

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA
TORRE DE REFRIGERACIÓN

Autor: José Manuel TOSCANO DE LA TORRE

Fecha: Junio 2006





ÍNDICE GENERAL

OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	1
CAPÍTULO 1. MEMORIA DESCRIPTIVA	
1.1. Introducción	2
1.2. Modo de operación	9
1.3. Clasificación de las torres de enfriamiento.....	11
1.3.1. Torres de circulación natural	11
1.3.1.1. Torres atmosféricas	11
1.3.1.2. Torres de tiro natural	11
1.3.2. Torres de tiro mecánico	13
1.3.2.1. Torres de tiro forzado	13
1.3.2.2. Torres de flujo a contracorriente	14
1.3.2.3. Torres de flujo cruzado	15
1.4. Definiciones y terminología	17
1.4.1. Celdas o sectores	17
1.4.2. Caudal de diseño	17
1.4.3. Caudal circulante	17
1.4.4. Temperatura de bulbo húmedo	17
1.4.5. Salto térmico	18
1.4.6. Aproximación al bulbo húmedo	18
1.4.7. Capacidad de refrigeración	19
1.4.8. Recirculación	20
1.4.9. Altura total de bombeo	21
1.4.10. Ciclos de concentración	21
1.5. Materiales	22
1.5.1. Hormigones	22
1.5.2. Acero al carbón	22
1.5.3. Otros metales o aleaciones	22

1.6. Partes componentes de una torre de refrigeración	23
1.6.1. Estructura y cerramiento	24
1.6.2. Balsa de agua fría	24
1.6.3. Acceso y protecciones	25
1.6.4. Sistema de distribución de agua fría	25
1.6.5. Relleno	27
1.6.5.1. Rellenos de goteo o salpicadura	28
1.6.5.2. Rellenos laminares o de película	31
1.6.5.3. Rellenos mixtos	35
1.6.6. Separador o eliminador de gotas	36
1.6.7. Equipos mecánicos	39
1.6.7.1. Motor	40
1.6.7.2. Motores de polos conmutables	41
1.6.7.3. Sistema de transmisión	42
1.6.7.4. Ventiladores	44
1.6.7.5. Interruptores por vibración	47
1.6.7.6. Bombas	48
1.6.8. Deflectores de aire	50
1.6.9. Pantallas divisorias de flujos	51
1.6.10. Chimenea y difusor	52

CAPÍTULO 2. MEMORIA DE CÁLCULOS

2.1. Objetivo	53
2.2. Balance de Materia. Cálculo del agua de aporte	53
2.3. Balance de calor	56
2.3.1. Método de integración numérica	61
2.3.2. Método de Chebychev	68
2.4. Cálculo de la altura del relleno	70
2.4.1. Ecuación característica del relleno	70

2.4.2. Ecuación característica rellenos de goteo o salpicadura	71
2.4.3. Cálculo de la pérdida de carga a través del relleno	74
2.4.4. Cálculo de la altura de la torre	77
2.5. Potencia del ventilador	78
2.6. Grado de concentración. Índices de estabilidad	79

CAPÍTULO 3. PLIEGO DE CONDICIONES

3.1. Objetivo	82
3.2. Disposiciones generales	82
3.2.1. Contraindicaciones, omisiones o errores	82
3.2.2. Trabajos preparatorios	83
3.2.2.1. Comprobación del replanteo	83
3.2.2.2. Fijación de los puntos del replanteo	84
3.2.2.3. Programación de trabajos	84
3.2.3. Plazos de ejecución	85
3.2.4. Desarrollo y control de los trabajos	85
3.2.4.1. Equipos y maquinaria	85
3.2.4.2. Ensayos	85
3.2.4.3. Materiales	86
3.2.4.4. Acopios	88
3.2.4.5. Trabajos nocturnos	89
3.2.4.6. Accidentes de trabajo	89
3.2.4.7. Descanso en días festivos	90
3.2.4.8. Trabajos defectuosos o no autorizados	90
3.2.4.9. Señalización de la obra	90
3.2.4.10. Precauciones especiales	91
3.2.4.10.1. Lluvias	91
3.2.4.10.2. Incendios	91
3.2.4.10.3. Personal técnico	92

3.2.5. Legislación social	92
3.2.6. Gastos a cuenta del contratista	93
3.2.7. Funciones del ingeniero director de obra	93
3.2.8. Recepción, garantía y obligaciones del contratista	94
3.2.8.1. Recepción provisional	95
3.2.8.2. Plazo de garantía	95
3.2.8.3. Recepción definitiva	96
3.2.8.3.1. Realización del ensayo	96
3.2.8.3.2. Límites de validez del ensayo	96
3.2.8.3.3. Constancia de condiciones de ensayo	97
3.2.8.3.4. Magnitudes e intervalos de medición	97
3.2.8.4. Prescripciones Particulares	98
3.3. Condiciones de los materiales	99
3.3.1. Hormigones	99
3.3.1.1. Transporte del hormigón	99
3.3.1.2. Vertido, colocación y otras precauciones	100
3.3.2. Soldaduras	101
3.4. Especificaciones de las instalaciones	102
3.4.1. Válvulas	102
3.4.2. Bombas	102
3.4.3. Ventiladores	102
3.5. Prescripciones de la ejecución	103
3.5.1. Mano de obra	103
3.5.2. Replanteo	103
3.5.3. Orden de los trabajos	104
3.5.4. Marcha de la obras	104
3.6. Obra civil	104
3.7. Responsabilidad de la contrata	104
3.8. Dirección de los trabajos	105

3.9. Legalización	105
3.10. La Legionella en las torres de refrigeración	106

CAPÍTULO 4. PLANOS

CAPÍTULO 5. PRESUPUESTO

5.1. Introducción	114
5.2. Presupuesto de inmovilizado	115
5.3. Presupuesto de producción	115
5.4. Amortización	115
5.5. Resumen del presupuesto	116

