | 158 | 0 |
| 13 | 20.10 | 31.76 | 158 | 0 |
| 14 | 20.20 | 31.81 | 158 | 0 |
| 15 | 20.25 | 31.83 | 158 | 0 |
| 16 | 20.24 | 31.83 | 158 | 0 |
| 17 | 20.19 | 31.80 | 158 | 0 |
| 18 | 20.09 | 31.75 | 158 | 0 |
| 19 | 19.94 | 31.67 | 158 | 0 |
| 20 | 19.75 | 31.56 | 158 | 0 |
| 21 | 19.50 | 31.43 | 158 | 0 |
| 22 | 19.20 | 31.28 | 158 | 0 |
| 23 | 18.86 | 31.12 | 158 | 0 |
| 24 | 18.47 | 30.96 | 158 | 0 |

MW TOTALES : 0

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fria)

Mes : Abril

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 18.39 | 30.93 | 158 | 0 |
| 2 | 18.95 | 31.16 | 158 | 0 |
| 3 | 19.46 | 31.41 | 158 | 0 |
| 4 | 19.93 | 31.66 | 158 | 0 |
| 5 | 20.36 | 31.89 | 158 | 0 |
| 6 | 20.75 | 32.09 | 158 | 0 |
| 7 | 21.10 | 32.25 | 158 | 0 |
| 8 | 21.41 | 32.38 | 158 | 0 |
| 9 | 21.68 | 32.49 | 158 | 0 |
| 10 | 21.90 | 32.58 | 158 | 0 |
| 11 | 22.09 | 32.64 | 158 | 0 |
| 12 | 22.23 | 32.69 | 158 | 0 |
| 13 | 22.34 | 32.73 | 158 | 0 |
| 14 | 22.40 | 32.75 | 158 | 0 |
| 15 | 22.42 | 32.76 | 158 | 0 |
| 16 | 22.40 | 32.75 | 158 | 0 |
| 17 | 22.34 | 32.73 | 158 | 0 |
| 18 | 22.24 | 32.70 | 158 | 0 |
| 19 | 22.10 | 32.65 | 158 | 0 |
| 20 | 21.92 | 32.58 | 158 | 0 |
| 21 | 21.70 | 32.50 | 158 | 0 |
| 22 | 21.44 | 32.40 | 158 | 0 |
| 23 | 21.13 | 32.27 | 158 | 0 |
| 24 | 20.79 | 32.11 | 158 | 0 |

MW TOTALES : 0

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fría)

Mes : Mayo

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 22.22 | 32.69 | 158 | 0 |
| 2 | 22.52 | 32.79 | 158 | 0 |
| 3 | 22.79 | 32.88 | 158 | 0 |
| 4 | 23.05 | 32.97 | 158 | 0 |
| 5 | 23.29 | 33.06 | 158 | 0 |
| 6 | 23.50 | 33.14 | 158 | 0 |
| 7 | 23.70 | 33.22 | 158 | 0 |
| 8 | 23.88 | 33.29 | 158 | 0 |
| 9 | 24.03 | 33.36 | 158 | 0 |
| 10 | 24.17 | 33.42 | 158 | 0 |
| 11 | 24.28 | 33.47 | 158 | 0 |
| 12 | 24.37 | 33.52 | 158 | 0 |
| 13 | 24.45 | 33.56 | 158 | 0 |
| 14 | 24.50 | 33.58 | 158 | 0 |
| 15 | 24.53 | 33.60 | 158 | 0 |
| 16 | 24.54 | 33.61 | 158 | 0 |
| 17 | 24.54 | 33.60 | 158 | 0 |
| 18 | 24.51 | 33.59 | 158 | 0 |
| 19 | 24.46 | 33.56 | 158 | 0 |
| 20 | 24.39 | 33.53 | 158 | 0 |
| 21 | 24.30 | 33.48 | 158 | 0 |
| 22 | 24.19 | 33.43 | 158 | 0 |
| 23 | 24.06 | 33.37 | 158 | 0 |
| 24 | 23.91 | 33.30 | 158 | 0 |

MW TOTALES : 0

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fría)

Mes : Junio

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 24.17 | 33.42 | 158 | 0 |
| 2 | 24.34 | 33.50 | 158 | 0 |
| 3 | 24.49 | 33.58 | 158 | 0 |
| 4 | 24.63 | 33.65 | 158 | 0 |
| 5 | 24.77 | 33.72 | 158 | 0 |
| 6 | 24.89 | 33.79 | 158 | 0 |
| 7 | 25.00 | 33.85 | 158 | 0 |
| 8 | 25.10 | 33.91 | 157 | 1 |
| 9 | 25.19 | 33.97 | 157 | 1 |
| 10 | 25.28 | 34.01 | 157 | 1 |
| 11 | 25.35 | 34.05 | 157 | 1 |
| 12 | 25.41 | 34.09 | 156 | 2 |
| 13 | 25.46 | 34.12 | 156 | 2 |
| 14 | 25.50 | 34.14 | 156 | 2 |
| 15 | 25.53 | 34.16 | 156 | 2 |
| 16 | 25.55 | 34.17 | 156 | 2 |
| 17 | 25.56 | 34.18 | 156 | 2 |
| 18 | 25.56 | 34.18 | 156 | 2 |
| 19 | 25.55 | 34.17 | 156 | 2 |
| 20 | 25.53 | 34.16 | 156 | 2 |
| 21 | 25.50 | 34.14 | 156 | 2 |
| 22 | 25.46 | 34.12 | 156 | 2 |
| 23 | 25.41 | 34.09 | 156 | 2 |
| 24 | 25.35 | 34.05 | 157 | 1 |

MW TOTALES : 29

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fría)

