

10

28j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACION
DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO
DE AGUA DE TIRO MECANICO,
MEDIANTE EL CONTROL DE LA
VELOCIDAD DE SU VENTILADOR**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

PRESENTA

ROGELIO ANAYA PEREZ



MEXICO, D.F.

1995

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

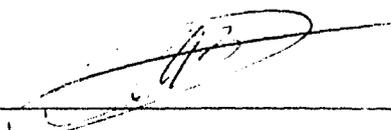
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: PROF. JORGE TRINIDAD MARTINEZ MONTES
VOCAL: PROF. SERGIO TREJO MARTINEZ
SECRETARIO: PROF. ALBERTO BREMAUNTZ MICHAVILA
1ER. SUPLENTE: PROF. JOSE AGUSTIN TEXTA MENA
2DO. SUPLENTE: PROF. HUMBERTO RANGEL DAVALOS

SITIO DÓNDE SE DESARROLLO EL TEMA: FACULTAD DE QUIMICA.



ING. ALBERTO BREMAUNTZ MICHAVILA
A S E S O R

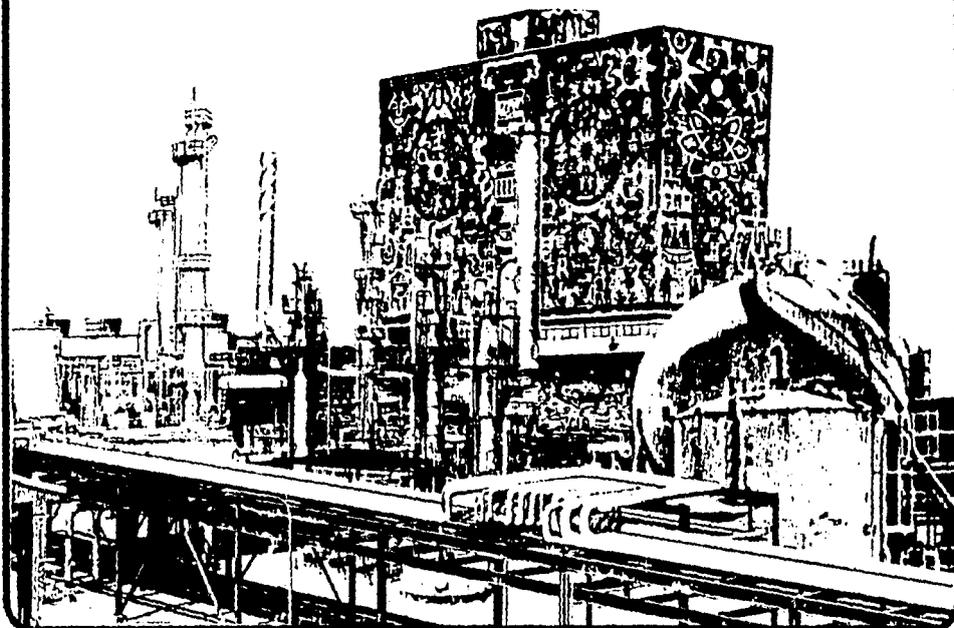
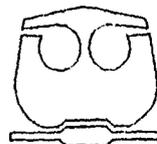


ROGELIO ANAYA PEREZ
SUSTENTANTE



**Universidad Nacional
Autónoma de México**

Facultad de Química



INGENIERIA QUIMICA



Generación 89



Con este trabajo concluyo mi ciclo como Estudiante e inicio mi desempeño como Profesionista; una cumbre conquistada que de ninguna manera es un logro individual. Por tal motivo, quisiera reconocer y agradecer sinceramente a todos aquellos que se vieron involucrados en esta etapa de mi vida.

A mi **PADRE**; por enseñarme el camino de rectitud y honestidad que debe seguir todo hombre de bien, predicándolo siempre con el ejemplo.

A mi **MADRE**; por brindarme todo su cariño y cuidados que no podré corresponder ni siquiera dedicando cada día del resto de mi existencia.

A mi **FAMILIA**; por otorgarme el apoyo y confianza necesarios para la realización de todos mis proyectos.

A mis **AMIGOS**; por permitirme haber crecido junto a ellos y de los que espero contar siempre con su presencia en los momentos que nos tiene reservados el destino.

A todos mis **MAESTROS**; por conducirme a través del vasto campo del conocimiento y regalarme parte de su experiencia para afrontar el futuro.

A la **UNIVERSIDAD**; por cubrirme con su manto de sabiduría desde muy temprana edad y haber forjado en mí el sentimiento tan grande del nacionalismo.

A los **INGENIEROS** Alberto Bremauntz, Luis Felipe Rangel y Ricardo Rodríguez; por el interés manifestado y las facilidades otorgadas para la realización de esta tesis.

Y sobre todo a **DIOS**; por haberme concedido llegar a esta meta, y a quien pido la oportunidad de poder servir a la **PATRIA** que me vio nacer.

C O N T E N I D O

<u>CAPITULO</u>	<u>T I T U L O</u>	<u>PAGINA</u>
1	INTRODUCCION.....	1
2	ANTECEDENTES.....	9
3	CAMPOS DE INTERES PARA LA OPTIMIZACION DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA.....	17
4	EVALUACION DE LOS PARAMETROS RELACIONADOS CON LA TORRE DE ENFRIAMIENTO EN ESTADO ESTACIONARIO	29
5	SELECCION DEL SISTEMA DE CONTROL NECESARIO PARA OPTIMIZAR LA OPERACION DE LA TORRE.....	64
6	COMPARACION ENTRE EL SISTEMA CONVENCIONAL DE ENFRIAMIENTO DE LA TORRE Y EL PROPUESTO.....	98
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
	REFERENCIAS.....	111
	ANEXO.....	113

1. INTRODUCCION.

Los procesos productivos dentro de la industria; particularmente la quimica; tienen una característica similar: la generación de grandes cantidades de calor, las cuales deben ser removidas ya que pueden originar que los equipos trabajen de manera poco eficiente, afectando incluso al producto terminado en alguna forma: baja producción, mala calidad o pérdida.

Debido a lo anterior, es necesario contar con un sistema de enfriamiento para retirar el calor excedente generado por el proceso; contribuyendo así a mantener las condiciones de presión y temperatura de operación en los equipos.

Para cumplir con el servicio mencionado se debe elegir alguna de las diferentes formas de remoción de calor existentes; elección que debe surgir como resultado de un análisis técnico y económico realizado previamente.

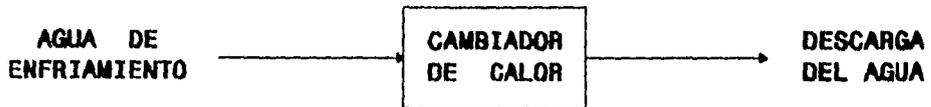
El agua, como medio refrigerante, ha sido desde hace mucho tiempo el material más apropiado para usarlo en los sistemas de enfriamiento, ya que es un compuesto con gran desempeño térmico, de fácil manejo y se cuenta con una buena disponibilidad de esta debido a las grandes cantidades que se requieren, aunque es necesario someterla a algunos tratamientos previos a su utilización.

Entre los sistemas de enfriamiento con agua más empleados por la industria, se encuentran los siguientes:

- 1) De un solo paso.
- 2) Cerrados.
- 3) Abiertos evaporativos.

Sistemas de un solo Paso.- En estos, el agua se extrae de alguna fuente, se hace pasar por el equipo de intercambio de calor y posteriormente se descarga a otro sitio. Un ejemplo de este sistema lo constituye un río que pasa cerca de alguna Planta, en donde después que el agua absorbe calor, esta es regresada a la corriente; aunque debe cumplir con ciertas condiciones de descarga.

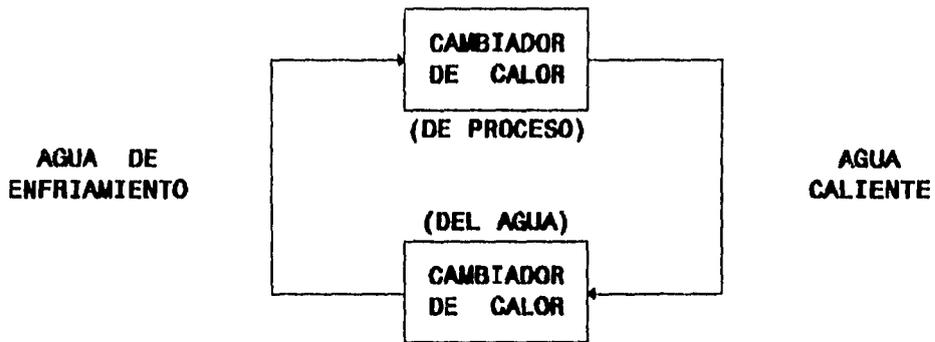
La temperatura de la fuente de agua es directamente responsable del enfriamiento que se pueda lograr en el proceso productivo.



ILUST. 1. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE UN SOLO PASO.

Sistemas Cerrados.- Estos se constituyen por un circuito donde el agua se dirige primero hacia un sistema de intercambio de calor y después a un equipo que substraerá el calor absorbido por esta, obteniéndose nuevamente agua fría. Es de notar que las pérdidas de agua en este sistema tienden a ser muy pequeñas, si acaso por alguna fuga o algún derrame durante la reparación o mantenimiento de los equipos. Un ejemplo claro de este sistema lo representa el enfriamiento del motor de un automóvil.

La eficiencia del equipo que retira calor al agua caliente es la base para tener una temperatura adecuada para el enfriamiento del proceso.

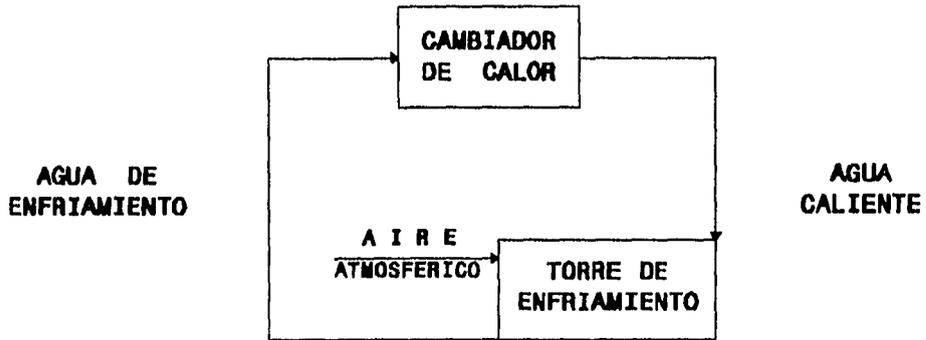


ILUST. 2. SISTEMA CERRADO DE ENFRIAMIENTO.

Sistemas Abiertos Evaporativos.- Son los sistemas más usados en la industria para eliminar el calor generado por los procesos, ya que presentan una alta eficiencia y sus costos de operación y mantenimiento suelen ser pequeños.

En un sistema de este tipo, el agua se enfría debido al contacto que tiene con aire atmosférico. Esta operación se lleva a cabo dentro de una torre de enfriamiento la cual contiene un material que permite incrementar la transferencia de calor entre los dos fluidos. El agua logra bajar su temperatura gracias al fenómeno de la evaporación, provocando que el aire se caliente y humidifique; lo que representa una constante reposición de líquido al sistema.

La temperatura de salida o de suministro del agua de enfriamiento esta supeditada a las condiciones de temperatura y humedad del aire atmosférico.



ILUST. 3. SISTEMA ABIERTO-EVAPORATIVO DE ENFRIAMIENTO.

Aunque existen en la actualidad otras formas y sistemas de enfriamiento, estos distan mucho de ser aplicados de manera general, ya que los limitan aspectos técnicos, operativos y económicos.

Cabe señalar que pese a lo descrito anteriormente, el agua; por ser un excelente disolvente; acarrea con ella muchas impurezas como son sólidos suspendidos, microorganismos y sólidos disueltos. Esto provocaría corrosión, incrustamientos, depósitos y contaminación microbiológica (algas, hongos y bacterias) en los equipos de proceso.

Los problemas técnicos antes mencionados pueden generar pérdidas económicas de consideración, puesto que al reducirse la eficiencia de las torres de enfriamiento y los cambiadores de calor, se incrementan los costos de mantenimiento, se reduce la capacidad de producción del proceso y a menudo se generan "paros" no programados en la Planta. Para evitar esto, el agua es sometida a tratamientos físicos, químicos y biológicos; que si bien incrementan su costo, sigue siendo un material difícil de sustituir.

CUADRO 1. CLASIFICACION DE LAS DISTINTAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.

ATMOSFERICAS			
CON TIRO DE AIRE	NATURAL		
	MECANICO	FORZADO	CON VENTILADOR AXIAL
			CON VENTILADOR CENTRIFUGO
		INDUCIDO	FLUJO A CONTRACORRIENTE
		FLUJO CRUZADO	

CUADRO 2. CARACTERISTICAS DE LAS DISTINTAS TORRES DE ENFRIAMIENTO.

TIPO DE TORRE	V E N T A J A S	D E S V E N T A J A S
Atmosférica (FIG. 1a)	Bajo costo de mantenimiento.	Alta inversión, importante costo de operación. Dependiente de la velocidad del viento. Baja eficiencia.
Tiro Natural (FIG. 1b)	Bajo costo de operación y mantenimiento.	Gran inversión; sumamente dependiente de las condiciones del aire. Recomendable para grandes gastos de agua.
Tiro Forzado (FIG. 1c)	Recomendable para pequeñas instalaciones.	Presenta alta recirculación de aire; reduciendo hasta 20% de su eficiencia normal; y una importante caída de presión.
Tiro Inducido Flujo a Contracorriente (FIG. 1d)	Gran eficiencia. Ocupa un área reducida. Inversión moderada.	Costos de operación y mantenimiento relativamente altos. Caída de presión moderada.
Tiro Inducido Flujo Cruzado (FIG. 1e)	Gran eficiencia. Presenta poca caída de presión. Fácil acceso para mantenimiento.	Ocupa un área más grande que la de flujo a contracorriente, por lo que su inversión es mayor. Su costo de operación es relativamente alto.

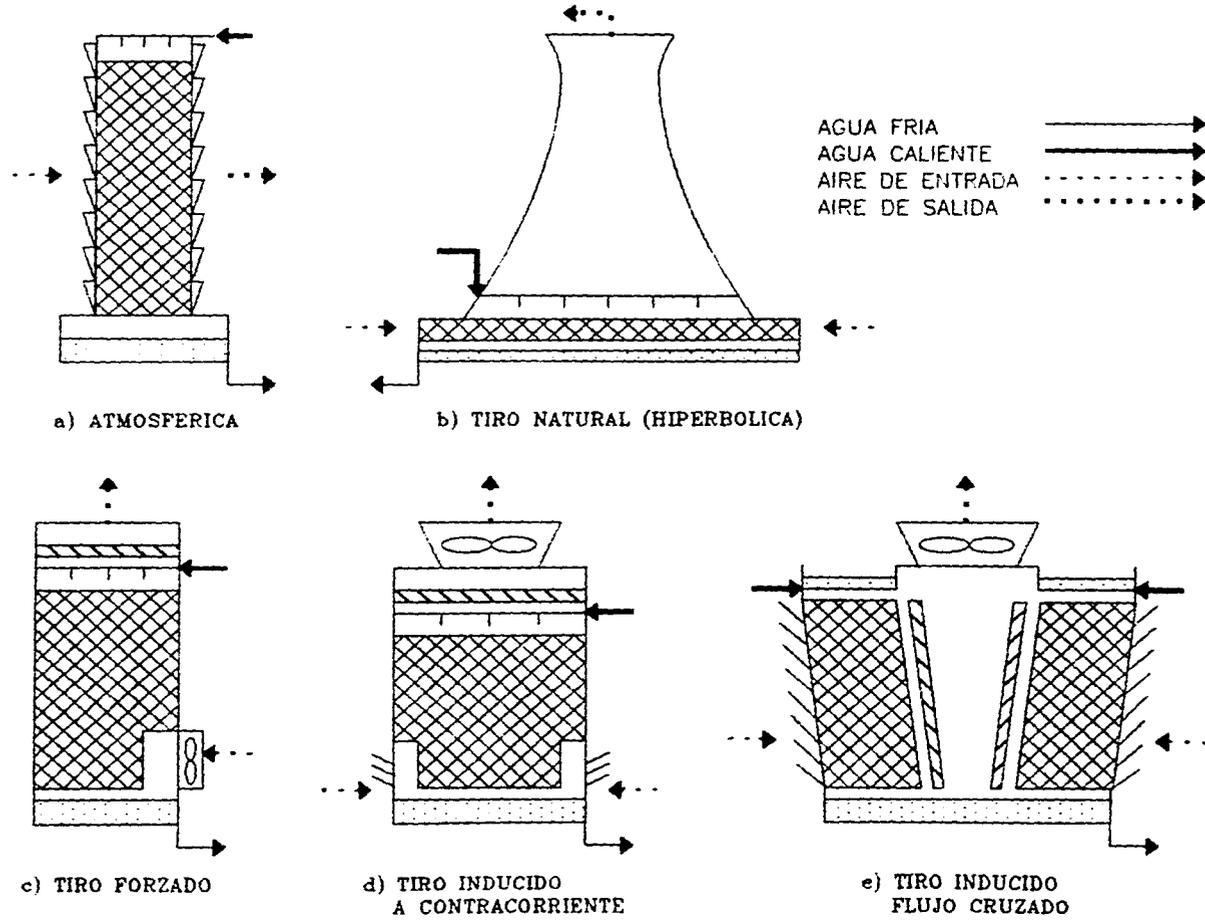


FIGURA 1. ESQUEMATIZACION DE LAS DISTINTAS TORRES DE ENFRIAMIENTO DE AGUA.

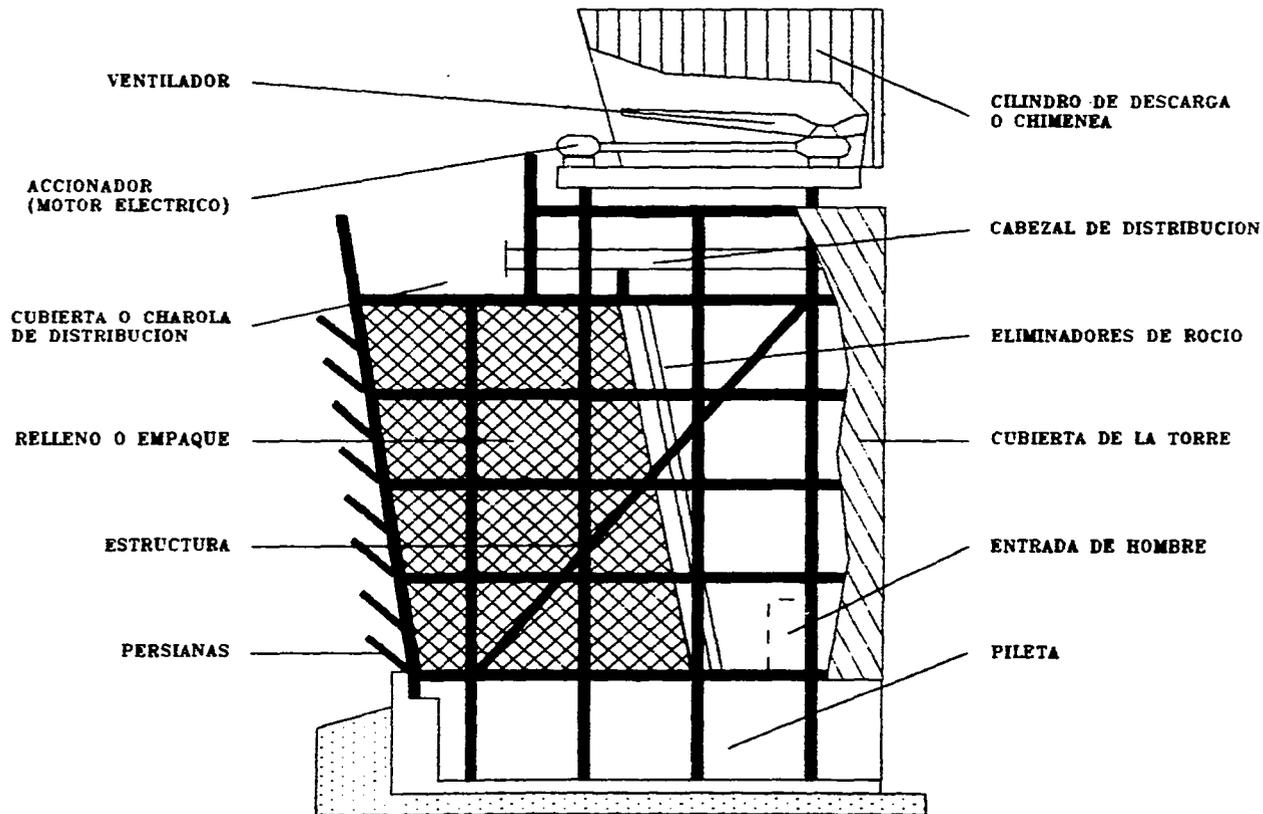


FIGURA 2. PARTES QUE CONSTITUYEN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA.

Después de analizar esta introducción, se puede apreciar la importancia que las torres de enfriamiento tienen para la mayoría de las industrias de transformación y la problemática que presentan. De ahí el interés por buscar métodos apropiados para que estos equipos puedan trabajar eficientemente.

2. ANTECEDENTES.

Diseñar una torre de enfriamiento de agua para una industria o un servicio en particular, exige el conocimiento de los siguientes conceptos:

- Caudal de agua a tratar.
- Temperatura del agua caliente.
- Temperatura de bulbo húmedo.
- Temperatura del agua enfriada.
- Tipo de agua, con análisis y posible contaminación.
- Pérdida de agua permisible por arrastre.
- Fuerza del viento para diseño.
- Dirección de los vientos dominantes.
- Datos geográficos.
- Especificaciones para elementos eléctricos y mecánicos.
- Límites de suministro.

y para la ubicación del equipo dentro de la Planta:

- Evitar remolinos o tiro inverso por los vientos.
- Alejarla de zonas calientes.
- Tener un espacio suficiente para futuras expansiones.

Respecto a la temperatura de bulbo húmedo, esta debe ser seleccionada cuidadosamente, ya que es uno de los parámetros más importantes para el diseño y será fundamental en la operación del equipo. La selección resulta de observar la variación que se tuvo durante años anteriores en el lugar donde se instalará la torre. Generalmente este valor corresponde al promedio de las máximas registradas, o

bien, al que se presenta más frecuentemente.

Cabe señalar que la selección de la torre, así como el diseño y construcción, son responsabilidad de una compañía especializada, restando únicamente proporcionar los puntos anteriormente expuestos y hacer un análisis técnico-económico con los datos que proporcionen las diferentes empresas a las que se acudan.

La firma de ingeniería encargada del diseño y construcción de la torre otorga una garantía de la misma un poco limitada, ya que al tener el equipo en la Planta este será sometido a las condiciones de diseño (o a valores muy cercanos) para constatar su buen funcionamiento. Estas condiciones generalmente no se mantienen durante un día normal de operación, ya que el proceso tiene variaciones; lo mismo que el aire utilizado para el enfriamiento; las cuales hacen que la torre no trabaje con una eficiencia constante.

Las principales causas por las que este equipo puede modificar su operación son:

- 1) Variación de la temperatura de retorno.
- 2) Variación en la temperatura de bulbo húmedo.
- 3) Variación de la temperatura ambiente.
- 4) Variación del flujo de agua.

De lo anterior, en un momento determinado, las variaciones de los incisos 1 y 4 pueden controlarse dentro de la Planta, pero los restantes 2 y 3, son parámetros exclusivos del aire, los cuales varían según la hora del día durante todo el año (véase CUADRO y FIGURA 3).

CUADRO 3. TEMPERATURAS MAS FRECUENTES AL NOROESTE DE LA CIUDAD DE MEXICO DURANTE 1993 (°C).

HRS DEL DIA	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL	
	AMB.	B.H.	AMB.	B.H.	AMB.	B.H.	AMB.	B.H.
1	12.8	9.6	14.2	9.0	14.1	9.4	16.8	10.0
2	12.2	9.1	13.3	8.4	13.5	8.7	16.0	9.9
3	11.4	8.7	12.2	8.4	13.4	8.7	15.0	9.3
4	11.0	8.7	11.7	8.3	13.1	9.0	14.4	9.0
5	10.2	8.7	11.2	7.8	12.9	9.8	13.8	8.7
6	9.8	8.4	10.8	7.6	12.7	10.0	13.2	8.5
7	9.7	8.5	11.1	7.2	13.0	10.1	13.4	8.7
8	10.4	8.7	12.9	7.5	14.0	10.0	15.0	9.7
9	11.8	8.9	14.6	8.2	14.8	10.0	17.0	10.5
10	15.2	9.1	16.2	9.3	17.8	10.5	19.0	11.4
11	17.8	10.0	17.8	9.8	20.2	11.0	22.4	12.4
12	19.5	11.3	19.9	10.8	21.2	11.8	24.0	12.8
13	19.8	12.1	23.0	11.3	21.8	12.2	24.6	13.6
14	20.2	12.6	24.1	12.0	22.4	12.6	25.1	14.0
15	20.4	13.2	24.4	12.2	23.0	12.9	25.5	14.0
16	20.5	13.0	24.3	11.5	23.1	12.6	25.5	13.7
17	19.7	12.8	23.2	10.3	23.0	12.0	25.4	13.3
18	17.7	11.3	22.0	10.1	22.4	11.3	24.2	12.2
19	15.6	10.4	20.6	10.6	20.3	11.2	22.2	11.5
20	14.0	9.8	19.0	10.5	18.1	10.5	21.0	11.4
21	13.4	8.8	18.0	10.1	17.0	9.3	19.6	11.0
22	13.2	8.4	17.2	9.7	16.3	9.1	18.7	10.6
23	12.6	7.9	16.2	9.8	15.4	8.8	17.7	9.4
24	11.8	7.6	15.4	9.8	14.6	8.8	16.4	9.3
MIN	6.5	3.2	7.0	3.7	8.0	5.0	8.7	5.7
MAX	24.0	14.8	26.8	15.7	29.0	15.3	28.6	16.1

FUENTE: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

AMB.: AMBIENTE.
 B.H.: BULBO HUMEDO.
 MIN: MINIMA.
 MAX: MAXIMA.

CUADRO 3. TEMPERATURAS MAS FRECUENTES AL NOROESTE DE LA CIUDAD DE MEXICO DURANTE 1993 (°C). [CONT.]

HRS DEL DIA	MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	AMB.	B.H.	AMB.	B.H.	AMB.	B.H.	AMB.	B.H.
1	16.9	11.8	15.4	12.8	15.0	12.5	15.2	12.6
2	16.7	11.0	14.6	12.8	14.6	11.6	14.8	12.5
3	16.4	11.1	14.0	13.0	14.0	11.3	14.2	12.4
4	15.7	11.1	13.2	12.8	13.8	10.8	14.0	12.2
5	14.5	11.0	13.2	12.6	13.6	10.7	13.8	12.0
6	14.3	11.2	13.3	12.4	13.4	10.6	13.8	12.2
7	15.8	11.4	14.1	13.0	13.8	10.7	14.3	12.4
8	16.4	12.2	15.8	13.7	14.6	11.8	14.6	12.7
9	18.2	12.6	17.1	14.1	16.0	12.8	15.4	13.4
10	20.5	13.0	18.9	13.9	19.0	13.7	16.8	13.6
11	22.3	14.0	20.2	14.1	20.5	14.4	17.8	14.0
12	23.2	15.1	21.3	14.3	21.8	14.6	19.4	14.7
13	24.5	15.2	23.3	13.7	22.8	14.2	20.6	15.2
14	24.8	15.3	24.5	12.9	23.5	14.3	21.6	15.1
15	24.5	14.5	24.7	13.0	23.3	14.6	22.0	14.5
16	23.2	14.0	25.1	13.5	21.8	14.9	22.3	13.7
17	21.8	13.5	24.8	13.5	17.4	14.8	22.1	13.0
18	19.4	13.2	24.4	14.0	16.4	15.4	21.5	12.0
19	18.7	12.8	23.3	14.1	16.4	15.7	19.7	11.8
20	17.4	12.2	21.8	14.2	17.2	15.0	18.8	11.8
21	16.3	12.0	20.4	13.8	17.1	14.2	17.7	12.0
22	15.9	11.1	18.7	13.7	15.8	13.9	16.8	12.4
23	15.4	10.4	17.6	14.2	15.0	13.6	16.4	12.6
24	15.2	10.2	16.6	13.6	13.8	13.2	15.8	13.8
MIN	8.6	6.4	12.2	7.8	11.4	8.1	12.0	9.6
MAX	28.3	16.3	30.1	17.1	26.1	16.9	25.5	16.2

FUENTE: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

AMB.: AMBIENTE.
 B.H.: BULBO HUMEDO.
 MIN : MINIMA.
 MAX : MAXIMA.

CUADRO 3. TEMPERATURAS MAS FRECUENTES AL NOROESTE DE LA CIUDAD DE MEXICO DURANTE 1993 (°C). [CONT.]

HRS DEL DIA	SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	AMB.	B.H.	AMB.	B.H.	AMB.	B.H.	AMB.	B.H.
1	15.1	13.6	14.1	10.4	13.4	9.8	11.4	7.2
2	14.8	13.6	13.6	9.8	12.8	9.5	10.6	6.8
3	14.6	13.4	13.0	9.8	12.4	9.4	10.1	6.5
4	14.5	13.2	12.6	9.6	11.9	9.2	9.6	6.2
5	14.4	12.8	12.2	9.4	11.7	8.9	9.0	5.9
6	14.6	12.6	12.4	9.5	11.3	8.8	8.6	5.8
7	15.3	12.2	12.8	10.0	11.2	8.7	8.7	5.9
8	15.8	12.6	14.6	11.0	11.9	9.4	9.3	6.4
9	17.0	12.9	16.8	12.0	13.5	10.0	10.6	7.1
10	18.0	12.6	18.4	12.6	15.6	10.9	13.3	8.5
11	20.0	12.4	19.5	13.3	17.7	11.7	15.5	9.4
12	21.4	12.7	21.6	13.0	19.7	12.6	17.4	10.0
13	22.0	12.9	23.0	13.2	21.2	13.6	19.3	10.8
14	22.2	13.6	23.7	13.8	21.6	14.4	20.6	10.9
15	22.2	14.5	24.2	13.8	21.7	14.5	21.4	10.8
16	21.4	14.6	24.3	12.7	21.3	13.6	21.7	10.7
17	18.7	14.4	24.1	12.1	19.7	10.6	21.1	10.7
18	16.3	14.2	22.4	11.6	18.5	9.8	19.9	10.2
19	16.0	13.6	19.8	11.5	17.8	9.0	18.0	9.9
20	16.7	13.4	18.5	11.6	17.2	8.7	16.1	9.3
21	17.0	13.2	17.4	12.3	16.5	8.0	15.1	9.0
22	16.5	13.4	16.1	12.0	15.8	8.1	13.8	8.4
23	15.8	13.0	15.0	10.9	15.2	9.0	13.0	8.1
24	15.4	12.6	14.8	10.8	14.7	10.4	12.3	7.8
MIN	11.2	9.4	9.8	7.9	8.0	4.9	3.8	2.2
MAX	24.4	17.7	26.8	15.5	26.3	10.3	24.4	13.8

FUENTE: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

AMB. : AMBIENTE.
 B.H. : BULBO HUMEDO.
 MIN : MINIMA.
 MAX : MAXIMA.

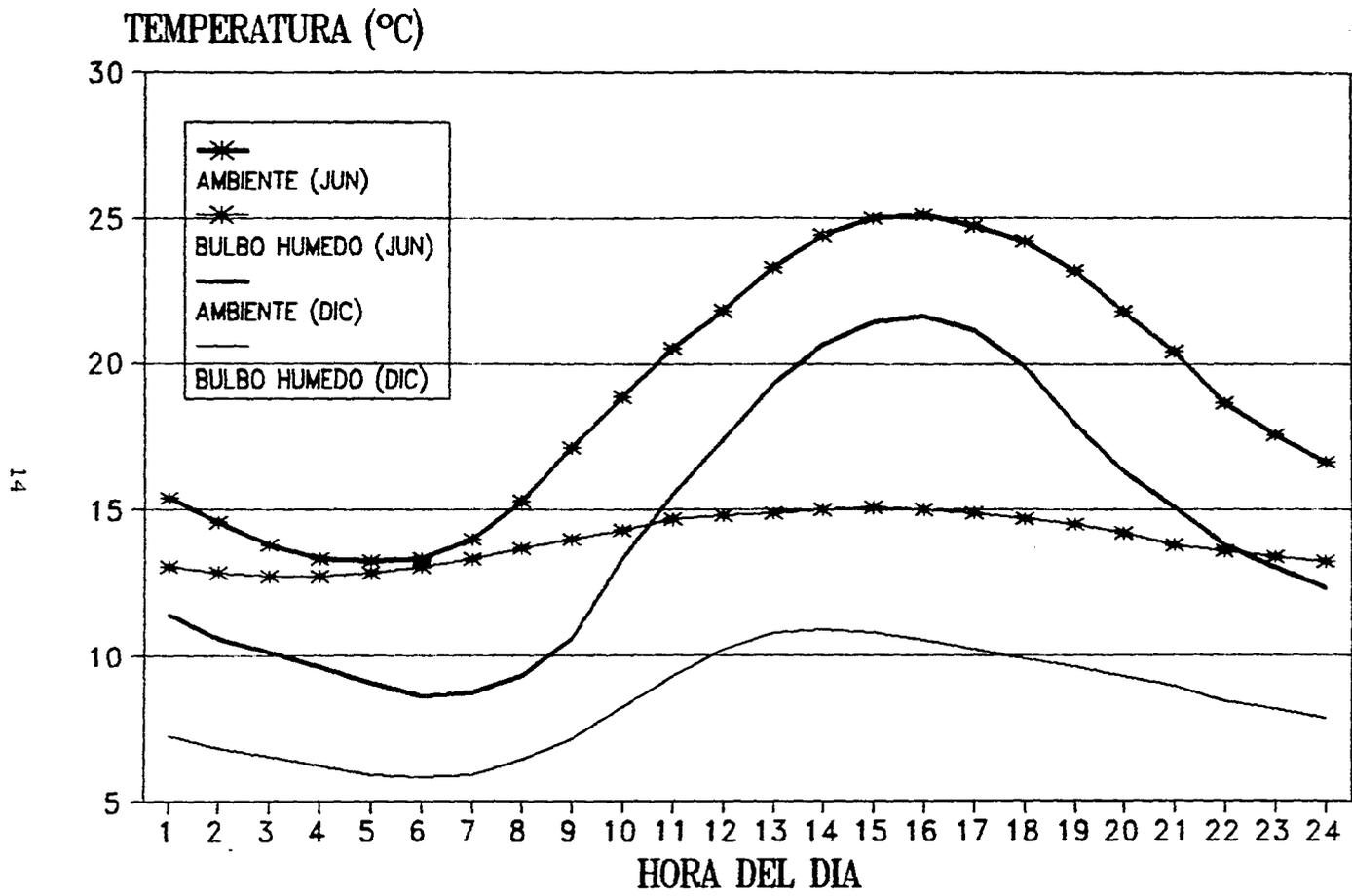


FIGURA 3. VARIACION DE TEMPERATURA DEL MES MAS HUMEDO Y SECO DE 1993.

14

Un aspecto que vale la pena destacar, es el hecho de que la mayoría de las torres de enfriamiento de tiro mecánico cuentan con un ventilador de velocidad constante; esto trae consigo que cuando la temperatura de bulbo húmedo del aire es menor a la de diseño, la temperatura de suministro del agua también lo es, presentándose constantes "By-Pass" en los equipos que utilizan esta agua, o bien, gran movimiento de las válvulas de control para que se mantengan los equipos en su condición normal de temperatura y presión.

Esto puede tener poca importancia, pero cuando la temperatura de bulbo húmedo iguala o rebasa la de diseño, el agua suministrada está más caliente de lo normal, ocasionando problemas importantes al proceso como la mala calidad de un producto por salir de especificaciones, desfuegos; e incluso; paros de emergencia cuando se presentan condiciones extremas.

Lo anterior podría remediarse teniendo como temperatura de bulbo húmedo de diseño, la máxima del lugar; siempre y cuando permitiese tener el rango de enfriamiento que necesita el proceso; lo cual tendría una repercusión importante en la potencia necesaria para el ventilador y en el subsecuente consumo de energía, lo que se traduce en una inversión y un costo de operación altos.

En el caso de tener temperaturas inferiores a las de bulbo húmedo normal, es de notar que el ventilador está proporcionando más gasto de aire que el necesario para tener una temperatura de suministro de diseño; lo que trae consigo un notorio desperdicio de energía, ya que si el gasto de aire fuera menor; en un momento dado; la potencia del ventilador y su correspondiente consumo energético también lo serían.

A la par con lo anterior, se encuentra el efecto que produce la temperatura ambiente sobre la densidad del aire, ya que aún cuando el ventilador proporciona un caudal constante, la masa varía; modificando directamente la temperatura de suministro del agua de enfriamiento, ya que es la masa; y no el volumen manejado por el ventilador; uno de los parámetros que hacen posible el enfriamiento.

Observando las variaciones de temperatura en el Distrito Federal respecto a la hora del día durante el año, y considerando que en el Valle de México existe una gran cantidad de industrias que cuentan con torres de enfriamiento de tiro mecánico con ventiladores de velocidad constante que consumen energía eléctrica municipal, así como la creciente demanda y gran infraestructura que para cubrirla se requiere; puede decirse que este campo resulta una buena opción para promover el uso eficiente y ahorro de la energía.

El presente trabajo muestra una forma de optimizar la torre de enfriamiento de agua de tiro inducido de flujo cruzado; de una industria ubicada en el municipio de Tlalnepantla, Estado de México; mediante el control de la velocidad de su ventilador, tratando de mantener una temperatura de suministro constante y minimizar el consumo de energía eléctrica del accionador (motor eléctrico) para abatir los costos de operación.

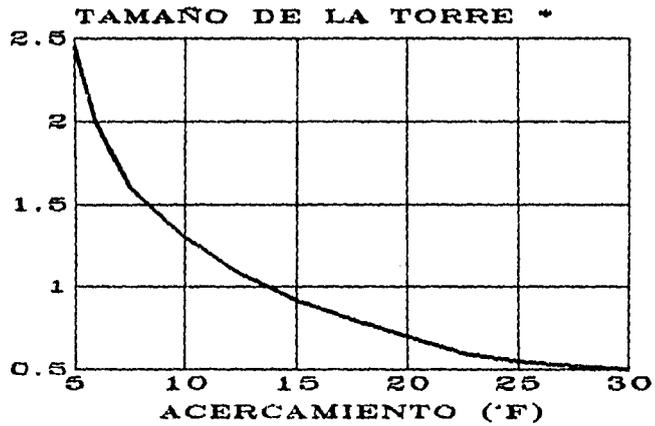
Debido a que se presentará información del diseño y operación de la torre de enfriamiento de la empresa visitada, se acordó omitir el nombre de la misma.