ANEXOS

Anexo I. MANUAL DE OPERACIONES.....	117
1. Comprobaciones antes de la puesta en marcha	117
2. Procedimiento de puesta en marcha	118
3. Operación normal de la torre	119
4. Puesta en marcha después de la parada	120
5. Dosificación de biocida en continuo	121
5.1. Introducción	121
5.2. Fundamento teórico	122
5.3. Sistema de tratamiento	123
5.4. Funcionamiento del equipo	124
5.5. Contador y bomba dosificadora	124
5.6. Conductímetro y electro-válvula de purga	125
6. Medidas de seguridad	126
7. Actuaciones frente a desviaciones en los parámetros a controlar	127
7.1. Aumento pH	127
7.2. Disminución pH	127

7.3. Aumento de la alcalinidad total (TAC)	127
7.4. Aumento del Ca^{2+}	128
7.5. Aumento de Cl^-	128
7.6. Disminución del residual de Molibdato (MoO_4^-)	128
7.7. Aumento del residual de Molibdato (MoO_4^-)	128
7.8. Aumento del Fe^{3+}	129
7.9. Aumento del número total de bacterias	129
7.10. Aparición de limos biológicos	129
7.11. Presencia de bacterias sulfato-reductoras	130
7.12. Aumento de la velocidad de corrosión	130
7.13. Aumento del residual de cloro	130
7.14. Disminución del residual de cloro	130
7.15. Alta conductividad	131
7.16. Baja conductividad	131
Anexo II. MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA TORRE	132
1. Equipos generales	135
1.1. Estructura y cerramiento	135
1.2. Acceso y protecciones	136
1.3. Balsa de agua fría	136
1.4. Tortillería	137
2. Equipos técnicos	138
2.1. Separador de celdas	138
2.2. Relleno	138
2.3. Separadores o eliminadores de gotas	139
2.4. Sistema de distribución de agua	140
2.5. Chimenea y difusor	141
3. Equipos mecánicos	142
3.1. Ventiladores	142

3.2. Eje de transmisión	143
3.3. Reductores de velocidad	144
3.4. Motores	145
3.5. Bombas	147
3.6. Soportes de equipos mecánicos	148
4. Guía de averías	151
4.1. Sistema de distribución de agua	151
4.2. Equipos mecánicos	152
Mantenimiento de la calidad del agua.....	154
Anexo III. MANTENIMIENTO ANTICORROSIÓN-INCRUSTACIÓN	158
1 Corrosión	158
1.1 Definición	158
1.2 Tipos	158
1.2.1 Por el medio en que se produce	158
1.2.2 Por la forma en que se efectúa el ataque	158
1.2.3 Por el mecanismo de reacción que avanza	160
1.3 Inhibidores de corrosión	161
1.3.1 Inhibidores anódicos	162
1.3.1.1 Cromatos	163
1.3.1.2 Nitritos	163
1.3.1.3 Ortosilicatos	164
1.3.1.4 Molibdatos	164
1.3.1.5 Ferrocianuros	165
1.3.1.6 Lignosulfonatos y taninos	165
1.3.1.7 Benzoatos	165
1.3.1.8 Derivados de fósforo orgánico	166
1.3.1.9 Boratos	166

1.3.1.10 Azoles	166
1.3.2 Inhibidores catódicos	167
1.3.2.1 Sales de Zinc	168
1.3.2.2 Polifosfatos	169
1.3.2.3 Ortofosfatos	170
1.4 Principales tratamientos anticorrosivos	171
1.4.1 Cromatos – Polifosfatos – Zinc	171
1.4.2 Cromatos – Fosfonatos – Zinc	172
1.4.3 Polifosfatos – Zinc – Dispersantes	172
1.4.4 Polifosfatos – Ferrocianuros – Zinc	173
1.4.5 Derivados fosfónicos – Zinc con o sin dispersantes	173
1.4.6 Polifosfatos – Fosfónicos – Zinc – Dispersantes	174
1.4.7 Acrilatos – Zinc	174
1.4.8 Molibdatos – Fosfónicos – Zinc	175
1.4.9 Molibdatos – Fosfonatos – Silicatos – Dispersantes ...	175
1.4.10 Boratos – Nitritos – Silicatos – Azoles	175
1.4.11 Molibdatos – Fosfonatos – Polímeros	176
2 Incrustaciones	177
2.1 Definición	177
2.2 Causas	177
2.2.1 Temperatura	177
2.2.2 Alcalinidad	177
2.2.3 Concentración de las salas formadoras de incrustación	178
2.2.4 Concentración de sólidos disueltos	179
2.3 Mecanismo	179
2.3.1 Sobresaturación	179
2.3.2 Nucleación	179
2.3.3 Precipitación	179
2.3.4 Crecimiento del cristal	180

2.4	Tratamientos	180
2.4.1	Amino metilen fosfonato (AMP)	181
2.4.2	Hidroxi Etiliden Difosfonato (HEDP)	182
2.4.3	Fosfobutano Tricarboxílico (PBTC)	182
2.4.4	Ésteres de fosfato	183
2.4.5	Poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas (PHPA)	183
2.4.6	Polímeros naturales: taninos y lignosulfatos	183
2.4.7	Otros productos	184
3	Protocolo de tratamiento anticorrosivo-incrustante	185
3.1	Fundamento técnico	185
3.2	Productos utilizados	186
3.3	Dosificaciones	187
3.4	Forma y punto de adición	187
Anexo IV. MANTENIMIENTO ALGICIDA-BACTERICIDA		188
1.	Crecimiento biológico. Biofouling	188
1.1.	Definición	188
1.2.	Tipos	189
1.2.1.	Algas	189
1.2.2.	Bacterias	189
1.2.2.1.	Formadoras de limos	189
1.2.2.2.	Causantes de la corrosión	190
1.2.2.3.	Bacterias del hierro	190
1.2.2.4.	Sulfatorreductoras	191
1.3.	Tratamientos. Biocidas	192
1.3.1.	Biocidas oxidantes	194
1.3.1.1.	Cloro	195
1.3.1.2.	Dióxido de cloro	195
1.3.1.3.	Derivados órgano-bromados	196