Mes : Julio

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|---------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 22.83 | 32.90 | 158 | 0 |
| 2 | 23.23 | 33.03 | 158 | 0 |
| 3 | 23.59 | 33.17 | 158 | 0 |
| 4 | 23.92 | 33.31 | 158 | 0 |
| 5 | 24.22 | 33.44 | 158 | 0 |
| 6 | 24.48 | 33.57 | 158 | 0 |
| 7 | 24.70 | 33.69 | 158 | 0 |
| 8 | 24.89 | 33.79 | 158 | 0 |
| 9 | 25.04 | 33.88 | 158 | 0 |
| 10 | 25.17 | 33.95 | 157 | 1 |
| 11 | 25.25 | 34.00 | 157 | 1 |
| 12 | 25.30 | 34.03 | 157 | 1 |
| 13 | 25.32 | 34.04 | 157 | 1 |
| 14 | 25.30 | 34.03 | 157 | 1 |
| 15 | 25.25 | 34.00 | 157 | 1 |
| 16 | 25.16 | 33.95 | 157 | 1 |
| 17 | 25.04 | 33.88 | 158 | 0 |
| 18 | 24.88 | 33.79 | 158 | 0 |
| 19 | 24.69 | 33.68 | 158 | 0 |
| 20 | 24.46 | 33.56 | 158 | 0 |
| 21 | 24.20 | 33.44 | 158 | 0 |
| 22 | 23.90 | 33.30 | 158 | 0 |
| 23 | 23.57 | 33.16 | 158 | 0 |
| 24 | 23.21 | 33.03 | 158 | 0 |
| MW TOTALES : | | | | 7 |

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fria)

Mes : Agosto

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 23.76 | 33.24 | 158 | 0 |
| 2 | 24.00 | 33.34 | 158 | 0 |
| 3 | 24.23 | 33.45 | 158 | 0 |
| 4 | 24.44 | 33.56 | 158 | 0 |
| 5 | 24.64 | 33.66 | 158 | 0 |
| 6 | 24.83 | 33.76 | 158 | 0 |
| 7 | 25.00 | 33.85 | 158 | 0 |
| 8 | 25.16 | 33.94 | 157 | 1 |
| 9 | 25.30 | 34.03 | 157 | 1 |
| 10 | 25.43 | 34.10 | 156 | 2 |
| 11 | 25.54 | 34.17 | 156 | 2 |
| 12 | 25.64 | 34.22 | 156 | 2 |
| 13 | 25.73 | 34.27 | 156 | 2 |
| 14 | 25.80 | 34.31 | 155 | 3 |
| 15 | 25.86 | 34.35 | 155 | 3 |
| 16 | 25.90 | 34.37 | 155 | 3 |
| 17 | 25.93 | 34.39 | 155 | 3 |
| 18 | 25.94 | 34.39 | 155 | 3 |
| 19 | 25.94 | 34.39 | 155 | 3 |
| 20 | 25.93 | 34.39 | 155 | 3 |
| 21 | 25.90 | 34.37 | 155 | 3 |
| 22 | 25.86 | 34.35 | 155 | 3 |
| 23 | 25.80 | 34.31 | 155 | 3 |
| 24 | 25.73 | 34.27 | 156 | 2 |

MW TOTALES : 42

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fría)

Mes : Septiembre

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 21.70 | 32.50 | 158 | 0 |
| 2 | 22.07 | 32.64 | 158 | 0 |
| 3 | 22.42 | 32.76 | 158 | 0 |
| 4 | 22.75 | 32.87 | 158 | 0 |
| 5 | 23.06 | 32.97 | 158 | 0 |
| 6 | 23.34 | 33.07 | 158 | 0 |
| 7 | 23.60 | 33.18 | 158 | 0 |
| 8 | 23.84 | 33.27 | 158 | 0 |
| 9 | 24.06 | 33.37 | 158 | 0 |
| 10 | 24.25 | 33.46 | 158 | 0 |
| 11 | 24.42 | 33.54 | 158 | 0 |
| 12 | 24.57 | 33.62 | 158 | 0 |
| 13 | 24.70 | 33.69 | 158 | 0 |
| 14 | 24.80 | 33.74 | 158 | 0 |
| 15 | 24.88 | 33.79 | 158 | 0 |
| 16 | 24.94 | 33.82 | 158 | 0 |
| 17 | 24.98 | 33.84 | 158 | 0 |
| 18 | 24.99 | 33.85 | 158 | 0 |
| 19 | 24.98 | 33.85 | 158 | 0 |
| 20 | 24.95 | 33.83 | 158 | 0 |
| 21 | 24.90 | 33.80 | 158 | 0 |
| 22 | 24.82 | 33.76 | 158 | 0 |
| 23 | 24.73 | 33.70 | 158 | 0 |
| 24 | 24.61 | 33.64 | 158 | 0 |

MW TOTALES : 0

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fría)

Mes : Octubre

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|---------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 18.15 | 30.85 | 158 | 0 |
| 2 | 18.84 | 31.11 | 158 | 0 |
| 3 | 19.49 | 31.43 | 158 | 0 |
| 4 | 20.09 | 31.75 | 158 | 0 |
| 5 | 20.64 | 32.04 | 158 | 0 |
| 6 | 21.15 | 32.27 | 158 | 0 |
| 7 | 21.60 | 32.46 | 158 | 0 |
| 8 | 22.00 | 32.61 | 158 | 0 |
| 9 | 22.36 | 32.74 | 158 | 0 |
| 10 | 22.67 | 32.84 | 158 | 0 |
| 11 | 22.92 | 32.93 | 158 | 0 |
| 12 | 23.13 | 33.00 | 158 | 0 |
| 13 | 23.29 | 33.06 | 158 | 0 |
| 14 | 23.40 | 33.10 | 158 | 0 |
| 15 | 23.46 | 33.12 | 158 | 0 |
| 16 | 23.47 | 33.13 | 158 | 0 |
| 17 | 23.44 | 33.11 | 158 | 0 |
| 18 | 23.35 | 33.08 | 158 | 0 |
| 19 | 23.22 | 33.03 | 158 | 0 |
| 20 | 23.03 | 32.96 | 158 | 0 |
| 21 | 22.80 | 32.88 | 158 | 0 |
| 22 | 22.52 | 32.79 | 158 | 0 |
| 23 | 22.19 | 32.68 | 158 | 0 |
| 24 | 21.81 | 32.54 | 158 | 0 |
| MW TOTALES : | | | | 0 |

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fría)