3. CAMPOS DE INTERES PARA LA OPTIMIZACION DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA.

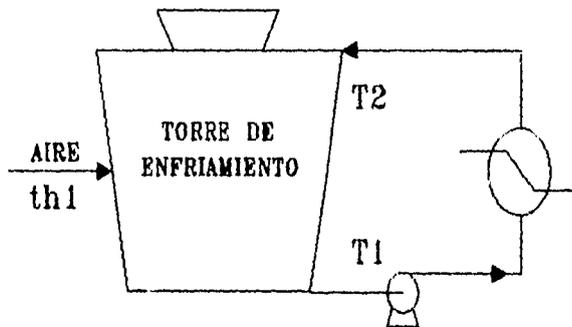
Antes de iniciar formalmente este Capítulo, es conveniente dar la siguiente definición:

OPTIMIZACION.- Buscar el método más apropiado para llevar a cabo alguna actividad eficiente y/o económicamente. En el ámbito ingenieril, es preciso distinguir dos tipos de optimización: en estado estacionario y dinámica.

a) CARGA TERMICA.- Este parámetro depende del rango de enfriamiento (temperatura del agua caliente menos la del agua fría) que se tenga dentro de la planta y la cantidad de agua manejada; carga que es removida por el aire atmosférico que se hace pasar por la torre de enfriamiento y que enfriará más el agua en tanto el acercamiento sea mayor (temperatura del agua fría requerida menos la temperatura de bulbo húmedo del aire atmosférico), esto debido a que la temperatura de suministro guarda una proporción directa con la de bulbo húmedo de entrada del aire; como se podrá observar en el siguiente Capítulo. Los expertos recomiendan tener un acercamiento mínimo de 3°C para que una torre sea económicamente operable, por lo tanto, la temperatura de bulbo húmedo se convierte en un factor importante para el dimensionamiento del equipo y en la inversión del mismo.



* SE REFIERE AL NUMERO DE VECES QUE PUEDE DISMINUIR EL TAMAÑO DE UNA TORRE TOMANDO EN CUENTA SU DISEÑO PARA UN ACERCAMIENTO MINIMO.

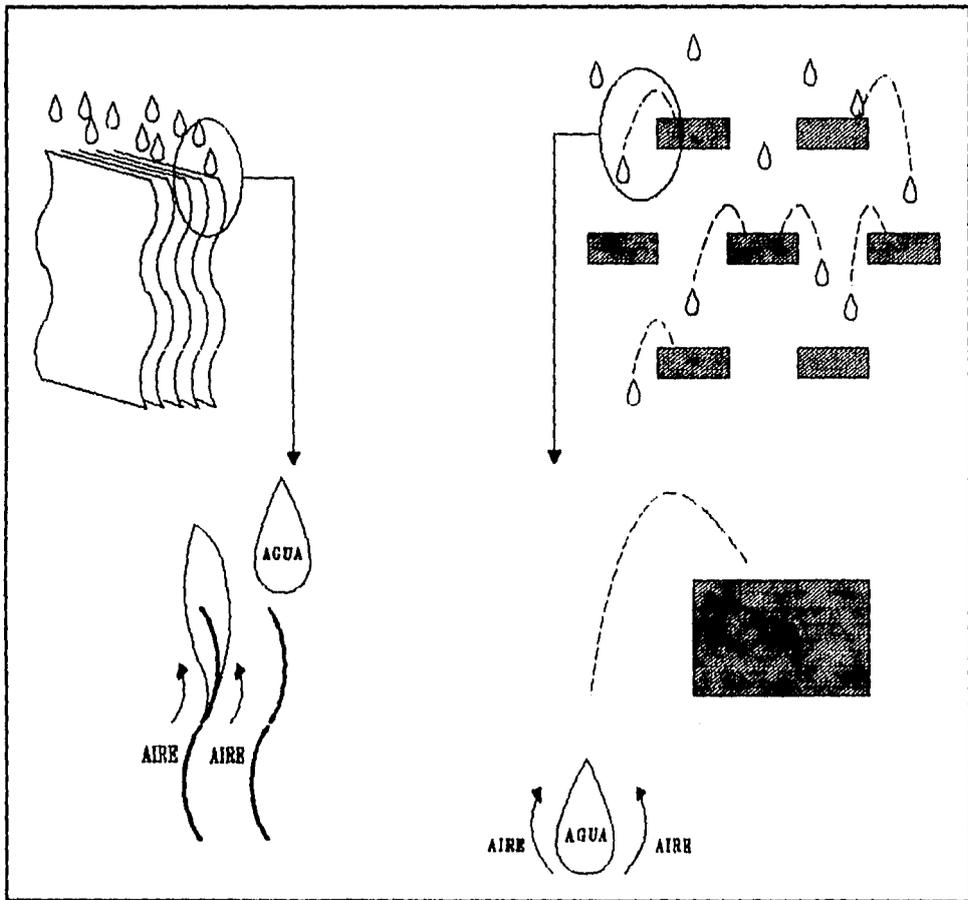


$$\text{ACERCAMIENTO} = T1 - th1$$

$$\text{RANGO} = T2 - T1$$

ILUST. 4. LA CARGA TERMICA COMO FUENTE DE OPTIMIZACION.

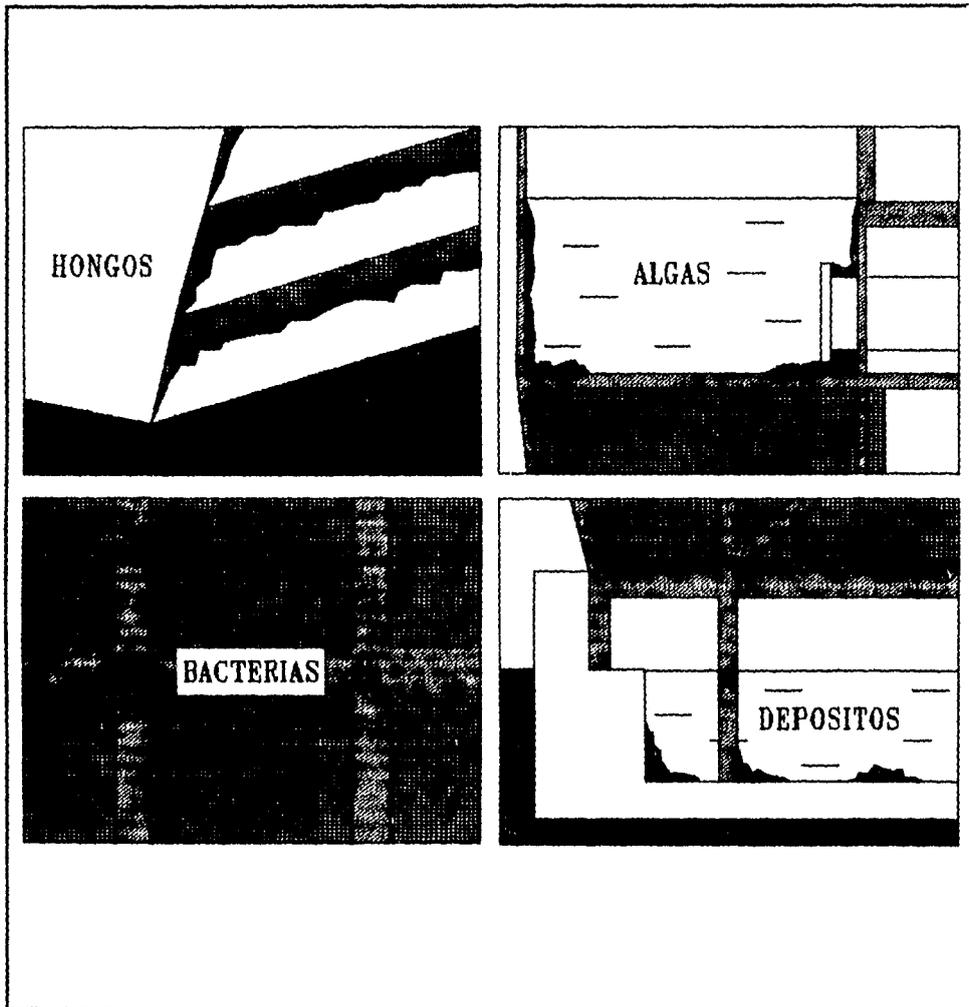
b) EMPAQUE DE LA TORRE.- El fenómeno que se presenta en las torres de enfriamiento se debe a la transferencia de masa y energía entre el agua y el aire. El agua caliente provoca un gradiente de temperatura con el aire (específicamente con su temperatura de bulbo húmedo) y también de concentración, ya que el aire; salvo condiciones muy específicas; se encuentra no saturado de vapor de agua. El papel principal del empaque es proporcionar un área de contacto sumamente grande para el agua y el aire, ya que debido a esto, los fenómenos de transferencia se mejoran, lo que implica una torre más eficiente y pequeña en algunos casos. El material del que se elabora el empaque es muy variado (madera tratada, metal o plástico), y se escoge de acuerdo a diversas condiciones: peso, caída de presión provocada, área superficial por unidad de volumen, resistencia mecánica y química, capacidad de distribución de agua, etc. Así pues, el relleno de la torre representa un punto importante en la operación y mantenimiento de la torre.



ILUST. 5. EL EMPAQUE DE LA TORRE INFLUYE EN SU BUEN DESEMPEÑO.

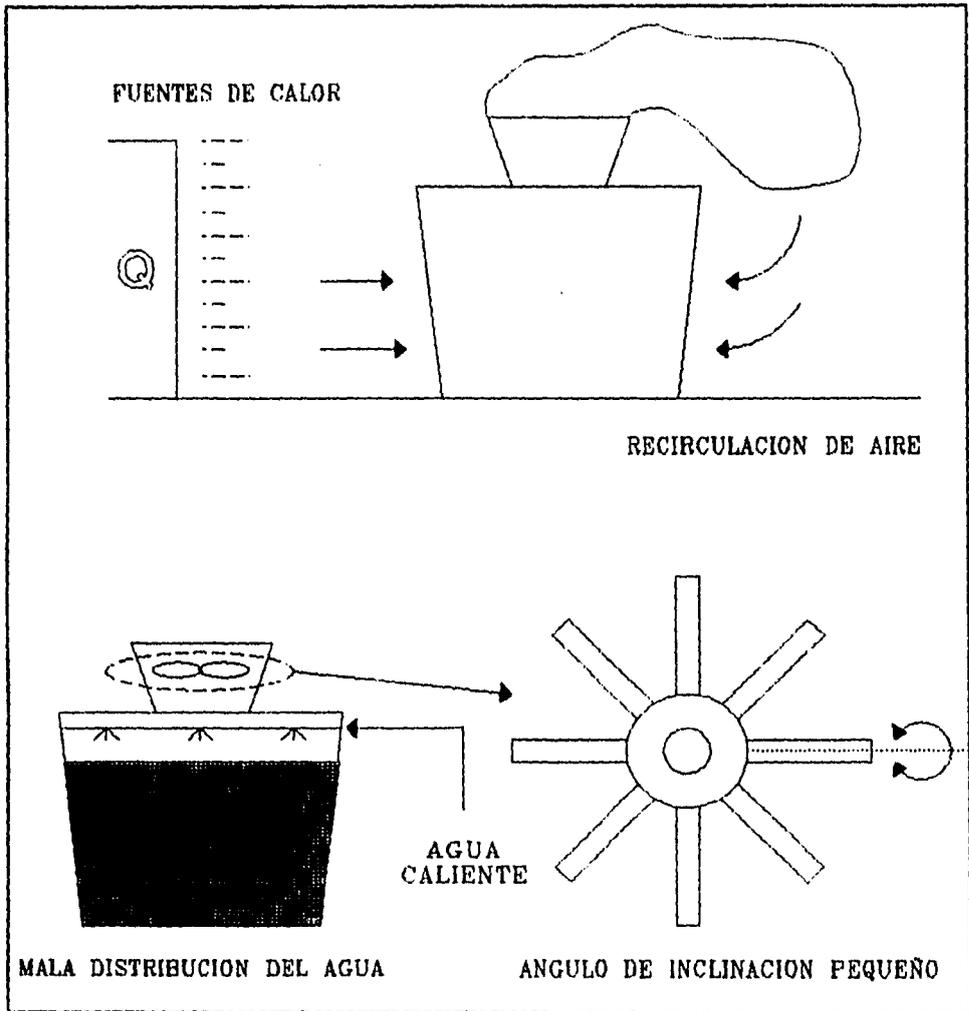
c) CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.- La eficiencia de una torre de enfriamiento no se limita al hecho de tener un agua de temperatura baja y constante, sino que también influyen las características de esta. Debido a que se cuenta con un circuito de enfriamiento ABIERTO, el aire que penetra contiene gran cantidad de contaminantes que son retenidos por el agua, los cuales provocan distintos problemas en los equipos de proceso y en la torre misma: eficiencias bajas, costos de operación y mantenimiento altos, posibilidad de paros frecuentes del proceso, mala calidad del producto, etc. Todos estos problemas son provocados por corrosión, incrustamientos, depósitos o crecimiento de microorganismos.

Contar con un tratamiento efectivo para el agua de enfriamiento representa una mejoría para muchas áreas en la planta y subsecuentemente, de la empresa.



ILUST. 6. EJEMPLOS DE PROBLEMAS POR PRESENCIA DE MICROORGANISMOS.

d) ASPECTOS TECNICOS.- En ocasiones, el mal funcionamiento de una torre de enfriamiento se origina desde el momento del diseño o incluso durante su construcción. Algunas causas por las cuales estos equipos no cuentan con una eficiencia satisfactoria pueden ser: la localización de la torre junto a un área de calor extremo (calderas, secciones de secado o incluso plantas vecinas generadoras de calor); no haber tomado en cuenta la dirección de los vientos y su velocidad, así como un mal diseño del cilindro de descarga de aire (en su caso); el sobre o subdiseño respecto a la temperatura de bulbo húmedo; contar con un ángulo de inclinación pequeño en las aspas del ventilador; una mala distribución del agua caliente en lo alto de la torre; un arreglo inadecuado de los eliminadores de niebla; etc.



ILUST. 7. EL DISEÑO INCORRECTO PROVOCA UN MAL FUNCIONAMIENTO.

e) EVAPORACION.- Como se mencionó en el Capítulo 1, el uso de una torre de enfriamiento implica la constante reposición del agua que se evapora o arrastra. Haciendo un estudio detenido del líquido que se pierde; así como el costo del tratamiento que debe aplicársele al agua; este demostrará la importante repercusión económica que presenta dicho problema. Para evitar en cierta medida este fenómeno, se han ideado modificaciones para las torres de enfriamiento; lo que significa la instalación de otros equipos; pero sin modificar la estructura básica del sistema. En la FIGURA 4 se presentan los arreglos propuestos para las diferentes torres de enfriamiento con objeto de ayudar a eliminar el problema por pérdida de agua y así mejorar el funcionamiento de este equipo.

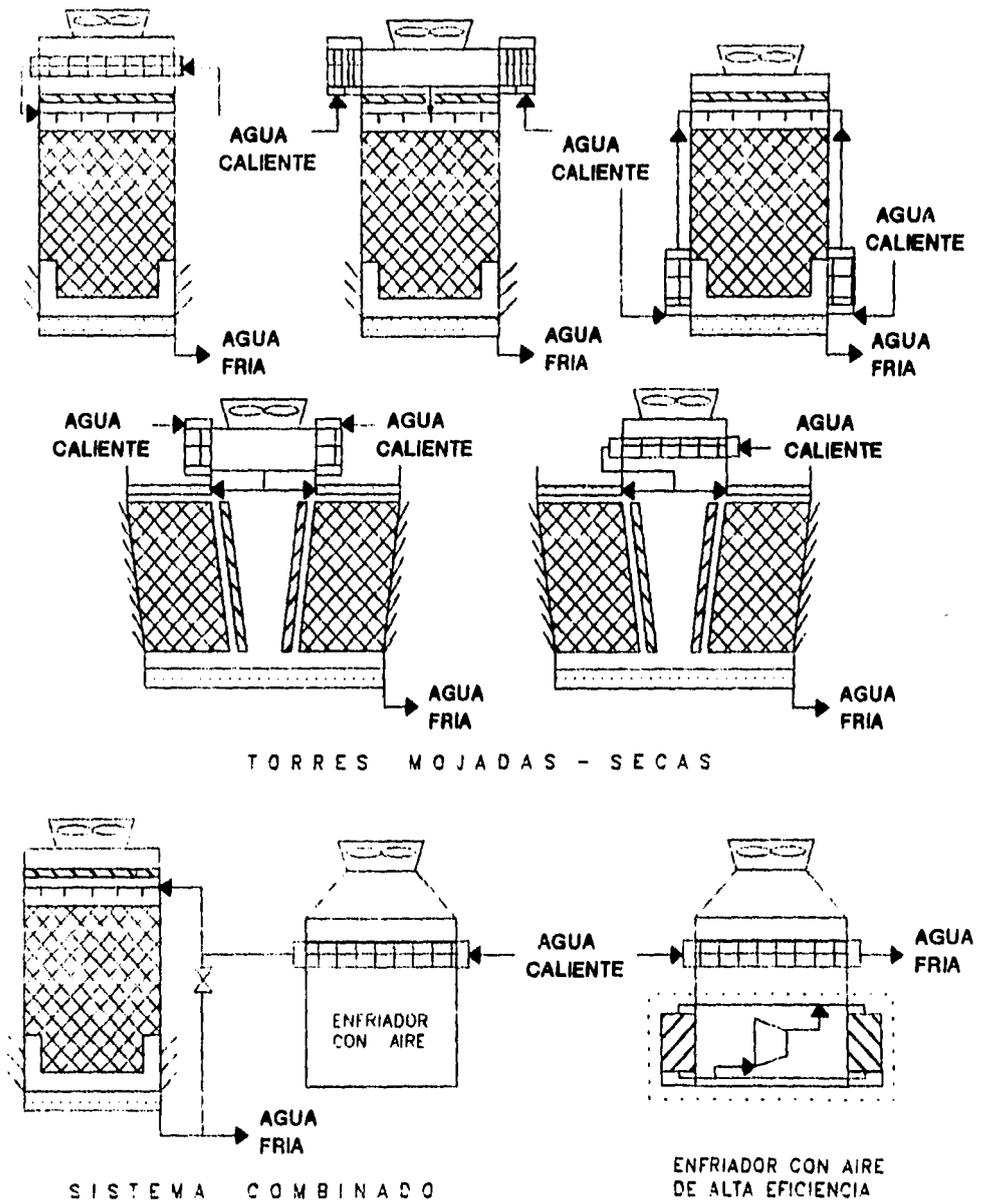


FIGURA 4. ALTERNATIVAS PARA EL ENFRIAMIENTO DE AGUA.

f) VARIACION DE LA VELOCIDAD DEL VENTILADOR.- Como se mencionó en el Capítulo 2, la posibilidad de variar la velocidad del ventilador no solo puede proporcionar beneficios por lograr tener una temperatura de suministro constante, sino que ayuda al abatimiento de los costos de operación de la torre por la disminución del consumo de energía eléctrica del motor del ventilador.

Se presenta a continuación una serie de testimonios por los cuales se decidió hacer la optimización de la torre de enfriamiento en cuestión, bajo este campo.

CUADRO 4. ENERGIA CONSUMIDA POR DIFERENTES TIPOS DE VENTILADORES.

TIPO DE VENTILADOR	kWh/ANO	USO RELATIVO (%)
Vel. Plena (sin control)	560,640	100
Vel. Simple (ON-OFF)	353,200	63
Vel. Dual	330,780	59
Vel. Regulable	281,330	50

Tomado de Monroe (REF.15).

CUADRO 5. COSTOS DE OPERACION PARA MOTORES ELECTRICOS (8760 HORAS).

POTENCIA (HP)	kVA (1800 RPM)	COSTO DEL kWh	
		\$ 0.03	\$ 0.10
10	10.14	2.665	8.883
20	20.06	5.271	17.573
30	28.58	7.511	25.036
40	38.32	10.070	33.568
50	47.10	12.378	41.260
60	57.21	15.035	50.116
75	71.10	18.685	62.284

NOTA: Los costos están en dólares americanos.
Extraído de Burger (REF. 3).

CUADRO 6. PORCENTAJES RELACIONADOS CON PARAMETROS DE UN VENTILADOR.

VELOCIDAD	FLUJO VOLUMETRICO	POTENCIA REQUERIDA	CAIDA DE PRESION
100	100	100	100
90	90	73	89
80	80	51	70
70	70	34	60
60	60	22	42
50	50	13	36
40	40	6	22
30	30	3	18

Adaptado de Ceroke y Doll (REF. 6 y 7).

CUADRO 7. PORCENTAJES RESPECTO AL APROVECHAMIENTO DEL VENTILADOR.

FLUJO REQUERIDO	TIEMPO DE OPERACION
20	1.0
25	1.5
30	4.0
35	6.5
40	9.0
45	11.0
50	11.0
55	12.0
60	12.0
65	11.0
70	8.0
75	5.5
80	3.0
85	2.0
90	1.0
95	0.5
100	0.3

Adaptado de Doll (REF. 7).

4. EVALUACION DE LOS PARAMETROS RELACIONADOS CON LA TORRE DE ENFRIAMIENTO EN ESTADO ESTACIONARIO.

Para cumplir con el objetivo de este Capitulo es necesario contar con los datos referentes al equipo, los cuales se aprecian en el CUADRO 8.

Es oportuno mencionar que algunos valores que aparecen en la hoja de especificaciones de la torre de enfriamiento se obtuvieron por cálculo indirecto, es decir, haciendo mediciones en campo y/o estimándolos con información confiable referente al tema. Lo anterior se debió al hecho de no encontrar asentados dichos valores en algún documento oficial de la empresa cuando se realizó la visita.

En la FIGURA 5 se puede apreciar el diagrama del circuito de enfriamiento de la planta el cual, aparentemente, toma esta configuración por la necesidad de abatir la cantidad de agua que se pierde por evaporación, ya que el agua caliente no se alimenta directamente a la torre de enfriamiento.

A causa de este arreglo, algunas condiciones de operación y diseño presentadas en la hoja de especificaciones se ven afectadas significativamente, por tal motivo, el análisis que se llevará a cabo tendrá como base los valores que se presentan más frecuentemente en los parámetros afectados; según lo reportado por la empresa a través de su área de servicios auxiliares.

CUADRO 8. HOJA DE ESPECIFICACIONES.

TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA	
DATOS GEOGRAFICOS	
LOCALIZACION: TLALNEPANTLA, MEXICO	PRESION ATMOSFERICA: 586 mm Hg
DIRECCION DE LOS VIENTOS: NORTE-NORESTE	VELOCIDAD DE LOS VIENTOS: 0.9-1.7 m/s
DATOS DE OPERACION	
TEMPERATURA DE SUMINISTRO: 19.4°C	TEMPERATURA DE RETORNO: 35°C
CANTIDAD AGUA DE ENFRIAMIENTO: 1,135.440 kg/h	CARGA TERMICA: 74,128 MJ/h
DATOS DE DISEÑO	
TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO: 16.7°C	FLUJO DE AIRE REQUERIDO (1): 1,200,000 kg/h
CAUDAL DE AIRE NECESARIO: 1,320,000 m ³ /h @ 20°C	CAIDA DE PRESION (2): 0.8 PULGADAS DE AGUA
NUMERO DE VENTILADORES: 4	POTENCIA/VENTILADOR: 50 BHP
DATOS DE LA TORRE	
CLASE: TIRO MECANICO	TIPO DE TIRO: INDUCIDO
TIPO DE FLUJO: CRUZADO	NUMERO DE CELDAS: 4
DATOS DEL EMPAQUE	
TIPO DE EMPAQUE: LISTONES DE MADERA	ALTURA EMPACADA (3): 3.65 m
FACTOR DE EMPAQUE: ---	VOLUMEN EMPACADO/CELDA (4): 100 m ³
DATOS DEL VENTILADOR	
DIAMETRO: 14 PIES	EFICIENCIA ESTATICA (5): 48%
TIPO DE ASPAS: RECTAS	ANGULO DE INCLINACION (2): 16°
NUMERO DE ASPAS/UNIDAD (6): 8	MATERIAL DE LAS ASPAS: ALUMINIO
VELOCIDAD DEL VENTILADOR (2): 200 RPM	CLASE DE ACCIONADOR: MOTOR ELECTRICO

TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

DATOS DEL ACCIONADOR

TIPO DE MOTOR: TRIFASICO	VELOCIDAD: 1800 RPM
VOLTAJE APLICADO: 440 VOLTS	CORRIENE (DISEÑO): 63 AMPERES
EFICIENCIA (7): 82%	FACTOR DE POTENCIA (8): 0.98
FRECUENCIA DE LA CORRIENTE: 60 HERTZ	PROCEDENCIA DE LA E. ELECTRICA: MUNICIPAL
FACTOR DE SERVICIO DEL EQUIPO: 365 DIAS/AÑO	
<p>NOTAS:</p> <p>(1): OBTENIDO DE LA LINEA DE OPERACION.</p> <p>(2): ESTIMADO CON LA REF. 21.</p> <p>(3): MEDICION EN CAMPO.</p> <p>(4): ESTIMADO POR MEDICION EN CAMPO.</p> <p>(5): ESTIMADO CON LAS REFS. 16 Y 21.</p> <p>(6): ESTIMADO CON LA REF. 15.</p> <p>(7): VALOR REPORTADO EN LA REF. 6.</p> <p>(8): CALCULADO.</p>	

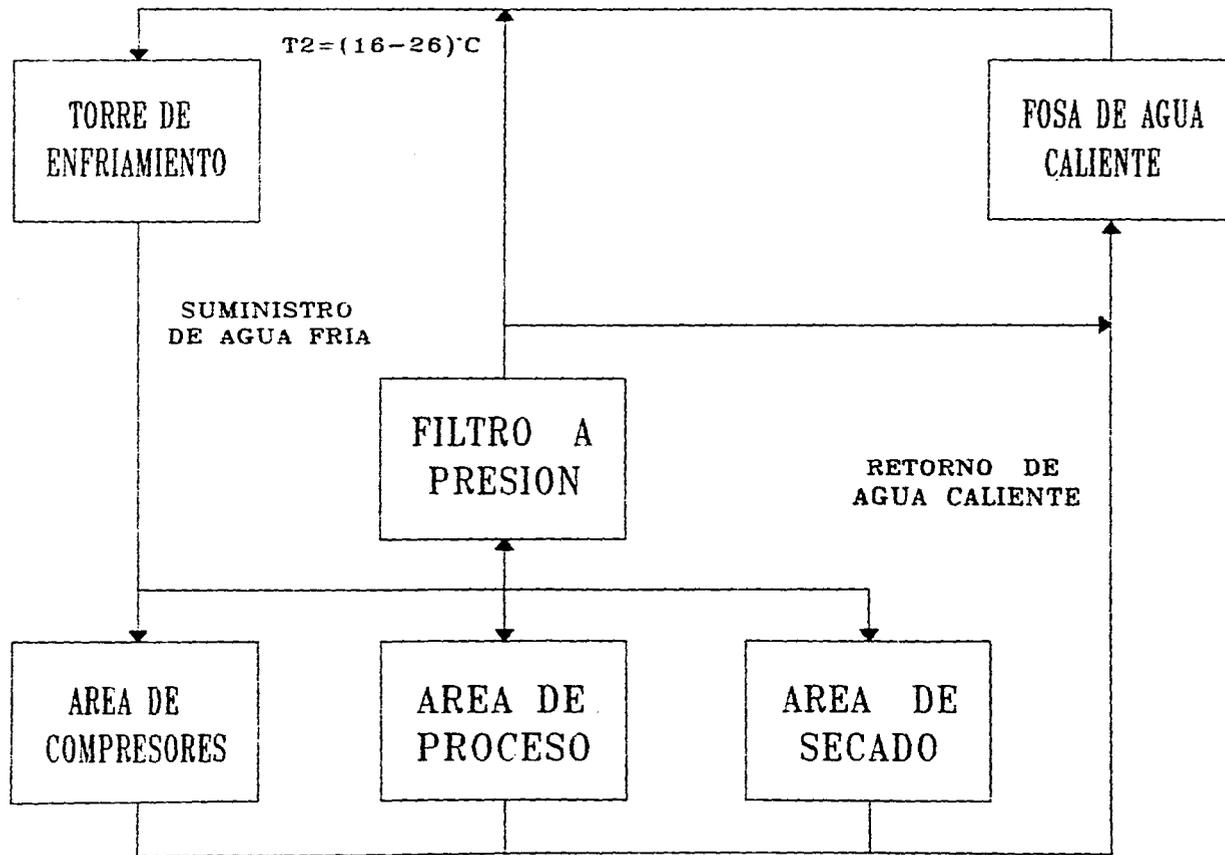


FIGURA 5. DIAGRAMA DEL CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA.

El primer caso por analizar es el gasto másico de aire (G) necesario para mantener un agua de suministro con temperatura constante (T_1); en función de la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra (th_1); para varias temperaturas de retorno (T_2), teniendo en cuenta la presión atmosférica del lugar.

El comportamiento de la temperatura de bulbo húmedo se tomó en base a lo que presenta el CUADRO 3. La variación de la temperatura de retorno se ajustó a una función similar a la presentada en la FIGURA 3 ya que; como se puede observar en la FIGURA 5; la temperatura de retorno se ve afectada de cierta manera por las condiciones de temperatura del aire (véase CUADRO 9).

El CUADRO 10 presenta una serie de mediciones efectuadas en la torre de enfriamiento de la planta. En estos resultados se puede apreciar que la temperatura de suministro no se encuentra dentro de un intervalo aceptable respecto a su valor de diseño; así pues; esta temperatura tendrá que volverse a fijar para poder realizar el cálculo respectivo; la cual a su vez; servirá como temperatura de referencia para el control que se pretende diseñar.

Para definir la nueva temperatura de suministro se elaboró la FIGURA 6, en donde se muestra el porcentaje de horas al año que pueden presentarse las temperaturas de retorno (según el CUADRO 9) y las correspondientes de suministro que se podrían alcanzar operando normalmente la torre. La nueva T_1 será aquella que presente un porcentaje alto: en conjunto con uno pequeño para T_2 ; de horas al año que pueda conservarse. Lo anterior se fundamenta en el hecho de poder hacer una especie de "BY-PASS" a través de la torre cuando exista una T_2 menor o igual a T_1 , logrando con esto que el ventilador casi no opere.

CUADRO 9. VARIACION DE LA TEMPERATURA DE RETORNO [ESTIMACION] (°C).

HRS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
1	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0
2	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8
3	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6
4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4
5	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2
6	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0
7	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4
8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8
9	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2
10	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6
11	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0
12	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0
13	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0
14	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0
15	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5
16	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0
17	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5
18	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0
19	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6
20	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2
21	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8
22	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4
23	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0
24	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0

CUADRO 9. VARIACION DE LA TEMPERATURA DE RETORNO [ESTIMACION] (°C).
[CONT.]

HRS	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0
2	21.8	20.8	19.8	18.8	17.8	16.8
3	21.6	20.6	19.6	18.6	17.6	16.6
4	21.4	20.4	19.4	18.4	17.4	16.4
5	21.2	20.2	19.2	18.2	17.2	16.2
6	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0	16.0
7	21.4	20.4	19.4	18.4	17.4	16.4
8	21.8	20.8	19.8	18.8	17.8	16.8
9	22.2	21.2	20.2	19.2	18.2	17.2
10	22.6	21.6	20.6	19.6	18.6	17.6
11	23.0	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0
12	24.0	23.0	22.0	21.0	20.0	19.0
13	25.0	24.0	23.0	22.0	21.0	20.0
14	26.0	25.0	24.0	23.0	22.0	21.0
15	25.5	24.5	23.5	22.5	21.5	20.5
16	25.0	24.0	23.0	22.0	21.0	20.0
17	24.5	23.5	22.5	21.5	20.5	19.5
18	24.0	23.0	22.0	21.0	20.0	19.0
19	23.6	22.6	21.6	20.6	19.6	18.6
20	23.2	22.2	21.2	20.2	19.2	18.2
21	22.8	21.8	20.8	19.8	18.8	17.8
22	22.4	21.4	20.4	19.4	18.4	17.4
23	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0
24	22.0	21.0	20.0	19.0	18.0	17.0

CUADRO 10. MEDICIONES EFECTUADAS EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE LA PLANTA [28 DE FEBRERO DE 1994] (°C).

HORA	T1	th1	t1	T2	th2	t2	ta	tha
9	15.0	11.0	15.0	17.0	13.5	16.0	18.0	10.5
10	15.2	11.0	18.0	18.0	14.0	18.0	21.0	13.0
11	16.0	12.0	22.0	19.0	14.5	19.0	21.0	12.0
12	16.5	12.0	21.5	19.0	14.9	20.0	23.5	12.5
13	16.0	12.8	25.0	18.5	14.7	20.5	25.0	13.2
14	17.0	12.0	25.5	19.0	15.0	21.0	25.0	12.5
15	17.0	12.5	26.5	19.5	16.0	22.0	26.0	13.0
16	17.0	12.0	25.0	20.0	16.2	23.0	25.5	13.8
17	17.5	12.0	24.0	20.0	17.0	22.0	24.1	12.2

T1: Temperatura de suministro del agua de enfriamiento.

th1: Temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada.

t1: Temperatura de bulbo seco del aire de entrada.

T2: Temperatura de retorno del agua de enfriamiento.

th2: Temperatura de bulbo húmedo del aire de salida.

t2: Temperatura de bulbo seco del aire de salida.

ta: Temperatura ambiente.

tha: Temperatura de bulbo húmedo ambiente.

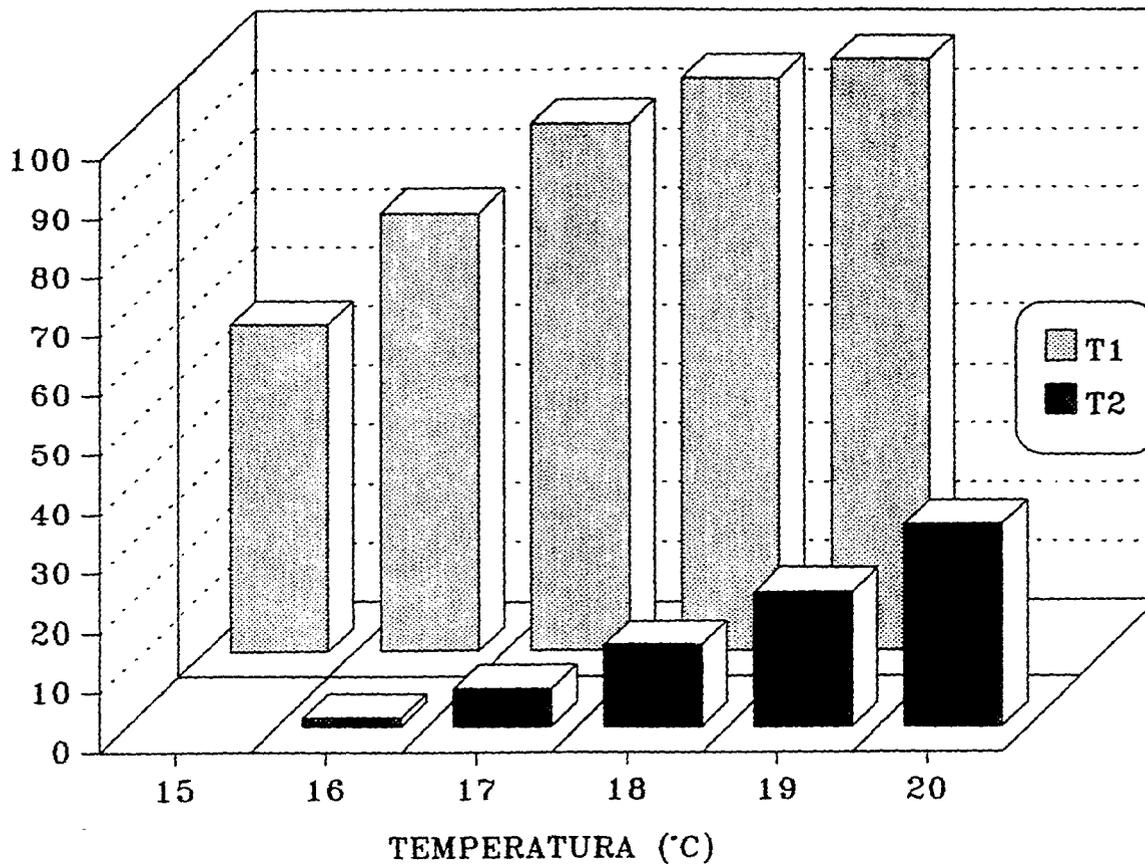
NOTA: ta y tha fueron tomadas en un lugar lejano a la torre (50 m aproximadamente).

Para iniciar los cálculos referentes al primer caso de análisis, se recurrió a las siguientes expresiones que describen el comportamiento de la torre:

$$L C_p (T_2 - T_1) = G (h_2 - h_1) \quad \text{Ecuación de la Línea de Operación (FIG. 7)}$$

$$V' = \frac{L C_p}{K a} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{h^* - h} \quad \text{Ecuación de Diseño}$$

HORAS AL AÑO QUE SE MANTENDRIA T1 SEGUN LA T2 PRESENTE (%).



37

FIGURA 6. COMPARACION DE LAS TEMPERATURAS QUE SE PRESENTAN EN LA TORRE.

L: Gasto Másico del Agua de Enfriamiento [=] kg/h.
 Cp: Capacidad Calorífica del Agua a Presión Constante [=] J/kg°C.
 T2: Temperatura de Retorno del Agua de Enfriamiento [=] °C.
 T1: Temperatura de Suministro del Agua de Enfriamiento [=] °C.
 G: Gasto Másico del Aire [=] kg/h.
 h2: Entalpía de Salida del Aire [=] J/kg Aire Seco.
 h1: Entalpía de Entrada del Aire [=] J/kg Aire Seco.
 V': Volumen de la Torre [=] m³.
 K: Coeficiente Global de Transferencia [=] kg/h m² DC.
 DC: Gradiente de Concentración [=] kg Agua/kg Aire Seco.
 a: Area Interfacial para el Contacto Gas-Líquido [=] m²/m³ empaque.
 h*: Entalpía de Saturación del Aire [=] J/kg Aire Seco.

Contar con la función descrita anteriormente, requiere de la evaluación del coeficiente de transferencia y resolver simultáneamente las ecuaciones propuestas para G y h2, ya que los demás términos son conocidos o son variables independientes.

El valor del coeficiente es difícil de obtener porque depende de muchos factores (tipo de empaque, altura empacada, flujo de aire, flujo de agua). No obstante, teniendo en cuenta que la variación real de T2 es menor a la que se presentaría con la temperatura de retorno de diseño, se puede emplear el Ka promediado que aparece en el CUADRO 11, para resolver las ecuaciones anteriormente expuestas.

Para obtener el valor de G, como función de h1 y T2, es necesario mantener constante una de las dos variables y calcular la G respectiva de la Ecuación de la Línea de Operación; despejando previamente la h2 de la Ecuación de Diseño. La metodología de cálculo aplicada se puede revisar en las REFS. 8, 11, 13 y 20.

Con el objeto de simplificar los cálculos involucrados en este Capítulo respecto a la magnitud de los valores manejados, se tomará como base una sola de las celdas que conforman el conjunto de la torre. Esta decisión no afecta el resultado global ya que; aún cuando físicamente se encuentran situadas adyacentemente; operan de manera independiente. Los resultados obtenidos se muestran en las FIGURAS 7 a 15.

CUADRO 11. RESULTADOS DE K_a CONFORME A LOS DATOS DEL CUADRO 10.