1.3.1.4. Compuestos órgano-metálicos	197
1.3.1.5. Derivados tetraclorados	197
1.3.1.6. Derivados orgánicos halogenados	197
1.3.1.7. Ozono	198
1.3.2. Biocidas no oxidantes	199
1.3.2.1. Aminas y compuestos de amonio cuaternario	199
1.3.2.2. Derivados órgano-azufrados	200
1.3.2.3. Fenoles clorados	201
1.3.2.4. Acroleina	201
1.3.2.5. Isotiazolonas	202
1.4. Protocolo de Tratamiento Bactericida	204
1.4.1. Fundamento técnico	204
1.4.2. Productos utilizados	205
1.4.3. Dosificaciones	205
1.4.4. Forma y puntos de aplicación	206
1.4.5. Tratamiento biodispersante	206
1.4.6. Control de tratamiento	206
1.4.6.1. Puntos y toma de muestras	206
1.4.6.2. Análisis a realizar	206
1.4.7. Métodos de medición	207
Anexo V. MANUAL ANTI-LEGIONELLA	208
1. Legionella	208
1.1. Definición	208
1.2. Justificación	209
1.3. Protocolo de Limpieza y desinfección	210
1.3.1. Procedimientos	210
1.3.2. Productos utilizados	211
1.3.3. Dosificaciones	212

1.3.4. Periodicidad	212
Anexo VI. Carta psicométrica	217
Anexo VII. Entalpías del aire saturado	218
Anexo VIII. Hojas de seguridad	220
Anexo IX. Desinfección tras la aparición de casos	243
Bibliografía	252

Capítulo 1

MEMORIA DESCRIPTIVA

OBJETO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es diseñar una torre de refrigeración que sea capaz de enfriar un caudal de agua que recibe de un proceso químico, y devolverla a dicho proceso con la temperatura requerida; así como el mantenimiento de dicha torre para su correcto funcionamiento y cumplimiento de los requisitos legales.

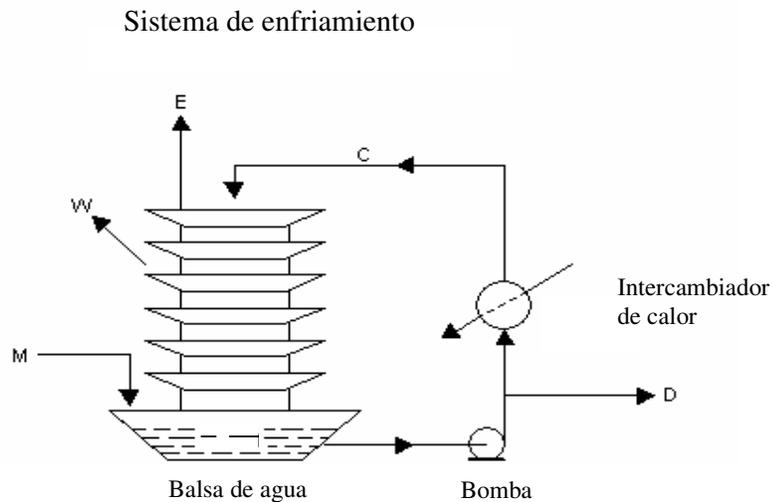
Los requerimientos de la reacción llevan a tener que retirar calor de la reacción mediante un líquido refrigerante, agua en este caso, que debe ser refrigerada y devuelta al proceso de forma continua. Por ello, para realizar esta operación, se elige una torre de refrigeración, como método más efectivo a escala industrial para el efecto.

La viabilidad del proyecto puede verse en tres fases:

- Técnica: en lo referente a que hay que utilizar los métodos adecuados para disminuir la temperatura del agua.
- Económica: en que la elección de esos métodos para disminuir la temperatura del agua, no supongan un coste excesivo en comparación con el resto del proceso.
- Legal: el proyecto debe cumplir los requerimientos legales existentes en relación al control de la Legionelosis en sistemas de enfriamiento, según el Real Decreto 865/2003, que se verá más adelante en este proyecto

1.1. INTRODUCCIÓN

Como se ha dicho, una de las misiones de este proyecto es la de diseñar una torre de refrigeración que sea capaz de enfriar un caudal de agua que recibe de un proceso, y devolverla a dicho proceso con las características que necesita.



Donde:

M = Agua de la estructura en m^3/h

C = Agua circulante en m^3/h

D = Trasegado de agua en m^3/h

E = Agua evaporada en m^3/h

W = Pérdida por viento de agua en m^3/h

X = Concentración en ppm (de sales solubles, como cloruros)

X_M = Concentración de cloruros en el agua de la estructura (M), en ppm

X_C = Concentración de cloruros en el agua circulante (C), en ppm

Ciclos = Ciclos de concentración = X_C / X_M (sin dimensión)

ppm = partes por millón

Lo que vemos en el esquema es que el agua es bombeada desde la balsa de la torre, como agua refrigerante encaminada a través de enfriadores del proceso y condensadores, para que retire el calor necesario de la reacción que vamos a considerar y que veremos más adelante.

Así, el agua fría absorbe calor de las corrientes calientes del proceso que necesitan ser enfriadas o condensadas, y el calor absorbido calienta el agua circulante (C). El agua calentada vuelve a la cima de la torre de refrigeración y se divide chorros finos, consiguiendo así gran superficie para mejorar su enfriamiento con el aire mediante los separadores de gotas, para caer finalmente sobre el material de relleno dentro de la torre.

A medida que gotea, se produce el contacto con el aire que sube por la torre, por tiro forzado por la acción de grandes ventiladores. Este contacto provoca que una pequeña cantidad de agua sea pérdida por arrastre del viento (W) y otra parte del agua (E) por evaporación.

El calor necesario para evaporar el agua se deriva de la propia agua, que enfría el agua a su regreso al depósito original y en donde queda a disposición para volver a circular.