Mes : *Noviembre*

| TIEMPO [horas] | T.B.H. AMBIENTE [°C] | T.A.F.T. [°C] | GENERACION MAXIMA [MW] | GENERACION DERRATEADA [MWh] |
|-------------------|----------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 17.15 | 30.63 | 158 | 0 |
| 2 | 17.58 | 30.72 | 158 | 0 |
| 3 | 17.99 | 30.81 | 158 | 0 |
| 4 | 18.38 | 30.93 | 158 | 0 |
| 5 | 18.74 | 31.06 | 158 | 0 |
| 6 | 19.08 | 31.22 | 158 | 0 |
| 7 | 19.40 | 31.38 | 158 | 0 |
| 8 | 19.70 | 31.54 | 158 | 0 |
| 9 | 19.97 | 31.68 | 158 | 0 |
| 10 | 20.22 | 31.82 | 158 | 0 |
| 11 | 20.45 | 31.94 | 158 | 0 |
| 12 | 20.66 | 32.04 | 158 | 0 |
| 13 | 20.84 | 32.13 | 158 | 0 |
| 14 | 21.00 | 32.21 | 158 | 0 |
| 15 | 21.14 | 32.27 | 158 | 0 |
| 16 | 21.26 | 32.32 | 158 | 0 |
| 17 | 21.35 | 32.36 | 158 | 0 |
| 18 | 21.42 | 32.39 | 158 | 0 |
| 19 | 21.47 | 32.41 | 158 | 0 |
| 20 | 21.50 | 32.42 | 158 | 0 |
| 21 | 21.50 | 32.42 | 158 | 0 |
| 22 | 21.48 | 32.41 | 158 | 0 |
| 23 | 21.44 | 32.40 | 158 | 0 |
| 24 | 21.38 | 32.37 | 158 | 0 |

MW TOTALES : 0

GENERACION DERRATEADA

(Por efecto de la temperatura de agua fría)

Mes : Diciembre

| TIEMPO | T.B.H. | T.A.F.T. | GENERACION | GENERACION |
|---------------------|----------|----------|------------|------------|
| [horas] | AMBIENTE | | MAXIMA | DERRATEADA |
| | [°C] | [°C] | [MW] | [MWh] |
| 1 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 2 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 3 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 4 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 5 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 6 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 7 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 8 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 9 | ---- | ---- | 158 | 0 |
| 10 | 16.24 | 30.17 | 158 | 0 |
| 11 | 16.54 | 30.41 | 158 | 0 |
| 12 | 16.80 | 30.53 | 158 | 0 |
| 13 | 17.02 | 30.60 | 158 | 0 |
| 14 | 17.20 | 30.64 | 158 | 0 |
| 15 | 17.34 | 30.67 | 158 | 0 |
| 16 | 17.43 | 30.69 | 158 | 0 |
| 17 | 17.49 | 30.70 | 158 | 0 |
| 18 | 17.50 | 30.70 | 158 | 0 |
| 19 | 17.48 | 30.70 | 158 | 0 |
| 20 | 17.41 | 30.69 | 158 | 0 |
| 21 | 17.30 | 30.66 | 158 | 0 |
| 22 | 17.15 | 30.63 | 158 | 0 |
| 23 | 16.96 | 30.58 | 158 | 0 |
| 24 | 16.73 | 30.50 | 158 | 0 |
| MW TOTALES : | | | | 0 |

DERRATEO TOTAL AL AÑO

(Para el estado actual de la torre)

| Mes | MWh/día | Días | MWh/mes |
|-----|---------|------|---------|
| ENE | 0 | 31 | 0 |
| FEB | 0 | 28 | 0 |
| MZO | 0 | 31 | 0 |
| ABR | 0 | 30 | 0 |
| MAY | 0 | 31 | 0 |
| JUN | 29 | 30 | 870 |
| JUL | 7 | 31 | 217 |
| AGO | 42 | 31 | 1302 |
| SEP | 0 | 30 | 0 |
| OCT | 0 | 31 | 0 |
| NOV | 0 | 30 | 0 |
| DIC | 0 | 31 | 0 |

| | |
|------------------------|-------------|
| TOTAL [MWh/año] | 2389 |
|------------------------|-------------|

| | |
|---|----------------|
| Total Producción posible [MWh/año] | 1384080 |
|---|----------------|

| | |
|--------------------------------------|---------------|
| Porcentaje de derrateo al año | 0.17 % |
|--------------------------------------|---------------|

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| MW Promedio derrateados | 0.272716 |
|--------------------------------|-----------------|

ANEXO D

POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO ANUAL

(Sustituyendo la generación derrateada)

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Enero

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|---------------|-------------------|--------------------------|------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| TIEMPO [horas] | T.A.F.T. [°C] | PRESION [bar abs] | ENERGIA CONSUMIDA [kJ/h] | T.A.F.T. [°C] | PRESION [bar abs] | ENERGIA CONSUMIDA [kJ/h] | |
| 0 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 1 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 2 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 3 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 4 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 5 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 6 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 7 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 8 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 9 | 28.80 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.20 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 10 | 28.77 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.44 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 11 | 28.87 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.56 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 12 | 29.01 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 13 | 29.15 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.67 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 14 | 29.28 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 15 | 29.38 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.73 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 16 | 29.44 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.74 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 17 | 29.47 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.75 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 18 | 29.47 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.75 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 19 | 29.44 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.74 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 20 | 29.38 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.73 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 21 | 29.28 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 22 | 29.15 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.67 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 23 | 29.01 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 24 | 28.87 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.56 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 7.0004E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.1949E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Febrero

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 0 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 1 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 2 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 3 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 4 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 5 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 6 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 7 | 28.77 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.44 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 8 | 29.02 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 9 | 29.39 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.73 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 10 | 29.73 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.83 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 11 | 30.00 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.95 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 12 | 30.20 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.07 | 0.151 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 13 | 30.35 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.18 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 14 | 30.45 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.28 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 15 | 30.52 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.35 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 16 | 30.56 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.38 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 17 | 30.56 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.39 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 18 | 30.54 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.37 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 19 | 30.50 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.32 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 20 | 30.41 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.24 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 21 | 30.29 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.13 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 22 | 30.12 | 0.143 | 1.44E+09 | 31.02 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 23 | 29.89 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.89 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 24 | 29.58 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.78 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día (típico [kJ/día])</i> | | | | | | | 5.7018E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes (típico [kJ/mes])</i> | | | | | | | 1.5965E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Marzo