HORA	h1	G	h2	h1*	h2*	NTU	K_a
9	38932	312100	46927	50221	56585	1.299	1537
10	38932	308884	49222	51758	60002	1.475	1744
11	41614	304698	54366	53329	63598	2.066	2444
12	41614	305215	54344	53329	63598	2.063	2440
13	43819	301632	52248	54938	61777	1.343	1588
14	41614	301127	50216	56585	63598	0.986	1167
15	42985	299622	53891	56585	65468	1.417	1676
16	41614	301632	54732	56585	67388	1.566	1853
17	41614	302647	54806	58272	69361	1.388	1642
+	55592	300022	124789	65090	158349	6.029	7131

+ Para las condiciones de diseño.

-> K_a Promediado = 4460.

NTU: Número de Unidades de Transferencia (ADIMENSIONAL).

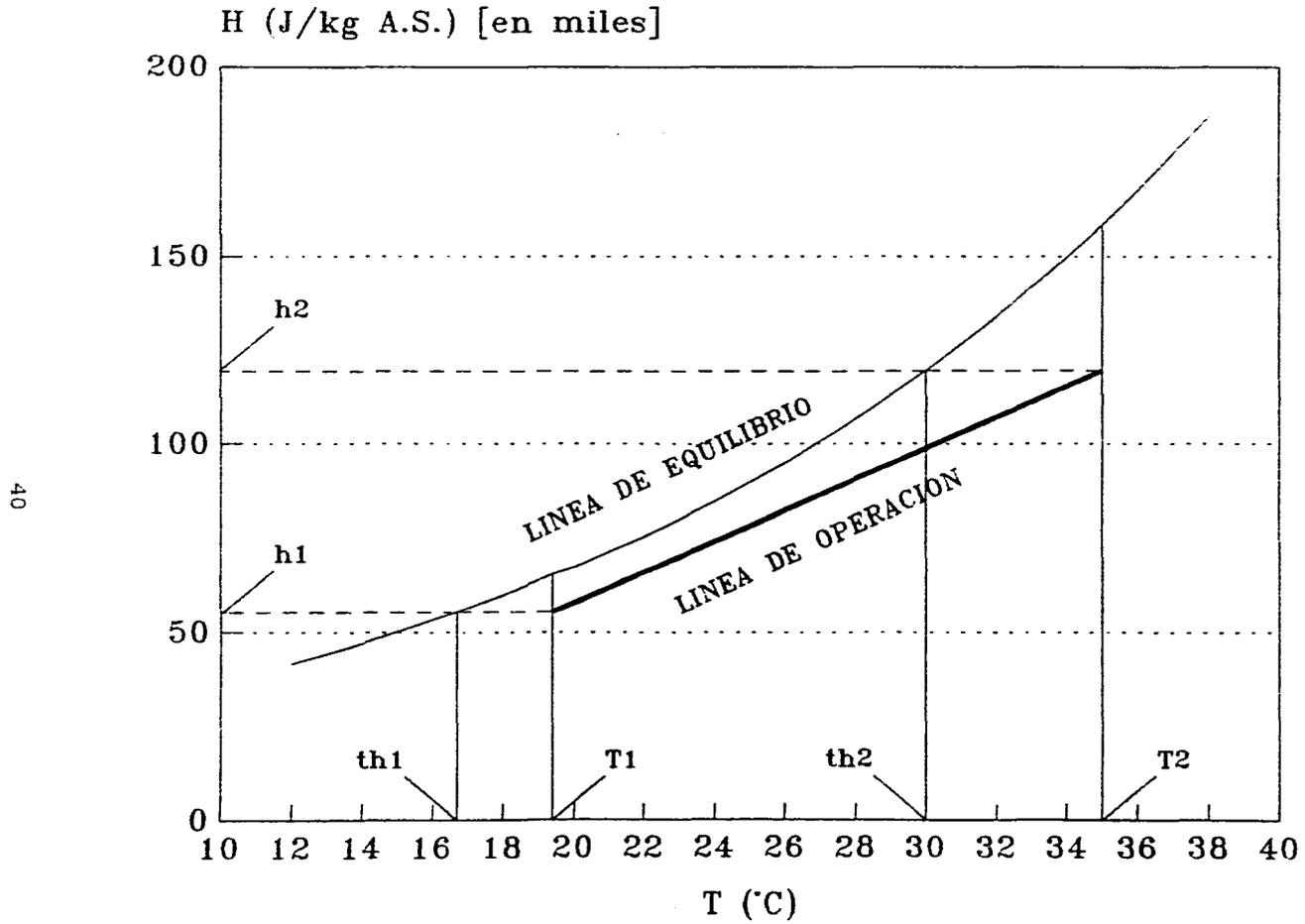


FIGURA 7. ENTALPIA DEL AIRE VS. TEMPERATURA DEL AGUA (CURVAS PARA DISEÑO).

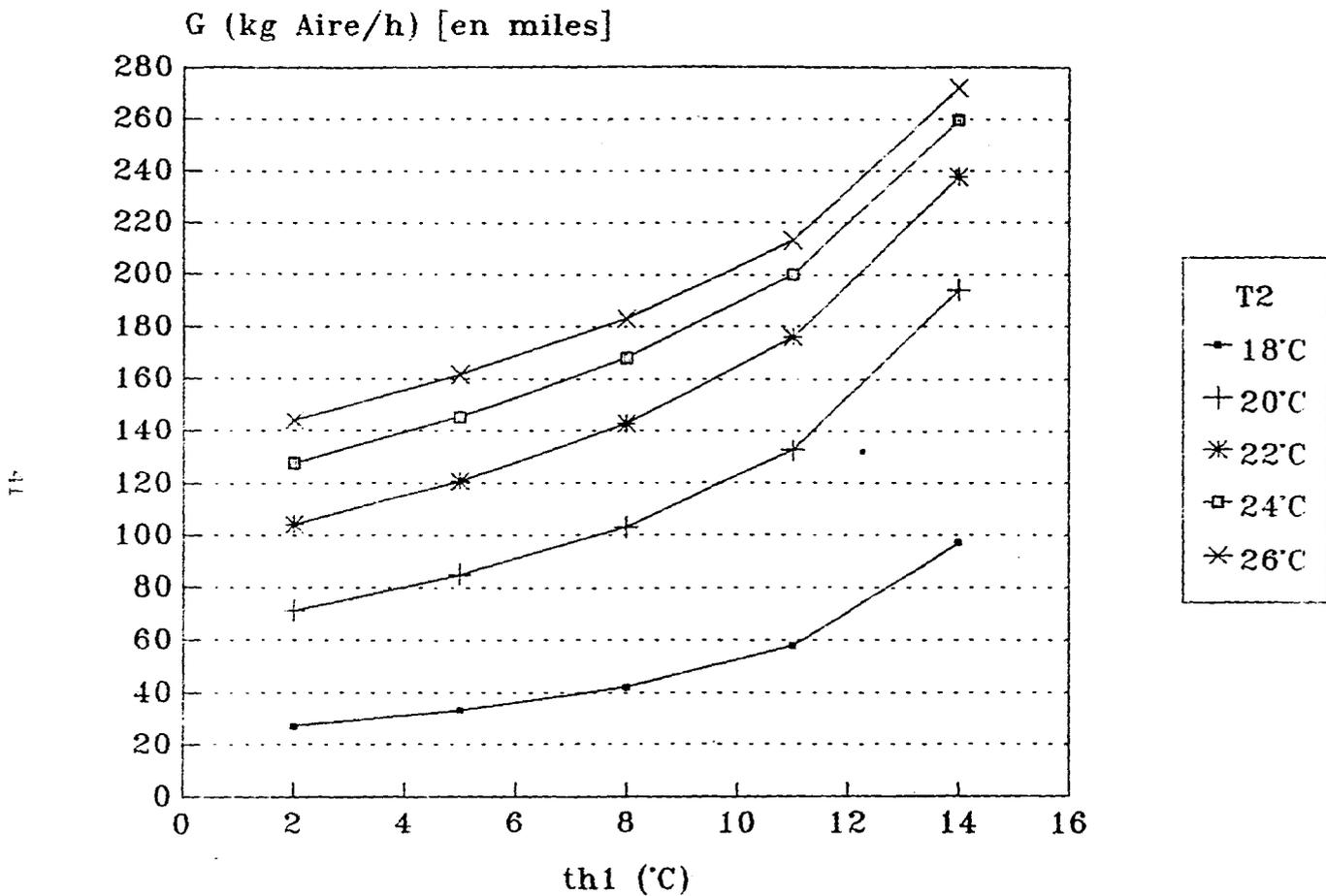


FIGURA 8. GASTO DE AIRE PARA LA TORRE EN FUNCION DE LA TEMP. DE BULBO HUMEDO.

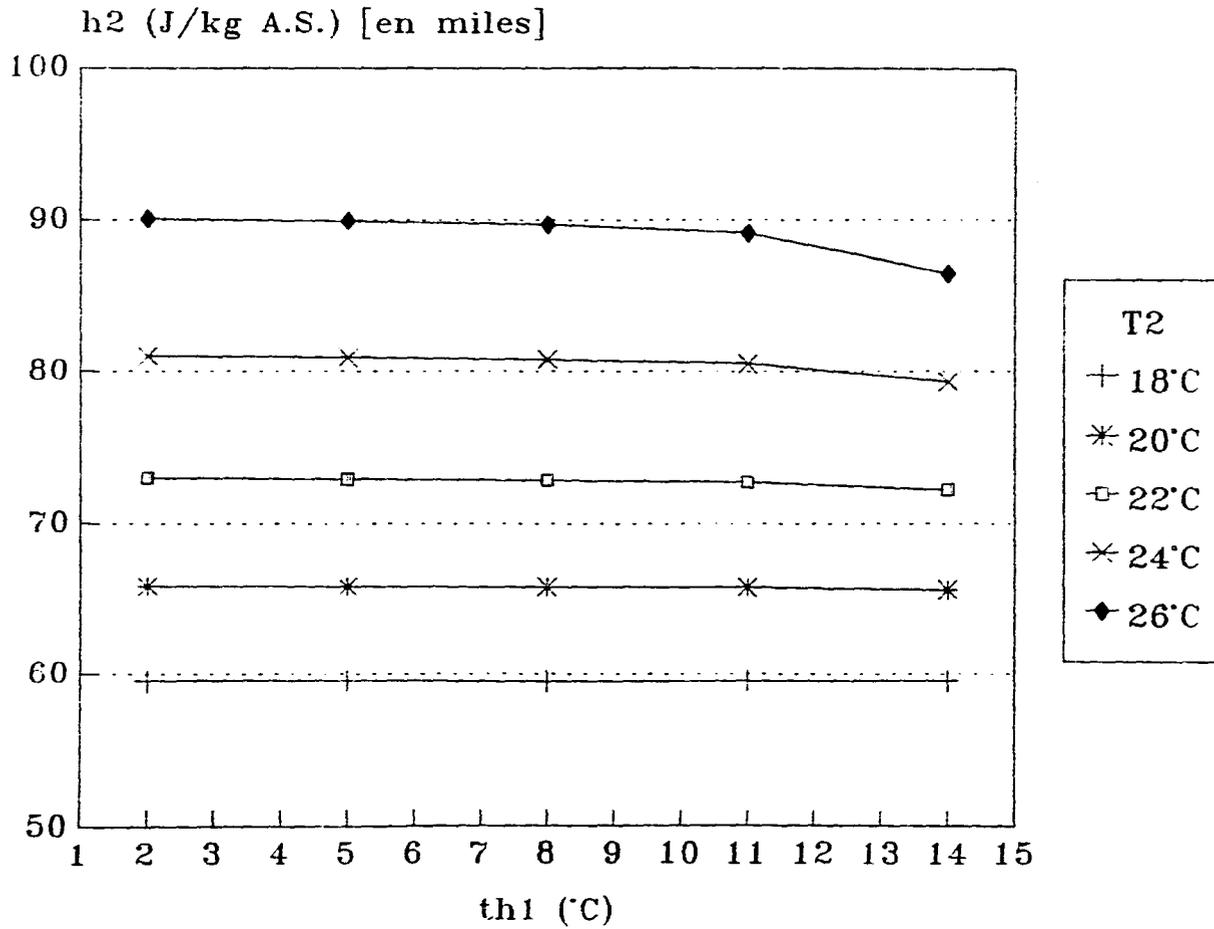


FIGURA 9. ENTALPIA DE SALIDA DEL AIRE EN FUNCION DE LA T.B.H. DE ENTRADA.

HUMEDAD RELATIVA (%)

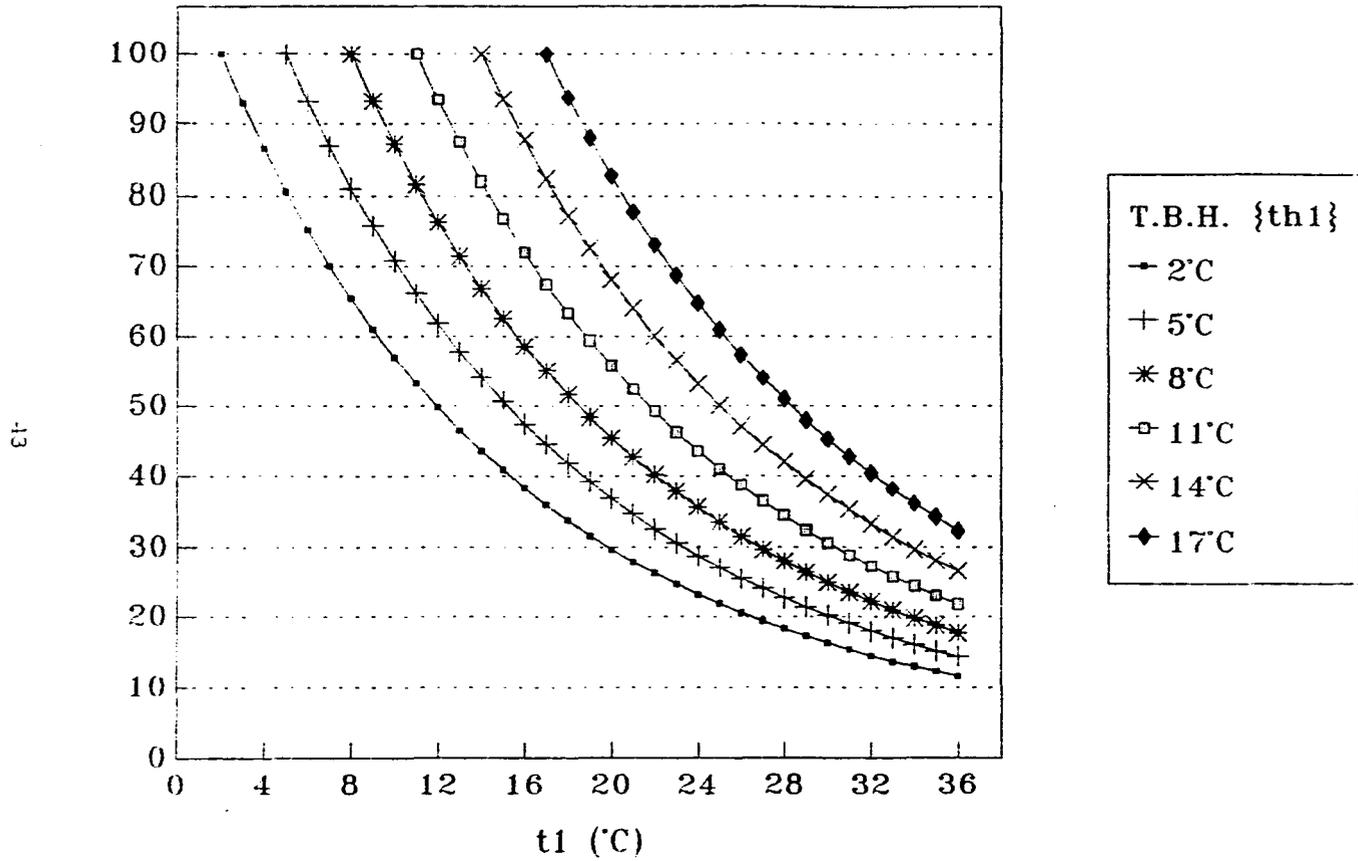


FIGURA 10. HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE EN FUNCION DE LA TEMPERATURA.

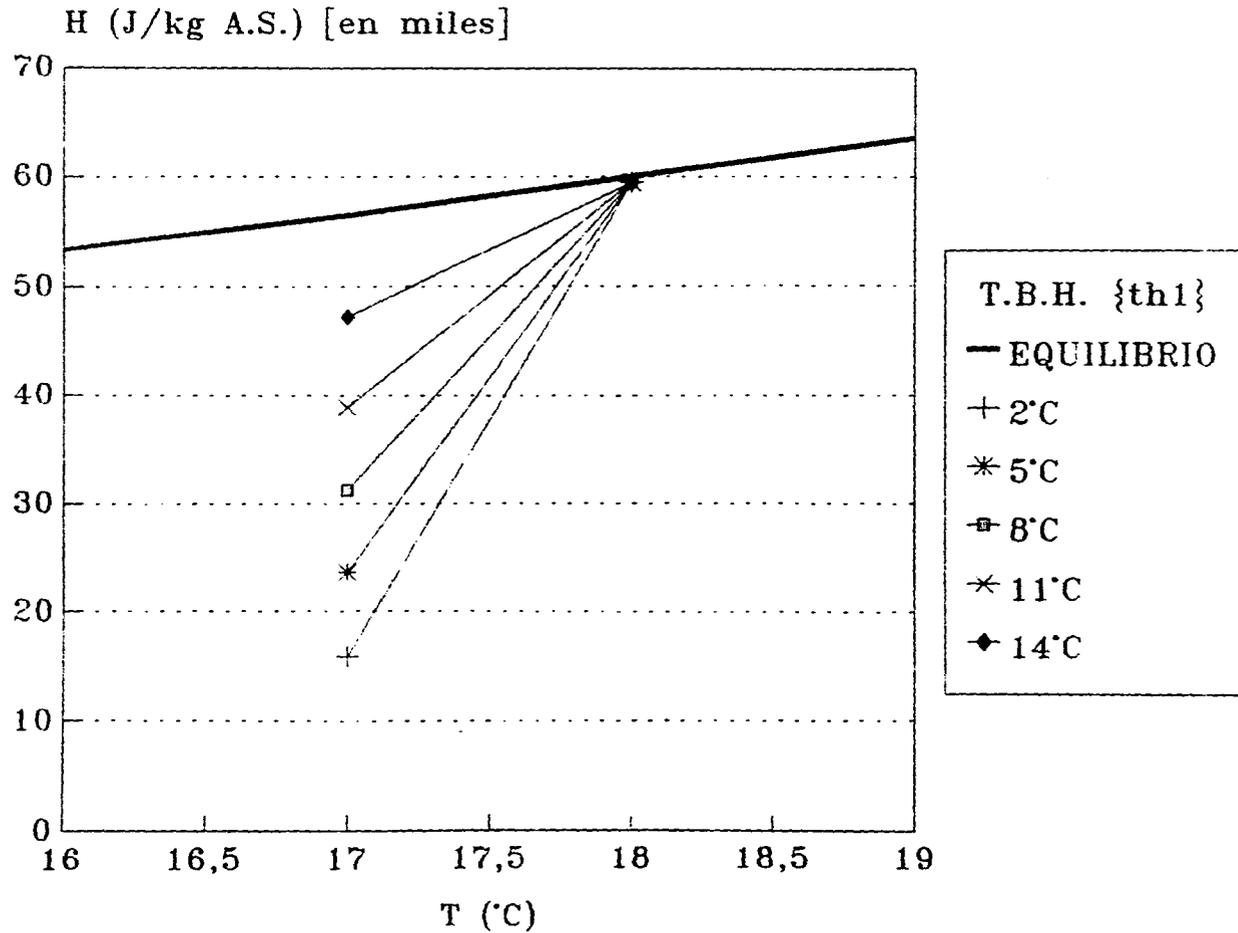


FIGURA 11. VARIACION DE LA LINEA DE OPERACION PARA T₂=18°C.

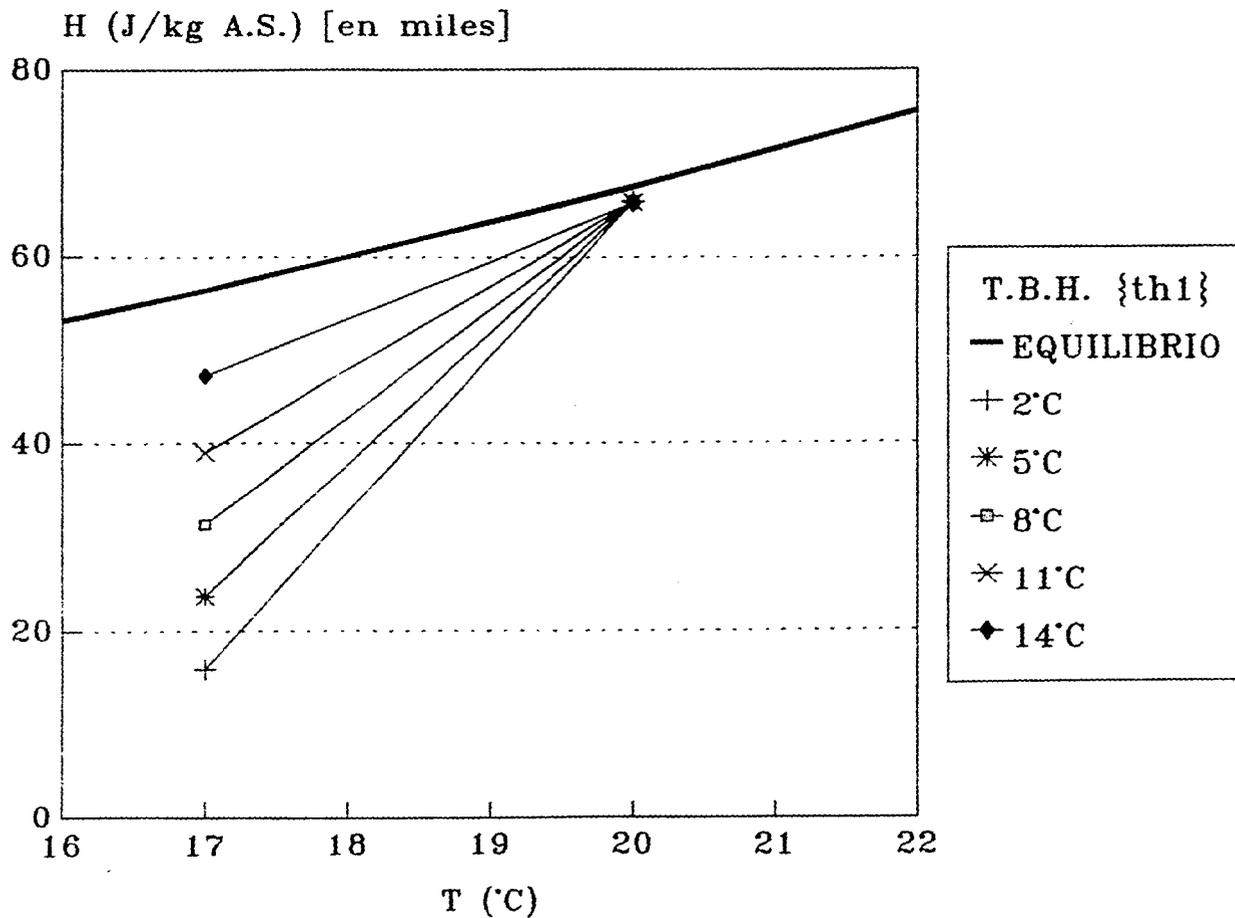


FIGURA 12. VARIACION DE LA LINEA DE OPERACION PARA T₂=20°C.

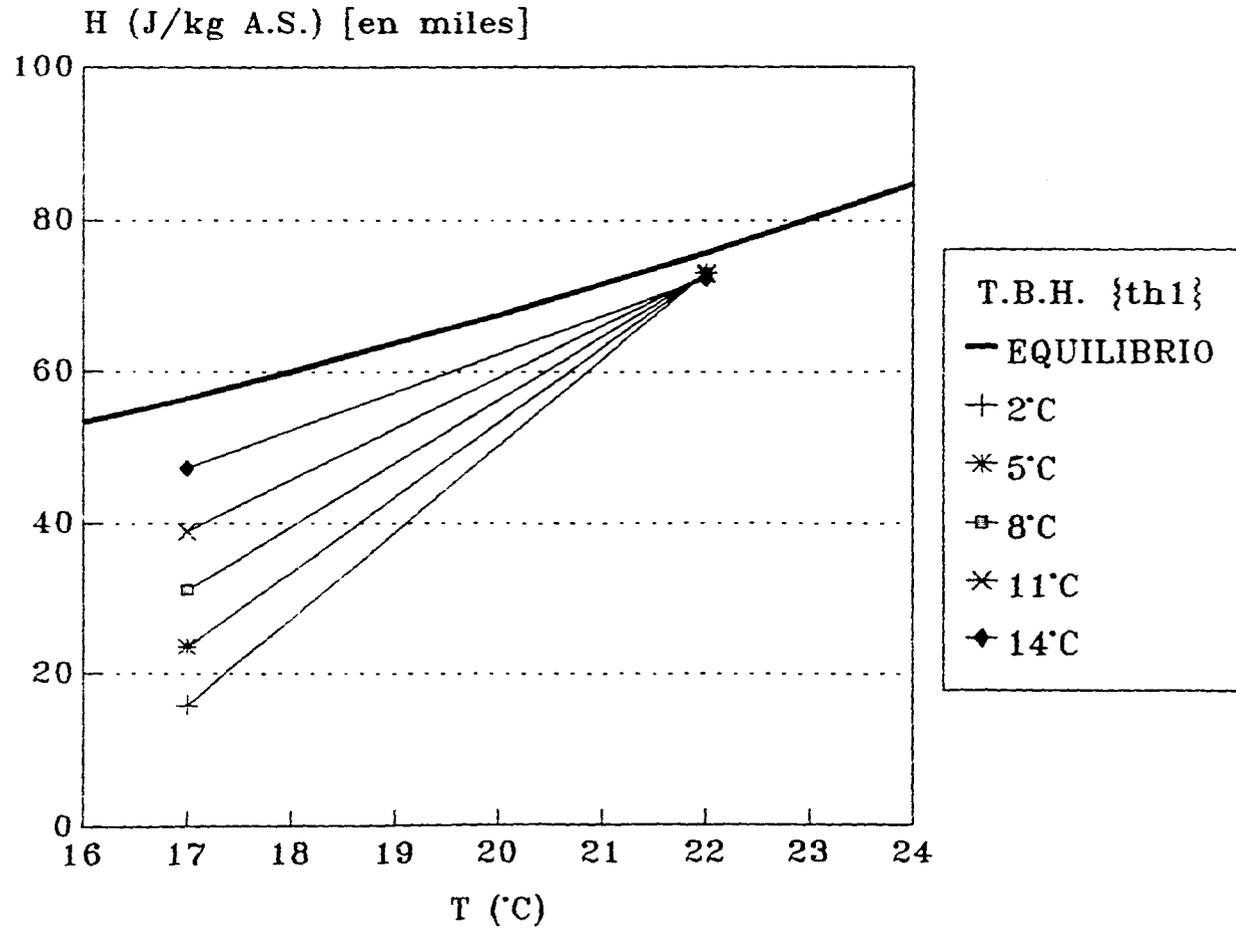


FIGURA 13. VARIACION DE LA LINEA DE OPERACION PARA T₂=22°C.

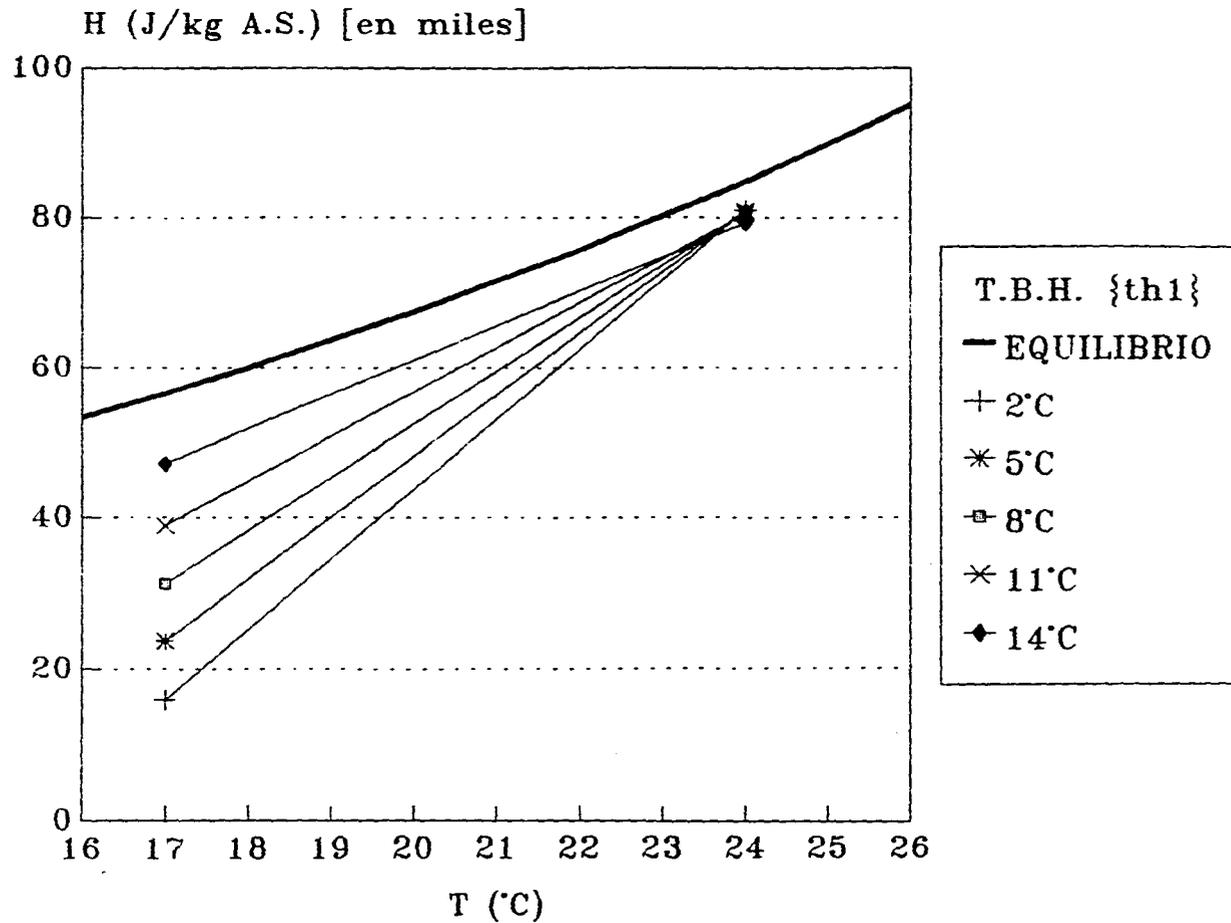


FIGURA 14. VARIACION DE LA LINEA DE OPERACION PARA T₂=24°C.

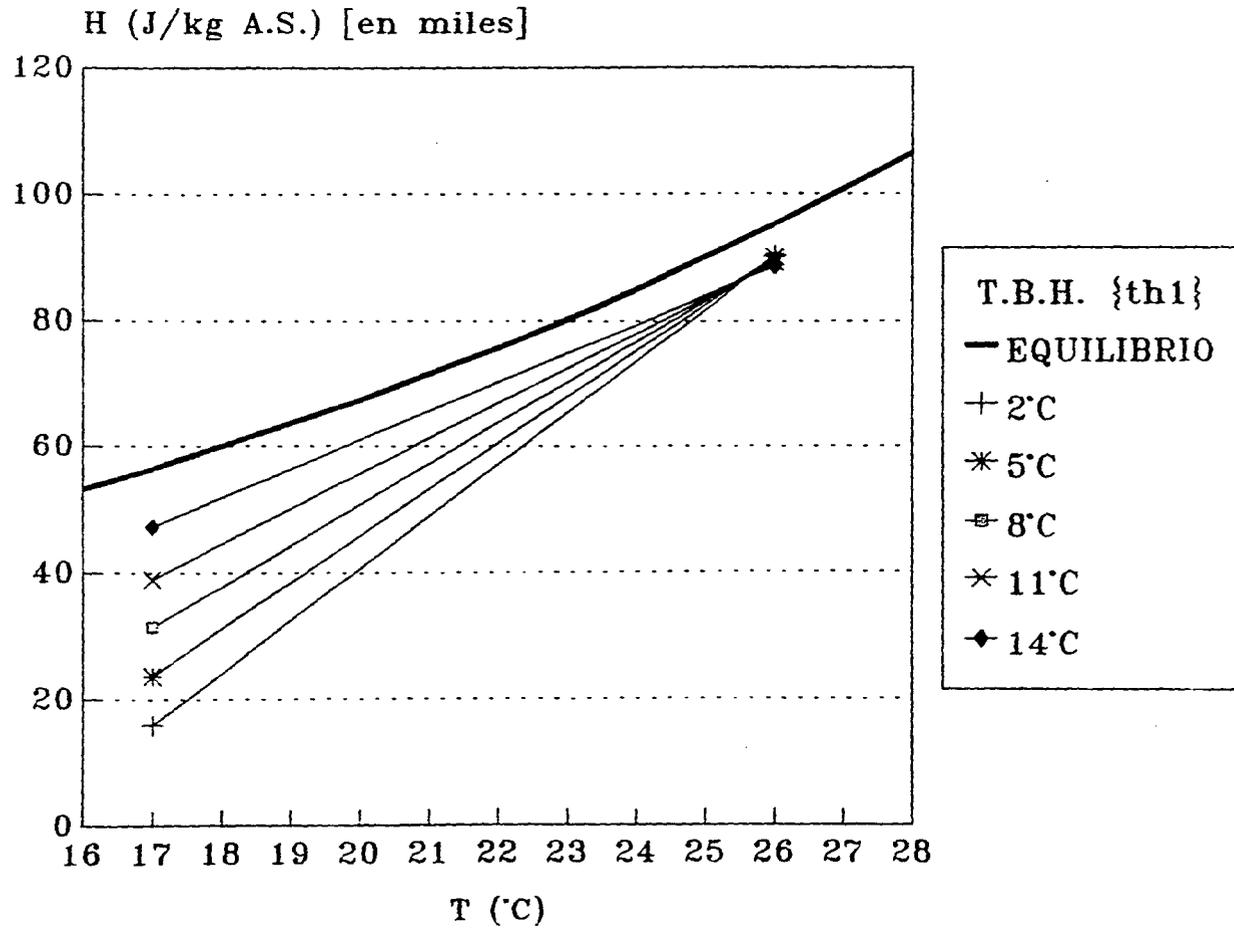


FIGURA 15. VARIACION DE LA LINEA DE OPERACION PARA T₂=26°C.

El proceso de enfriamiento en la torre requiere de cierta masa de aire acorde a las condiciones establecidas. Este gasto lo proporciona el ventilador, aunque indirectamente, ya que maneja flujos volumétricos los cuales están sujetos a las condiciones climatológicas; así pues; para poder manejar flujos máxicos es necesario incorporar el concepto de Volumen Húmedo, el cual es una función de la temperatura y humedad del aire, aunque para el intervalo de temperatura que se manejará, esta última; y en particular la t_{h1} ; no influye de manera significativa a la variación del volumen:

$$V_h = 8315 \left(\frac{1}{29} + \frac{Y}{18} \right) \frac{t + 273.15}{P_t} \quad [=] \quad m^3/kg.$$

Y: Humedad Absoluta [=] kg Agua/kg Aire Seco.

t: Temperatura de Bulbo Seco [=] °C.

Pt: Presión Total [=] N/m².

En la FIGURA 16 se presenta la variación que puede ocurrirle al caudal; en función de la temperatura ambiente; para diferentes valores de G.

Uno de los objetivos de este trabajo es lograr el abatimiento de la potencia nominal de operación y su correspondiente ahorro energético. La potencia requerida por el motor que mueve al ventilador se relaciona conforme a los postulados de DOLL (REF. 7), y el resultado se puede apreciar en la FIGURA 17.

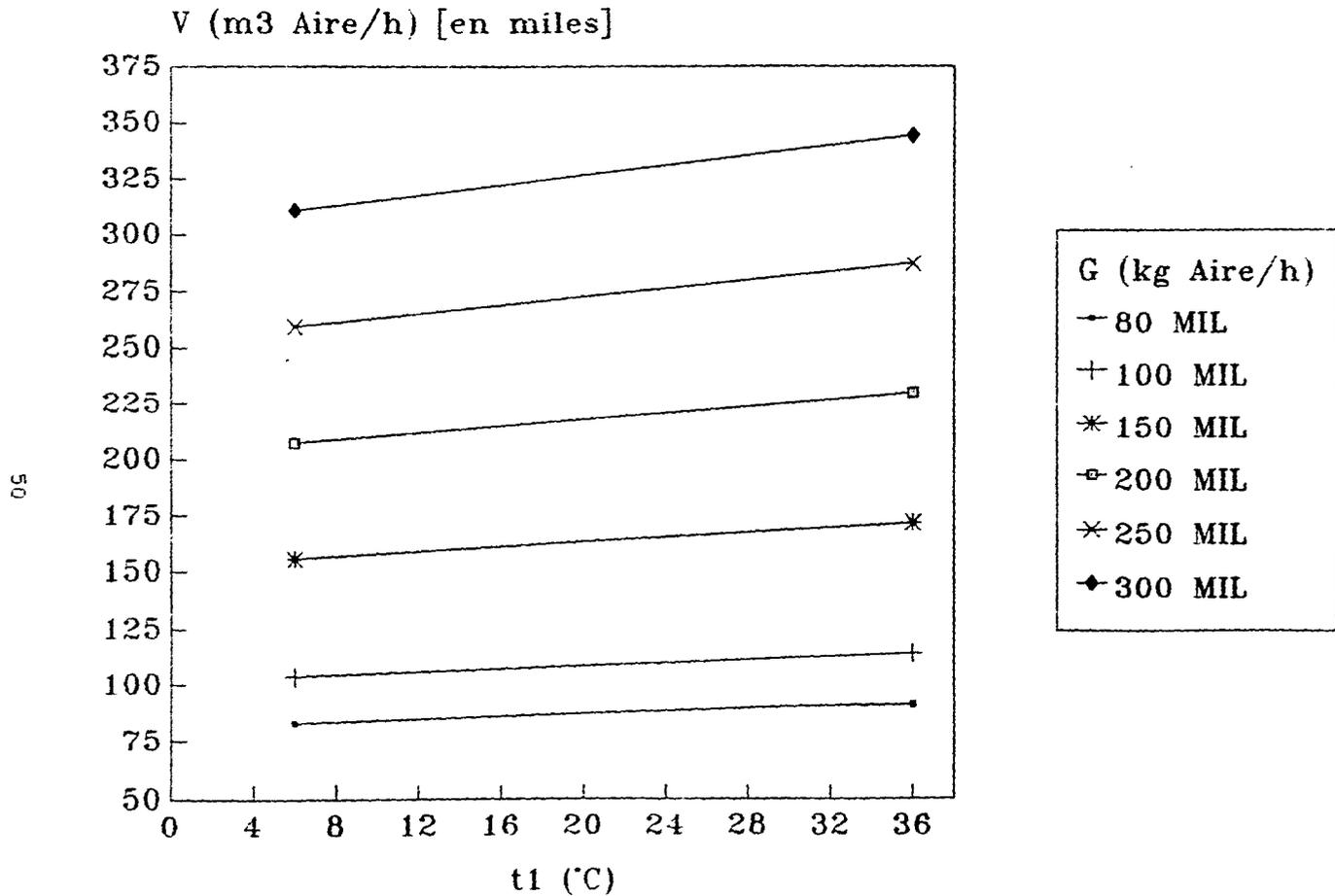


FIGURA 16. FLUJO DE AIRE REQUERIDO EN FUNCION DE LA TEMPERATURA AMBIENTE.