Existe el problema de que el agua evaporada deja las sales que lleva disueltas entre el grueso del agua que no ha sufrido la evaporación, lo que hace que la concentración de sales se incremente en el agua de refrigeración circulante. Para evitar que la concentración de sales en el agua llegue a ser demasiado alta, una parte del agua es retirada (D) para su vertido.

Finalmente, se suministra al depósito de la torre nuevo contingente de agua fresca (M) para compensar las pérdidas por el agua evaporada, el viento, y el agua retirada.

Veamos ahora la reacción que mencionábamos antes. Es una reacción de combustión del paraxileno para producir Ácido Tereftálico (TA), utilizando ácido de cobalto, de manganeso y bromuro de hidrógeno para producir el TA más agua:

El p-xileno es líquido incoloro, de olor característico, cuyas propiedades, características y precauciones en su manejo vienen indicadas en la hoja de seguridad en el anexo 1.

El ácido tereftálico se usa para obtener ácido tereftálico purificado (PTA) y dimetil tereftalato (DMT) que son productos intermedios utilizados en la industria petroquímica para la producción de gasolinas. También se usan en la industria textil y para la fabricación de los PET (polietilentereftalato) para la fabricación de envases. Al igual que el p-xileno, todas las propiedades, características y precauciones de manejo del TA vienen recogidas en su hoja de datos de seguridad presente en el anexo.

Las condiciones de esta reacción determinarán el diseño de la torre, ya que para el diseño de ésta debemos conocer algunos datos como: el caudal de agua a bombear, cantidad de calor a retirar, etc, que veremos más adelante.

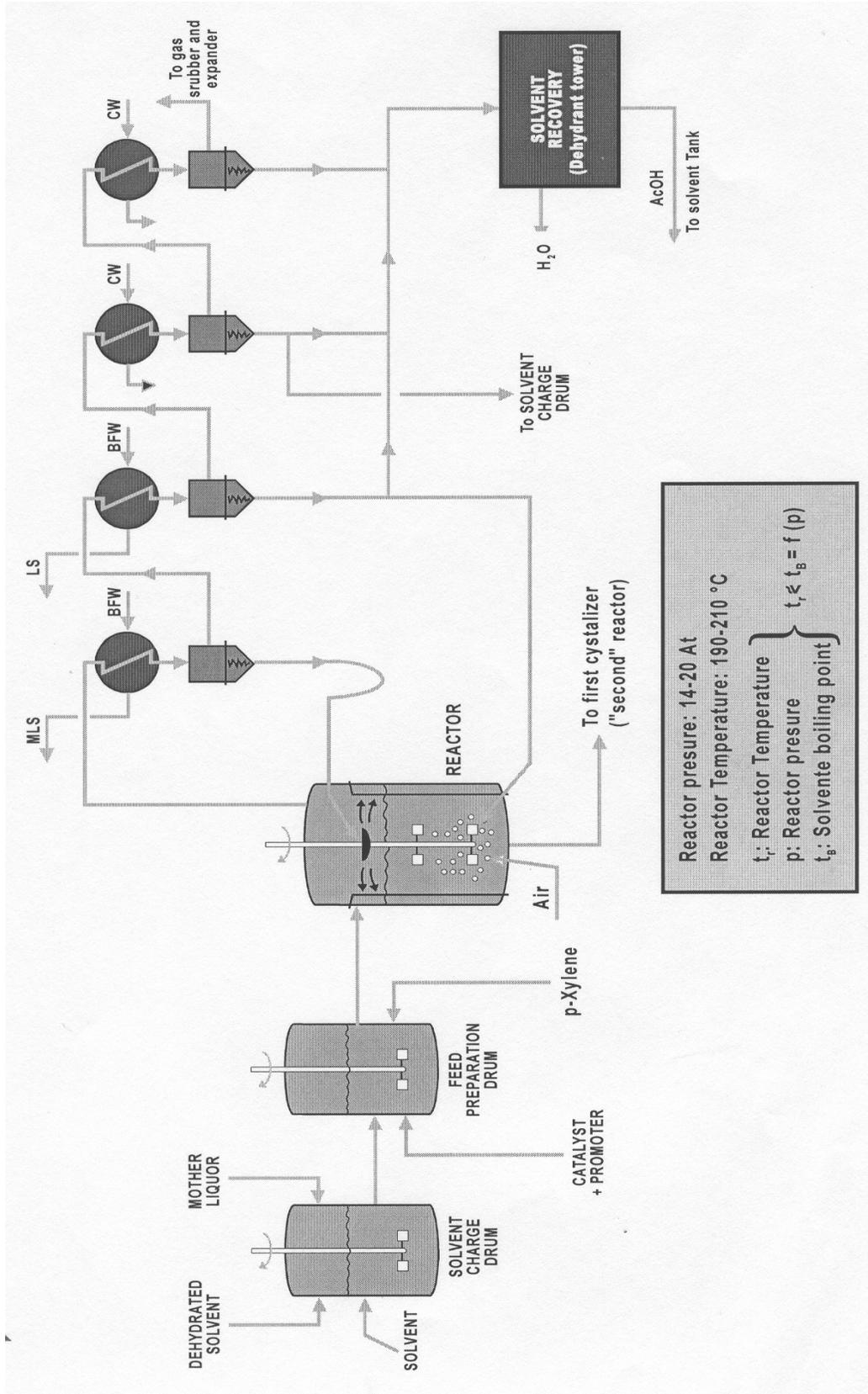


Fig. 1.2

Una vez conocido el esquema general del proyecto, el tipo y condiciones de la reacción, habrá que centrarse en que es y como debe ser nuestra torre de refrigeración.

Una torre de refrigeración es básicamente un intercambiador de calor cuyo objeto es la eliminación de una cantidad de calor de un sistema. Este calor se transmite a la atmósfera, siendo el agua retornada a una temperatura inferior. El aire se usa como un medio de refrigeración por medio del fenómeno físico de la evaporación. La transferencia de calor desde el agua al aire se lleva a cabo por convección y por evaporación.