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 0 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 1 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 2 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 3 | 28.76 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.35 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 4 | 28.95 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.60 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 5 | 29.34 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.72 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 6 | 29.72 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.83 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 7 | 30.04 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.97 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 8 | 30.29 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.13 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 9 | 30.47 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.29 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 10 | 30.61 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.44 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 11 | 30.71 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.57 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 12 | 30.78 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.68 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 13 | 30.84 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.76 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 14 | 30.87 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.81 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 15 | 30.89 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.83 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 16 | 30.89 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.83 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 17 | 30.87 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.80 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 18 | 30.83 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.75 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 19 | 30.78 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.67 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 20 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.56 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 21 | 30.60 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.43 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 22 | 30.46 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.28 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 23 | 30.27 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.12 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 24 | 30.02 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.96 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| <i>Energia ahorrada por dia (pico [kJ/dia])</i> | | | | | | | 7.2789E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes tipico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.2564E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Abril

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [hora] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 0 | 29.52 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.76 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 1 | 29.97 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.93 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 2 | 30.32 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.16 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 3 | 30.58 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.41 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 4 | 30.77 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.66 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 5 | 30.93 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.89 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 6 | 31.06 | 0.151 | 1.44E+09 | 32.09 | 0.165 | 1.45E+09 | 6.0025E+06 |
| 7 | 31.18 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.25 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 8 | 31.29 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.38 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 9 | 31.39 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.49 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 10 | 31.48 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.58 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 11 | 31.56 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.64 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 12 | 31.62 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.69 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 13 | 31.66 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.73 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 14 | 31.69 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.75 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 15 | 31.70 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.76 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 16 | 31.69 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.75 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 17 | 31.67 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.73 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 18 | 31.62 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.70 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 19 | 31.56 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.65 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 20 | 31.49 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.58 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 21 | 31.40 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.50 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 22 | 31.30 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.40 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 23 | 31.19 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.27 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 24 | 31.07 | 0.151 | 1.44E+09 | 32.11 | 0.165 | 1.45E+09 | 6.0025E+06 |
| <i>Energia ahorrada por dia tipico [kJ/dia]</i> | | | | | | | 7.9793E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes tipico [kJ/mcs]</i> | | | | | | | 2.3938E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Mayo

| TIEMPO | CONDICION DE DISEÑO | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|---------------------|---------|-------------------|------------------|---------|-------------------|-------------------------|
| | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| | [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | |
| 0 | 31.48 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.57 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 1 | 31.61 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.69 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 2 | 31.74 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.79 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 3 | 31.87 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.88 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 4 | 31.99 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.97 | 0.173 | 1.45E+09 | 6.0282E+06 |
| 5 | 32.10 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 6 | 32.21 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.14 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.30 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.22 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.39 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.29 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 9 | 32.46 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 10 | 32.53 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.42 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 11 | 32.58 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.47 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 12 | 32.63 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.52 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 13 | 32.66 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.56 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 14 | 32.69 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.58 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 15 | 32.70 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.60 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 16 | 32.71 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.61 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 17 | 32.71 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.60 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 18 | 32.69 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.59 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 19 | 32.67 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.56 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 20 | 32.64 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.53 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 21 | 32.59 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.48 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 22 | 32.54 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.43 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 23 | 32.48 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.37 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 24 | 32.40 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.30 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 7.9845E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.4752E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Junio

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [*C] | [bar abs] | [kJ/h] | [*C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 0 | 32.45 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.34 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 1 | 32.53 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.42 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 2 | 32.61 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.50 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 3 | 32.68 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.58 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 4 | 32.75 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.65 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 5 | 32.81 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.72 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 6 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.79 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.92 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.85 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.97 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.91 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 9 | 33.01 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.97 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 10 | 33.05 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.01 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 11 | 33.08 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.05 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 12 | 33.11 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.09 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 13 | 33.13 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.12 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 14 | 33.15 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.14 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 15 | 33.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.16 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 16 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.17 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 17 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.18 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 18 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.18 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 19 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.17 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 20 | 33.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.16 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 21 | 33.15 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.14 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 22 | 33.13 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.12 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 23 | 33.11 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.09 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 24 | 33.08 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.05 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| <i>Energia ahorrada por día (pico [kJ/día])</i> | | | | | | | 1.7709E+08 |
| <i>Energia ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 5.3126E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Julio

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 0 | 31.69 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.75 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 1 | 31.89 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.90 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 2 | 32.07 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.03 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 3 | 32.25 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 4 | 32.41 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.31 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 5 | 32.55 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.44 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 6 | 32.68 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.57 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.78 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.69 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.79 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 9 | 32.94 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.88 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 10 | 33.00 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.95 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 11 | 33.04 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.00 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 12 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.03 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 13 | 33.07 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.04 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 14 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.03 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 15 | 33.04 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.00 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 16 | 33.00 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.95 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 17 | 32.94 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.88 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 18 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.79 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 19 | 32.78 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.68 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 20 | 32.67 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.56 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 21 | 32.55 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.44 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 22 | 32.40 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.30 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 23 | 32.24 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.16 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 24 | 32.06 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.03 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| <i>Energia ahorrada por día (típico [kJ/día])</i> | | | | | | | 9.2493E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes (típico [kJ/mes])</i> | | | | | | | 2.6673E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Agosto