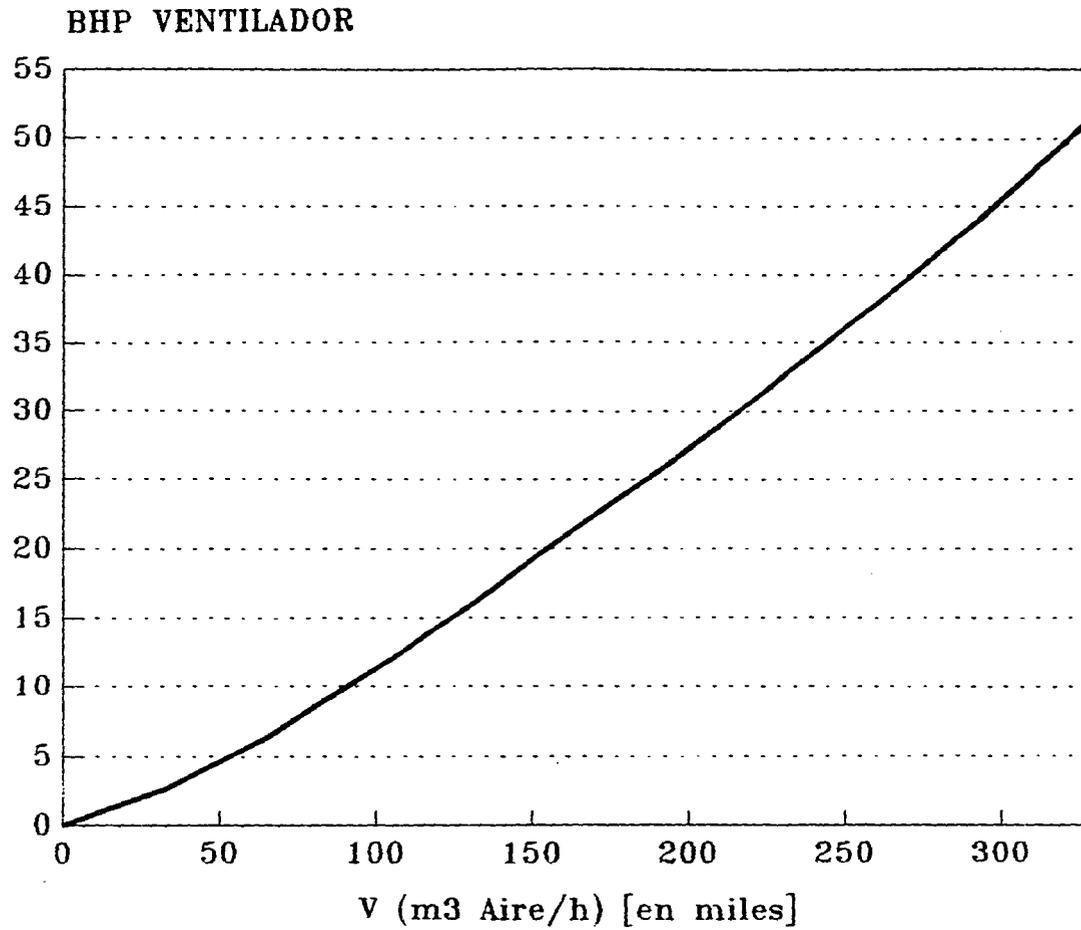


FIGURA 17. VARIACION DE LA POTENCIA DEL VENTILADOR EN FUNCION DEL FLUJO DE AIRE.

Otra variable importante en el estudio de las torres de enfriamiento es la caída de presión que sufre el aire al atravesar el empaque. Esta relación se presenta en la FIGURA 18 conforme al análisis realizado por WHITESELL (REF. 21); y aunque en este se experimentó con torres de flujo a contracorriente, el comportamiento es similar al que se manifiesta en un equipo como el que se está estudiando. El valor que aparece en la hoja de especificaciones referente a este parámetro es resultado de trabajar con la ecuación que sustenta a la FIGURA 20.

Haciendo referencia al Capítulo 2 en cuanto a la velocidad de los vientos en el lugar de localización de la torre, es importante enmarcar la velocidad mínima de la descarga de aire para que nunca sea inferior a la mencionada y evitar en lo posible la recirculación del aire. Esta velocidad se relaciona a partir de las ecuaciones propuestas por MONROE (REF. 15), mostrándose el resultado en la FIGURA 19:

$$\text{Vel. Descarga} = \frac{VOL}{0.785 D^2} [=] \text{ ft/min.}$$

$$\text{Vel. Promedio} = \frac{VOL}{\pi D h} [=] \text{ ft/min.}$$

VOL: Flujo Volumétrico de Aire [=] $\text{ft}^3/\text{min.}$

D: Diámetro de Descarga del Ventilador [=] ft.

h: Altura de la Torre [=] ft.

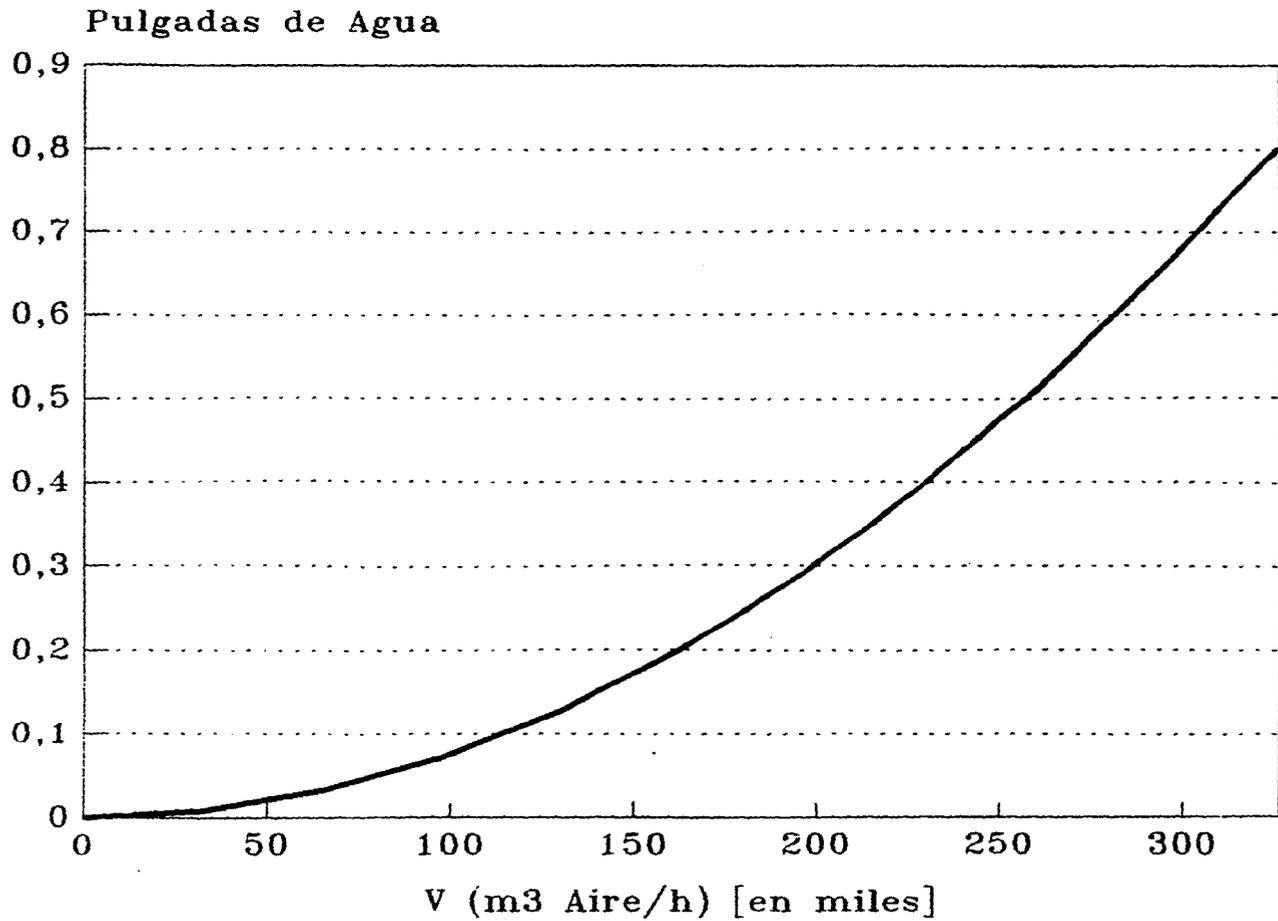


FIGURA 18. CAIDA DE PRESION EN FUNCION DEL FLUJO DE AIRE.

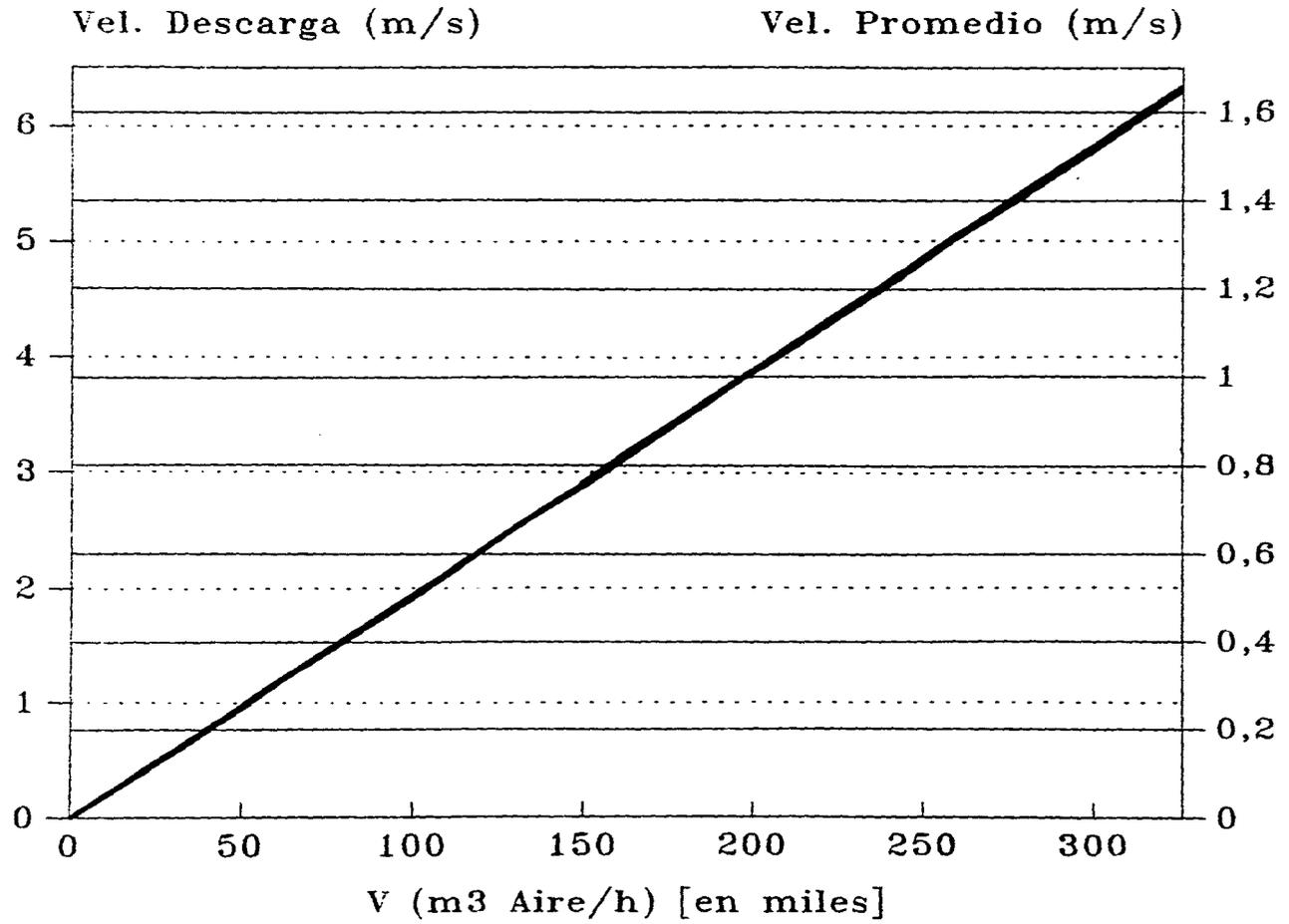


FIGURA 19. RELACION DE VELOCIDADES DEL AIRE EN FUNCION DEL FLUJO.

La disminución en el caudal manejado por el ventilador involucra la correspondiente en la Eficiencia Estática del mismo; esto puede analizarse por medio de la siguiente ecuación:

$$\eta_{est} = \frac{VOL DP}{6356 Pot} \quad [=] \text{ Adimensional.}$$

VOL: Flujo Volumétrico de Aire [=] ft³/min.

DP: Caída de Presión [=] in H₂O.

Pot: Potencia [=] HP.

El abatimiento de la eficiencia del ventilador (FIGURA 20) tendría un peso importante al momento de diseñar una torre, aunque en este caso, solo nos indica que el sistema instalado no se encuentra operando a su máxima capacidad.

Para lograr la modificación del caudal de aire, es necesario que se disminuya la velocidad del ventilador y, en forma concreta, la velocidad del motor. En las FIGURAS 21 y 22 se presenta la relación al respecto conforme lo presentado en la REF. 7.

Al momento de variar la velocidad al motor; considerando que fue construido para girar a ciertas revoluciones por minuto; manifiesta un abatimiento en su eficiencia, atravesando por la misma explicación que se dió con el ventilador. Este comportamiento lo reporta CEROKE (REF. 6) y se aprecia en la FIGURA 23.

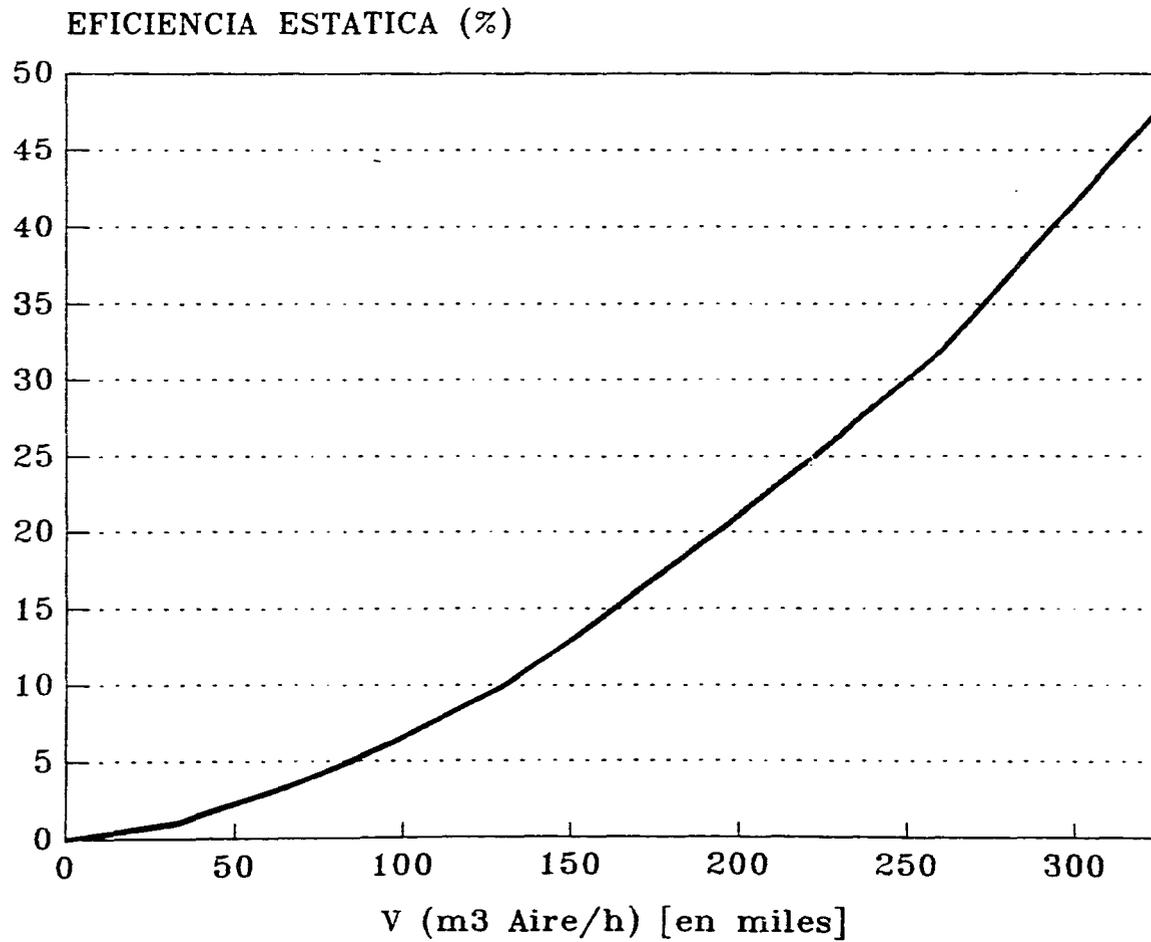


FIGURA 20. EFICIENCIA ESTÁTICA DEL VENTILADOR EN FUNCION DEL FLUJO DE AIRE.

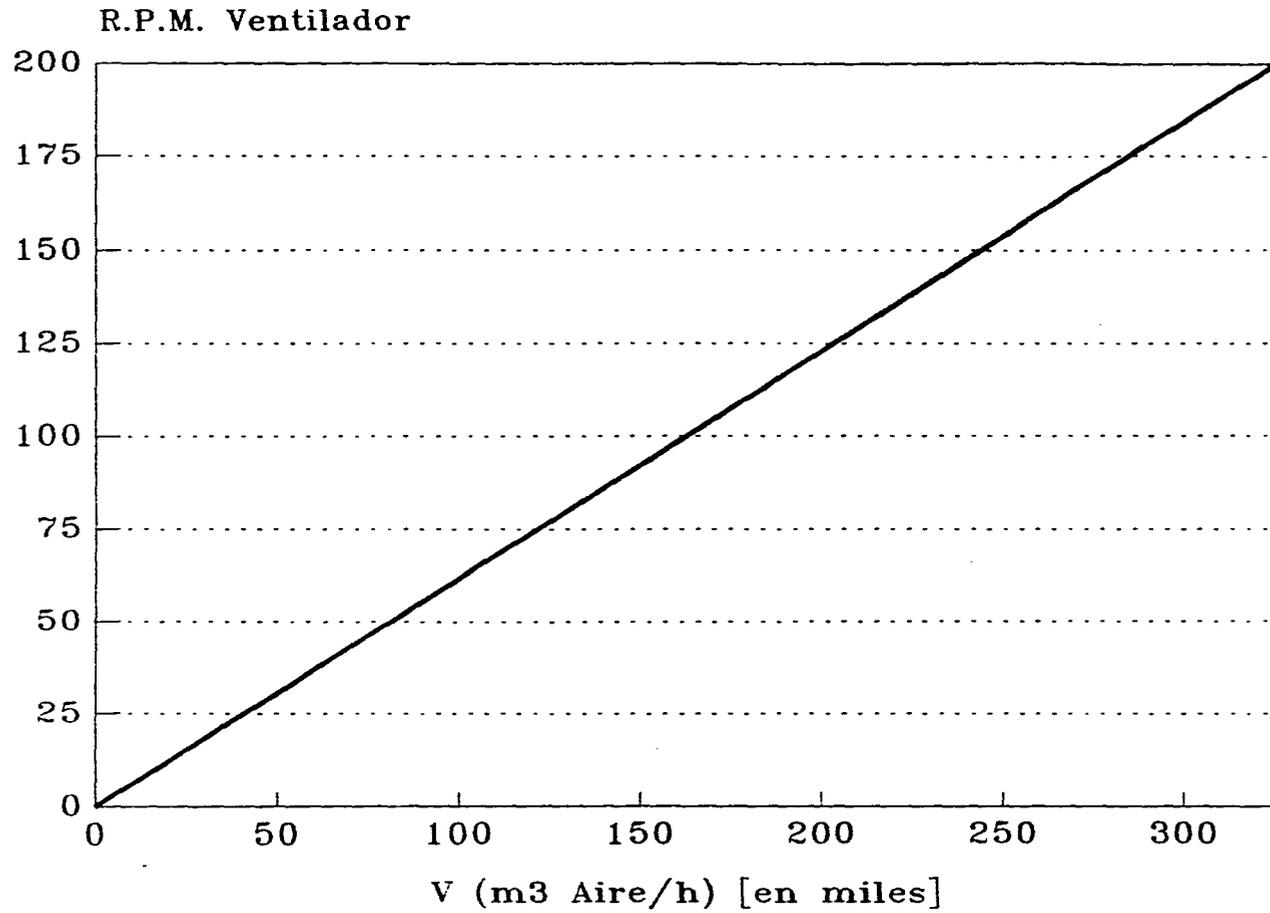


FIGURA 21. VELOCIDAD DEL VENTILADOR EN FUNCION DEL FLUJO DE AIRE.

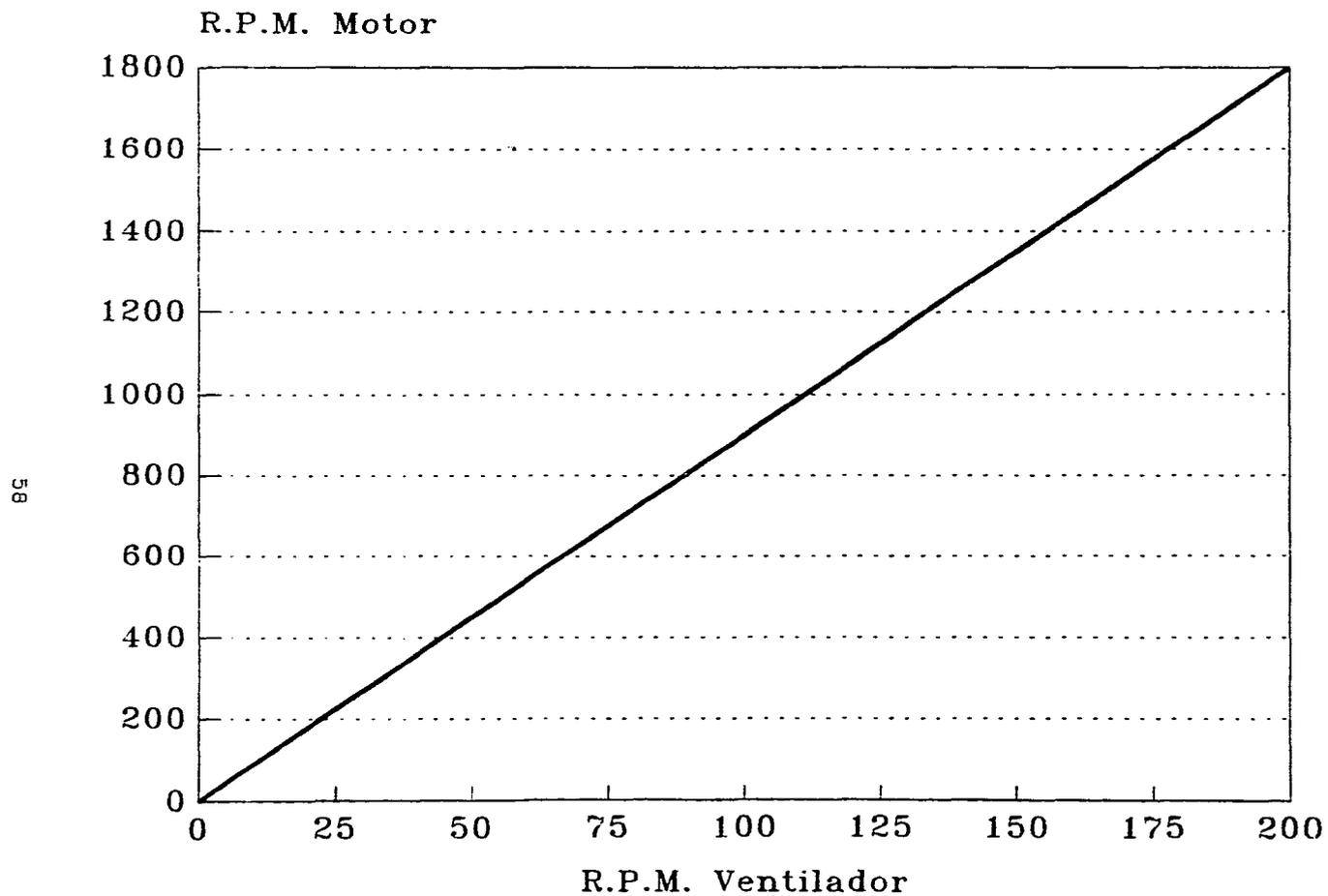


FIGURA 22. RELACION DE VELOCIDADES.

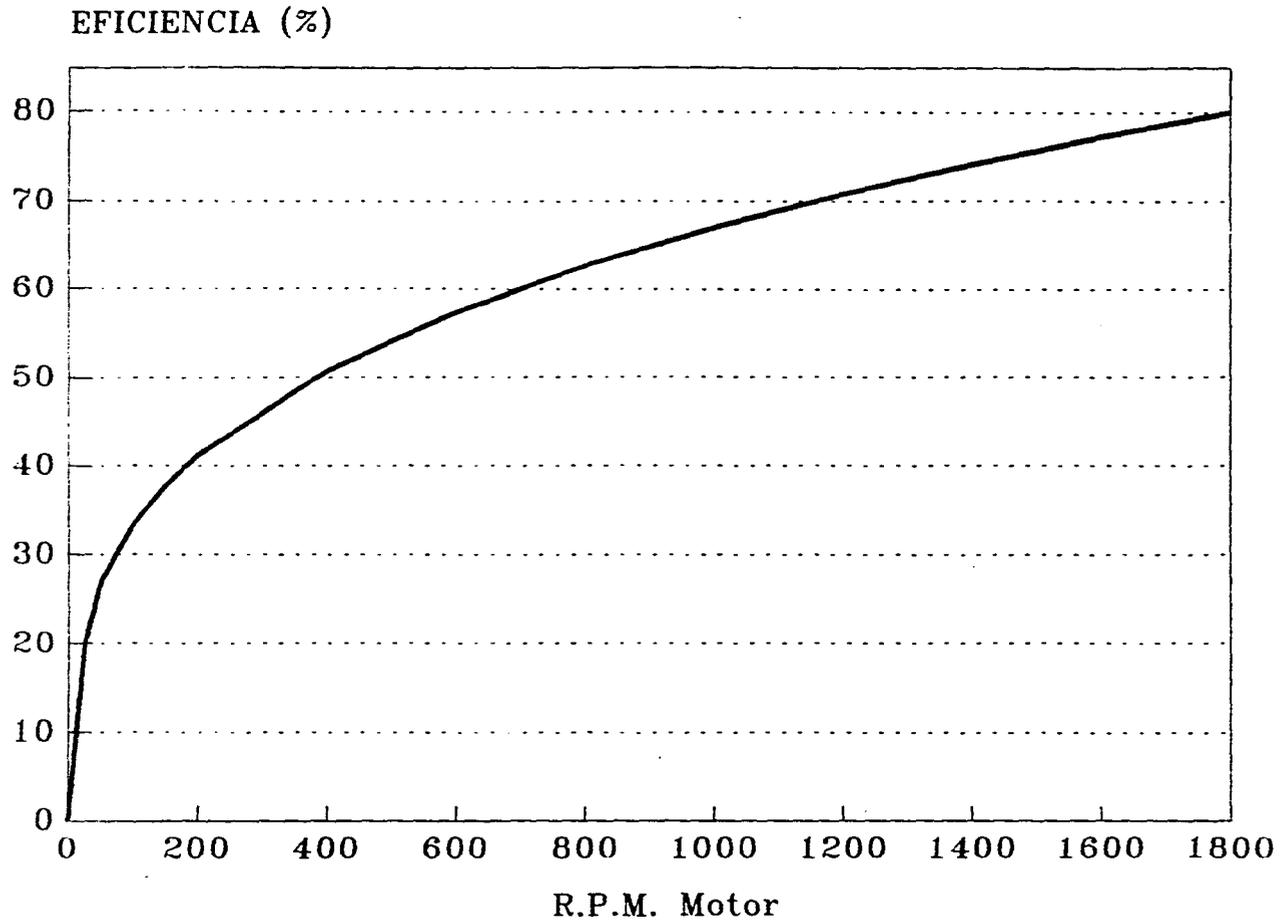


FIGURA 23. EFICIENCIA DEL MOTOR EN FUNCION DE SU VELOCIDAD.

Retomando el párrafo anterior, la velocidad del motor será graduada por medio de un controlador de frecuencia eléctrica, el cual se describirá en el Capítulo siguiente. Por medio de este sistema se evita la instalación de un motor de velocidad regulable o un equipo mecánico de reducción, cuya inversión es muy elevada o no cumple con un buen desempeño; respectivamente. La relación referente a este punto se puede observar en la FIGURA 24 conforme a lo citado en la REF. 7.

La variación de la frecuencia es en cierto modo la causante del ahorro de energía eléctrica, esto puede abstraerse por medio de la observación hecha a las FIGURAS 25 y 26 que contienen la relación presentada en la REF. 7, y el resultado del cálculo respectivo de la ecuación siguiente:

$$POTENCIA = \frac{\sqrt{3} I Vol FP EF_{motor}}{745.7} [=] BHP.$$

I: Corriente [=] Amperes.

Vol: Voltaje [=] Volts.

FP: Factor de Potencia [=] Adimensional.

EF_{motor}: Eficiencia [=] Adimensional.

El análisis realizado en este Capítulo dará la pauta para desarrollar el siguiente y será la base del resultado obtenido en el último de este trabajo.

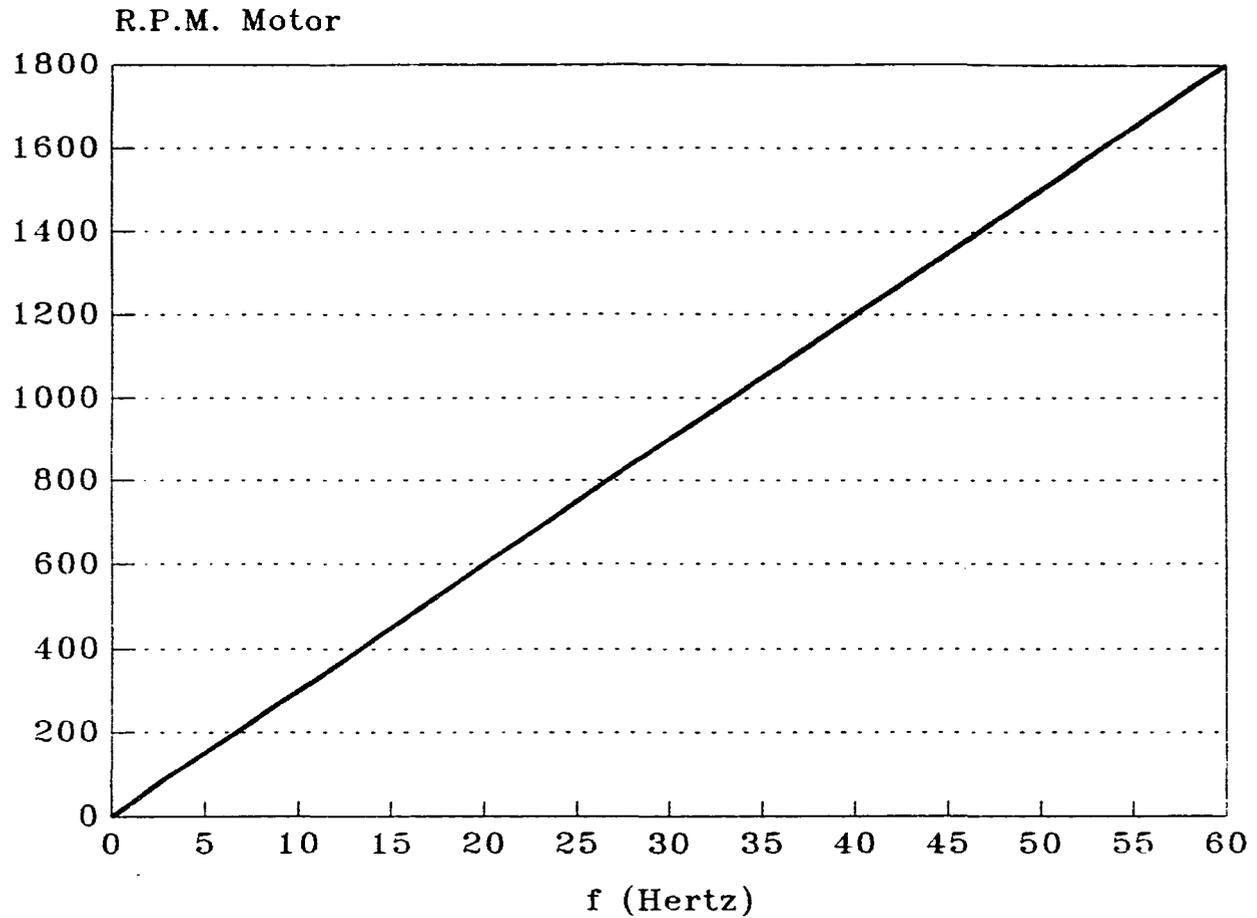


FIGURA 24. VELOCIDAD DEL MOTOR EN FUNCION DE LA FRECUENCIA ELECTRICA.

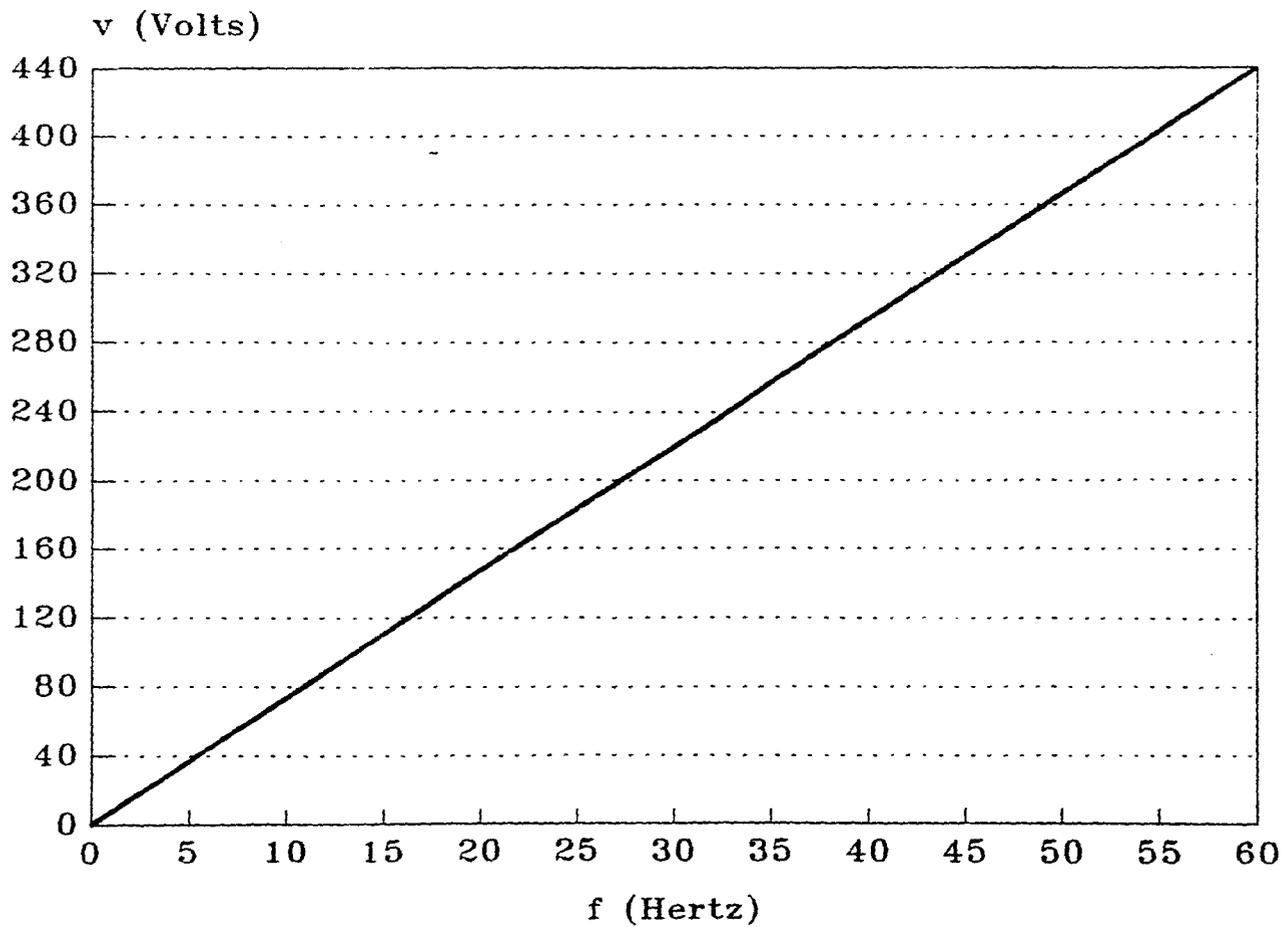


FIGURA 25. VOLTAJE EN FUNCION DE LA FRECUENCIA ELECTRICA.