Teniendo en cuenta las condiciones del aire cuando entra en la torre de refrigeración, sólo el 10-15% del calor se elimina por convección. La evaporación es el fenómeno predominante, su eficiencia está directamente ligada al diseño de las superficies de intercambio.

El límite teórico de refrigeración es la temperatura de bulbo húmedo del aire entrante, que ya veremos más adelante.

Hay dos factores principales que determinan una torre de refrigeración:

- La superficie de intercambio
- La cantidad de aire empleada

La superficie de intercambio consiste en la película de agua sobre el relleno (relleno laminar), o las gotas de agua (tipo de goteo).

El cálculo térmico nos da la cantidad de aire necesaria y la superficie que debemos de emplear, esto nos permite determinar las dimensiones de la torre de refrigeración.

Las ecuaciones básicas de intercambio de calor se usan para efectuar esos cálculos, pero sólo por medio de la experimentación se consigue la experiencia necesaria en el cálculo de los factores de intercambio en

términos de los diferentes parámetros (cantidad de relleno, velocidad de aire, caudal de agua,...).

La pérdida de carga también se evalúa mediante el estudio / desarrollo y pruebas de campo en las diferentes ubicaciones y climas.

El aire se mueve por el interior de la torre por medio de:

- Tiro natural
- Ventilación forzada

El tamaño de las torres de refrigeración varía de acuerdo a su aproximación al límite de enfriamiento. Esto es de vital importancia por lo que es preciso conocer anticipadamente:

- Condiciones ambientales de la futura localización de la torre
- Temperatura del agua fría óptima para los propósitos deseados.

Esto varía de acuerdo al tipo de torre de refrigeración, sea tiro natural o forzado. En tiro natural, el rendimiento está afectado por la densidad y la temperatura del bulbo húmedo y seco del aire entrante en la unidad. En el tiro forzado el flujo de aire es prácticamente constante; esta operación es determinada sólo mediante la temperatura del bulbo húmedo del aire entrante.

En la figura 1.3 que se muestra a continuación, se puede ver el tipo de torre con el que se trabajará en este proyecto, es decir, será una torre de refrigeración de tiro inducido, en la que el aire y el agua circulan a contracorriente, utilizando como relleno parrillas horizontales de polipropileno (relleno tipo goteo), etc. Todas estas características y componentes de la torre se irán viendo a lo largo de esta memoria descriptiva.

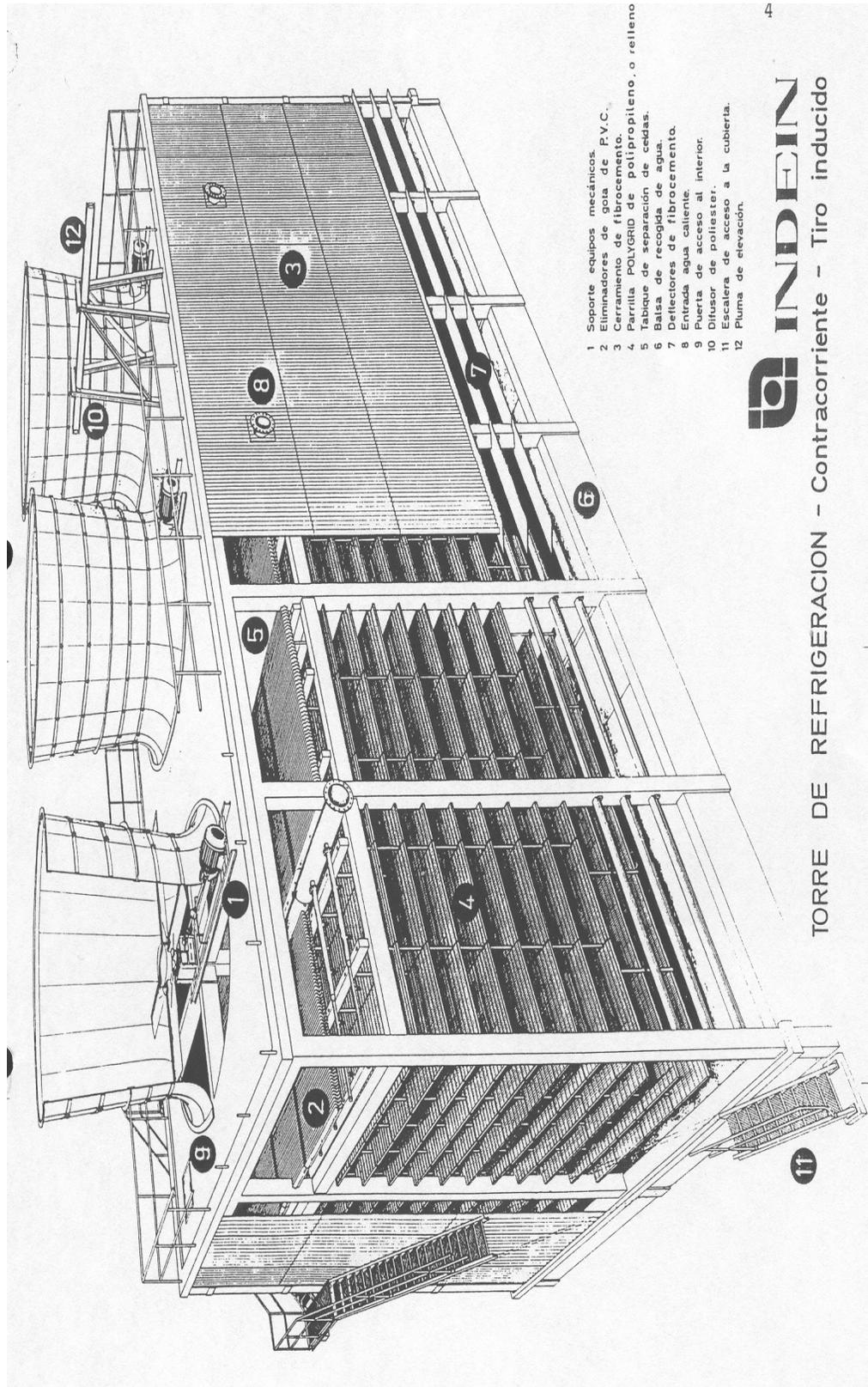


Fig. 1.3

1.2. MODO DE OPERACIÓN

A continuación se observa cual es el funcionamiento interno de la torre de refrigeración, mediante el siguiente esquema:

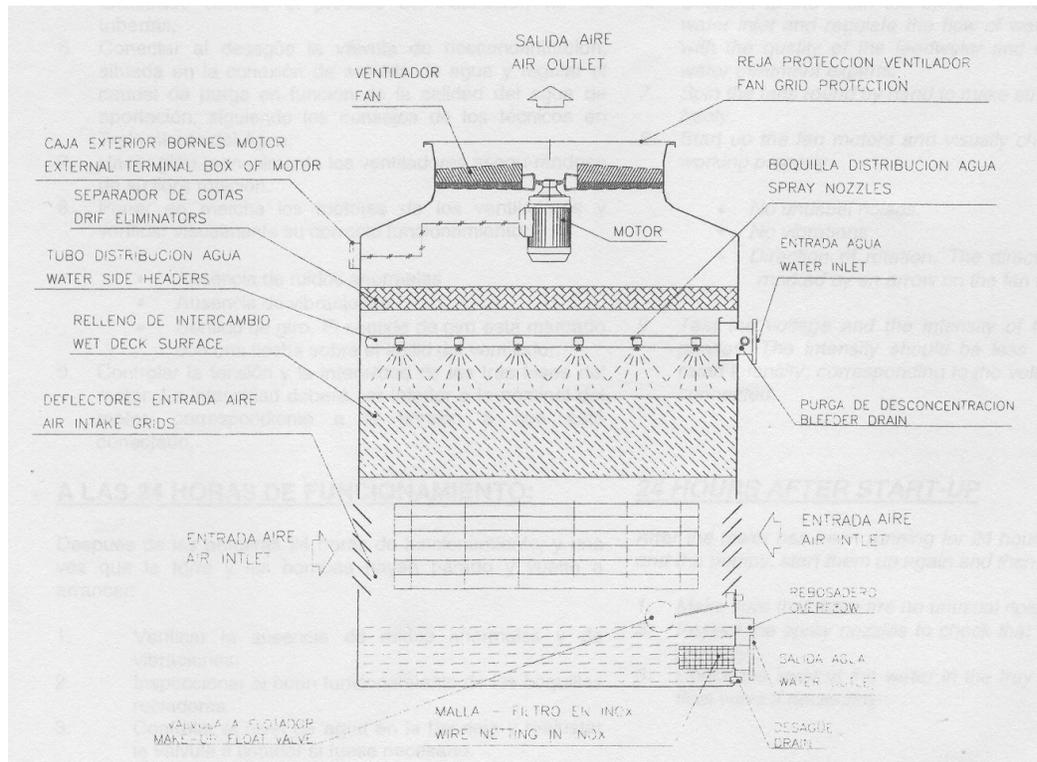


Fig. 2.1

En las torres de enfriamiento se consigue disminuir la temperatura del agua caliente que proviene de un circuito de refrigeración mediante la transferencia de calor y materia al aire que circula por el interior de la torre. A fin de mejorar el contacto aire-agua, se utiliza un entramado denominado "relleno".

El agua entra en la torre por la parte superior y se distribuye uniformemente sobre el relleno utilizando pulverizadores. De esta forma, se consigue un contacto óptimo entre el agua y el aire atmosférico, que entra por la parte media-baja de la torre y asciende por la acción de unos ventiladores situados en la parte superior de la torre.

El relleno, situado en la zona media de la torre, sirve para aumentar el tiempo y la superficie de intercambio entre el agua y el aire. Una vez establecido el contacto entre el agua y el aire, tiene lugar una cesión de calor del agua hacia el aire. Esto hace que obtengamos un agua enfriada que cae a la balsa de agua fría, lista para ser bombeada de nuevo al proceso que lo requiere. Por otro lado, el aire caliente pasa a través de los separadores de gotas que eliminan algo del agua que lleva el aire y que sale finalmente por la zona superior.

Ésta se produce debido a dos mecanismos: la transmisión de calor por convección y la transferencia del vapor desde el agua al aire, con el consiguiente enfriamiento del agua debido a la evaporación.

En la transmisión de calor por convección, se produce un flujo de calor en dirección al aire que rodea el agua a causa de la diferencia de temperaturas entre ambos fluidos.

La tasa de enfriamiento por evaporación es de gran magnitud en las torres de enfriamiento; alrededor del 90 % es debida al fenómeno difusivo. Al entrar en contacto el aire con el agua se forma una fina película de aire húmedo saturado sobre la lámina de agua que desciende por el relleno.

Esto es debido a que la presión parcial de vapor de agua en la película de aire es superior a la del aire húmedo que circula por la torre, produciéndose una cesión de vapor de agua (evaporación). Esta masa de agua evaporada extrae el calor latente de vaporización del propio líquido. Este calor latente es cedido al aire, obteniéndose un enfriamiento del agua y un aumento de la temperatura del aire. La diferencia de temperaturas del agua a la salida y la temperatura húmeda del aire se llama «acercamiento» o «aproximación», ya que representa el límite termodinámico de enfriamiento al que puede llegar el agua

1.3. CLASIFICACIÓN DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO

La forma más simple y usual de clasificar las torres de enfriamiento es según la forma en que se mueve el aire a través de éstas. Según este criterio, existen torres de circulación natural y torres de tiro mecánico. En las torres de circulación natural, el movimiento del aire sólo depende de las condiciones climáticas y ambientales. Las torres de tiro mecánico utilizan ventiladores para mover el aire a través del relleno.