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [hora] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 0 | 32.21 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.14 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 1 | 32.33 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.24 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 2 | 32.45 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.34 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 3 | 32.56 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.45 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 4 | 32.66 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.56 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 5 | 32.76 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.66 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 6 | 32.84 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.76 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.92 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.85 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.99 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.94 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 9 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.03 | DERRA1 | 1.46E+09 | 5.2780E+06 |
| 10 | 33.12 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.10 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 11 | 33.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.17 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 12 | 33.22 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.22 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 13 | 33.26 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.27 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| 14 | 33.29 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.31 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 15 | 33.32 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.35 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 16 | 33.34 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.37 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 17 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.39 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 18 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.39 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 19 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.39 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 20 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.39 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 21 | 33.34 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.37 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 22 | 33.32 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.35 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 23 | 33.29 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.31 | DERRA3 | 1.47E+09 | 1.5696E+07 |
| 24 | 33.26 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.27 | DERRA2 | 1.46E+09 | 1.0487E+07 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 2.4490E+06 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 7.5889E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Septiembre

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|---------------|-------------------|--------------------------|------------------|-------------------|--------------------------|-------------------------|
| TIEMPO [horas] | T.A.F.T. [°C] | PRESION [bar abs] | ENERGIA CONSUMIDA [kJ/h] | T.A.F.T. [°C] | PRESION [bar abs] | ENERGIA CONSUMIDA [kJ/h] | |
| 0 | 31.25 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.34 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 1 | 31.40 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.50 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 2 | 31.55 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.64 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 3 | 31.70 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.76 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 4 | 31.85 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 5 | 31.99 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.97 | 0.173 | 1.45E+09 | 6.0282E+06 |
| 6 | 32.13 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.07 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.25 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.37 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.27 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 9 | 32.48 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.37 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 10 | 32.57 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.46 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 11 | 32.65 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.54 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 12 | 32.72 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.62 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 13 | 32.78 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.69 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 14 | 32.83 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.74 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 15 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.79 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 16 | 32.89 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.82 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 17 | 32.91 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.84 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 18 | 32.92 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.85 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 19 | 32.91 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.85 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 20 | 32.90 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.83 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 21 | 32.88 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.80 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 22 | 32.84 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.76 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 23 | 32.79 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.70 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 24 | 32.74 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.64 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| <i>Energia ahorrada por dia tipico [kJ/dia]</i> | | | | | | | 7.9660E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes tipico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.3898E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Octubre

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 0 | 29.20 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.68 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 1 | 29.79 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.85 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 2 | 30.26 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.11 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 3 | 30.59 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.43 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 4 | 30.83 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.75 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 5 | 31.03 | 0.151 | 1.44E+09 | 32.04 | 0.165 | 1.45E+09 | 6.0025E+06 |
| 6 | 31.20 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.27 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 7 | 31.36 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.46 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 8 | 31.52 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.61 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 9 | 31.67 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.74 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 10 | 31.81 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.84 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 11 | 31.93 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.93 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 12 | 32.03 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.00 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 13 | 32.10 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 14 | 32.16 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.10 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 15 | 32.19 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.12 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 16 | 32.19 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.13 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 17 | 32.17 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.11 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 18 | 32.13 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.08 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 19 | 32.07 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.03 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 20 | 31.98 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.96 | 0.173 | 1.45E+09 | 6.0282E+06 |
| 21 | 31.87 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.88 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 22 | 31.74 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.79 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 23 | 31.60 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.68 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 24 | 31.44 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.54 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| <i>Energia ahorrada por día (pico [kJ/día])</i> | | | | | | | 8.4193E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes (pico [kJ/mes])</i> | | | | | | | 2.5258E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Noviembre

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 0 | 28.79 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.49 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 1 | 29.02 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 2 | 29.34 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.72 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 3 | 29.67 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.81 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 4 | 29.96 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.93 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 5 | 30.20 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.06 | 0.151 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 6 | 30.39 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.22 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 7 | 30.55 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.38 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 8 | 30.68 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.54 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 9 | 30.79 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.68 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 10 | 30.88 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.82 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 11 | 30.96 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.94 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 12 | 31.03 | 0.151 | 1.44E+09 | 32.04 | 0.165 | 1.45E+09 | 6.0025E+06 |
| 13 | 31.09 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.13 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 14 | 31.15 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.21 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 15 | 31.19 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.27 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 16 | 31.24 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.32 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 17 | 31.27 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.36 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 18 | 31.30 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.39 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 19 | 31.31 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.41 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 20 | 31.32 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.42 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 21 | 31.32 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.42 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 22 | 31.32 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.41 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 23 | 31.30 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.40 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 24 | 31.28 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.37 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| <i>Energia ahorrada por día (pico) [kJ/día]</i> | | | | | | | 8.0147E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes (pico) [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.4845E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Diciembre

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 0 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 1 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 2 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 3 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 4 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 5 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 6 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 7 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 8 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 9 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | --- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 10 | 28.81 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.17 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 11 | 28.76 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.41 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 12 | 28.83 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.53 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 13 | 28.94 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.60 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 14 | 29.06 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.64 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 15 | 29.15 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.67 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 16 | 29.23 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.69 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 17 | 29.27 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 18 | 29.28 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 19 | 29.26 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 20 | 29.21 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.69 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 21 | 29.13 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.66 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 22 | 29.02 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 23 | 28.91 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.58 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 24 | 28.80 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.50 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 7.7073E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.3893E+09 |

ENERGIA AHORRADA EN UN AÑO

(Sustituyendo la generación derrotada)

| MES | ENERGIA [kJ/mes] |
|---|---------------------|
| ENE | 2.1949 E+09 |
| FEB | 1.5965 E+09 |
| MZO | 2.2564 E+09 |
| ABR | 2.3938 E+09 |
| MAY | 2.4752 E+09 |
| JUN | 5.3126 E+09 |
| JUL | 2.8673 E+09 |
| AGO | 7.5889 E+09 |
| SEP | 2.3898 E+09 |
| OCT | 2.5258 E+09 |
| NOV | 2.4845 E+09 |
| DIC | 2.3893 E+09 |
| Energía ahorrada en un año típico [kJ/año] | |
| | 3.6457 E+10 |

*Energía ahorrada para un año
considerando un factor de planta
igual a 80 %* **2.918E+10 [kJ/año]**

*Equivalencia total en barriles
de petróleo* **5,086.9 [barril/año]**

ANEXO E

POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO ANUAL

(Sin sustituir la generación derrateada)