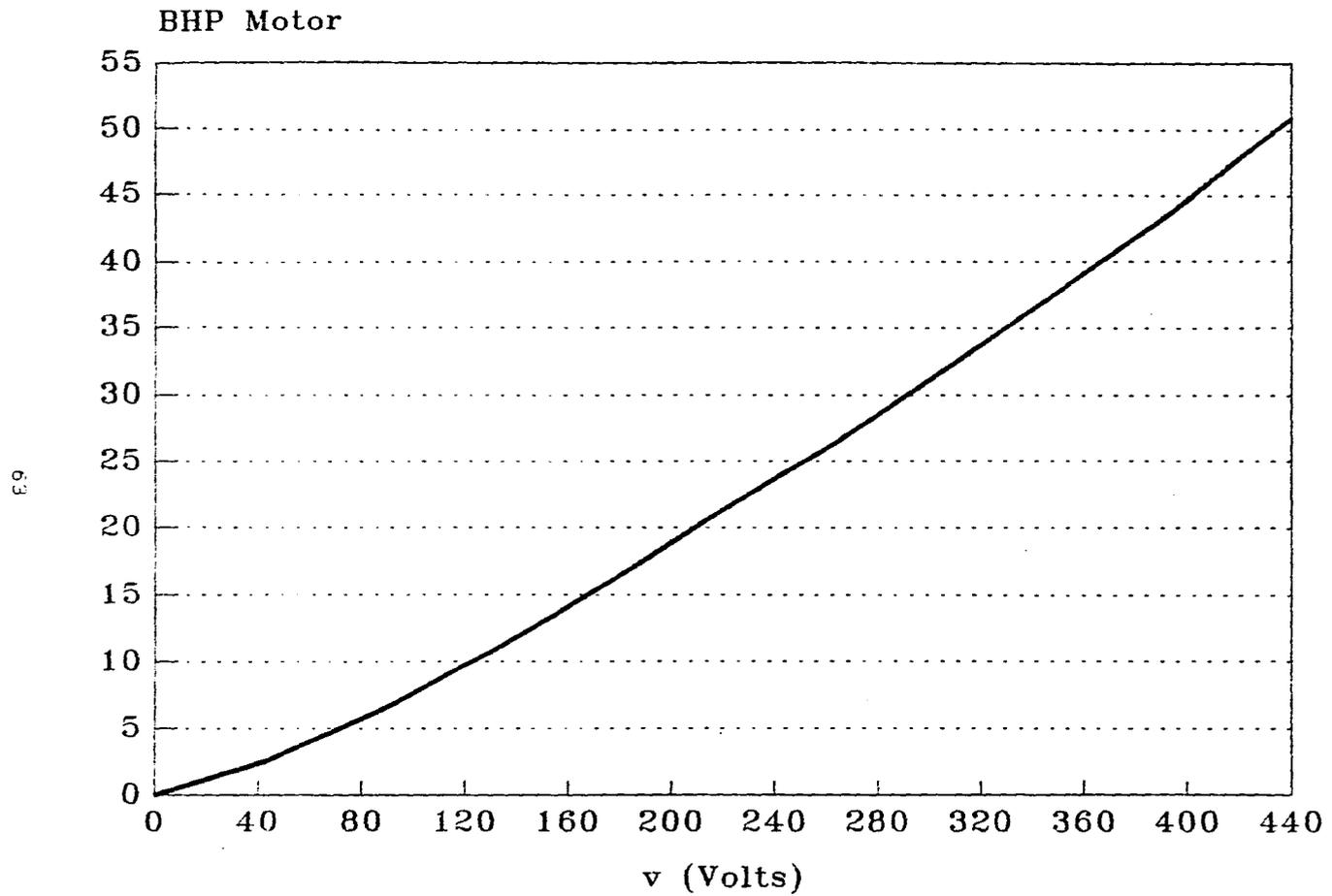


FIGURA 26. POTENCIA DEL MOTOR EN FUNCION DEL VOLTAJE APLICADO.

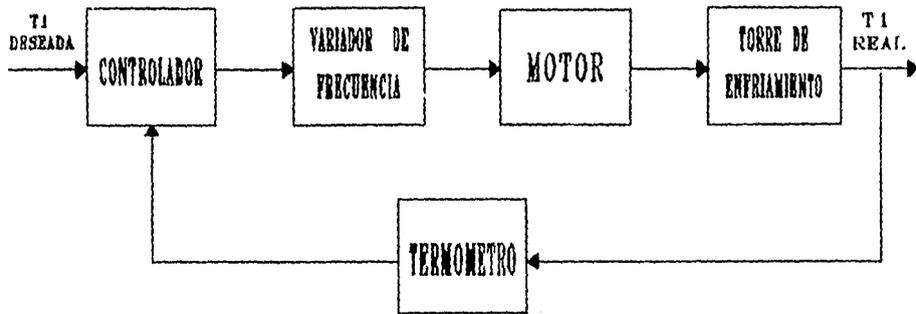
5. SELECCION DEL SISTEMA DE CONTROL NECESARIO PARA OPTIMIZAR LA OPERACION DE LA TORRE.

Una vez esbozada la problemática que presentan las torres de enfriamiento respecto a su operación, así como la posible manipulación del proceso para lograr un mejor desempeño del equipo, toca ahora hallar la forma de cumplir con los objetivos planteados, para lo cual, es necesario el diseño de un sistema de control automático.

La importancia de contar con un sistema de control es, en la actualidad, una necesidad palpable para las industrias, ya que con esta medida la calidad de los productos y la eficiencia de los procesos puede llegar a mejorarse notablemente.

Con la incorporación del equipo que regulará la velocidad del ventilador de la torre para que esta proporcione agua a temperatura constante con el menor consumo de electricidad posible, será necesario instalar un termómetro en la parte inferior de la misma para que detecte las variaciones del valor previamente establecido y se empiece a regular la frecuencia eléctrica hasta que la temperatura de suministro regrese a su estado original.

El sistema de control que permitiría conservar una temperatura de suministro constante; teniendo en cuenta las variaciones de humedad y temperatura del aire de entrada que la perturban; se muestra a continuación:



ILUST. 8. SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO.

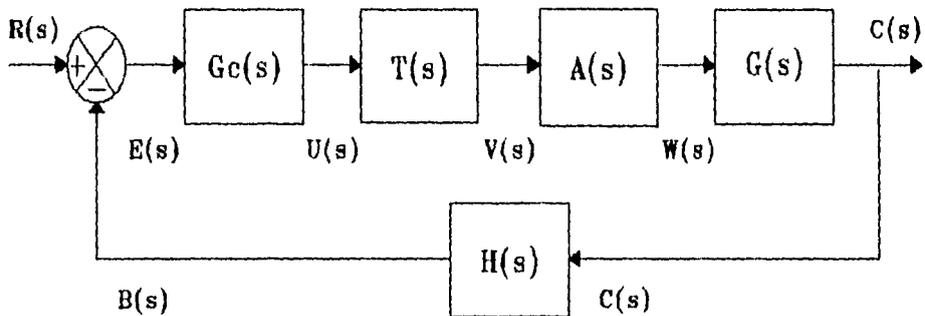
En este diagrama, T_1 real se considera como la Variable Controlada, la cual se registra por medio del termómetro, generando una señal que se alimenta al Controlador, cuya función es producir una salida que logre minimizar el Error actuante para que a través de la manipulación de la velocidad del motor del ventilador; en este caso; la Torre de Enfriamiento (Proceso) pueda proporcionar un agua con temperatura constante.

El controlador compara la señal enviada por el sensor de temperatura, con un valor (Punto de Ajuste) previamente establecido; que es aquella T_1 deseada; y cuya diferencia es el error presente.

El Motor (Actuador) proporciona indirectamente el flujo de aire (Variable Manipulada) necesario para que la T_1 no salga de su punto de ajuste. Esto se logra por medio de la señal que manda el controlador; aunque previamente debe pasar por un Variador de Frecuencia Eléctrica (Convertidor), ya que el motor no acepta directamente dicha señal.

Cada bloque del diagrama anterior, representa un componente del sistema de control, los cuales describen su comportamiento dinámico a través de Modelos Matemáticos que corresponden -generalmente- a un conjunto de ecuaciones diferenciales cuya resolución puede ser complicada.

Aplicando las Transformadas de Laplace a las ecuaciones mencionadas, el problema se reduce a manipular los términos en forma algebraica. Así pues, el esquema de control propuesto; considerándolo ya en el dominio de Laplace (s); toma la siguiente estructura:



ILUST. 9. SISTEMA DE CONTROL EN TERMINOS DE LAPLACE.

Las expresiones contenidas en los bloques se conocen como Funciones de Transferencia; que no es más que la relación entre la salida (función respuesta) y la entrada de alguno de estos (función excitación). Los términos sobre las flechas son las salidas o entradas de algún bloque, según su dirección y posición relativas.

Se definen entonces dichos términos como sigue:

FUNCIONES DE TRANSFERENCIA

$G_c(s)$: Controlador.

$T(s)$: Transductor.

$A(s)$: Actuador.

$G(s)$: Proceso.

$H(s)$: Sensor.

SALIDAS O ENTRADAS

$R(s)$: Referencia.

$E(s)$: Error Actuante.

$U(s)$: Controlador.

$V(s)$: Transductor.

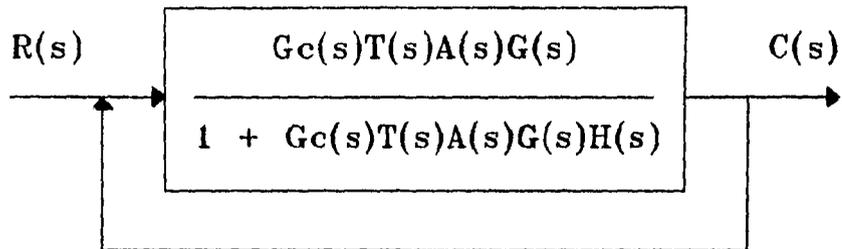
$W(s)$: Actuador.

$C(s)$: Proceso.

$B(s)$: Sensor.

El concepto enunciado se utiliza en la Teoría de Control Clásica; método que proporciona buenos resultados al aplicarse a procesos en los que su complejidad es relativamente pequeña. Dicha teoría toma en cuenta para su desarrollo, que las condiciones iniciales son cero y que se manejan ecuaciones diferenciales lineales invariantes en el tiempo (véase REF. 17).

Aplicando el álgebra de bloques, el sistema de control tomaría la configuración siguiente:



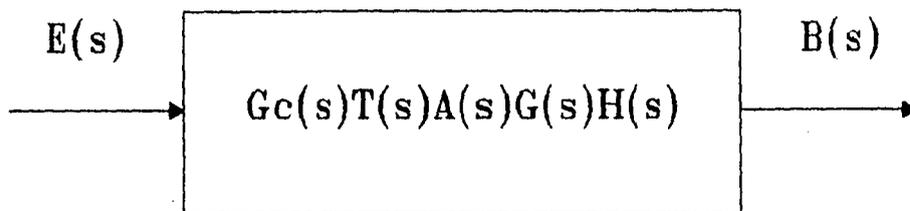
$$g(s) = \frac{G_c(s)T(s)A(s)G(s)}{1 + G_c(s)T(s)A(s)G(s)H(s)}$$

ILUST. 10. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO.

Este arreglo se conoce como de Lazo Cerrado o Retroalimentado, siendo recomendable por la precisión y confiabilidad que se llega a tener.

En el sistema de Lazo Abierto, la salida no tiene efecto sobre la acción del controlador, es decir, no se compara con la entrada de referencia, de tal manera que existe una condición de operación particular dependiendo de esta última.

Para ciertos análisis involucrados en el diseño de un sistema de control, se necesita trabajar con la función de Lazo Abierto; término que se ilustra a continuación:



$$g'(s) = G_c(s)T(s)A(s)G(s)H(s)$$

$$E(s) = R(s)$$

$$B(s) = C(s)$$

ILUST. 11. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO.

CUADRO 12. COMPARACION ENTRE LOS SISTEMAS DE CONTROL.

LAZO ABIERTO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Gran estabilidad - Poca inversión 	<ul style="list-style-type: none"> - Poca exactitud - Uso limitado
LAZO CERRADO	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Adaptación a perturbaciones - Flexibilidad y compatibilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Presenta oscilaciones - Requiere muchos elementos

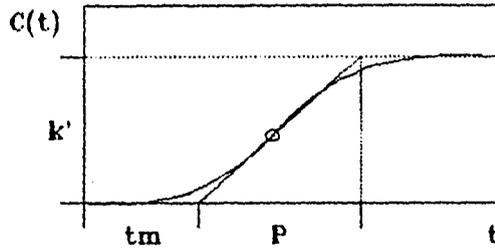
Sin lugar a dudas, $G(s)$ es la parte más importante del sistema de control debido a que es la descripción dinámica del mismo.

Rigurosamente, la base para obtener el modelo del proceso son los balances de materia y energía, que en este caso, estaría representada por la ecuación de la línea de operación para régimen no permanente, destacándose que intervienen dos entradas y dos salidas de proceso. Conjuntamente, la ecuación de diseño puede trabajarse para obtener una expresión detallada del modelo.

Algunos términos contenidos en las ecuaciones mencionadas, son funciones que dependen de factores típicamente experimentales, de tal forma que sin estos valores, el modelo no puede tener un carácter confiable para su aplicación en el sistema.

En general, puede establecerse que para resolver un problema nuevo, es deseable construir primero un modelo simplificado para tener una idea global de la solución, y posteriormente elaborar uno más complejo en caso de requerirse. El modelo deberá contemplar las características principales del proceso para así contar con un esquema que lo describa de manera correcta.

Al respecto, existe un método experimental para obtener una expresión que represente un comportamiento aceptable del proceso, siempre y cuando; ante una entrada de tipo escalón; genere una gráfica como la que a continuación se muestra:



ILUST. 12. COMPORTAMIENTO EXPERIMENTAL QUE DEBE PRESENTAR UN PROCESO ANTE UNA PERTURBACION DEL TIPO ESCALON, PARA DETERMINAR SU DINAMICA.

k': Ganancia del proceso.

tm: Tiempo muerto.

P: Constante.

Entonces, la función de transferencia del proceso puede establecerse como sigue:

$$G(s) = \frac{k'e^{-tm s}}{Ps+1}$$

Este sistema representa una dinámica de primer orden con retardo en transporte, modelo que habitualmente se presenta en procesos que involucran un elemento sensor de temperatura. Dicho esto, H(s) puede considerarse igual a la unidad; y para fines prácticos; T(s) y A(s) también.

El concepto denominado como Tiempo Muerto o Retardo en Transporte [$\exp(-tm s)$], debe su origen al hecho de que los componentes involucrados en el sistema de control no responden de manera inme-

diata. Si el t_m es pequeño en comparación a los valores registrados por el proceso en sí, el término de retardo en transporte se aproxima a la siguiente expresión:

$$e^{-tm s} = \frac{1}{tm s + 1}$$

Entonces, la función de transferencia del proceso podría ser:

$$G(s) = \frac{k'}{(Ps + 1)(tm s + 1)}$$

Una justificación para poder aplicar el modelo experimental recomendado, se presenta en la FIGURA 27; considerando que T2 llega a un valor constante promedio después de experimentar una variación periódica, y que t_{h1} (única perturbación teórica al proceso de enfriamiento) se conduce de igual forma, pudiéndose apreciar una gran relación o dependencia entre los cambios que sufre T2 con los respectivos de T1.

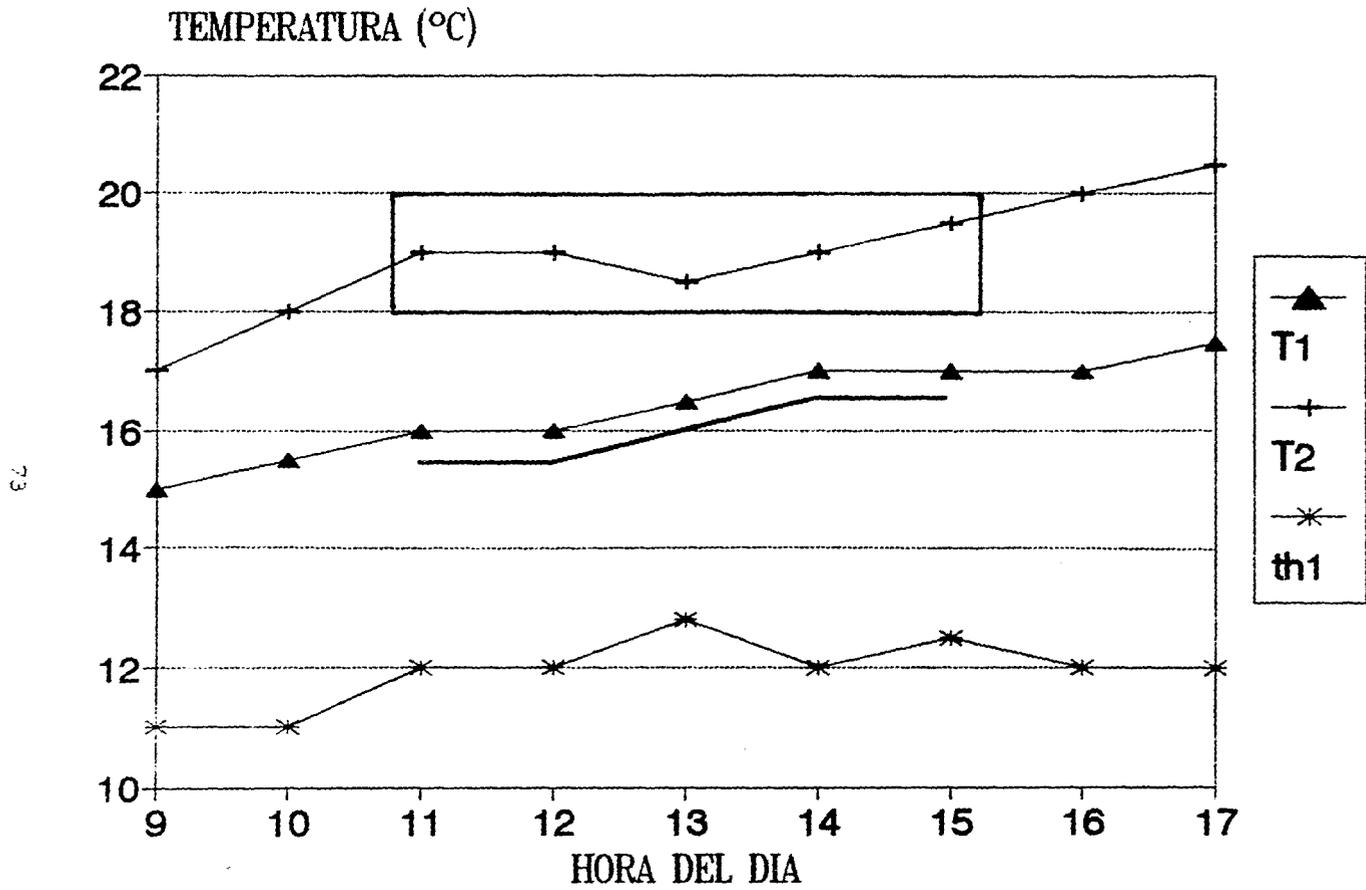


FIGURA 27. VARIACION DE TEMPERATURAS EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

De la figura pasada pueden obtenerse las siguientes aproximaciones:

$$P = 2.33 \text{ h.}$$

$$t_m = 0.33 \text{ h.}$$

$$t_e \text{ (tiempo de estabilización)} = 3 \text{ h.}$$

de tal modo que la función de transferencia del proceso muestra la expresión:

$$G(s) = \frac{1}{(2.33s+1)(0.33s+1)} = \frac{1.302}{(s+0.429)(s+3.034)} = \frac{k}{(s+a)(s+b)}$$

Toca el turno ahora a la función de transferencia del controlador, pero antes de definirla, es necesario exponer la siguiente introducción.

En la Industria se utilizan diferentes tipos de controladores, su uso depende de factores como grado de complejidad de la Planta o proceso, alcance mismo del sistema de control, adaptabilidad de las partes involucradas, espacio mínimo requerido para la instalación, costo del equipo, etcétera.

Entre los controladores industriales más utilizados, destacan los siguientes:

- | | |
|-----------------------|---------------------------|
| a) AUTO-OPERADOS. | d) DE BANDA PROPORCIONAL. |
| b) ENCENDIDO-APAGADO. | e) IMC. |
| c) DE TIEMPO. | f) DMC. |

a) AUTO-OPERADOS.- En la mayoría de los sistemas de control industriales se utilizan dispositivos independientes como elemento de medición y como actuador. Los controladores auto-operados poseen integrados ambos dispositivos, cuyo funcionamiento depende de la energía desarrollada por el elemento sensor, siendo equipos muy sencillos y económicos. Un ejemplo clásico de controlador auto-operado lo es una válvula de seguridad o alivio, la cual deja pasar fluido contenido, después de detectar un exceso o falta de presión dentro de algún recipiente.

b) ENCENDIDO-APAGADO.- En un sistema de dos posiciones (ON-OFF), el actuador puede sostener únicamente una de dos condiciones, siendo común el conectar o desconectar al proceso, para mantenerlo en un valor mínimo o máximo siempre. Un ejemplo típico de estos controladores lo encontramos en los sistemas caseros de bombeo, en donde un flotador conecta el motor y se mantiene así hasta que el nivel del agua llegue nuevamente al volumen inicial del tanque.

c) DE TIEMPO.- Los controladores de tiempo establecen ciertas condiciones en un proceso durante períodos regulares. Estos equipos son utilizados típicamente en sistemas de lazo abierto, por ejemplo, dentro de una lavadora automática durante el ciclo de limpieza.

d) DE BANDA PROPORCIONAL.- Estos generan una respuesta al error actuante hasta lograr minimizarlo, presentando una acción suave y continua que puede ser Proporcional (ganancia), Integral (restauración), Derivada (velocidad), o bien, combinaciones entre ambas. La primera aporta un múltiplo fijo del error medido, la segunda hace

que la salida del controlador cambie en tanto exista un error, y la tercera, permite agilizar la acción de control mediante una anticipación de lo que le sucederá al proceso.

Cabe destacar que los controladores antes mencionados son también los más utilizados por la industria, existiendo cuatro tipos básicos en el mercado: P, PI, PD y PID. A continuación se plasman algunos datos referentes a este apartado.

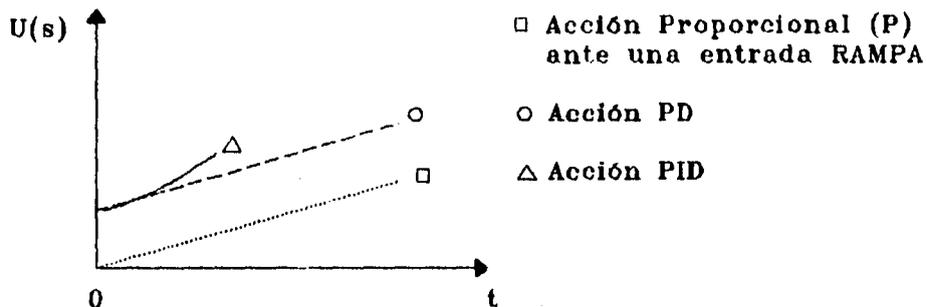
CUADRO 13. RELACIONES EN EL USO DE LOS CONTROLADORES COMERCIALES.

PROPORCIONAL	60%
PROPORCIONAL-INTEGRAL	20%
PROPORCIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVO	20%

CUADRO 14. TIPOS DE PROCESO VS. ACCIONES DE CONTROL.

PROCESO	GANANCIA	INTEGRAL	DERIVATIVA
Flujo. Líquido. Presión.	0.2-50 (500-2% PB)	Requerida	No
Gas a Presión.	20-Infinito (5-0% PB)	No	No
Nivel de Líquido.	2-20 (50-5% PB)	Ocasional	No
Temperatura.	1-10 (100-10% PB)	Si	Si

Cuadros 13 y 14 adaptados de Considine (REF. 6A).



ILUST. 13. RESPUESTAS DE LAS DISTINTAS ACCIONES DE CONTROL.

e) IMC.- El esquema Internal Model Control es un sistema predictivo el cual está estructurado como un modelo discreto de convolución, representado por procesos de respuesta de tipo impulso:

$$S(n) = \sum a_i e^{(n-i)} = A^T E(n)$$

a_i = Elemento del vector A

= Coeficientes de respuesta de impulso discretos.

E = Vector dependiente del tiempo.

S = Salida dependiente del tiempo.

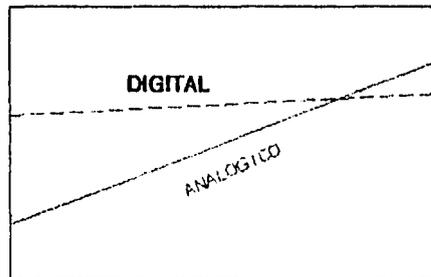
f) DMC.- El sistema Dynamic Matrix Control está basado en el concepto del espacio de estado, utilizando extensamente el análisis vectorial-matricial, y cuya estructura permite que el análisis y diseño sea realizado en el dominio del tiempo. Con estos elementos, es posible relacionar múltiples entradas y salidas de proceso, dinámicas complejas, así como manejar la variabilidad con el tiempo.

Algunos procesos que cuentan con este sistema de control son:

- Producción de PVC (Reactores).
- Fraccionadoras de Crudo.
- Reformación Catalítica.
- Plantas de Vapor.

Existe otro punto de discusión acerca de los controladores industriales: el uso de sistemas analógicos o digitales. Sobre el particular, se exponen a continuación testimonios con los cuales se deduce el sistema que deberá emplearse en la torre de enfriamiento.

Costo del equipo



Magnitud del trabajo

ILUST. 14. COMPARACION ENTRE LOS SISTEMAS DE CONTROL.

CUADRO 15. VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.

ANALOGICOS	DIGITALES
<ul style="list-style-type: none"> -> Menor costo para sistemas pequeños y mayor flexibilidad. -> Las técnicas empleadas son más familiares para el personal. -> Los procedimientos de búsqueda de falla son más conocidos. -> Los sistemas de computación se usan en paralelo (una falla de un componente no suspende la función de todo el sistema). -> Soporta el "ruido". -> Posee capacidad de interrelación con otros instrumentos. 	<ul style="list-style-type: none"> -> Menor costo en sistemas complejos y mayores. -> Técnicas usadas son familiares para Ingenieros de Proceso. -> Se dispone de mayor precisión de computación. -> Se puede llegar a la optimización integral. -> Almacenamiento de datos libres de demora. -> Menor costo por expansión.

Tomado de Perry (REF. 18).

Una vez analizada la información anterior, resulta claro que el controlador PID puede funcionar satisfactoriamente para el sistema que se pretende diseñar, y cuya función de transferencia característica se representa así:

$$G_C(s) = \frac{K_p(1+xT_i s)(1+T_d s)}{(1+T_i s)(1+yT_d s)}$$

K_p-Ganancia proporcional.

T_i-Tiempo integral

T_d-Tiempo derivativo.

donde x y y son aproximadamente iguales a 0.1.

En general, para procesos de primer orden: como el que se planteó inicialmente para G(s); los parámetros o constantes del

ESTA TESIS HA SIDO
SALIDA DE LA BIBLIOTECA

controlador suelen obtenerse por medio de las igualdades que a continuación aparecen (véase REF. 18):

$$K_p = P / (k' t_m)$$

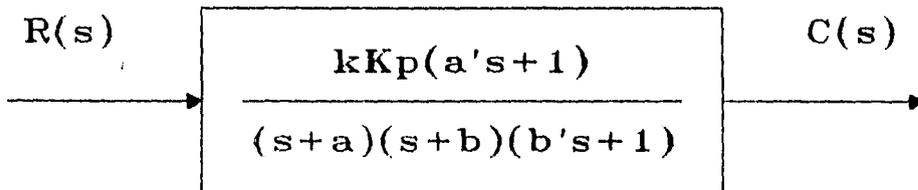
$$T_i = P$$

$$T_d = 0$$

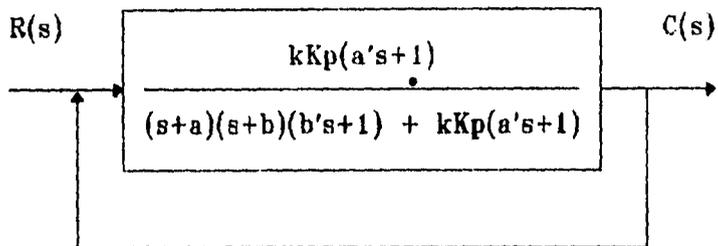
quedando la función de transferencia de la siguiente forma:

$$G_C(s) = \frac{K_p(0.1T_i s + 1)}{(1 + T_i s)} = \frac{7.06(1 + 0.233s)}{(1 + 2.33s)} = \frac{K_p(a's + 1)}{(b's + 1)}$$

Ordenando las funciones obtenidas para los sistemas de Lazo Abierto y Lazo Cerrado, se tiene:

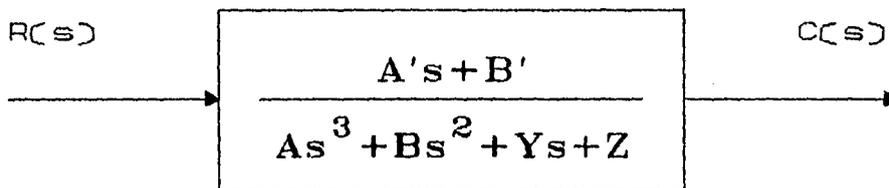


ILUST. 15. LAZO ABIERTO DE CONTROL (SUSTITUCION DE FUNCIONES).

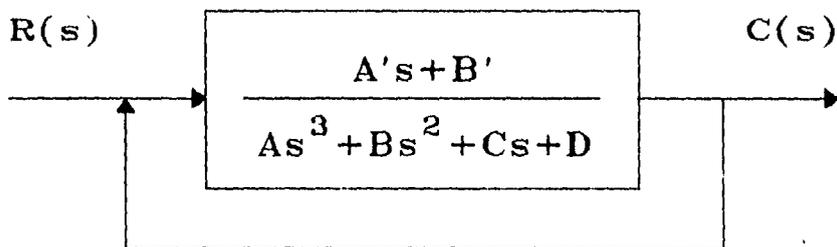


ILUST. 16. LAZO CERRADO DE CONTROL (SUSTITUCION DE FUNCIONES).

Reacomodando los términos para poseer esquemas simplificados, se presentan las siguientes equivalencias:



ILUST. 17. LAZO ABIERTO DE CONTROL (REACOMODO DE TERMINOS).



ILUST. 18. LAZO CERRADO DE CONTROL (REACOMODO DE TERMINOS).

En cualquier sistema físico de control hay una falla inherente en respuesta a determinados tipos de entrada, esta se conoce como el Error en Estado Estacionario (Ess), el cual depende de la estructura del Lazo Abierto como se aprecia a continuación:

$$Ess = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s R(s)}{1 + g'(s)} = \lim_{s \rightarrow 0} s E(s) = \frac{1}{1 + Kss}$$

$$Kss = \lim_{s \rightarrow 0} g'(s)$$

El Ess; ante una entrada escalón unitario; que presenta el sistema de control diseñado es del 15.56%. Este error puede disminuirse si se aumenta el término de ganancia (Kp), valor que depende de la estabilidad relativa de la $g'(s)$.

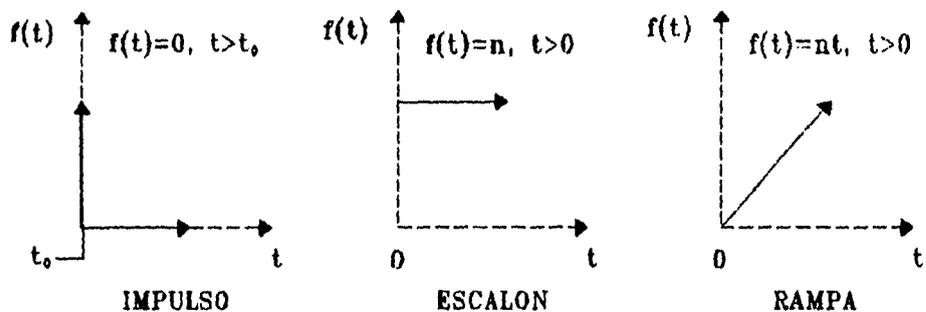
Incrementando un 50% el valor original de Kp, Ess se reduce al 8.6%, obteniéndose todavía estabilidad en el sistema. Las FIGURAS 28 a 30 muestran el resultado del Análisis de Respuesta Transitoria para tal incremento. Dicho procedimiento se explica brevemente en los párrafos subsecuentes.

Cuando se multiplica una función de transferencia por una señal de entrada $\{R(s)\}$, se genera la respuesta de salida $\{C(s)\}$. Naturalmente, lo que interesa del sistema, es darse cuenta del posible comportamiento que tendría la salida en función del tiempo $\{C(t)\}$. Para ello, se requiere hacer la transformación inversa de Laplace;

procedimiento que permite regresar la ecuación al espacio del tiempo.

En la realidad, la perturbación de entrada al sistema no se puede conocer con anticipación, así que para el análisis, se escogen funciones que servirán como prueba; las cuales dependen de las formas habituales a las que el modelo estará sometido en condiciones normales de operación.

Las entradas más comunes que se presentan en los procesos son la función impulso (δ), el escalón ($1/s$) y la rampa ($1/s^2$); otorgándoles el carácter de unitarias ($n=1$) al momento de aplicarlas.



ILUST. 19. TIPOS DE PERTURBACION PRESENTES EN EL SISTEMA DE CONTROL.

Los valores finales para los esquemas mostrados en las ILUSTRACIONES 17 y 18 son:

$$A' = 1.38$$

$$C = 3.80$$

$$B' = 5.92$$

$$D = 6.48$$

$$A = 1.00$$

$$Y = 2.42$$

$$B = 3.03$$

$$Z = 0.56$$

RESPUESTA DE SALIDA DEL SISTEMA

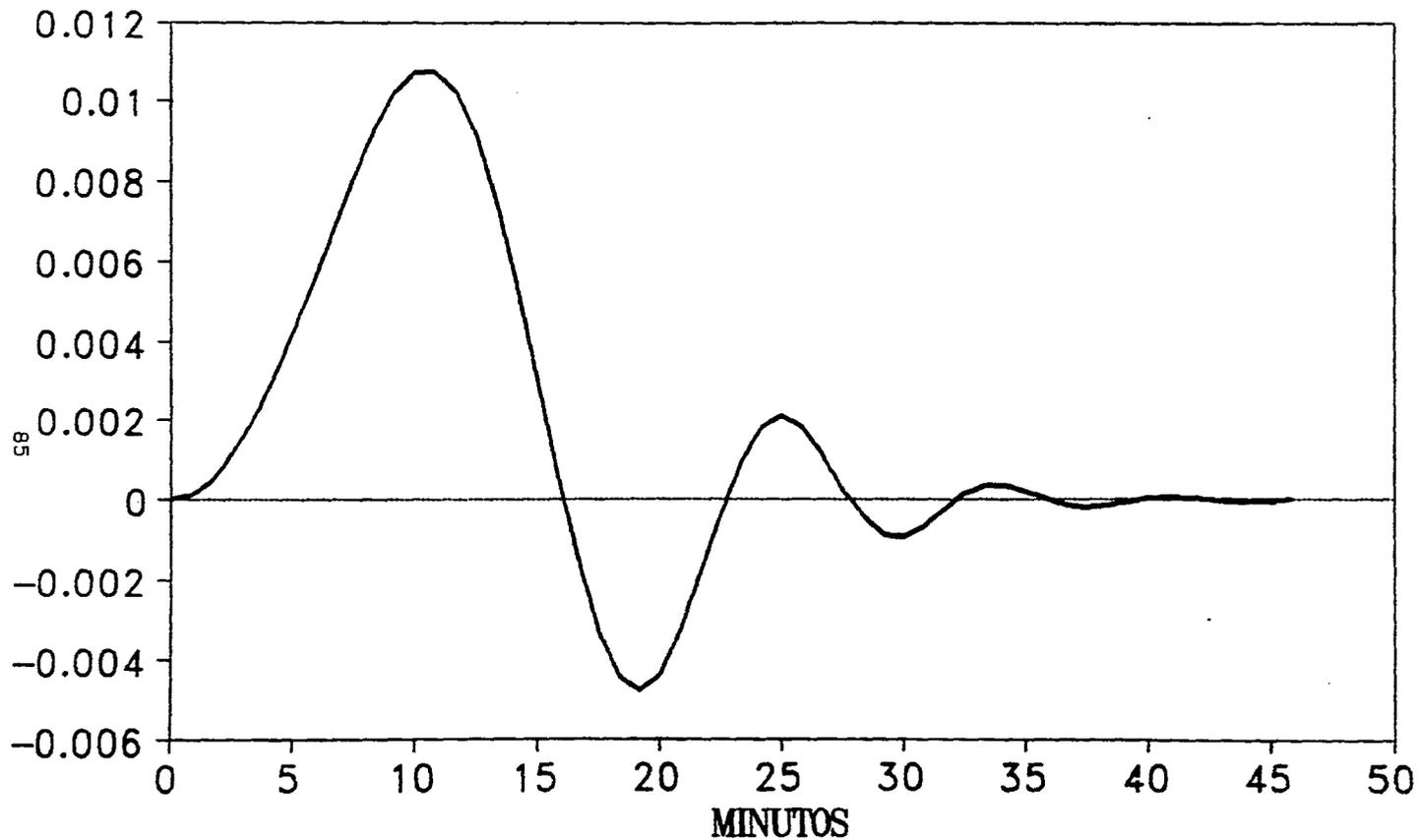


FIGURA 28. RESPUESTA TRANSITORIA DE $g(s)$ ANTE UNA ENTRADA IMPULSO UNITARIO.