1.3.1. Torres de circulación natural

1.3.1.1 Torres atmosféricas

Las torres atmosféricas utilizan las corrientes de aire de la atmósfera. El aire se mueve de forma horizontal y el agua cae verticalmente (flujo cruzado). Son torres de gran altura y pequeña sección transversal. Deben instalarse en lugares muy despejados, de forma que ningún obstáculo pueda impedir la libre circulación de aire a través de la torre. Tienen un costo inicial alto debido a su gran tamaño, pero el costo de mantenimiento es reducido, al no existir partes mecánicas móviles. Una torre de este tipo puede ser una solución muy económica para determinadas necesidades de refrigeración si se puede garantizar que funcionará habitualmente expuesta a vientos de velocidades iguales o superiores a los 8 km/h. Si la velocidad promedio del viento es baja, los costos fijos y de bombeo aumentan mucho en relación a una torre de tiro mecánico y no compensan el ahorro del costo de ventilación. Actualmente, las torres atmosféricas están en desuso.

1.3.1.2. Torres de tiro natural

Una torre de tiro natural es aquella en la que el aire es inducido por una gran chimenea situada sobre el relleno (Fig. 3.1). La diferencia de densidades entre el aire húmedo caliente y el aire

atmosférico es el principal motivo por el cual se crea el tiro de aire a través de la torre. La diferencia de velocidades entre el viento circulante a nivel del suelo y el viento que circula por la parte superior de la chimenea también ayuda a establecer el flujo de aire. Por ambos motivos, las torres de tiro natural han de ser altas y, además, deben tener una sección transversal grande para facilitar el movimiento del aire ascendente. Estas torres tienen bajos costos de mantenimiento y son muy indicadas para enfriar grandes caudales de agua. Al igual que las torres atmosféricas, no tienen partes mecánicas. La velocidad media del aire a través de la torre suele estar comprendida entre 1 y 2 m/s. Las torres de tiro natural no son adecuadas cuando la temperatura seca del aire es elevada, ya que ésta debe ser siempre inferior a la del agua caliente. No es posible conseguir un valor de acercamiento pequeño y es muy difícil controlar exactamente la temperatura del agua. En las torres de tiro natural no se pueden utilizar rellenos de gran compacidad, debido a que la resistencia al flujo de aire debe ser lo más pequeña posible. Estas torres son muy utilizadas en centrales térmicas; muy pocas veces son aplicables a plantas industriales debido a la fuerte inversión inicial necesaria.

SALIDA DE AIRE

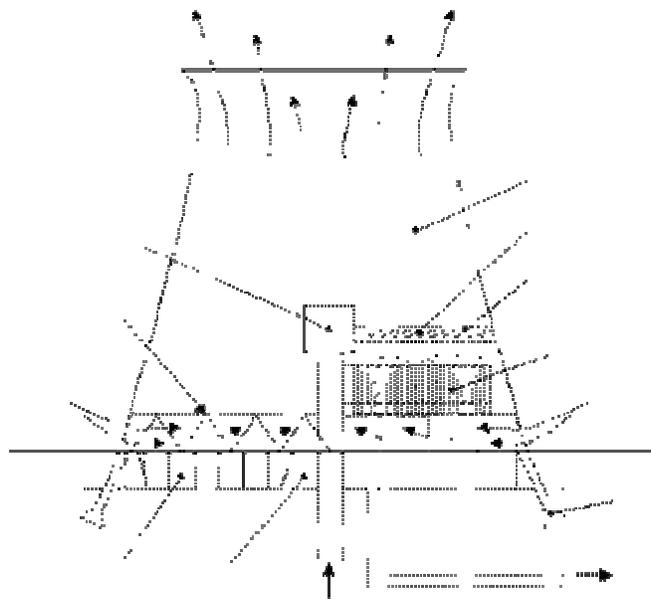


Fig. 3.1

1.3.2. Torres de tiro mecánico

Las torres de tiro mecánico proporcionan un control total sobre el caudal de aire suministrado. Se trata de torres compactas, con una sección transversal y una altura de bombeo pequeñas en comparación con las torres de tiro natural. En estas torres se puede controlar de forma precisa la temperatura del agua de salida, y se pueden lograr valores de acercamiento muy pequeños (hasta de 1 o 2 °C, aunque en la práctica acostumbra a ser de 3 o 4 °C). Si el ventilador se encuentra situado en la entrada de aire, el tiro es forzado. Cuando el ventilador se ubica en la zona de descarga del aire, se habla de tiro inducido.

1.3.2.1. Torres de tiro forzado

En las torres de tiro forzado el aire se descarga a baja velocidad por la parte superior de la torre. Estas torres son, casi siempre, de flujo a contracorriente. Son más eficientes que las torres de tiro inducido, puesto que la presión dinámica convertida a estática realiza un trabajo útil. El aire que se mueve es aire frío de mayor densidad que en el caso de tiro inducido.