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Enero

| TIEMPO | CONDICION DE DISEÑO | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|---------------------|---------|-------------------|------------------|---------|-------------------|-------------------------|
| | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| | [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | |
| 1 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 2 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 3 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 4 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 5 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 6 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 7 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 8 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 9 | 28.80 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.20 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 10 | 28.77 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.44 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 11 | 28.87 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.56 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 12 | 29.01 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 13 | 29.15 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.67 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 14 | 29.28 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 15 | 29.38 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.73 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 16 | 29.44 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.74 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 17 | 29.47 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.75 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 18 | 29.47 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.75 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 19 | 29.44 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.74 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 20 | 29.38 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.73 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 21 | 29.28 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 22 | 29.15 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.67 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 23 | 29.01 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 24 | 28.87 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.56 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 7.0804E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.1949E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Febrero

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 2 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 3 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 4 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 5 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 6 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 7 | 28.77 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.44 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 8 | 29.02 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 9 | 29.39 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.73 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 10 | 29.73 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.83 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 11 | 30.00 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.95 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 12 | 30.20 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.07 | 0.151 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 13 | 30.35 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.18 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 14 | 30.45 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.28 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 15 | 30.52 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.35 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 16 | 30.56 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.38 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 17 | 30.56 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.39 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 18 | 30.54 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.37 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 19 | 30.50 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.32 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 20 | 30.41 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.24 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 21 | 30.29 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.13 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 22 | 30.12 | 0.143 | 1.44E+09 | 31.02 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 23 | 29.89 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.89 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 24 | 29.58 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.78 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 5.7018E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 1.5965E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Marzo

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 2 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 3 | 28.76 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.35 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 4 | 28.95 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.60 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 5 | 29.34 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.72 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 6 | 29.72 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.83 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 7 | 30.04 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.97 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 8 | 30.29 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.13 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 9 | 30.47 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.29 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 10 | 30.61 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.44 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 11 | 30.71 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.57 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 12 | 30.78 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.68 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 13 | 30.84 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.76 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 14 | 30.87 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.81 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 15 | 30.89 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.83 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 16 | 30.89 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.83 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 17 | 30.87 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.80 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 18 | 30.83 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.75 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 19 | 30.78 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.67 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 20 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.56 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 21 | 30.60 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.43 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 22 | 30.46 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.28 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 23 | 30.27 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.12 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 24 | 30.02 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.96 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| <i>Energia ahorrada por dia tipico [kJ/dia]</i> | | | | | | | 7.2789E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes tipico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.2564E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Abril

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | 29.97 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.93 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 2 | 30.32 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.16 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 3 | 30.58 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.41 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 4 | 30.77 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.66 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 5 | 30.93 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.89 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 6 | 31.06 | 0.151 | 1.44E+09 | 32.09 | 0.165 | 1.45E+09 | 6.0025E+06 |
| 7 | 31.18 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.25 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 8 | 31.29 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.38 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 9 | 31.39 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.49 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 10 | 31.48 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.58 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 11 | 31.56 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.64 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 12 | 31.62 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.69 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 13 | 31.66 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.73 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 14 | 31.69 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.75 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 15 | 31.70 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.76 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 16 | 31.69 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.75 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 17 | 31.67 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.73 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 18 | 31.62 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.70 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 19 | 31.56 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.65 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 20 | 31.49 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.58 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 21 | 31.40 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.50 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 22 | 31.30 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.40 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 23 | 31.19 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.27 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 24 | 31.07 | 0.151 | 1.44E+09 | 32.11 | 0.165 | 1.45E+09 | 6.0025E+06 |
| <i>Energia ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 7.9793E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.3938E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Mayo

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|-------------------------|-----------|----------------------|--|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | 31.61 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.69 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 2 | 31.74 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.79 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 3 | 31.87 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.88 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 4 | 31.99 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.97 | 0.173 | 1.45E+09 | 6.0282E+06 |
| 5 | 32.10 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 6 | 32.21 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.14 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.30 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.22 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.39 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.29 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 9 | 32.46 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 10 | 32.53 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.42 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 11 | 32.58 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.47 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 12 | 32.63 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.52 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 13 | 32.66 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.56 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 14 | 32.69 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.58 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 15 | 32.70 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.60 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 16 | 32.71 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.61 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 17 | 32.71 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.60 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 18 | 32.69 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.59 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 19 | 32.67 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.56 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 20 | 32.64 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.53 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 21 | 32.59 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.48 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 22 | 32.54 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.43 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 23 | 32.48 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.37 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 24 | 32.40 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.30 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 7.9845E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.4752E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Junio

| TIEMPO | CONDICION DE DISEÑO | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|---------------------|--------------|------------------------------------|------------------|--------------|------------------------------------|-------------------------|
| | T.A.F.T. [horas] | PRESION [°C] | ENERGIA CONSUMIDA [bar abs] [kJ/h] | T.A.F.T. [horas] | PRESION [°C] | ENERGIA CONSUMIDA [bar abs] [kJ/h] | |
| 1 | 32.53 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.42 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 2 | 32.61 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.50 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 3 | 32.68 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.58 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 4 | 32.75 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.65 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 5 | 32.81 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.72 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 6 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.79 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.92 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.85 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.97 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.91 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 9 | 33.01 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.97 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 10 | 33.05 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.01 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 11 | 33.08 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.05 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 12 | 33.11 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.09 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 13 | 33.13 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.12 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 14 | 33.15 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.14 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 15 | 33.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.16 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 16 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 17 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 18 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 19 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 20 | 33.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.16 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 21 | 33.15 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.14 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 22 | 33.13 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.12 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 23 | 33.11 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.09 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 24 | 33.08 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.05 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| <i>Energia ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 2.4852E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 7.4556E+08 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Julio

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | 31.89 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.90 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 2 | 32.07 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.03 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 3 | 32.25 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 4 | 32.41 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.31 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 5 | 32.55 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.44 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 6 | 32.68 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.57 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.78 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.69 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.79 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 9 | 32.94 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.88 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 10 | 33.00 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.95 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 11 | 33.04 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.00 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 12 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.03 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 13 | 33.07 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.04 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 14 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.03 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 15 | 33.04 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.00 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 16 | 33.00 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.95 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 17 | 32.94 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.88 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 18 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.79 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 19 | 32.78 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.68 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 20 | 32.67 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.56 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 21 | 32.55 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.44 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 22 | 32.40 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.30 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 23 | 32.24 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.16 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 24 | 32.06 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.03 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 5.5547E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 1.7220E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Agosto