RESPUESTA DE SALIDA DEL SISTEMA

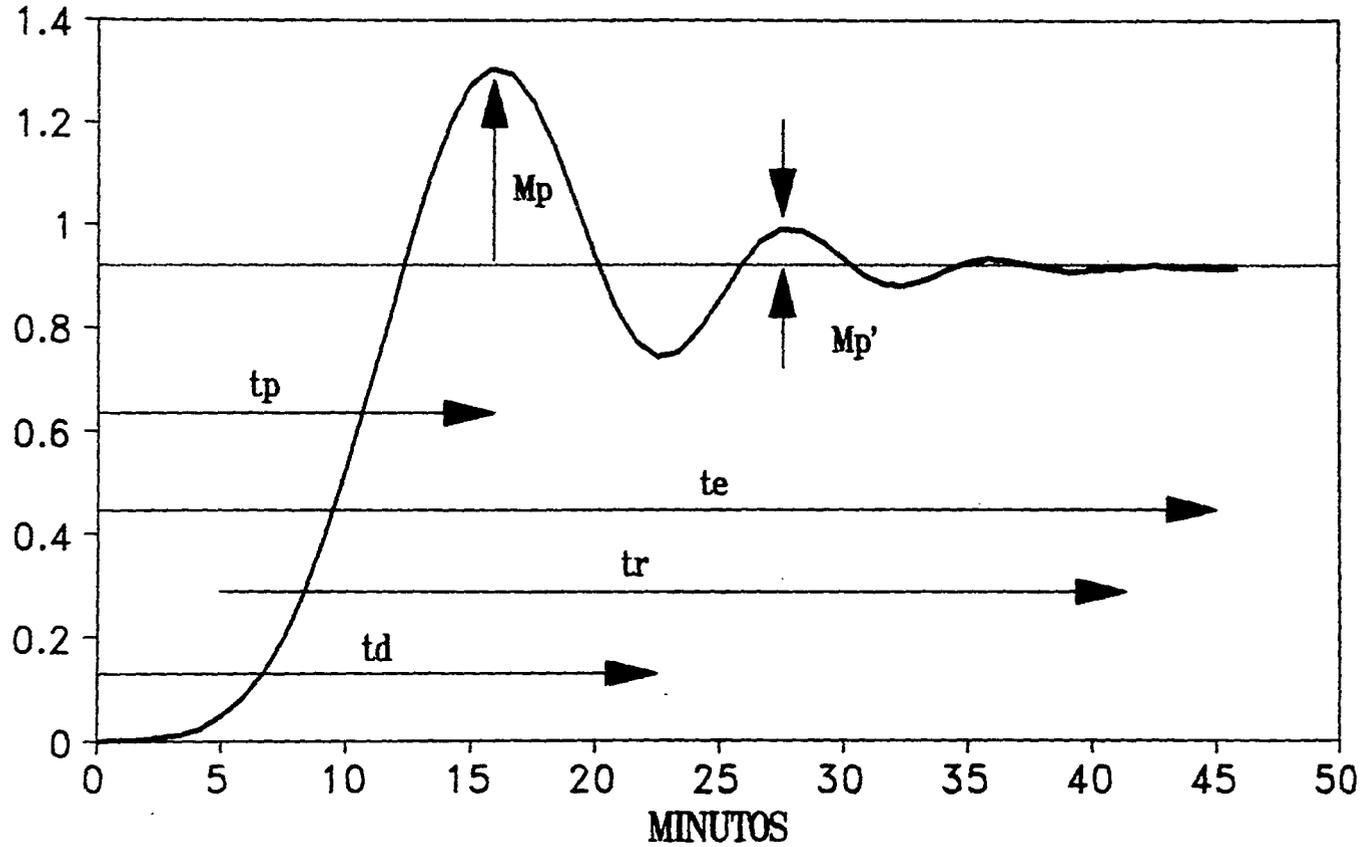
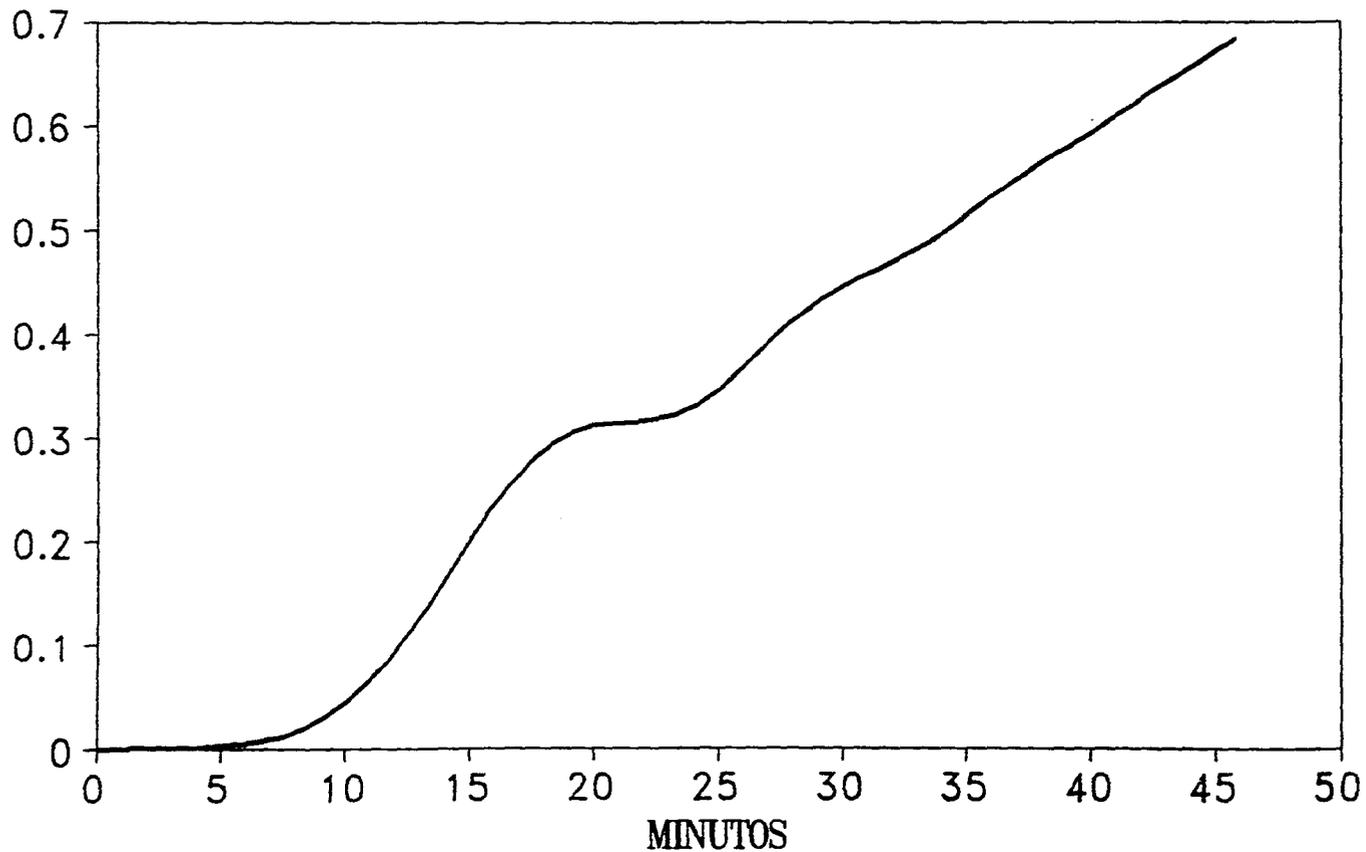


FIGURA 29. RESPUESTA TRANSITORIA DE $g(s)$ ANTE UNA ENTRADA ESCALON UNITARIO.

RESPUESTA DE SALIDA DEL SISTEMA



97

FIGURA 30. RESPUESTA TRANSITORIA DE $g(s)$ ANTE UNA ENTRADA RAMPA UNITARIA.

La respuesta transitoria que se obtuvo del ajuste al error en estado estacionario, se acompaña también por algunos términos característicos, como son:

Tiempo de Retardo (t_d).- Tiempo que tarda la respuesta en alcanzar la mitad del valor final por primera vez.

Tiempo de Crecimiento (t_r).- Tiempo requerido para que la respuesta aumente del 10% al 90%, de 5 al 95% o del 0 al 100% de su valor final (según el comportamiento que presente el sistema).

Tiempo Pico (t_p).- Tiempo en el que se presenta el primer pico de sobreimpulso.

Sobreimpulso Máximo Porcentual (M_p).- Es el valor del pico máximo de la curva de respuesta; teniendo como base la magnitud de estabilización; expresado en porcentaje. En los sistemas de control se recomienda tener un M_p del 25%; y en el caso de un segundo pico; su valor deberá acercarse al 10% del M_p .

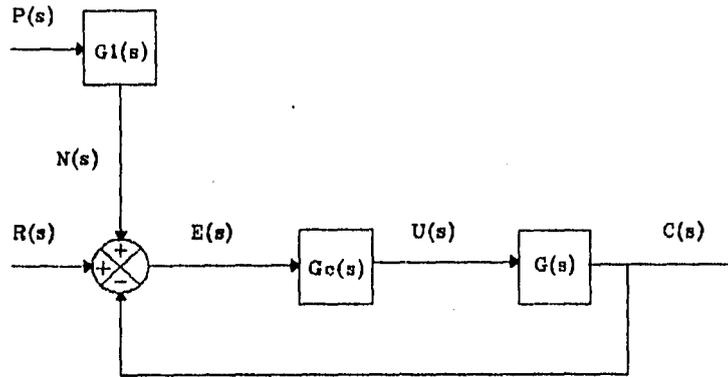
Tiempo de Establecimiento (t_e).- Es el que la curva de respuesta requiere para alcanzar y mantener un rango alrededor del valor final. La oscilación recomendada fluctúa entre el 2 y el 5% del valor final.

Como se apreció en figuras y párrafos anteriores, la torre estudiada presenta una serie de variaciones importantes en su temperatura de retorno que repercuten de igual forma en la temperatura del agua enfriada. El sistema de control diseñado, no absorbe esas variaciones de manera satisfactoria.

Con objeto de mejorar el desempeño del sistema, si en un proceso las perturbaciones son medibles, el control prealimentado o anticipatorio es un método útil para cancelar sus efectos en la salida del mismo; esto se logra al compensar dichas perturbaciones aproximadamente antes que se materialicen, ya que en un control de retroalimentación, la acción correctiva comienza cuando la salida ha sido afectada.

Este tipo de sistema es una alternativa adecuada para procesos en los que el tiempo muerto juega un papel importante en las acciones de control, siendo el caso de los sistemas térmicos; debido a la dinámica lenta del equilibrio.

El control prealimentado (ILUSTRACION 20) puede minimizar el error transitorio, pero como es un control de lazo abierto, hay limitaciones en su exactitud funcional. Por eso, el uso del control prealimentado es conveniente solo cuando existe uno de retroalimentación que compense las imperfecciones en el funcionamiento de este y provea correcciones para las perturbaciones no medibles.



ILUST. 20. SISTEMA DE CONTROL PREALIMENTADO.

Para tal efecto, es requerida una sintonización (o ajuste) en campo, ya que el controlador que se pretende instalar, no permite una segunda entrada de carácter independiente, sino que establece una relación proporcional entre esta y la salida; proporción que se ajusta al controlador en forma de ganancia. Así pues, como la dinámica final del sistema ha sido ya descrita, el comportamiento independiente de la prealimentación es básicamente la del sistema pero con una ganancia mayor. Sin embargo, la respuesta global o en conjunto se mejora notablemente; esta se puede observar en las FIGURAS 31 a 33. Cabe mencionar que como la ganancia es determinada por ajuste en campo, para fines ilustrativos se le asignó el valor de uno.

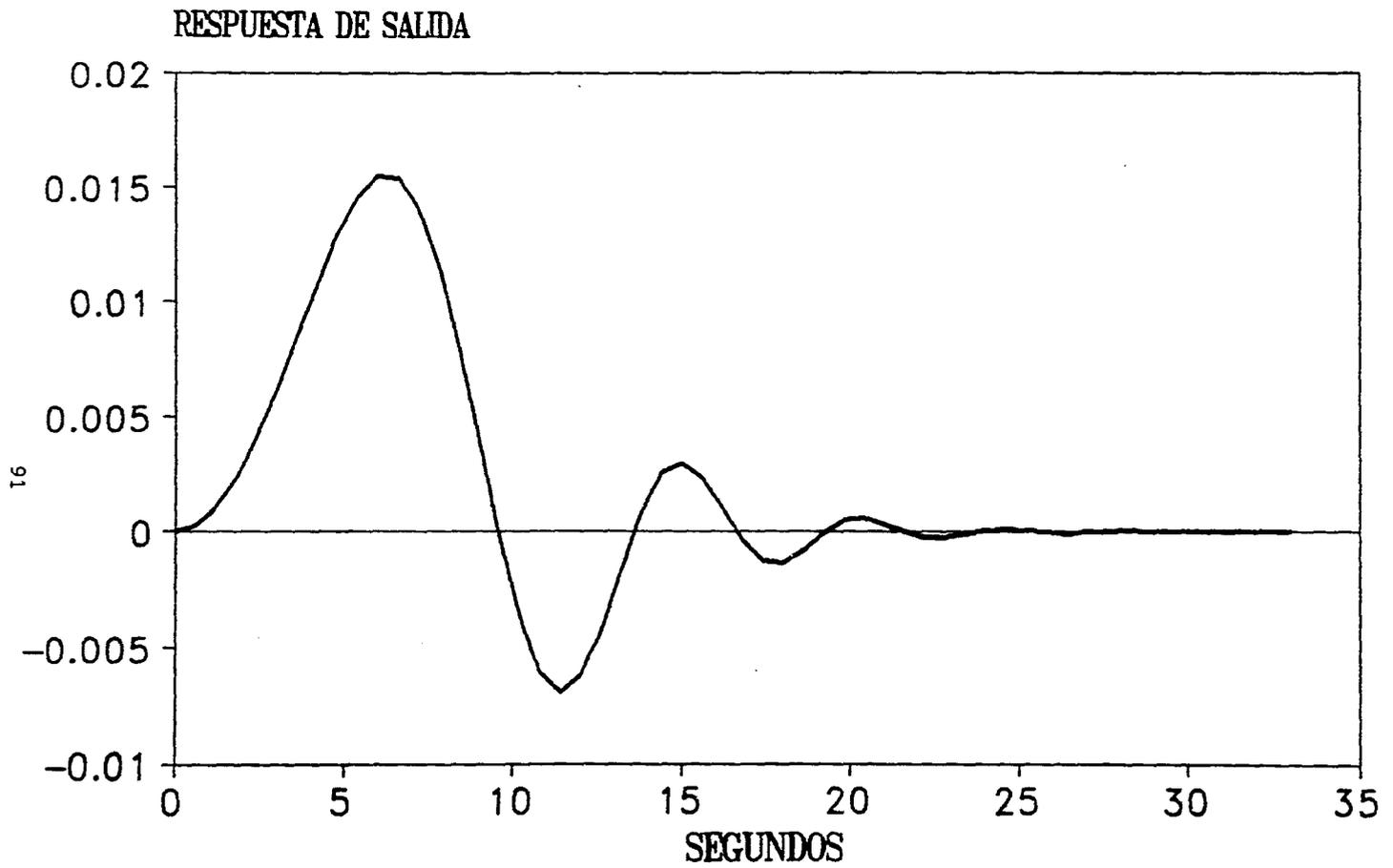


FIGURA 31. RESPUESTA DEL CONTROL PREALIMENTADO ANTE UN IMPULSO UNITARIO.

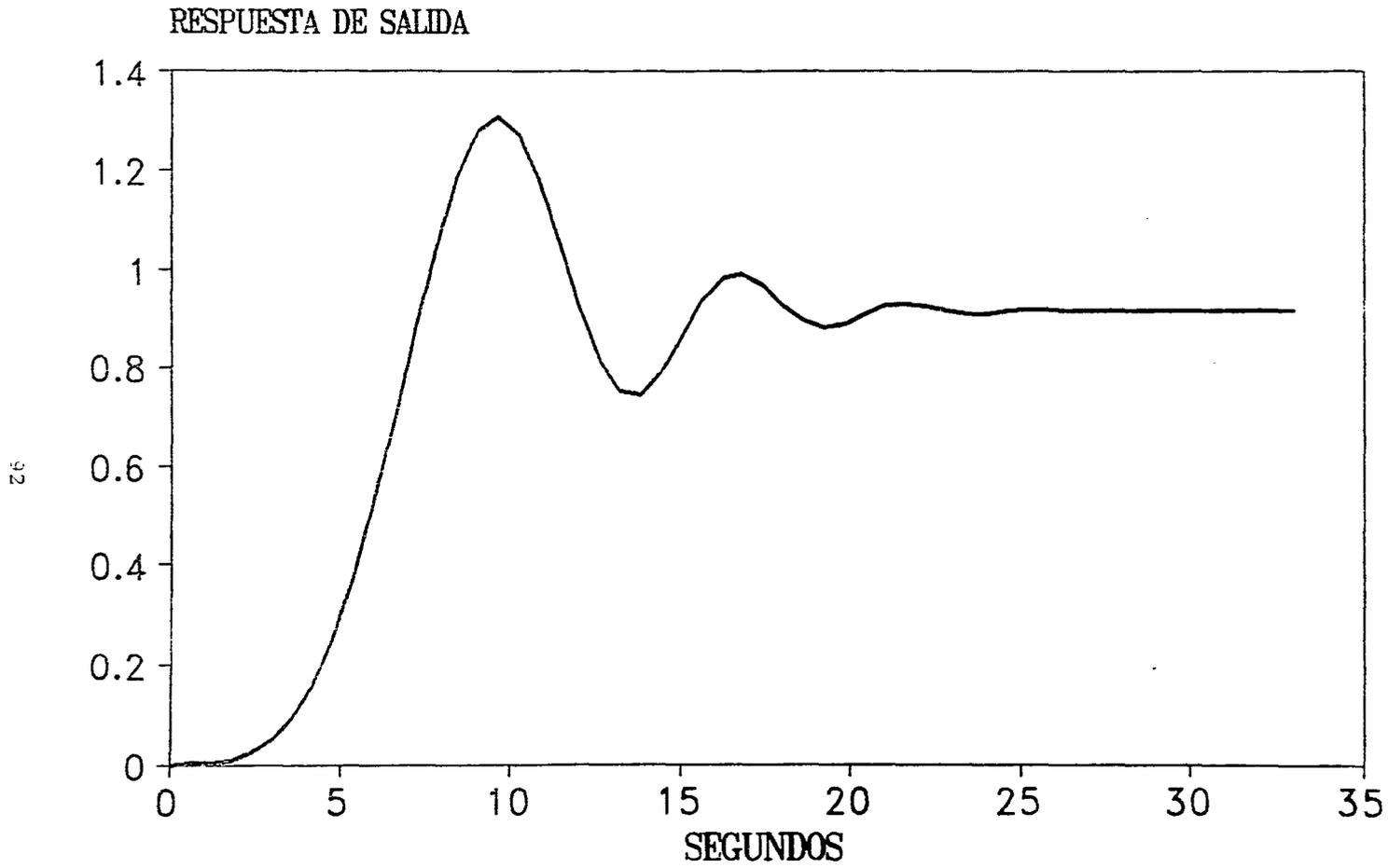


FIGURA 32. RESPUESTA DEL CONTROL PREALIMENTADO ANTE UN ESCALON UNITARIO.

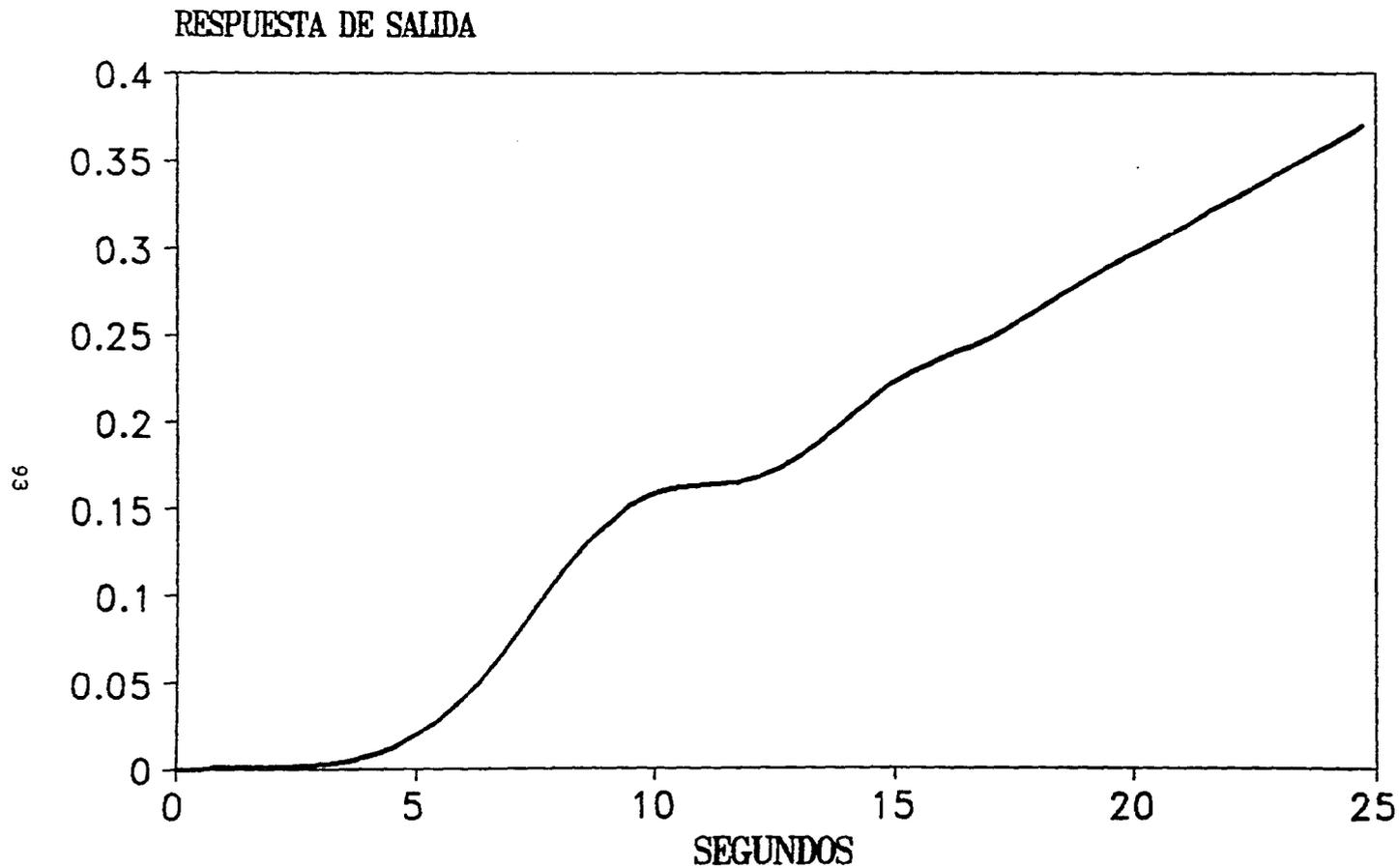
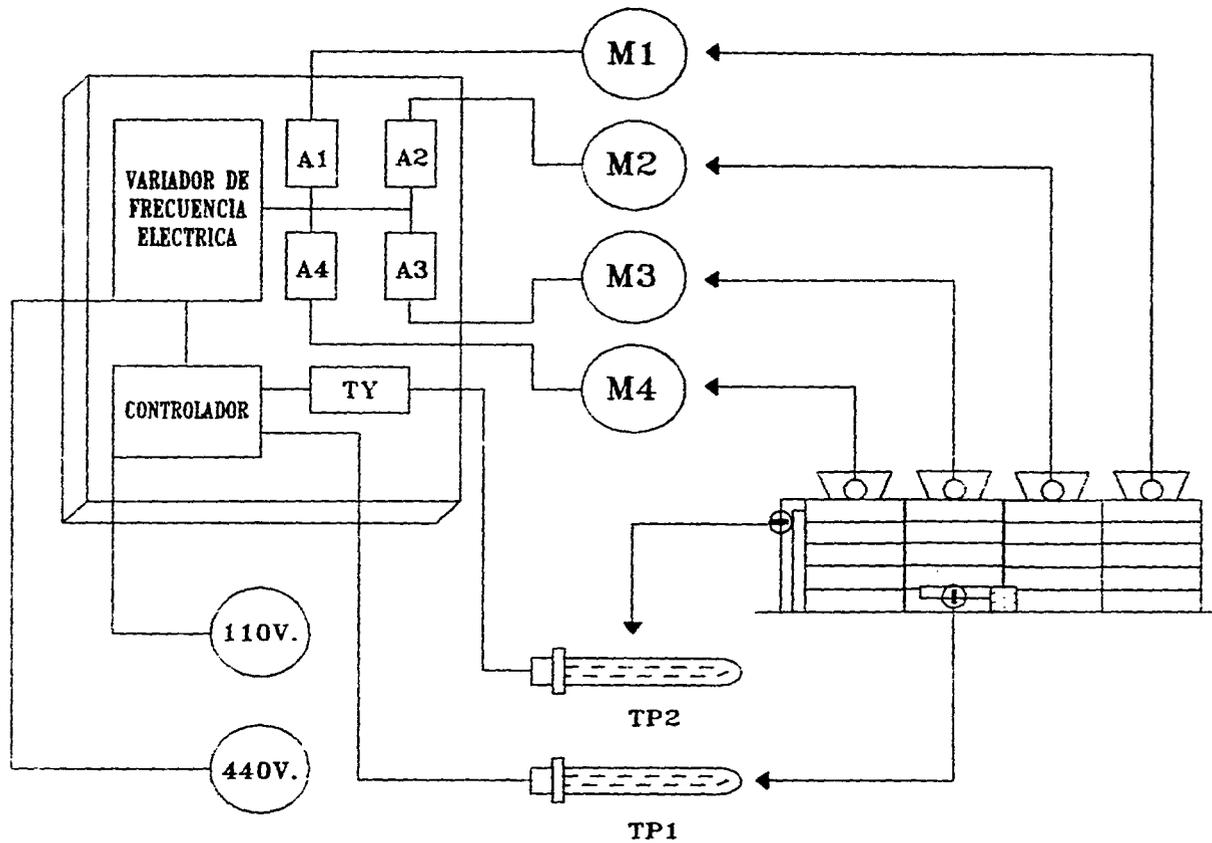


FIGURA 33. RESPUESTA DEL CONTROL PREALIMENTADO ANTE UNA RAMPA UNITARIA.



M: MOTOR, A: ARRANCADOR, TY: TRANSDUCTOR, TP: TERMOPOZO

FIGURA 34. ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONTROL DISEÑADO PARA LA TORRE.

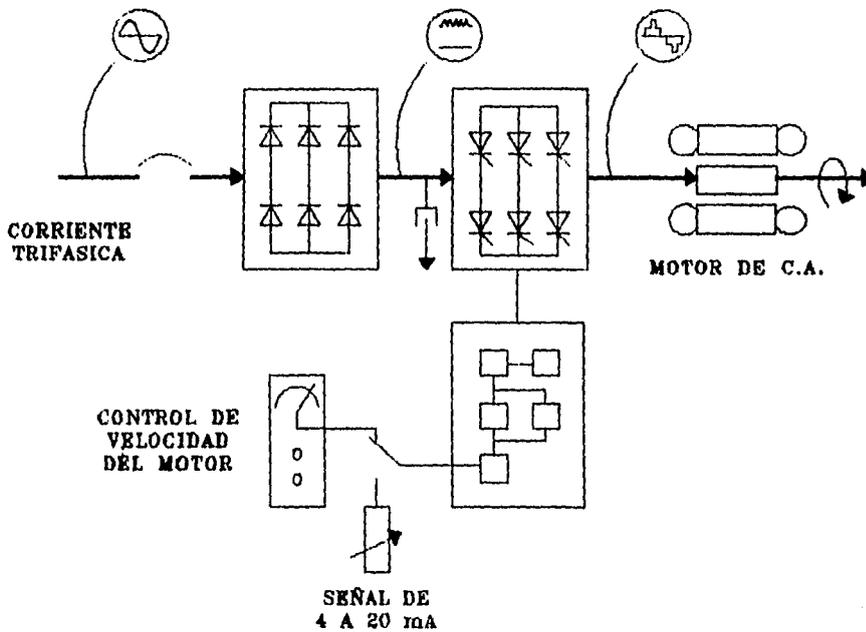
Para concluir con este Capítulo, se mencionarán brevemente algunas características de los componentes considerados para formar parte del sistema de control.

Medidor de Temperatura.- Conforme al intervalo de temperaturas que se manifiesta en la torre, se recomendó el uso de un RTD (Resistance Temperature Detector). Este elemento proporciona registros precisos, además, presenta una mayor capacidad física en comparación con un termopar (medidor habitual). El RTD basa su funcionamiento en la Ley de Ohm, la cual establece que la resistencia de un conductor metálico es proporcional a la temperatura del mismo. Así pues, existen bulbos de 2, 3 y 4 hilos, lo que determina el uso de diferentes sistemas eléctricos para medir la resistencia.

Controlador de Temperatura.- Actualmente, las compañías que fabrican controladores industriales incorporan a sus equipos una serie de elementos que les confieren gran adaptabilidad para las condiciones establecidas por el comprador (valores de ajuste, tipo de sensor, interfaces, robustez).

Por citar un ejemplo, un controlador de temperatura HONEYWELL, tiene la opción para conectarle alguno de los más comunes instrumentos de medición, permite desplegar la temperatura registrada ya sea en °F o °C, puede transmitir y recibir información hacia o desde un sistema de computo, sustenta diferentes acciones de control, posee una amplia gama de valores para la sintonización, así como un dispositivo que permite alojar en su memoria el último registro medido en caso de que se presente un corte en el suministro de energía.

Variador de Frecuencia Eléctrica.- Este equipo permite que la señal emanada del controlador (4 a 20 mA) se transforme en una salida de tipo eléctrica para alimentarla a los motores que accionan los ventiladores de la torre. El Convertidor; comúnmente llamado DRIVE; debe su funcionamiento a un esquema como el que se muestra enseguida:



ILUST. 21. DIAGRAMA PARA VARIAR LA FRECUENCIA ELECTRICA.

La compañía ABB fabrica aparatos de accionamiento en Corriente Alterna (Variadores de Frecuencia) que cuentan con una gran cantidad de funciones, las cuales le otorgan una excelente versatilidad.

Para más detalles acerca de algunos de los elementos descritos en los párrafos pasados, véase el ANEXO a este documento.

Cabe señalar que las partes constituyentes del sistema de control analizado, representan el porcentaje mayor del costo total de la posible adquisición y puesta en marcha; las conexiones entre ellos, así como algunos accesorios y equipos adicionales, no se contemplaron debido a que son términos variables que dependen mucho de las indicaciones hechas por expertos dedicados al control de procesos y de las decisiones que tome la empresa.

En el siguiente Capítulo, se llevará a cabo una simulación de las condiciones que se presentarían en el proceso con la finalidad de realizar un análisis económico que justifique (aunque de manera somera) la instalación de un sistema de control para las torres de enfriamiento.

6. COMPARACION ENTRE EL SISTEMA CONVENCIONAL DE ENFRIAMIENTO DE LA TORRE Y EL PROPUESTO.

Puesto que el beneficio del proceso es por lo común la ventaja más importante que se busca al aplicar el control automático, la calidad del control y su costo se deben comparar con los beneficios económicos esperados y los objetivos técnicos del proceso. Los beneficios económicos incluyen la reducción de los costos de operación, mantenimiento y el producto fuera de especificaciones, junto con el mejoramiento de la funcionabilidad del proceso y una mayor producción. Dicho análisis se presentará en este Capítulo tomando como premisa el contenido de los siguientes incisos:

1) La variación de temperaturas que servirá como base para el cálculo en cuestión, se tomó de los datos contenidos en los CUADROS 3 y 9; temperaturas que toman un carácter constante para cada hora y día de un mes en particular.

2) Extendiendo el punto anterior, se considera que una temperatura se conserva durante toda una hora.

Es evidente que los enunciados de los incisos 1 y 2 no representan el comportamiento real que se presentaría en la torre, aunque generan un resultado bastante aproximado y confiable puesto que se manejan valores promediados.

3) Se toma en cuenta el agua que se pierde por evaporación en base a la t_{h2} teórica y a la supuesta condición de saturación de vapor de agua en el aire de salida ($t_2 = t_{h2}$).

4) El costo del agua de reposición se compara con aquel que se tiene por tratar aguas residuales, puesto que dicha agua proviene de

una planta de tratamiento. Cabe añadir a este costo, el correspondiente por tratamiento aplicado al agua antes de incorporarla al proceso, que puede considerarse como el mismo por concepto de reposición (N\$ 1.10/m³ en total).

5) El agua mencionada en el inciso 3 para el sistema convencional de enfriamiento, se basa en el intervalo anual que se maneja normalmente para el equipo. Los valores resultantes fueron aportados por la sección de Servicios Auxiliares de la Planta, y se distribuyen de la siguiente forma:

- 3000 m³/mes para los meses más fríos del año (NOV a ENE).
- 5000 m³/mes para los meses más cálidos del año (MAY a JUL).
- 4000 m³/mes para los demás meses del año.

Cabe señalar que las cantidades anteriores no se deben exclusivamente a pérdidas por evaporación. también se pierde agua por pequeñas fugas, por purgas y por arrastre del viento. Estas pérdidas adquieren los siguientes porcentajes nominales:

Evaporación	42%
Arrastre por viento	14%
Purgas	40%
Posibles fugas	4%

6) El costo de la energía eléctrica se tomó de Julio de 1995 (N\$ 0.32/kWh).

7) Si el gasto de aire requerido para el enfriamiento del agua provoca una velocidad de descarga de magnitud inferior a la mínima reportada en el CUADRO 8; referente a la velocidad de los vientos; dicho gasto se ajustará a este valor.

8) A menos que se especifique otra cosa, los resultados se refieren a una sola de las cuatro celdas que conforman la torre.

9) El costo total del sistema de control (CT), se estimó mediante porcentajes recomendados (véase REF. 18); teniendo como base los costos de los elementos descritos en el Capítulo 5:

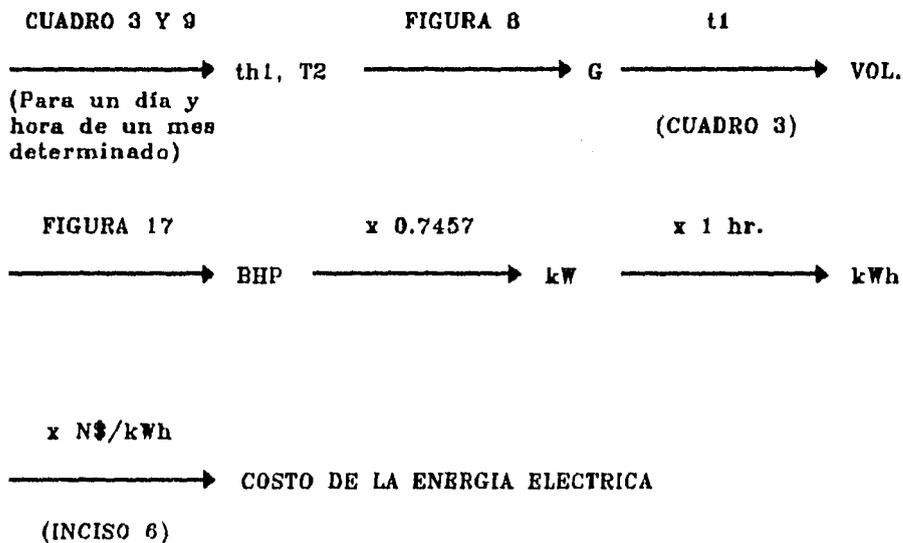
a) Costo del RTD (incluye termopozo):	N\$ 770.00
b) Costo del Controlador:	N\$ 5,330.00
c) Costo del Variador de Frecuencia:	N\$ 161,100.00
d) Costo de Conexiones, Accesorios y Equipos Auxiliares (4% del CT):	N\$ 6,900.00
e) Costo de Instalación (incluye posibles obras y la sintonización del sistema) (6% del CT):	N\$ 11,750.00

* $2a + b + c$ representa el 90% del Costo Total.

NOTA: Los precios corresponden a Julio de 1995.

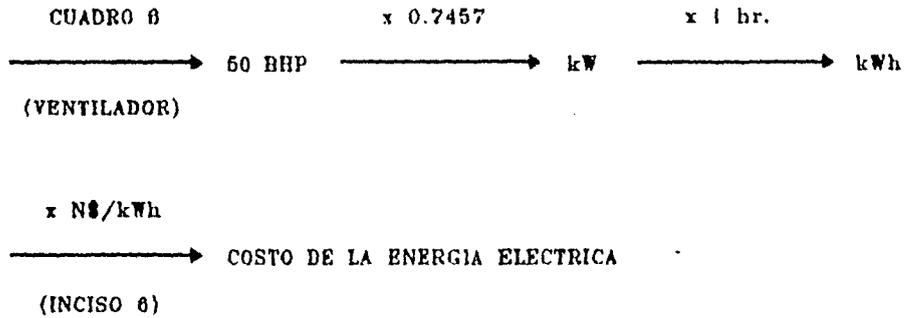
A continuación se muestran diagramas que ilustran la metodología usada para el cálculo de los costos de operación de la torre de enfriamiento.

SISTEMA CONTROLADO



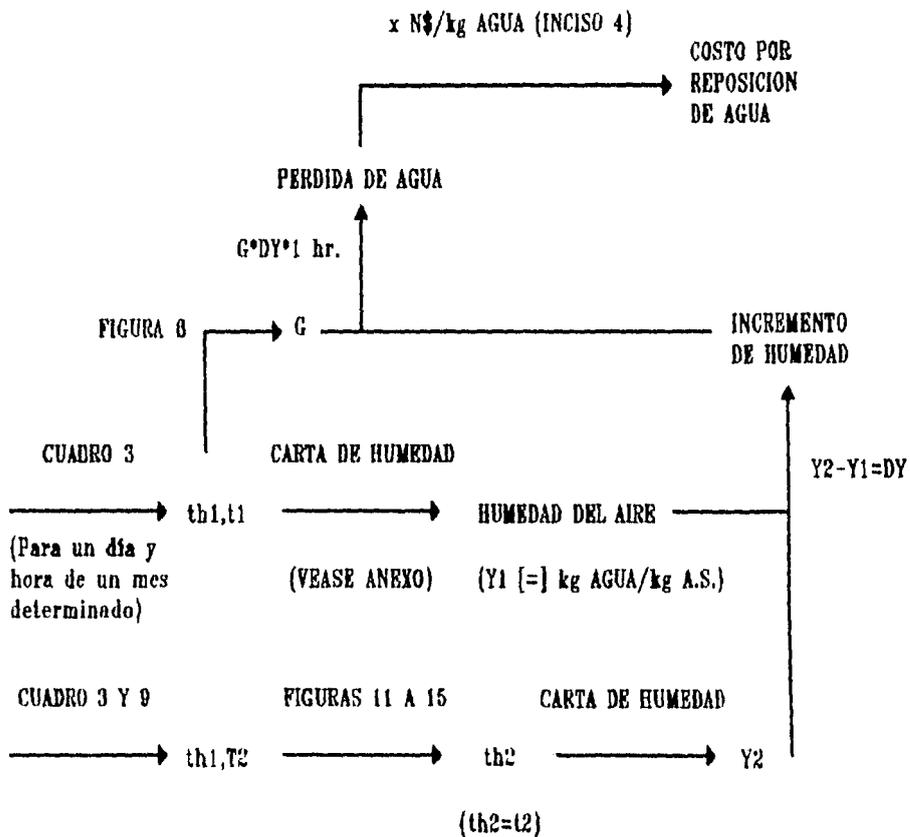
ILUST. 22. ALGORITMO PARA CALCULAR EL COSTO DE ENERGIA ELECTRICA.

SISTEMA CONVENCIONAL



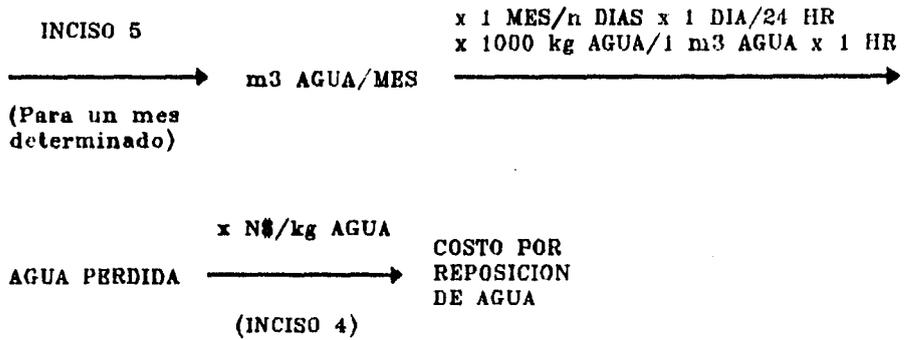
ILUST. 23. ALGORITMO PARA CALCULAR EL COSTO DE ENERGIA ELECTRICA.

SISTEMA CONTROLADO



ILUST. 24. ALGORITMO PARA CALCULAR EL COSTO DE REPOSICION DE AGUA.

SISTEMA CONVENCIONAL



ILUST. 25. ALGORITMO PARA CALCULAR EL COSTO DE REPOSICION DE AGUA.

CUADRO 16. COSTO DE OPERACION PARA UNA CELDA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO DURANTE UN AÑO (N\$) [ESTIMACION].