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | 32.33 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.24 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 2 | 32.45 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.34 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 3 | 32.56 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.45 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 4 | 32.66 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.56 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 5 | 32.76 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.66 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 6 | 32.84 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.76 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.92 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.85 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.99 | 0.173 | 1.45E+09 | 33.94 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 9 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.03 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 10 | 33.12 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.10 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 11 | 33.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.17 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 12 | 33.22 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.22 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 13 | 33.26 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.27 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 14 | 33.29 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.31 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 15 | 33.32 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.35 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 16 | 33.34 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.37 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 17 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.39 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 18 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.39 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 19 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.39 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 20 | 33.36 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.39 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 21 | 33.34 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.37 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 22 | 33.32 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.35 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 23 | 33.29 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.31 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| 24 | 33.26 | 0.173 | 1.45E+09 | 34.27 | 0.173 | 1.45E+09 | 0.0000E+00 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 2.4852E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 7.7041E+08 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Septiembre

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|-------------------------|-----------|----------------------|--|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | 31.40 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.50 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 2 | 31.55 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.64 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 3 | 31.70 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.76 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 4 | 31.85 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 5 | 31.99 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.97 | 0.173 | 1.45E+09 | 6.0282E+06 |
| 6 | 32.13 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.07 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 7 | 32.25 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.18 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 8 | 32.37 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.27 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 9 | 32.48 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.37 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 10 | 32.57 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.46 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 11 | 32.65 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.54 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 12 | 32.72 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.62 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 13 | 32.78 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.69 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 14 | 32.83 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.74 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 15 | 32.87 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.79 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 16 | 32.89 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.82 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 17 | 32.91 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.84 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 18 | 32.92 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.85 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 19 | 32.91 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.85 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 20 | 32.90 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.83 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 21 | 32.88 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.80 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 22 | 32.84 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.76 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 23 | 32.79 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.70 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 24 | 32.74 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.64 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 7.9660E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.3898E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Octubre

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | 29.79 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.85 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 2 | 30.26 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.11 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 3 | 30.59 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.43 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 4 | 30.83 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.75 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 5 | 31.03 | 0.151 | 1.44E+09 | 32.04 | 0.165 | 1.45E+09 | 6.0025E+06 |
| 6 | 31.20 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.27 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 7 | 31.36 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.46 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 8 | 31.52 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.61 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 9 | 31.67 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.74 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 10 | 31.81 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.84 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 11 | 31.93 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.93 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 12 | 32.03 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.00 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 13 | 32.10 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.06 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 14 | 32.16 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.10 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 15 | 32.19 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.12 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 16 | 32.19 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.13 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 17 | 32.17 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.11 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 18 | 32.13 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.08 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 19 | 32.07 | 0.165 | 1.45E+09 | 33.03 | 0.173 | 1.45E+09 | 3.1065E+06 |
| 20 | 31.98 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.96 | 0.173 | 1.45E+09 | 6.0282E+06 |
| 21 | 31.87 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.88 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 22 | 31.74 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.79 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 23 | 31.60 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.68 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 24 | 31.44 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.54 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día (típico [kJ/día])</i> | | | | | | | <i>8.4193E+07</i> |
| <i>Energía ahorrada por mes (típico [kJ/mes])</i> | | | | | | | <i>2.5258E+09</i> |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Noviembre

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|-------------------------|-----------|----------------------|--|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | 29.02 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.330E+06 |
| 2 | 29.34 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.72 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.6976E+06 |
| 3 | 29.67 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.81 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.0976E+06 |
| 4 | 29.96 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.93 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.6976E+06 |
| 5 | 30.20 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.06 | 0.151 | 1.44E+09 | 0.0000E+00 |
| 6 | 30.39 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.22 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 7 | 30.55 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.38 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 8 | 30.68 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.54 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 9 | 30.79 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.68 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 10 | 30.88 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.82 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 11 | 30.96 | 0.151 | 1.44E+09 | 31.94 | 0.158 | 1.45E+09 | 3.0808E+06 |
| 12 | 31.03 | 0.151 | 1.44E+09 | 32.04 | 0.165 | 1.45E+09 | 6.0025E+06 |
| 13 | 31.09 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.13 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 14 | 31.15 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.21 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 15 | 31.19 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.27 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 16 | 31.24 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.32 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 17 | 31.27 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.36 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 18 | 31.30 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.39 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 19 | 31.31 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.41 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 20 | 31.32 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.42 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 21 | 31.32 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.42 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| 24 | 31.28 | 0.158 | 1.45E+09 | 32.37 | 0.165 | 1.45E+09 | 2.9217E+06 |
| <i>Energia ahorrada por dia tipico [kJ/dia]</i> | | | | | | | 8.0147E+07 |
| <i>Energia ahorrada por mes tipico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.4845E+09 |

AHORRO DE ENERGIA

Mes : Diciembre

| CONDICION DE DISEÑO | | | | CONDICION ACTUAL | | | ENERGIA AHORRADA [kJ/h] |
|---|----------|-----------|----------------------|------------------|-----------|----------------------|-------------------------------|
| TIEMPO | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | T.A.F.T. | PRESION | ENERGIA CONSUMIDA | |
| [horas] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | [°C] | [bar abs] | [kJ/h] | |
| 1 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 2 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 3 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 4 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 5 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 6 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 7 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 8 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 9 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | ---- | 0.136 | 1.44E+09 | 0.000E+00 |
| 10 | 28.81 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.17 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 11 | 28.76 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.41 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 12 | 28.83 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.53 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 13 | 28.94 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.60 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 14 | 29.06 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.64 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 15 | 29.15 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.67 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 16 | 29.23 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.69 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 17 | 29.27 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 18 | 29.28 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 19 | 29.26 | 0.143 | 1.44E+09 | 30.70 | 0.151 | 1.44E+09 | 2.8976E+06 |
| 20 | 29.21 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.69 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 21 | 29.13 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.66 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 22 | 29.02 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.63 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 23 | 28.91 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.58 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| 24 | 28.80 | 0.136 | 1.44E+09 | 30.50 | 0.151 | 1.44E+09 | 5.9530E+06 |
| <i>Energía ahorrada por día típico [kJ/día]</i> | | | | | | | 7.7073E+07 |
| <i>Energía ahorrada por mes típico [kJ/mes]</i> | | | | | | | 2.3893E+09 |

ENERGIA AHORRADA EN UN AÑO

(Sin sustituir la generación derrateada)

| MES | ENERGIA [kJ/mes] |
|--|---------------------|
| ENE | 2.1949 E+09 |
| FEB | 1.5965 E+09 |
| MZO | 2.2564 E+09 |
| ABR | 2.3938 E+09 |
| MAY | 2.4752 E+09 |
| JUN | 7.4556 E+08 |
| JUL | 1.7220 E+09 |
| AGO | 7.7041 E+08 |
| SEP | 2.3898 E+09 |
| OCT | 2.5258 E+09 |
| NOV | 2.4845 E+09 |
| DIC | 2.3893 E+09 |
| Energía ahorrada en un año típico [kJ/año] 2.3944 E+10 | |

*Energía ahorrada para un año
considerando un factor de planta
igual a 80 %* **1.916E+10 [kJ/año]**

*Equivalencia total en barriles
de petróleo* **3339.3 [barril/año]**

ANEXO F

VOCABULARIO Y DEFINICIONES DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

El objeto de esta breve descripción, es facilitar al lector la comprensión de los términos empleados en el estudio de las torres de enfriamiento.

AIRE

Mezcla de gases, asociada con vapor de agua que rodea a la tierra; aire seco más vapor de agua. Este término es usado como sinónimo de atmósfera.

AIRE SECO

Mezcla de gases secos presentes en la atmósfera.

ANGULO DE ATAQUE

Angulo al que se ajusta el borde de ataque de las aspas del ventilador con respecto al plano de rotación. Grados con respecto a la horizontal.

APROXIMACION

Es la diferencia de temperaturas entre la temperatura del agua fría que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire entrando a la torre.

ARRASTRE

Gotas de agua que se incorporan a la corriente de aire que fluye a través de la torre y que son desalojadas de la torre al salir el aire caliente a través de los conos de los ventiladores.

BARLOVENTO

Dirección por donde viene el aire.

CARGA TERMICA

Cantidad de calor disipada en la torre de enfriamiento, medida en kJ y es igual al flujo de agua de circulación multiplicado por el rango de enfriamiento.

CELDA

Es una unidad completa de la torre, constituida por un sistema de distribución, equipo mecánico, relleno y paredes.

Cada celda puede ser diseñada u operada independientemente de las adyacentes a ésta, dando gran flexibilidad a la torre.

CICLOS DE CONCENTRACION

Relación de los sólidos disueltos en el agua de circulación entre los sólidos contenidos en el agua de repuesto.

CONDICIONES DE DISEÑO

Parámetros térmicos para los que el equipo se compró y/o reconstruyó. Siendo éstos el flujo de agua de circulación, su temperatura de entrada, el rango de enfriamiento y la aproximación a una temperatura de bulbo húmedo definida.

DENSIDAD DEL AIRE

Masa de aire por unidad de volumen.

FLUJO DE AIRE, MASA

Masa de aire seco que fluye a través de la torre de enfriamiento para reducir la temperatura del agua de circulación.

FLUJO DE AIRE, VOLUMEN

Volumen de aire que fluye a través de la torre de enfriamiento para reducir la temperatura del agua de circulación.

FLUJO DE AGUA DE CIRCULACION

La cantidad de agua caliente que fluye a través de la torre para ser enfriada.

PERDIDAS POR EVAPORACION

Cantidad de agua de circulación que se evapora a la atmósfera por el proceso de enfriamiento.

PURGA

Descarga de agua que elimina las impurezas o sales que se concentran en el agua de circulación, como efecto de la evaporación del agua.

RANGO

Es la diferencia entre la temperatura del agua caliente que entra a la torre y la temperatura del agua fría saliendo de la misma.

RELACION LIQUIDO-AIRE

L/G es la relación de los kilogramos de agua que están circulando en la torre por unidad de tiempo entre los kilogramos de aire seco por unidad de tiempo que están enfriando el agua.

REPUESTO

Agua que se adiciona al sistema con objeto de reponer la pérdida en la operación de la torre de enfriamiento debido al arrastre, evaporación y purgas, que se presentan en estos equipos.

SOTAVENTO

Dirección hacia la que circula o se dirige una corriente de aire.

TEMPERATURA DE AGUA CALIENTE

Temperatura del agua de circulación que entra al sistema de distribución de la torre.

TEMPERATURA DE AGUA FRÍA

Temperatura del agua que cae en la pileta después de haber sido enfriada al pasar por el relleno de la torre.

TEMPERATURA AMBIENTE O BULBO SECO

Temperatura de la atmósfera medida con un termómetro ordinario, y es la medida del calor sensible del aire expresado en grados centígrados o fahrenheit.

TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO

La temperatura de bulbo húmedo indica la cantidad de calor total contenido en el aire y está expresado en grados centígrados o fahrenheit. Se determina cubriendo el bulbo de un termómetro con un trapo o gasa húmeda y haciendo pasar aire rápidamente, en esta forma la humedad comienza a evaporarse. La temperatura del agua y del aire circundante baja proporcionalmente la evaporación ocurrida.

UNIDAD DE DIFUSION

KaV/L es una medida que indica qué tan difícil es para la torre de enfriamiento rechazar el calor contenido en el agua de circulación.

El valor es expresado adicionalmente y se obtiene normalmente localizando la intersección de la relación líquido-aire y la curva de aproximación sobre las curvas de comportamiento de torres de enfriamiento o integrando la ecuación de Merkel mediante el método de Tcheycheff.