MES	ENERO		FEBRERO		MARZO	
SISTEMA	NORMAL	CONTROL	NORMAL	CONTROL	NORMAL	CONTROL
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	8876.8	3452.9	8017.7	3459.7	8876.8	4531.3
REPOSICION DE AGUA	1289.0	642.9	1552.3	821.1	1718.6	1119.0
TOTAL	10165.8	4095.8	9570.0	4280.8	10595.4	5650.3
MES	ABRIL		MAYO		JUNIO	
SISTEMA	NORMAL	CONTROL	NORMAL	CONTROL	NORMAL	CONTROL
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	8590.4	5141.4	8876.8	6551.5	8590.4	7259.9
REPOSICION DE AGUA	1663.2	1472.8	2148.3	1706.5	2079.0	1920.5
TOTAL	10253.6	6614.2	11025.1	8258.0	10669.4	9180.4
MES	JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE	
SISTEMA	NORMAL	CONTROL	NORMAL	CONTROL	NORMAL	CONTROL
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	8876.8	7493.6	8876.8	6871.3	8590.4	6586.6
REPOSICION DE AGUA	2148.3	1825.6	1718.6	1561.1	1663.2	1192.8
TOTAL	11025.1	9319.2	10595.4	8432.4	10253.6	7779.4
MES	OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
SISTEMA	NORMAL	CONTROL	NORMAL	CONTROL	NORMAL	CONTROL
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	8876.8	5189.0	8590.4	4206.7	8876.8	3082.6
REPOSICION DE AGUA	1718.6	1102.8	1247.4	777.5	1289.0	730.9
TOTAL	10595.4	6291.8	9837.8	4984.2	10165.8	3813.5

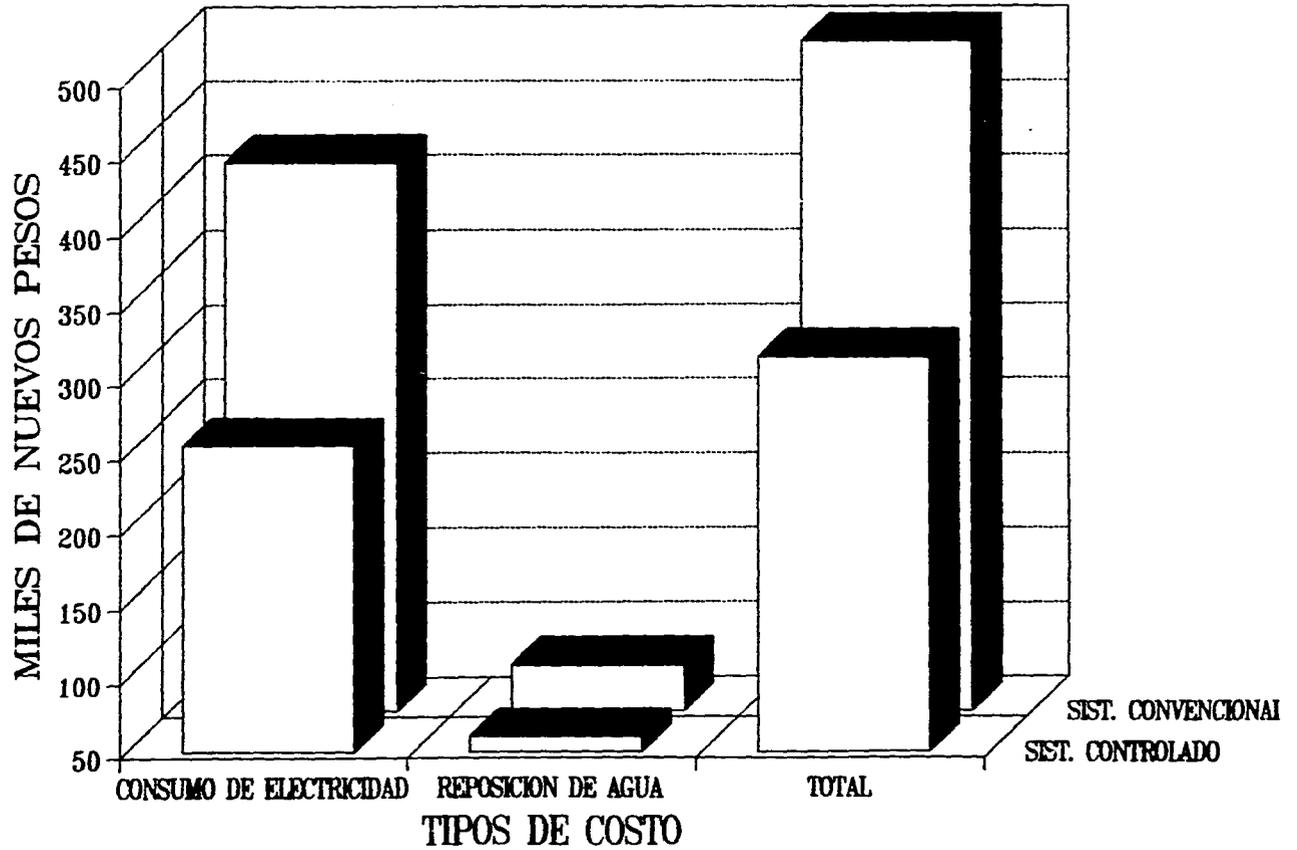


FIGURA 35. COMPARACION DE COSTOS ANUALES PARA LA TORRE DE ENFRIAMIENTO.

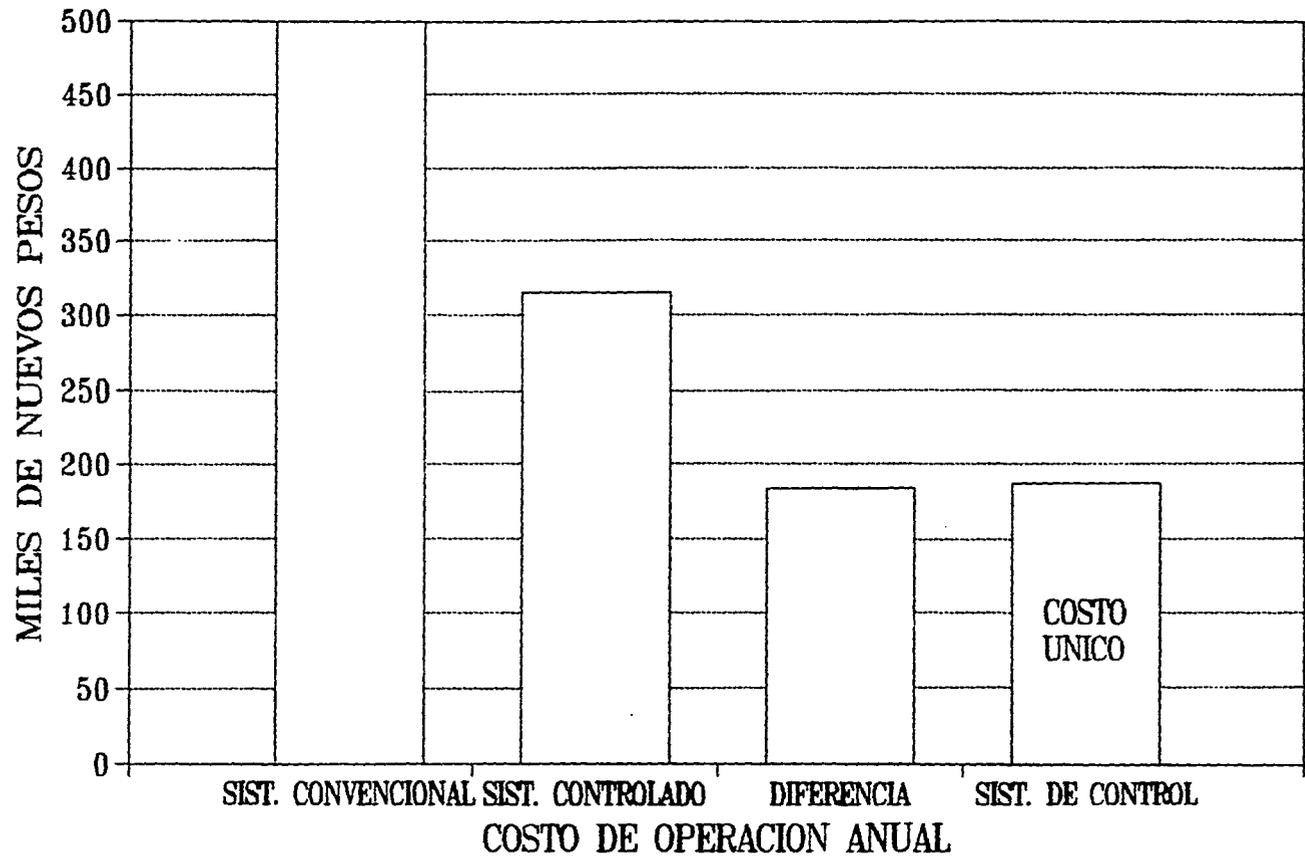


FIGURA 36. COMPARACION DE LOS SISTEMAS EN BASE A LOS COSTOS EN CONJUNTO.

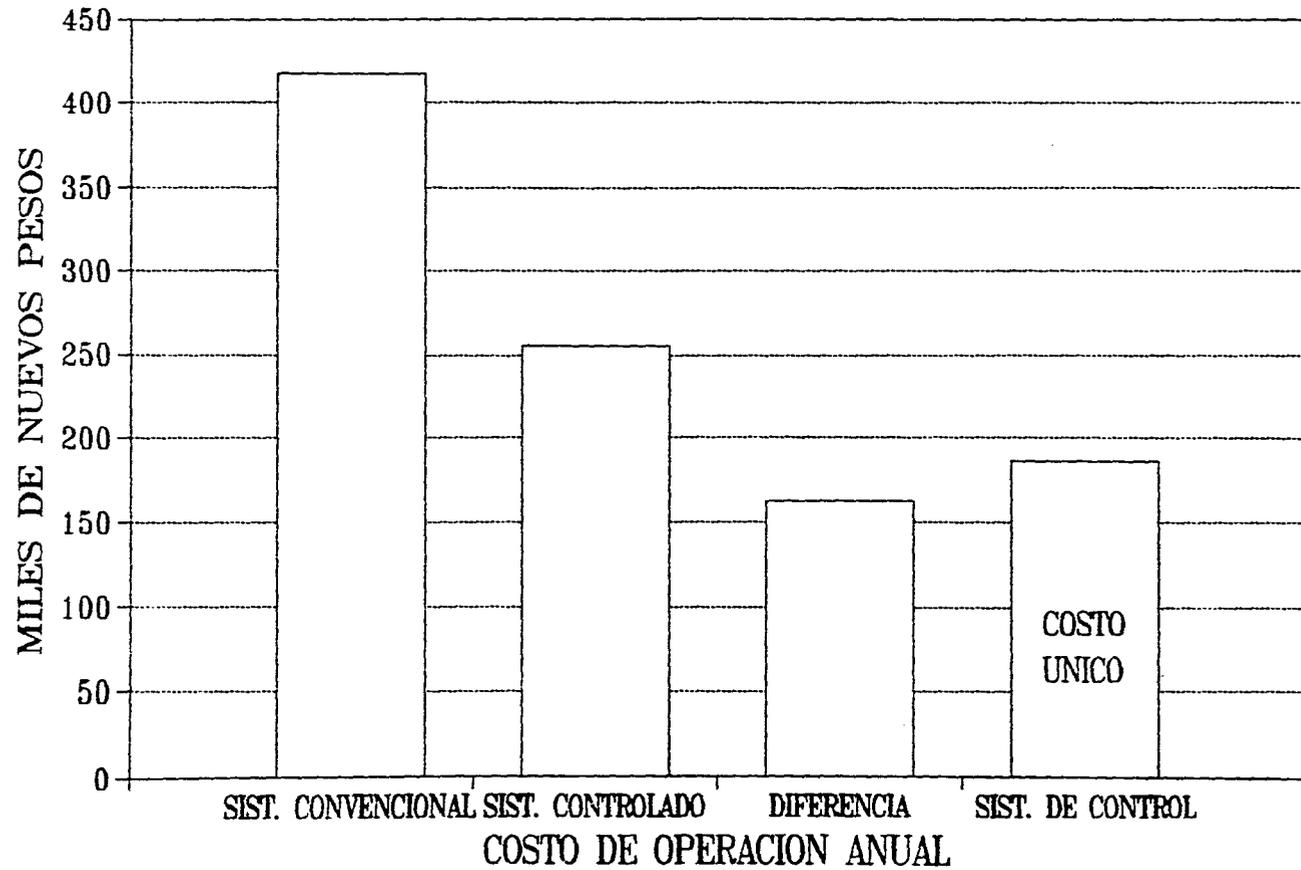


FIGURA 37. COMPARACION DE LOS SISTEMAS EN BASE AL COSTO DE LA ELECTRICIDAD.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los postulados referentes a la conveniencia de utilizar ventiladores de velocidad regulable para las torres de enfriamiento, respaldan su valor con los resultados obtenidos.

Se pudo apreciar que aún cuando la temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada es la única perturbación (teórica) para el proceso de enfriamiento, la influencia que tiene la temperatura de retorno sobre la de suministro es de mayor impacto, y logra abatirse considerablemente con un sistema de control.

Con la instalación de un sistema de control para la torre de enfriamiento, se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Una mejora en la operación de los equipos que utilizan el agua de enfriamiento, contribuyendo de manera directa a la conservación de la calidad del producto terminado.
- Abatir los costos de operación de la torre, tanto por el consumo de energía eléctrica de los motores que accionan los ventiladores como del agua que se pierde por evaporación.
- El ahorro estimado permite; en el mejor de los casos; que al concluir el primer año de operación se logre cubrir la inversión realizada, sin embargo, faltaría contemplar los beneficios que dicha inversión generaría al proceso productivo.

- Debido a la sencillez del sistema propuesto, el arreglo para este sería de tipo local; aunque gracias a las ventajas que presentan los componentes del mismo; basta adquirir algunos accesorios para tener un registro y manipulación desde un cuarto centralizado de control.

- Con un sistema como el descrito en este trabajo, el equipo en cuestión dejaría de trabajar un tiempo relativamente pequeño para efectuar las obras que se requieren, de hecho, solo el tiempo necesario para colocar los termopozos y hacer las conexiones eléctricas; actividades que pueden desarrollarse paralelamente. Para las demás obras que comprenden la instalación del sistema, no será necesario interrumpir la operación normal. Cabe destacar que la incorporación del control no representa ningún riesgo para la torre desde el punto de vista estructural y de diseño.

Es oportuno mencionar que un proyecto como el aquí expuesto, puede lograr su aprobación sólo si se elabora un análisis técnico-económico al respecto. Sobre el particular, es recomendable precisar el modelo que describe al proceso, ya que el presentado en este documento, no tuvo la manipulación requerida debido a la limitante obvia que el proceso productivo de la Planta presenta.

Por último, sería bueno incluir a equipos como las torres de enfriamiento de agua, sistemas de control que permitan llevar a cabo la optimización integral de una planta recién diseñada.

REFERENCIAS.

1. BAQUERO J., LLORENTE V.; Equipos para la Industria Química y Alimentaria; Alhambra, 1985.
2. BURGER, Robert; "Cooling towers can make money"; Chemical Engineering Progress, Feb. 1982, pp. 84.
3. BURGER, Robert; "Conservation strategies for cooling towers"; Chemical Engineering Progress, Dec. 1983, pp. 33.
4. CARNICER, Enrique; Ventilación Industrial. Cálculo y Aplicaciones; Paraninfo.
5. C. E. P., Technical Manual; Cooling Towers; V.I, New York, 1972.
6. CERKE, Clarence J.; "Electric vs. hydraulic drives: an economic comparasion"; Chemical Engineering, Nov. 1984, pp.133.
- 6A. CONSIDINE, Douglas; Process Instruments and Controls Handbook; 3rd. Ed., Mc Graw-Hill, 1985.
7. DOLL, Thomas R.; "Making the proper choice of adjustable-speed drives"; Chemical Engineering, Aug. 1982, pp. 46.
8. FOUST, WENZEL, CLUMP; Principios de Operaciones Unitarias; CECSA, 1990.
9. HENSLEY, John; "Maximize tower power"; Chemical Engineering, Feb. 1992, pp. 74.
10. KELLY, N. W.; SWENSON, L. K.; "Cooling tower packing arrangements"; Chemical Engineering Progress, Jul. 1956, pp.263.
11. KERN, Donald Q.; Procesos de Transferencia de Calor; CECSA, 1990.

12. LEFEVRE, Marcel R.; "Reducing water consumption in cooling towers"; Chemical Engineering Progress, Jul. 1984, pp. 55.
13. LUDWIG, Ernest E.; Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants; V.II, Gulf Publishing Co., 1964.
14. MASANA, José; Ventiladores y Turbocompresores; Marcombo.
15. MONROE, Robert C.; "Energy-savings fans"; Chemical Engineering Progress, Dec. 1983, pp. 28.
16. NOOR, Ashfaq; "Determine BHP from outlet-air temperature"; Chemical Engineering, Jun. 1987, pp. 170.
17. OGATA, K.; Ingeniería de Control Moderna; 2a. Edición, Prentice Hall, 1993.
18. PERRY, J. H.; Biblioteca del Ingeniero Químico; V.6, McGraw-Hill, 1990.
19. SCHEEL; Gas and Air Compression Machinery; McGraw-Hill, 1961.
20. TREYBAL, Robert E.; Operaciones de Transferencia de Masa; 2a. Edición, McGraw-Hill, 1990.
21. WHITESELL, Jack; "Counterflow cooling towers"; Chemical Engineering, Jan. 1955, pp. 187.

Fuentes de Información.

- ASEA BROWN BOVERI Motores S.A. de C.V.
- INDUSTRIAS PIFUSA.
- HONEYWELL S.A. de C.V.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL.

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION

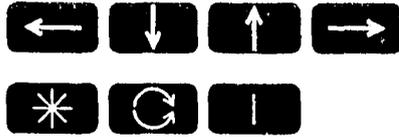
A N E X O

**Equipo de accionamiento en CA:
superior y facil uso.**

Los dispositivos de accionamiento (drives) ACS 500 combinan la electrónica de potencia confiable y la tercera generación de interfaces para una fácil operación y que presenta información en español. La versátil serie ACS 500 abarca desde 2 hasta 350 HP.

Serie ACS 500

ABB
ABB BROWN BOVERI
VISITANTE



ABB



Dispositivos de accionamiento digitales ACS 500... simplemente potentes

Imagínese un dispositivo de accionamiento CA tan fácil de usar que su instalación y programación puede ser algo tan simple como apretar un botón. Un dispositivo de accionamiento tan versátil que permite un par inicial de arranque de hasta 180% cuando así se necesite, y al mismo tiempo es capaz de manipular cargas frágiles con extremo cuidado. Un dispositivo de accionamiento tan confiable que los inconvenientes serán una

cosa del pasado, y donde la información operativa y de diagnóstico se presenta en forma instantánea en español y sin códigos complicados. Una línea de productos que cubre desde 2 a 350 HP y cuyos códigos, interfaces y procedimientos de operación son idénticos.

Imagínese lo y usted se habrá imaginado la serie ACS 500 de inversores de frecuencia en CA de ABB.

La pantalla alfanumérica lo mantiene informado - con palabras que usted entenderá

Con los inversores de frecuencia ACS 500, la información operativa y de diagnóstico se presenta en español y su visualización es en dos líneas y 40 caracteres, diseñada por ABB por medio de la pantalla se puede acceder a:

- 120 parámetros, incluyendo límite de corriente, accel/decel, y frecuencia mínima/máxima.
- Mensajes operativos, incluyendo consumo de energía, velocidad de motor y tiempo transcurrido.
- Una variedad de mensajes de falla y advertencia.

Además, el ACS 500 incluye una prestación multilingüe convirtiéndolo en el dispositivo de accionamiento ideal para aplicaciones con requisitos de exportación.



Cuanto más de cerca lo mire, mejor es el ACS 500.

Una variedad de utilidades de software de alto rendimiento

Tablero digital de 7 botones que controla todas las funciones del inversor de frecuencia

Manual de operación fácil de leer al frente del inversor de frecuencia

Electrónica de potencia aplicando la tercera generación de IGBT de 2 hasta 300 HP

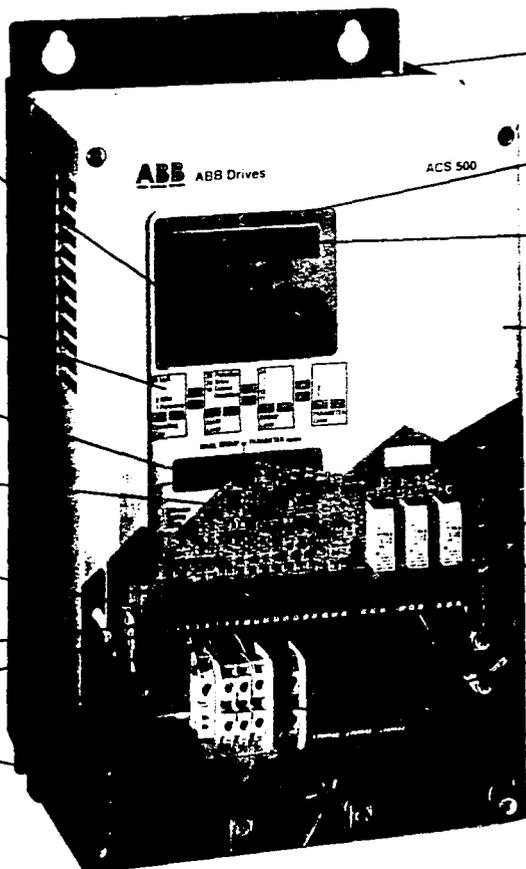
Tecnología de electrónica de potencia que hace posible un menor tamaño, alta confiabilidad y resistencia a la vibración

Entradas analógicas programables

Salidas analógicas programables

Entradas digitales programables

Comunicaciones a través para servicio remoto



Bobina de choque de barra colectiva CC, que permite menores componentes armónicos y un mejor factor de potencia

Interface común de 2 a 350 HP, permitiendo así una operación más simple

Pantalla alfanumérica (2 líneas por 20 caracteres); mensajes en español u otros seis idiomas

Cubiertas NEMA 1 y NEMA 12

3 salidas digitales programables (relé, Form A, C)

Tablas terminales de rápida desconexión aislada de tierra y de potencia

Fusibles incorporados para protección de la línea de CA

Control de freno dinámico y conmutador de potencia incorporado opcional

Con el ACS 500, usted obtiene una serie de utilidades incorporadas estándares que le permiten tener un control completo:

- Frecuencia portadora programable de 1 kHz a 12 kHz (hasta 50 HP); 3 kHz máximo (de 60 a 350 HP), optimizando el ahorro de energía y reduciendo el ruido audible en el motor
- La función de arranque suave permite arrancar el motor en movimiento, sin corriente y sin la aplicación de frenos, reduciendo el tiempo de ciclo del proceso
- Compensación contra deslizamiento automática para el mantenimiento de la velocidad del motor bajo cargas variables
- Función de pérdida de carga del motor para la protección de bombas u otras máquinas accionadas
- Parcial de arranque de hasta 180% de la carga completa
- La compensación IR manual o automática en una gama de frecuencia seleccionada para los torques aumentados
- Cinco selecciones de frecuencia crítica para evitar puntos de resonancia durante la subida o bajada por la rampa
- Dos rampas de aceleración y desaceleración ajustables de 0,1 segundo a 30 minutos
- Frenado por contacto con el CC y retención de CC así como también transición de CC a arranque a carga completa
- Arranque automático seleccionable por el cliente
- Control triaxial, cuadrático o ajuste de la frecuencia V/Hz para obtener el máximo ahorro de energía
- Marcha atrás electrónica automática y marcha atrás rápida
- Pantallas integradas de alto nivel hasta o tiempo transcurrido

FALLA DE ORIGEN

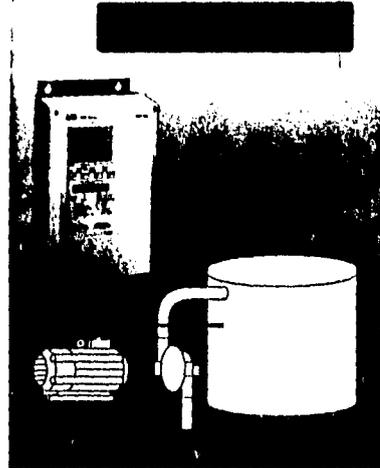
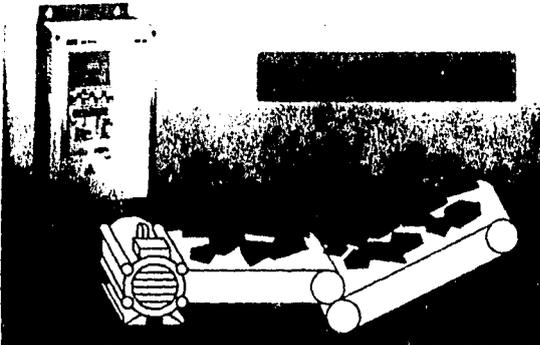


Con los macros de aplicación se logra una programación rápida

Los macros en el ACS 500 son una selección de configuraciones de controles incorporados y pre-programados para entradas, salidas y parámetros que incluyen:

- Control PI para procesos de lazo cerrado o retroalimentación.
- Control secuencial para ciclos repetitivos.
- Mano: auto para operación local y remota
- Montaje de "fábrica" para uso industrial básico
- Montaje de "paquete de opciones" para hacer la interface con opciones de ABB pre-concebidas.

Si se requiere un ajuste a la medida, el usuario puede modificar cualquier parámetro almacenado en la memoria, incluyendo siete velocidades pre-fijadas, dos rampas de aceleración y desaceleración ajustables independientemente, tres patrones de accel/decel en forma de curva S, y cinco frecuencias críticas.



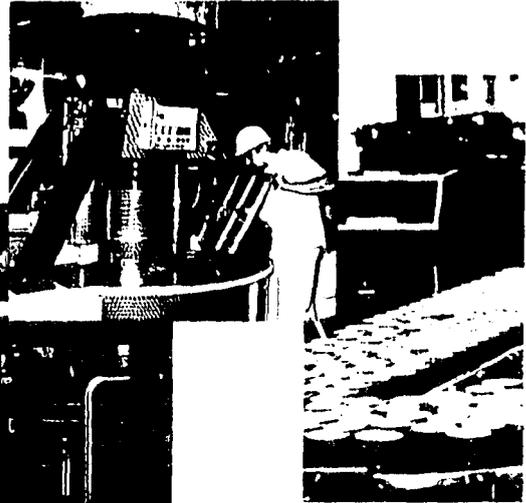
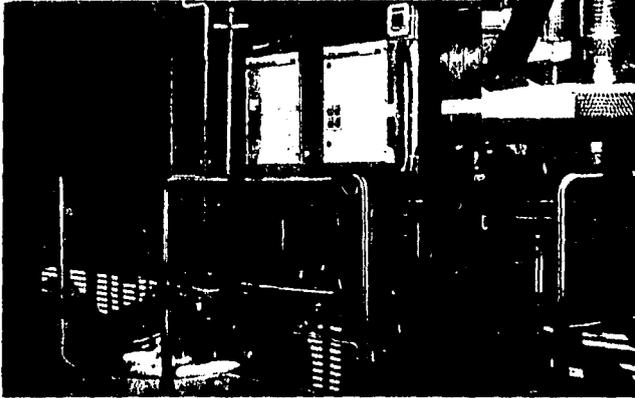
Así es como se programan dos macros comunes I/Os con solo apretar un botón



Dispositivos de accionamiento
de calidad ABB

Macro de la fábrica	Designación I/O	PI- Control macro
Señal de referencia No definida	Entrada analógica 1 Entrada analógica 2	Señal de referencia Señal efectivo
Arranque Paro Marcha atrás Acc/Dec 2 Velocidad 1 prefijada Velocidad 2 prefijada	Entrada digital 1 Entrada digital 2 Entrada digital 3 Entrada digital 4 Entrada digital 5 Ingreso digital 6	Arranque manual No usado Auto selección Velocidad 1 prefijada Permite funcionamiento Auto arranque
Frecuencia de salida Corriente de salida	Salida analógica 1 Salida analógica 2	Frecuencia de salida Corriente de salida
Listo Arranque Falla (Inv)	Salida de relé 1 Salida de relé 2 Salida de relé 3	Listo Arranque Falla (Inv)

Dispositivo de accionamiento centrifugo confiable



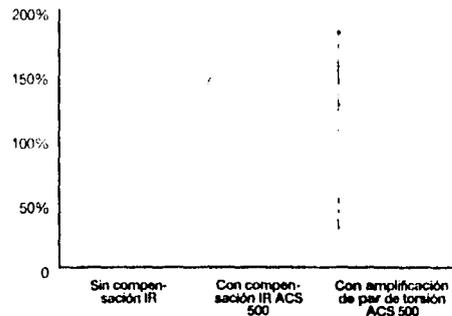
Control preciso de mezcladoras

Con potencia para ser utilizada en aplicaciones muy exigentes

Todos los dispositivos de accionamiento ACS 500, de 2 a 350 HP, utilizan los IGBT's (transistores bipolares de compuerta aislada) como sus mecanismos de salida. Estos semi conductores confiables y de rápida respuesta, junto con los sofisticados circuitos de control de ABB, proporcionan importantes ventajas:

- Carga del motor a su capacidad de potencia nominal dentro de una amplia gama de velocidades, eliminando la necesidad de sobredimensionar el motor o dispositivo de accionamiento.
- Altos pares de torsión de separación, de hasta 180% a carga plena.
- Resolución de frecuencia precisa, incrementos de 0,01 Hz de 0 a 120 Hz.
- Frecuencia portadora programable de 1 kHz a 12 kHz (hasta 50 HP), máximo 3 kHz (60 a 350 HP), logrando de esa forma una óptima utilización de la energía y menda ruido en el motor.

Par inicial de arranque del motor
Porcentaje de momento torsional normal



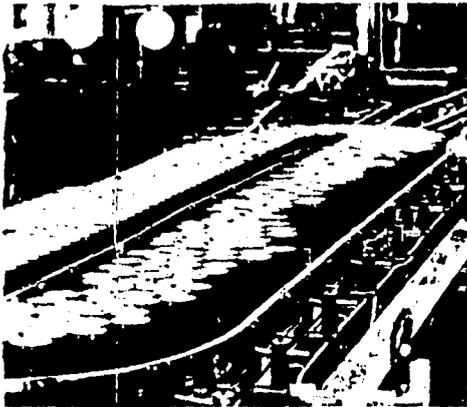
Una amplia línea de productos que satisface sus necesidades

La ACS 500 es una familia completa de productos, concebida para aplicaciones industriales sencillas ó difíciles: desde cintas transportadoras, extrusoras y máquinas centrifugas de ventiladores, bombas y compresoras, dentro de una amplia gama de potencias de motores:

- Pares de torsión constante de 2-300 HP en 380, 415, 480 y 500 VAC.
- Pares de torsión variable de 2-350 HP en 380, 415, 480 y 500 VAC.
- Pares de torsión constante de 1-40 HP en 208, 220, 230 y 240 VAC
- Pares de torsión variable de 2-50 HP en 208, 220, 230 y 240 VAC.

Los modelos de hasta 40 HP (par de torsión constante) o 50 HP (par de torsión variable) vienen en gabinetes tipo montaje en pared; los modelos más grandes son del tipo autoportado. Más allá de eso, usted elige el tipo de gabinete:

- NEMA 12, totalmente cubierta, a prueba de aceite y polvo.
- NEMA 1, disponible para todo tipo de cableaje.
- Montado en chasis para OEM o uso en sitio específico.
- También hay disponibles cubiertas hechas a la medida.



Dispositivo de cinta transportadora sincronizada con otros procesos

Controlador PI integral

Con un dispositivo de accionamiento ACS 500, usted no tendrá que incurrir en el gasto de agregar un controlador de proceso PI. El mismo está incorporado en el dispositivo de accionamiento y se puede configurar de tal forma que el control en lazo cerrado de velocidad, presión, flujo, nivel de fluidos u otros parámetros de proceso es sencillo.

Control local o remoto

Con el ACS 500, usted puede escoger las interfaces de operación. El dispositivo de accionamiento se puede programar y operar localmente a través del tablero digital incorporado, o en forma remota utilizando botones y potenciómetros.

También se puede integrar con controladores lógicos programables y sistemas de automatización de más alto nivel, utilizando el conjunto total de entradas y salidas analógicas y digitales programables.



Dispositivos de accionamiento de calidad ABB

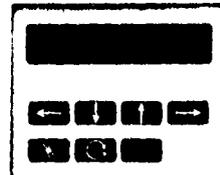
Pantallas que todo lo simplifican

En vez de mostrar códigos no legibles, los cuales se deben interpretar, en las pantallas de los dispositivos de accionamiento ACS 500 aparecen palabras y frases en español, lo que facilita su comprensión. Ya no es necesario que los operadores consulten constantemente su manual para descifrar los códigos. Las pantallas se agrupan en las siguientes categorías principales:

Alimentación del dispositivo de accionamiento

Se utiliza para configurar el ACS-500 para la aplicación y el motor que va a controlar. Entre los menús de montaje se incluyen los siguientes:

- Idioma de la pantalla
- Macros de aplicación
- Fuente de alimentación e información sobre el motor



Fecha operativa

Información de tiempo real sobre su aplicación.

Entre las pantallas se incluyen:

- Corriente
- Par de torsión
- Potencia
- Voltaje de barra común CC
- Tensión del motor
- Temp. del disipador térmico
- Velocidad del motor
- Frecuencia de salida
- Historial de fallas
- Medidor de tiempo transcurrido
- Contador de kW-hora

Configuración de control

Se usa para programar señales de entrada y salida

en la tabla terminal, incluyendo:

- Entradas analógicas
- Salidas analógicas
- Entradas digitales
- Salidas digitales (relé)

Ajustes del dispositivo de accionamiento

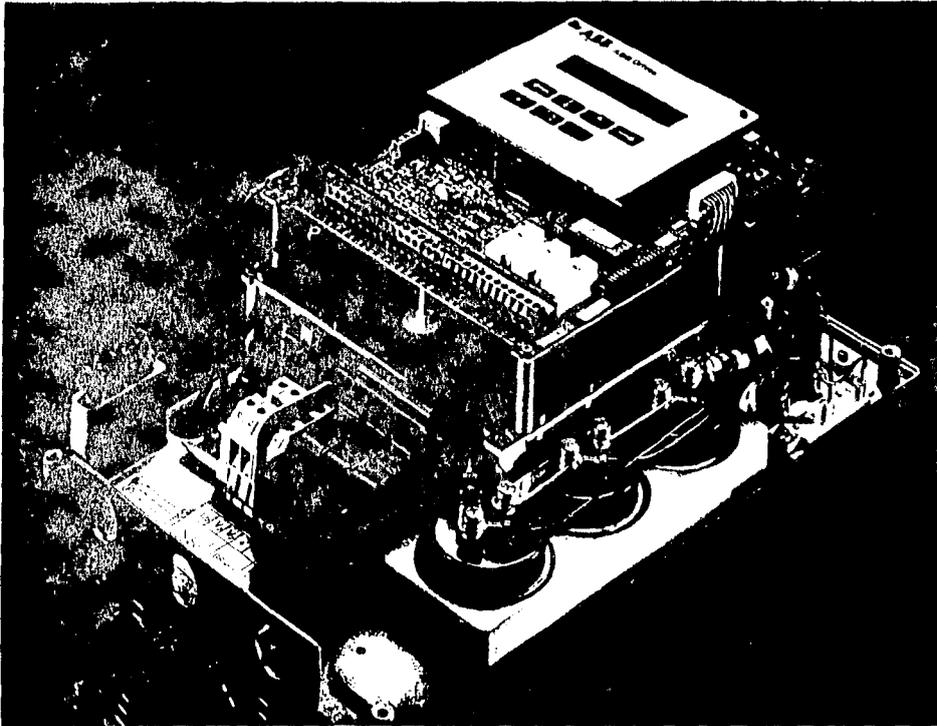
Le permiten fijar los parámetros operativos:

- Accel/decel
- Trabas de frecuencia crítica
- Límite de corriente de frecuencia
- Velocidades de preajuste
- Controlador PI
- Arranque/parada
- Control del motor

Circuitos de protección y supervisión

Permiten la fijación y muestra en pantalla de condiciones de límite definibles por el usuario en las siguientes áreas:

- Supervisión general
- Funciones de falla
- Reposicionamiento automático



Nuevos niveles de confiabilidad y mantenimiento

El objetivo fundamental de cualquier dispositivo de accionamiento es lograr una máxima productividad y tiempo de funcionamiento. Las características del ACS 500 le permiten permanecer en línea y continuar trabajando:

- Circuitos digitales avanzados, evitando así inconvenientes
- Control de las corrientes de motor a corto término, hasta 200% de lo normal.
- Continuación extendida de servicio en caso de interrupciones de energía momentáneas.
- Electrónica de corrientes altas IGBT resistente y de tercera generación.
- Tecnología moderna, resistente a la vibración y montada en la superficie

Con su completa protección interna contra cortocircuitos, conexiones accidentales de un conductor a tierra, tensión, comentes y temperaturas extremas, usted puede estar tranquilo que el dispositivo de accionamiento continuará siendo confiable durante un largo tiempo. Además, un circuito adaptable de sobrecarga (Ft) de motor electrónico elimina la necesidad de un relé de sobrecarga de motor externo.

Su diagnóstico avanzado simplifica la reparación de fallas

En caso de falla en el sistema, el diagnóstico avanzado simplifica la localización y corrección del problema. La pantalla alfanumérica de ACS 500 indica claramente los mensajes de falla en español.

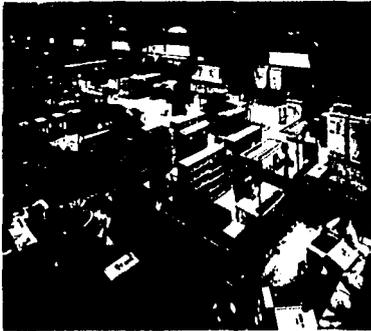
Si ocurren fallas en forma simultánea, las últimas tres se retienen en la memoria. Entre las indicaciones de fallas están las siguientes:

- Sobrecorriente
- Subtensión
- Sobretensión
- Sobretemperatura
- Falla en la comunicación





ABB Drives Inc. presta servicios en los Estados Unidos desde sus modernas instalaciones centrales en las afueras de Milwaukee, Wisconsin.



Parte de las amplias instalaciones de producción de dispositivos de accionamiento estándares.



Los mecanismos de accionamiento ACS 500 son fabricados en los Estados Unidos



Las pruebas computanzadas son parte del programa de garantía de calidad total de ABB

Fabricado en los Estados Unidos: Respaldado por un mundo de compromiso

Los dispositivos de accionamiento ACS 500 se fabrican en New Berlin, Wisconsin (en las afueras de Milwaukee). Desde aquí ABB opera una de las instalaciones de dispositivos de accionamiento más grandes y avanzadas en su tipo de Norteamérica. Su personal de ingeniería, fabricación, marketing, respaldo al cliente y capacitación presta servicios a nuestros clientes de los Estados Unidos y Mexico. Además, los dispositivos de accionamiento se venden y reparan en más de 140 países de todo el mundo.

A su servicio

ABB Drives Inc. proporciona servicio post-venta completo y repuestos a lo largo y ancho de los Estados Unidos y Mexico, incluyendo disponibilidad de respuestos. Nuestra red de servicios continúa expandiéndose en todo el país, los cuales proporcionan respaldo local, repuestos y servicio. Y nuestro departamento de capacitación, con personal profesional, dicta en forma continua cursos que permiten a sus empleados aprender los últimos procedimientos operativos y de mantenimiento para los dispositivos de accionamiento ACS 500 y otros dispositivos ABB.



Dispositivos de accionamiento de calidad ABB

Línea de servicio: 328-14-00



Los dispositivos de accionamiento ACS 800, de 2 a 350 HP representan la última generación de tecnología de dispositivos de accionamiento CA confiables y de fácil uso de ABB. ABB es el fabricante más grande del mundo de dispositivos de accionamiento eléctrico para aplicaciones industriales y comerciales.

En dispositivos de accionamiento, nadie le da más que ABB

Si usted desea obtener en un solo lugar la más amplia selección de sistemas de dispositivos de accionamiento eléctrico, ABB es la respuesta.

- Dispositivos de accionamiento CA modulados por ancho de impulso de 1/4 a 1.500 HP en diseños de baja tensión, hasta 10.000 HP en tensión intermedia.
- Dispositivos de accionamiento CA de fuente de corriente de 50 a 1.200 HP.
- Dispositivos de accionamiento de carta de 1.200 a 100.000 HP.
- Dispositivos de accionamiento de corriente directa de 1/4 hasta más de 5.000 HP.

Cuando usted exige un dispositivo de accionamiento de ABB, recibirá mucho más que un control de motor de alta calidad. También se beneficiará de los inigualados recursos del líder mundial en dispositivos de accionamiento eléctricos,

los cuales cuentan con todas las condiciones para satisfacer las necesidades de la industria.

Como parte del grupo mundial de Asea Brown Boveri (el cual tiene instalaciones de ventas, servicio y fabricación en más de 140 países), ABB Drives se beneficia de la solidez mundial del más grande fabricante de dispositivos de accionamiento del mundo. Esto incluye un presupuesto de casi 2.000 millones de dólares de investigación y desarrollo de la compañía, cifra que supera las ventas totales de la mayoría de las compañías. A ellos se debe sumar la experiencia obtenida en más de 100 años en la industria del control de motores.

Para todas las aplicaciones industriales, desde 1/4 hasta miles de caballos de fuerza, ABB es su fuente de dispositivos de accionamiento eléctricos.

ABB

ACS500-MX-01

ABB Motores S.A.
Standard Drives Division
Henry Ford No. 4
Tlalpan, Edo. de Mexico
Telephone: (5) 328-14-00
Fax: (5) 310-96-65

ABB Drives Inc.
16250 West Glendale Drive
New Berlin, WI 53151
Telephone: (414) 785-3416
Fax: (414) 785-0397

ABB Drives
P.O. Box 184
00381 Helsinki
FINLAND
Telephone: +358-0-5641
Telefax: +358-0-5642681
Telex: +57-12440502 str sf

UDC 3000 Versa-Pro Universal Digital Controller

Specification

Overview

The UDC 3000 Universal Digital Controller is Honeywell's latest microprocessor-based, stand alone digital controller. It combines the highest degree of functionality and operating simplicity offered in a 1/4 DIN size. The bright dual displays with English language prompts make the operator interface easy to read, understand, and operate. Programmed sequences of displays assure quick and accurate entry of all configurable parameters. Simple keystrokes let you select input and range configuration, set the operating parameters that meet your process control needs now, and change them later to meet new ones.

Features

Dual Displays - Vacuum fluorescent alphanumeric displays and indicators with dedicated PV display.

Deviation Bargraph - Blue "On Control" indication or up to $\pm 10\%$ Red deviation display.

Easy Configuration - English language prompts, in programmed sequence, provide guidance during configuration. Tactile keyboard provides positive operator feedback.

Universal Inputs - All inputs isolated from one another, selectable through the front keyboard.

Thermocouple Failsafe - Configurable upscale or downscale burnout and failsafe output level.

Manual/Automatic Modes - Bumpless, balanceless transfer between control modes.

Two Local Set Points - Can be configured to provide two local set points, keyboard or optional remote switch selectable.

Heat/Cool Capability - Provides split range control with independent PID tuning constants - one for heating, one for cooling, plus mixed output forms.

Alarm Selection - None, one, or two relays to activate external equipment when preset high/low setpoints are reached. There is an indicator for each alarm.

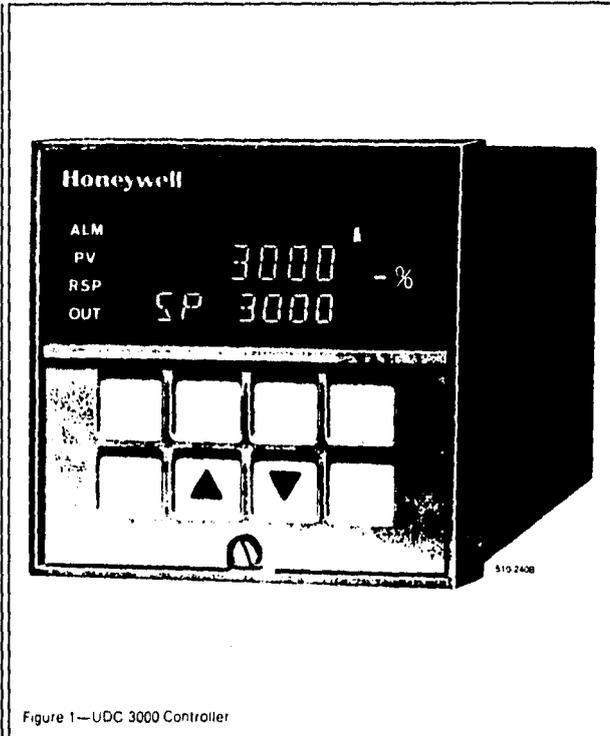


Figure 1—UDC 3000 Controller

Decimal Point Location - Configurable for none, one, or two places.

Self Diagnostics - Internal diagnostic routines detect certain modes of failure. Displayed messages let you know where the problem is located.

Data Security - Five levels of keyboard security protect tuning, configuration, and calibration data. Non-volatile memory, protected by EEPROM, protects against loss of configuration data.

Limit Control - provides a latching relay which is activated whenever the PV goes above or below a preset set point value. An alarm indicator will light when the output is activated. Reset is through a key on the front of the controller or an external switch. FM approved models available.

Set Point Ramp - Provides single programmable set point ramp of up to 4-1/4 hours duration which is repeatable and activated by the Run/Hold key.

Optional Features

Auto Tune - When enabled, this feature will automatically calculate and enter into memory, the optimum tuning parameters required for your process. A "Short Tune" feature lets you obtain approximate tuning constants.

Remote Set Point - Isolated high level input available for remote set point signal.

Auxiliary Output* - This isolated Auxiliary Output can be scaled from 4-20 mA for 0 to 100% for any range desired. It can be configured to represent Input 1, Input 2, PV, Set Point, Deviation, or the Control Output.

Communications* - Provides a communications link between the UDC 3000 and a Honeywell supplied interface device capable of communicating via RS232 (DMCS), or direct communication via the RS422/485 communications option to a host computer.

Digital Input* - Allows remote switch selection of: Local or Remote set point, Local set point 1 or Local set point 2, Manual or Automatic control mode, Direct or Reverse controller action, reset of Limit Controller, or Run or Hold of Single Set Point Ramp or Set Point Programming function.

Set Point Ramp/Soak Programming - Enables you to program and store 6 Ramp and 6 Soak segments for set point programming. Run or Hold of program is keyboard or remote switch selectable.

Transmitter Power* - Provides up to 34 volts to power 2 wire transmitters (requires use of Auxiliary Output option).

OUT = Control relay 1 or 2 ON

RSP = Remote set point active

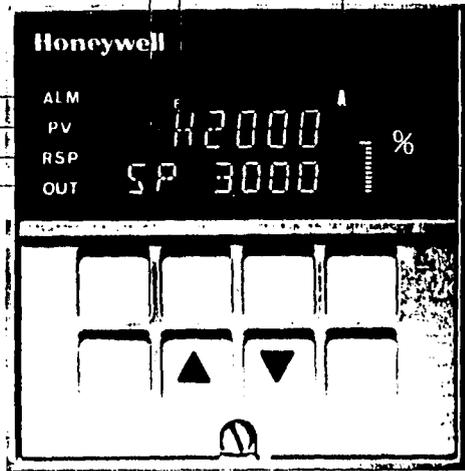
PV = PV in 4 digit upper display

ALM = Alarm condition exists

R = Run set point ramp
H = Hold set point ramp

F = °Fahrenheit
C = °Celsius

A = Automatic mode
MAN = Manual mode



510239A

± 10% Deviation bargraph

Figure 2—Operator interface

Key Functions

Eight keys enable complete configuration and operation of the controller.



Scrolls through the Configuration groups.



Starts the Auto Tune procedure when enabled.



Selects functions within each configuration group. Also selects remote set point or 2nd local set point.



Initiates or holds the single set point ramp or Ramp/Soak program.



Selects the operating parameters shown in the lower display.



Increases the set point, output, or configuration values.



Selects Manual or Automatic control mode.



Decreases the set point, output, or configuration values.

*These options are mutually exclusive unless otherwise specified.

FALLA DE ORIGEN

Operator Interface (Figure 2)

Indicators

They provide alarm, control mode, and temperature units indication. There is also indication of when Remote Set Point is active, the status of the control relays, and whether a set point program is in Run or Hold mode.

A 21 segment, color coded bargraph displays red deviation to $\pm 10\%$ of span and a blue "On-Control" indicator.

Displays

A 6 digit upper display is dedicated to the process variable during normal operation with alternate information displayed when in the configure mode.

During normal operation, the 8 digit lower display shows key-selected operating parameters such as Output, Set Points, Inputs, Deviation, active Tuning Parameter Set, or minutes remaining in a set point ramp. It also provides guidance, through prompts, for the operator during controller configuration.

Physical Description

The controller is housed in a 7-1/2 inch deep, black metal case with a carriage blue bezel, that can be panel mounted in a 1/4 DIN cutout. The modular construction of the plug-in chassis allows easy access to the controller board and its various option boards. All power, input, and output wiring are connected to screw terminals on the rear terminal panel.

Inputs

The analog input is sampled 3 times a second. The sample signal is amplified and then converted to a digital signal which is isolated and passed to the microprocessor. The primary input can be one of various Thermocouple, RTD, or Linear actuators. A second input provides a remote set point function and accepts a 4 to 20 mA or a 1 to 5 Vdc range that can be characterized. All ranges are keyboard selectable. Cold junction compensation is provided. You can select upscale or downscale sensor break protection. A configurable digital filter of 0 to 120 seconds provides input signal smoothing, if required.

Control Algorithm

Depending on the control output type specified, the controller can be configured for the following control algorithms:

- On-Off
- PID-A
- PID-B
- PD with Manual Reset
- Three Position Step Control

Outputs

The UDC 3000 is available with one of the output types listed below.

Time Proportional - provides On-Off or Time Proportional (Relay) output.

Current Proportional - supplies proportional direct current output for final control elements which require a 4-20 mA signal.

Position Proportional - positions a reversible motor with a feedback slide-wire in proportion to the output of the control algorithm.

Time Proportional Duplex - depending on which control algorithm you select, this duplex output type can provide On-Off Duplex, Time Proportional Duplex, or 3 Position Step Control.

The time proportional duplex output provides independent PID tuning constants and two time proportional outputs: one for heat zone above the 50% output, and one for cool zone below 50% output.

Current Proportional Duplex - similar to current proportional but provides a second set of tuning parameters and a split range current output or a second current output via the Auxiliary output option, for the heat and cool zones.

Current/Relay Duplex (Relay = Heat) - a variation of Duplex with Current active for 0 to 50% output (Tuning Set 2) and Relay active 50 to 100% output (Tuning Set 1).

Current/Relay Duplex (Relay = Cool) - a variation of Duplex with Current active for 50 to 100% output and Relay is active for 0 to 50% output.

Configuration

You decide how the controller is to interact with the process by selecting, through simple keystrokes, the functions you want. Internal programs prompt the operator step-by-step through the configuration process assuring quick and accurate entry of all configurable parameters.

Control Modes

Manual or Automatic control with bumpless, balanceless transfer between modes is a standard feature. In the manual mode, the operator directly controls the controller output level. In the automatic mode, the controller will operate from a local set point, or a remote set point provided at the second input.

Alarms

Alarm output terminals are located at the rear terminal panel. One or two alarm relays are available to activate external equipment when preset alarm set points are reached. Each of the two alarms can be set to monitor two independent set points. Each alarm set point can be a high or low alarm. The alarm type can be selected to be either of the inputs, the PV, Deviation, Output, or Shed from communications. It can also be used as an On or Off event at the beginning or end of a Ramp/Soak segment.

Specifications

Design

Accuracy	$\pm 0.20\%$ of percent of span typical (± 1 digit for display)
Temperature Stability	$\pm 0.01\%$ per °C typical
Input Signal Failure Protection	<i>Thermocouple Inputs:</i> Upscale or downscale burnout <i>Burnout Current:</i> 0.13 microamps <i>Failsafe Output Level:</i> Configurable 0-100%
Input Impedance	<i>4-20 Milliampere Input:</i> 250 ohms <i>0-10 Volt Input:</i> 200K ohms <i>All Others:</i> 10 Megohms
Stray Rejection	<i>Common Mode</i> AC (50 or 60 Hz) 120 db (with maximum source impedance of 100 ohms) or ± 1 LSB (least significant bit) whichever is greater. <i>Normal Mode</i> AC (50 or 60 Hz) 60 db (with 100% span peak-to-peak maximum)
Controller Output	<i>On-Off or Time Proportional</i> One SPST electromechanical relay. Control action can be set for direct or reverse. Normally Open or Normally Closed contact selectable by jumper. <i>On-Off Duplex, Three Position Step Control, or Time Proportional Duplex</i> Two SPST electromechanical relays. Control action can be set for direct or reverse. Normally Open or Normally Closed contact selectable. <i>Current Proportional</i> A single split current output for both heat and cool (4-12 cool, 12-20 heat) or a 21 mA dc maximum into a negative or positive grounded or non-grounded load of 0 to 1000 ohms. Output range can be set between 4 and 20 mA, and for direct or reverse action. Minimum output level is 2 mA dc. <i>Current Proportional Duplex</i> Combination of current proportional output (Heat = 50 to 100% of range) and auxiliary current output (Cool = 0 to 50% of range). Both are 4-20 mA signals that can be fed into a negative or positive grounded or non-grounded load of 0-1000 ohms. <i>Resolution:</i> 11 bits <i>Accuracy:</i> 0.5% full scale <i>Position Proportional</i> Two SPST electromechanical relays operate motor having a 100 ohm to 1000 ohm feedback slidewire. <i>Current/Time Duplex</i> Variation of time proportional duplex for Heat/Cool applications. Time proportional output (heat or cool) is a SPST electromechanical relay. Current proportional output (Heat or Cool) is a 4-20 mA signal that can be fed into a negative or positive grounded load of 0 to 1000 ohms and is operational over 50% of range or the entire range. <i>Time Proportional Relay Resolution:</i> 4.4 mSec <i>Relay Contact Ratings</i> Resistive Load: 5 amperes at 120 Vac, 2.5 amperes at 240 Vac Inductive Load: 50 VA at 120 Vac or 240 Vac <i>Cycle Time:</i> 1 to 120 seconds <i>Current Proportional</i> <i>Resolution:</i> 11 bits <i>Accuracy:</i> 0.5% full scale
Alarm Output	One SPST electromechanical relay. Normally open or normally closed contact is selectable by jumper. A second alarm is available using the second control relay. This is not available with Relay Duplex, Position Proportional, or 3 Position Step control. Up to four set points are independently set as high or low alarm, two for each relay. Set point can be on either input, process variable, deviation, or output. A single adjustable hysteresis of 0.0 to 50% is provided. The controller can also be set to alarm on shed from communications. The alarm can also be set as an on or off event at the beginning of a set point ramp/soak setment. <i>Alarm Relay Contact Ratings</i> Resistive Load: 5 ampere at 120 Vac, 2.5 ampere at 240 Vac

FALLA DE ORIGEN

Specifications (continued)

Design (continued)

Auxiliary Linear Output (Optional) 21mA dc maximum into a negative or positive grounded load or non-grounded load of 0 to 1000 ohms
Output range can be set between 0 to 21 mA, and as direct or reverse action. It can be configured to represent either Input, PV, Set Point, Deviation, or Control output. The range of the auxiliary output, as a function of the selected variable, can be scaled. This output can be used as a second current output for current duplex outputs
Resolution: 12 bits
Accuracy: 0.2% of full scale

Communications Interface (Optional)

DMCS (RS232) *Baud Rate: 19.2K baud*
Length of Link: 4000 ft maximum
Link Characteristics: Two wire, multi-drop proprietary protocol, 31 drops maximum

RS422/485 *Baud Rate: 300, 600, 1200, 2400, 4800 baud*
Parity: Odd or Even
Length of Link: 4000 ft maximum
Link Characteristics: Two wire, multi-drop RS422 ASCII protocol, 15 drops maximum

Digital Input (Optional) + 20 Vdc source for external dry contacts or isolated solid state contacts. Contact closure selects one configured input:

- Local Set Point 1 from Remote Set Point or Local Set Point 2
- Local Set Point 2 from Local Set Point 1
- Manual from Automatic Control Mode
- Direct from Reverse Controller Action
- Reset of Limit Controller
- To Hold Set Point Ramp or Set Point Program

Sampling Rate Input sampled 3 times a second

Input Filter *Software: Single pole lowpass section with selectable time constants, Off to 120 seconds*

Digital Displays Vacuum fluorescent, alphanumeric. A six digit display dedicated to the process variable. Alternate information displayed during configuration mode. An eight digit display shows key selected operating parameters. Also provides guidance during controller configuration.

Indicators Alarm Relay Status (ALM 1 or 2)
Control Mode (A or MAN)
Temperature Units (F or C)
Remote Set Point Active (RSP)
Control Relay Status (OUT 1 or 2)
Set Point Program RUN or HOLD (R or H)

Bargraph 21 segment, color coded Deviation bargraph
GREEN = On control
RED = Deviation to ± 10% of PV span

Modes of Operation Manual
Automatic with local set point
Automatic with remote set point (2-input units only)

Configurable Parameters These parameters can be set through the keyboard

Group	Parameters	Setting Range or Selection	Resolution
TUNING	Gain or PB (%)	0.1 to 999.9	0.1
	Rate	0.08 to 10 minutes	0.01
	Reset	0.02 to 50.00 minutes/repeat or repeats/minute	0.01
	Manual	- 100 to 100 (% of Output)	1.0
	Cycle Time	1 to 120 seconds	1
	Lockout	None to Maximum	
SP RAMP	Time	0 to 255 minutes	1
	Final Set Point	Within the set point limits	1
SP PROGRAM	Ramp Time	0 to 99 hrs, 59 mins or 0 to 999 deg/min	1
	Soak Set Point Range	Within set point HI/LO limits (in engineering units)	
	Soak Time	0 to 99 hrs, 59 mins	1
	Guaranteed Soak Deviation	0 to 99	1
	Start Segment Number	1 to 11	1
	End Segment Number	2 to 12	1
	Recycle Number	0 to 99	1
	Program State	Disable or Hold	
Engineering Units for Ramps	Time or Rate		
Controller Status	Last set point or fa safe		

Specifications (continued)

Design (continued)

Group	Parameters	Setting Range or Selection	Resolution
AUTOTUNE	Step Size	- 105 to 105 % of Output	1
ALGORITHM	Control Algorithm Output Algorithm	On-Off, PID-A, PID-B, PD + MR 3 Position Step Time Proportional simplex or duplex, Current Proportional simplex or duplex, Position proportional, Current-Relay duplex (relay = Heat or Cool)	
INPUTS	Decimal Units Actuation Input 1 Actuation Input 2 High and Low range values (linear) Filter Time Constant Burnout Power Frequency Transmitter Characterization PV Bias	None, One or Two *F or *C or None See Table 1 4-20 mA, 1-5V - 999.9 to 9999 0 to 120 seconds None (Failsafe), Upscale, or Downscale 50 or 60 Hz All Thermocouples, RTD, and square root extraction ± 999.9 (± 10 FM limits)	 0.1 1 0.1
CONTROL	PID Tuning Sets Set Point Source Ratio (Input 2) Bias (Input 2) SP tracking Power-up Mode recall High and Low Set Point Limits Control Action High and Low Output Limits Dropoff Value Deadband (Duplex) Failsafe Output Value Proportional Band Units Reset Units	1 or 2 Local, Remote or 2 Local - 20.00 to 20.00 - 999 to 9999 Configurable No or Yes Manual, Auto LSP, or Auto RSP 0 to 100% of span in Engr. units Direct or Reverse - 5 to 105 % of output - 5 to 105 % of output - 5 to 25.0 % of input span Within the output limits Proportional Band (%) or Gain Repeats/Minute or Minutes/Repeat	 0.01 1 1 1 0.1 1
OPTIONS	Digital Input Auxiliary output selection Aux. Out High and Low Scaling Factor	None, to Local or Remote SP, to SP1 or SP2, to Direct or Reverse action, to manual or automatic mode, reset limit controller, hold set point ramp or program None, Input 1, Input 2, PV, Deviation, Output Set Point Within the range of the selected variable	
COMMUNICATIONS (DMCS or RS422)	Station Address Shed Time Parity Baud Rate Shed Mode/Output Level Shed Set Point Recall Communication Units Loop Back	1 to 99 (RS422), 1 to 31 (DMCS) 0 to 255 sample periods Odd or Even (RS422 only) 300, 600, 1200, 2400, 4800 (RS422 only) Last, to Manual Bumpless, to Manual Failsafe Local, Last Computer Set Point % of Span or Engineering Units Loopback Test (DMCS only)	 1 1 1
ALARMS	Set Point Value Set Point Types Set Point States Hysteresis	Engineering Units None, Input 1 or 2, PV, Deviation, Output, Shed, Event Timer High or Low 0.0 to 5.0 % of Input Span or Output Span	 0.1
Dimensions	See Figure 3		
Mounting	Panel mounted (7 1/2 inch depth)		
Wiring Connections	Screw terminal on the rear of the case		
Power Consumption	9 VA		
Weight	1.8 kg (4 lbs)		

Specifications (continued)

Operating Conditions

	Reference Conditions	Rated Conditions	Operative Limits	Transportation and Storage
Ambient Temperature	22 ± 3°C 72 ± 5°F	15 to 55°C 58 to 131°F	0 to 55°C 32 to 131°F	- 40 to 66°C - 40 to 151°F
Relative Humidity	10 to 55*	10 to 90*	5 to 90*	5 to 95*
Vibration				
Frequency (Hz)	0	0 to 70	0 to 200	0 to 200
Acceleration (g)	0	0.1	0.2	0.5
Mechanical Shock				
Acceleration (g)	0	1	5	20
Duration (ms)	0	30	30	30
Voltage (Vac)	120 ± 1 240 ± 2	102 to 132 204 to 264	102 to 132 204 to 264	---
Frequency (Hz)	50 ± 0.2 60 ± 0.2	49 to 51 59 to 61	48 to 52 58 to 62	---

*The maximum rating only applies up to 40°C (104°F). For higher temperatures, the RH specification is derated to maintain constant moisture content.

TABLE 1—Input Actuators

PV Input	Range	
	°F	°C
Thermocouples		
B*	105 to 3300	41 to 1815
E*	- 454 to 1832	- 270 to 1000
E (low)	- 200 to 1100	- 133 to 593
J	0 to 1600	- 18 to 871
J (low)	20 to 770	- 7 to 410
K	0 to 2400	- 18 to 1316
K (low)	- 20 to 1000	- 29 to 538
NiNiMoIy (NNM)	32 to 2500	0 to 1371
NiNiMoIy (NNM low)	32 to 1260	0 to 682
NiC (Nicrosil Nisil)	0 to 2372	- 18 to 1300
R	0 to 3100	- 18 to 1704
S	0 to 3100	- 18 to 1704
T	- 300 to 700	- 184 to 371
T (low)	- 200 to 600	- 133 to 316
W5W26	0 to 4200	- 18 to 2316
W5W26 (low)	0 to 2240	- 18 to 1227
RTD		
IEC ALPHA = 0.00385		
100 Ohms	- 300 to 900	- 184 to 482
	0 to 300	- 18 to 149
500 Ohms	- 300 to 900	- 184 to 482
Radiamatic RH	1400 to 2100	760 to 1149
	2100 to 3400	1149 to 1871
Linear**		
Milliamps	4 to 20 mA	
Milivolts	0 to 10 mV	
	10 to 50 mV	
Volts	1 to 5V	
	0 to 10V	

**May require field calibration to achieve rated accuracy below 1000°F for type B and below - 200°F for type E thermocouple

***Not available on FM approved Limit models

General Reference Data

Isolation

All inputs and outputs are electrically isolated from each other and from case ground. The power input and relay contact output can withstand a minimum HIPOT of 1000 Vac for one minute. The other field terminals can withstand a minimum HIPOT of 500 Vac for one minute.

Static Charge

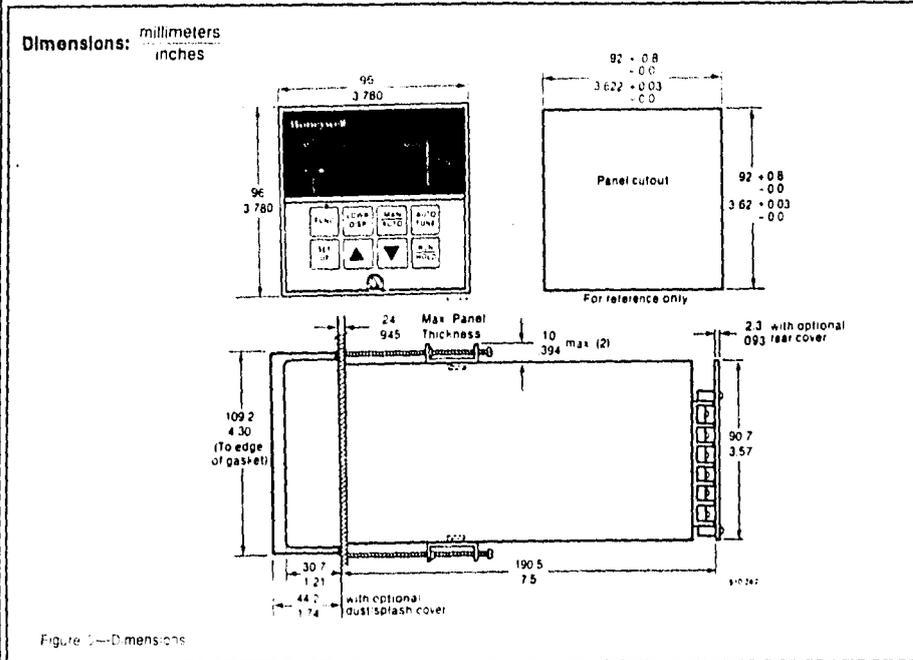
Susceptibility: The exposed panel surface is capable of withstanding a discharge through 100 ohms from a 250 pF capacitor charged to 10 KV with no component failures.

Radio Frequency Interface (RFI)

Susceptibility: The UDC 3000 Universal Digital controller is capable of withstanding an EMI field generated from a 5 watt transmitter operating at 151.685 and 450 MHz and held at a distance of 1 meter from the instrument, with no malperformance.

Line Noise Effects

Surge: The field terminals and power line terminals are capable of withstanding the IEEE Surge Withstanding Capability (SWC) Test with no component failures to 2.5 Kilovolts.



Ordering Information

For complete ordering information request Model Selection Guide 51-51-16-08 for UDC 3000 Universal Digital Controller

Honeywell offers a full line of sensors, transmitters, and final control devices for use with the UDC 3000 Universal Digital Controller. These devices include

- Thermocouples, RTD's,
- Pressure Transmitters,
- Flow Transmitters,
- Liquid Level Transmitters,
- Valves, Actuators, and Electric Motors

For more information contact your nearest Honeywell Branch office or
Honeywell Inc
1100 Virginia Drive
Fort Washington, PA 19034

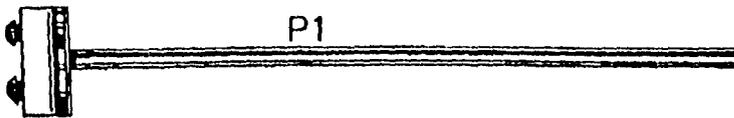
In Canada—
Honeywell Limited
155 Gordon Baker Road
Willowdale, Ontario M2H 3N7

Specifications are subject to change without notice.



BULBOS DE RESISTENCIA (RTD)

Como pudimos ver en las paginas anteriores, los bulbos de resistencia o RTD (Resistance Temperature Ddetectors) , son en la actualidad los medios más confiables para medir temperaturas comprendidas entre -50°C hasta 550°C . Los modelos que a continuación exponemos, son los más usuales en la industria. La forma de solicitarlos así como los tipos de circuitos utilizados se encuentran al reverso de esta hoja.



P1



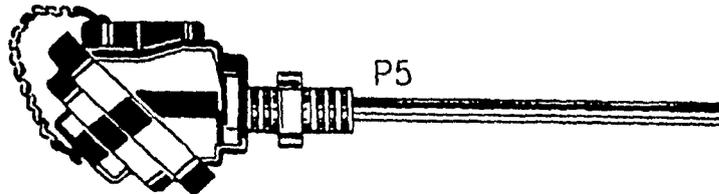
P2



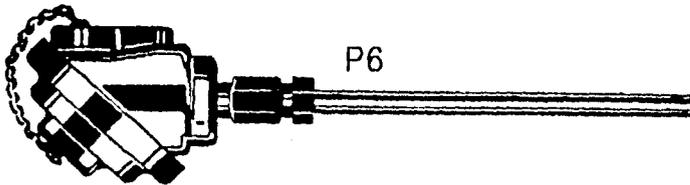
P3



P4



P5



P6



Con el objeto de poder apreciar en que lugar y como se encuentra un bulbo de resistencia en el ensamble completo, hemos incluido a la derecha de esta pagina el dibujo de un RTD justo como se encuentra en el interior de la chaqueta protectora.

COMO SOLICITAR UN BULBO DE RESISTENCIA (RTD)

NUMERO DE PARTE: P P1 100 04 310 03 0 00 20 00 00

IDENTIFICACION	
P	BULBO DE RESISTENCIA

TIPO DE CONSTRUCCION DEL BULBO DE RESISTENCIA	
P1	RTD CON BLOQUE DE CONEXIONES
P2	RTD CON CAMBIO DE CALIBRE Y EXTENSION
P3	RTD CON CONECTOR RAPIDO
P4	RTD CON PUNTAS EXPUESTAS (2")
P5	RTD CON CABEZA Y CONECTOR A PROCESO**
P6	RTD CON CABEZA
??	DISENO ESPECIAL, CONSULTENOS
** ESPECIFICAR CUERDA DEL CONECTOR A PROCESO	

TIPO DE RESISTENCIA OHMS			
050	100	200	???

DIAMETRO DE LA CHAQUETA		
01	1/16"	(0.0625)
02	1/8"	(0.125)
03	3/16"	(0.1875)
04	1/4"	(0.250)
05	3/8"	(0.375)

MATERIAL DE LA CHAQUETA PROTECTORA	
304	ACERO INOXIDABLE TIPO 304
316	ACERO INOXIDABLE TIPO 316
310	ACERO INOXIDABLE TIPO 310
600	INCOINEL 600
???	OTRO MATERIAL, CONSULTENOS

TIPO DE RTD		
01	SENCILLO 2 ALAMBRES	CIRCUITO R005-101
02	SENCILLO 3 ALAMBRES	CIRCUITO R005-102
03	SENCILLO 4 ALAMBRES	CIRCUITO R005-103
04	DOBLE 4 ALAMBRES	CIRCUITO R005-105
05	DOBLE 6 ALAMBRES	CIRCUITO R005-106

TIPO DE EXTENSION (SOLO P2)	
01	EXTENSION DE PVC
02	EXTENSION DE F. DE VIDRIO CON MALLA A1
03	EXTENSION DE F. DE VIDRIO CON MALLA CU
04	EXTENSION CON TUBO FLEXIBLE DE A1
05	EXTENSION CON TUBO FLEXIBLE DE LATON
00	NO USA

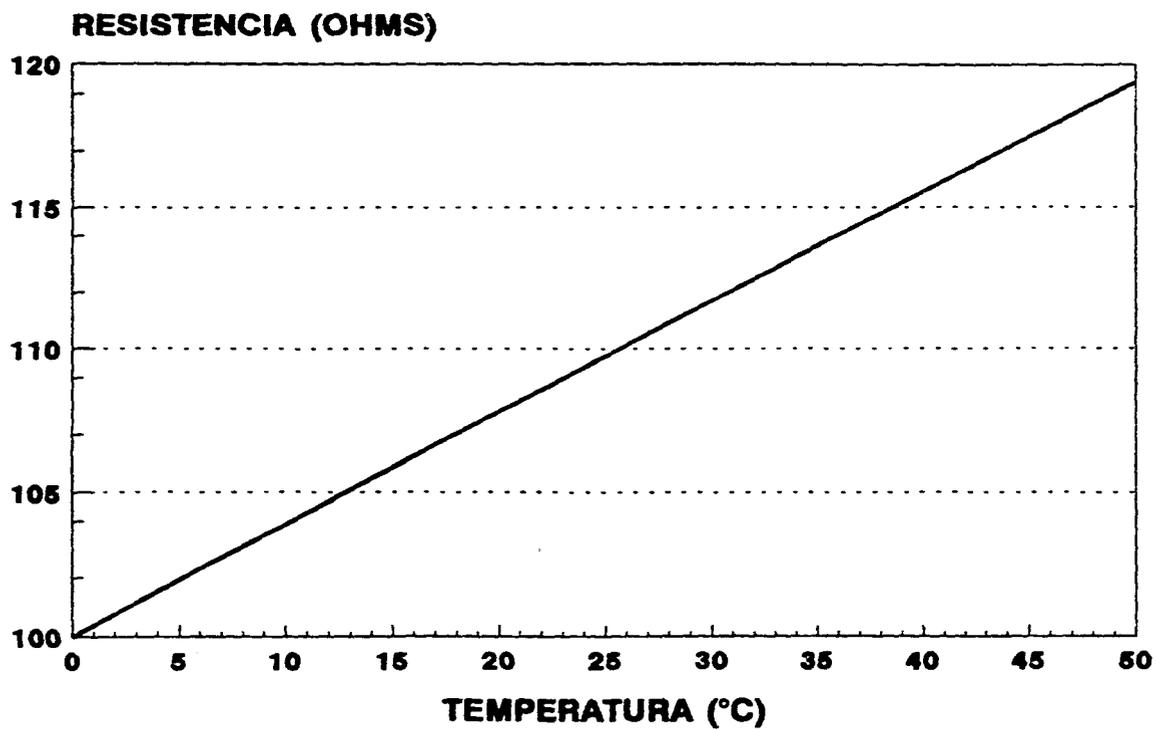
LONGITUD EXTENSION	
06	06 PULGADAS
12	12 PULGADAS
18	18 PULGADAS
24	24 PULGADAS
30	30 PULGADAS
36	36 PULGADAS
42	42 PULGADAS
48	48 PULGADAS
??	ESPECIFIQUE
00	NO USA

LONGITUD DEL RTD	
01	1 METRO
05	5 METROS
10	10 METROS
15	15 METROS
20	20 METROS
25	25 METROS
30	30 METROS
35	35 METROS
??	ESPECIFIQUE

TIPO DE CABEZA	
AR	DE ALUMINIO ROSCADA
AT	DE ALUMINIO ATORNILLADA
FR	DE FIERRO ROSCADA
FT	DE FIERRO ATORNILLADA
00	NO USA

TAMANO DE LA CUERDA CONDUIT EN LA CABEZA	
1	1/2" NPT
2	3/4" NPT
0	NO USA

**VARIACION DE LA RESISTENCIA ELECTRICA CONFORME
LA TEMPERATURA, PARA EL RTD DE PLATINO**

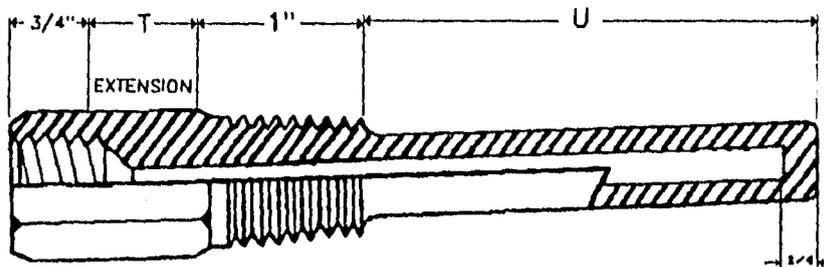




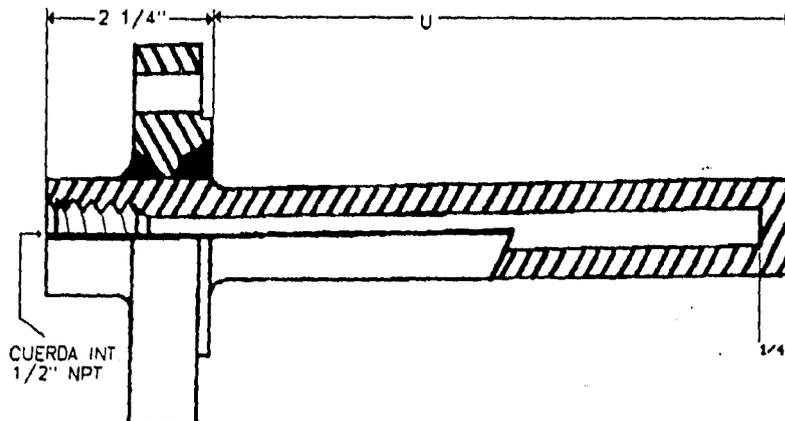
TERMOPOZOS

TYCSA también elabora termopozos roscados o bridados sobre diseño de sus clientes o propio partiendo de barra hexagonal o barra redonda maciza. Este tipo de termopozos se utilizan como protección para los termopares o bulbos de resistencia en condiciones de proceso muy rigurosas.

TERMOPOZO ROSCADO



TERMOPOZO BRIDADO



COMO ORDENAR TERMOPZOS

NUMERO DE PARTE (ROSCADO):	Q C 01 3 A H B7 NNN 06 02
NUMERO DE PARTE (BRIDADO):	U C 01 0 C F B2 RTJ 06 02

IDENTIFICACION	
Q	TERMOPOZO ROSCADO
U	TERMOPOZO BRIDADO

TIPO DE CONSTRUCCION	
C	CONICO
R	RECTO

DIAMETRO DEL BARRENO	
01	0 260"
02	0 385"

EXTENSION "T" (ROSCADO)	
3	3 PULGADAS
7	ESPECIFICAR LONG. EN PULGADAS
0	NO APLICA

TAMAÑO DE LA CONEXION (ROSCADO)	
A	CONEXION ROSCADA DE 3/4" NPT
B	CONEXION ROSCADA DE 1"
C	NO APLICA

TAMAÑO DE LA CONEXION (BRIDADO)	
D	BRIDA PARA LINEA DE 3/4"
E	BRIDA PARA LINEA DE 1"
F	BRIDA PARA LINEA DE 1 1/2"
G	BRIDA PARA LINEA DE 2"
H	NO APLICA

LIBRAJE DE LA BRIDA	
B1	BRIDA PARA LINEA DE 150 LIBRAS
B2	BRIDA PARA LINEA DE 300 LIBRAS
B3	BRIDA PARA LINEA DE 600 LIBRAS
B4	BRIDA PARA LINEA DE 900 LIBRAS
B5	BRIDA PARA LINEA DE 1500 LIBRAS
B6	ESPECIFICAR LIBRAJE DESEADO
B7	NO APLICA

TIPO DE LA BRIDA ¹	
XRF	BRIDA TIPO CARA REALZADA
RTJ	BRIDA TIPO ANILLO
NNN	NO APLICA

TIPO DE MATERIAL	
01	ACERO INOXIDABLE 304
02	ACERO INOXIDABLE 316
03	ACERO INOXIDABLE 446
04	INCONEL 600
??	OTROS. CONSULTENOS

LONGITUD DE IMERSION (U)	
06	6 PULGADAS
09	9 PULGADAS
12	12 PULGADAS
15	15 PULGADAS
18	18 PULGADAS
21	21 PULGADAS
24	24 PULGADAS
27	27 PULGADAS
??	ESPECIFIQUE