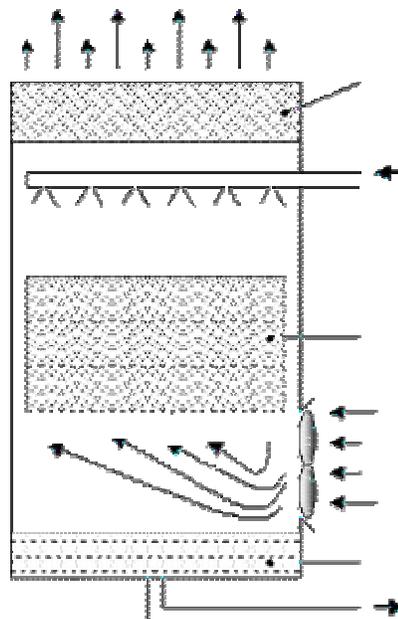


Fig. 3..2

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

1.3.2.2. Torre de flujo a contracorriente

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

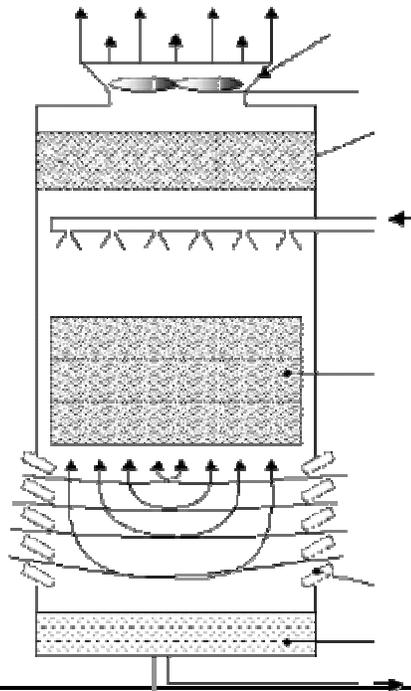


Fig. 3.3

1.3.2.3. Torres de flujo cruzado

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

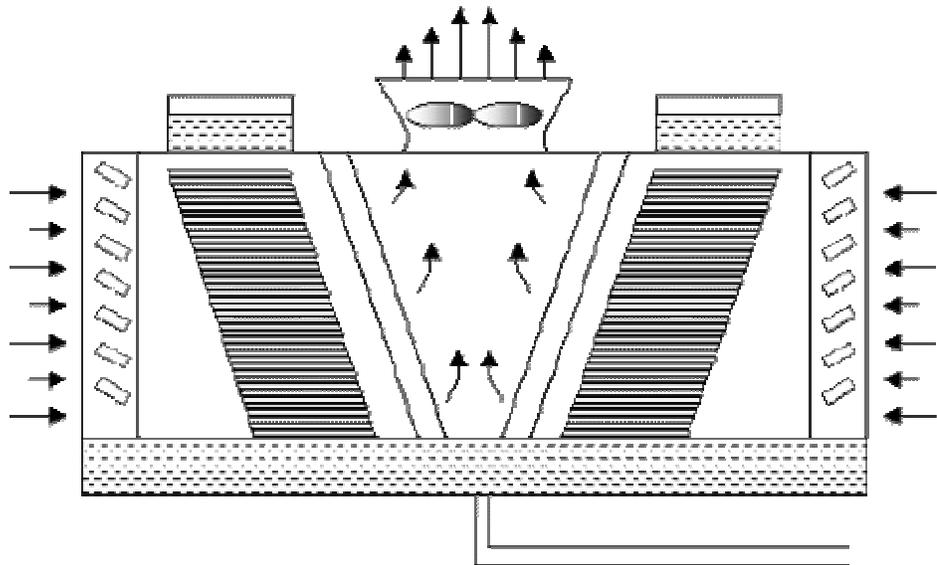


Fig. 3.4

Según la capacidad de disposición del agua que se vaya a emplear en la torre, pueden encontrarse distintos tipos de sistemas:

- *Circuitos abiertos de un solo paso*: el agua sólo efectúa un paso por el mismo, en el transcurso del cual se efectúa la transferencia de calor, luego el agua se tira.
- *Circuitos semi-abiertos*: el agua se reutiliza varias veces antes de tirarla. El calor absorbido en el proceso se disipa en la atmósfera, en contacto con el aire, mediante diferentes equipos mecánicos, compensando las pérdidas de agua evaporada con agua fresca.
- *Circuitos cerrados*: el agua caliente del proceso intercambia su calor con un fluido secundario sin producirse pérdidas por evaporación, quedando disponible nuevamente para su utilización. Las únicas pérdidas en estos circuitos son debidas a fugas y purgas.

En este proyecto se va a trabajar con una torre de refrigeración de tiro inducido, en la que el aire y el agua circulan en contracorriente, y trabajando con el agua en circuito cerrado.

1.4. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA

Los términos utilizados en el diseño y operación de las torres requieren ser definidos con exactitud antes de iniciar una discusión rigurosa de la teoría, ya que cualquier referencia a ellos sin haberlos precisado previamente, dificultaría su comprensión.

1.4.1. Celdas y sectores

Las celdas son las unidades individuales en que se subdivide una torre y que operan con independencia unas de otras. En nuestro caso trabajaremos con una torre de tres celdas.

Se llaman sectores a las distintas zonas en que se divide el relleno y que pueden independizarse cuando se requiera, por operación o mantenimiento de la unidad.

1.4.2. Caudal de diseño

Es el caudal de agua por unidad de tiempo para el cual se diseña (dimensiona) la capacidad de la torre. Se expresa en l/h, m³/h, etc.

1.4.3. Caudal circulante

Es el flujo real de agua que se hace pasar por la torre y que en ocasiones es distinto al flujo de diseño, por ejemplo, si en tiempo frío o al cambiar las necesidades de refrigeración en el proceso, se reduce el caudal de agua; aunque normalmente coinciden ambos.

1.4.4. Temperatura de bulbo húmedo

Es la medida por un termómetro llamado de bulbo húmedo, que tiene el bulbo recubierto por una tela empapada de agua. Haciendo pasar sobre el bulbo una corriente de aire a velocidad suficientemente elevada (3-5 m/s), se produce, si el aire no está saturado, un descenso de temperatura respecto a la indicada por un termómetro normal debido a la evaporación del agua que baña la tela. Pasado un cierto tiempo, la temperatura medida permanece constante y puede tomarse.

Esta temperatura de bulbo húmedo no es sino una aproximación aceptable de una propiedad termodinámica del aire denominada de saturación adiabática o temperatura termodinámica de bulbo húmedo, que no puede ser medida directamente.

1.4.5. Salto térmico

Es la diferencia entre las temperaturas del agua a la entrada y a la salida de la torre:

$$\Delta T = t_1 - t_2$$

ΔT = salto térmico

t_1 = temperatura del agua caliente

t_2 = temperatura del agua fría

1.4.6. Aproximación al bulbo húmedo

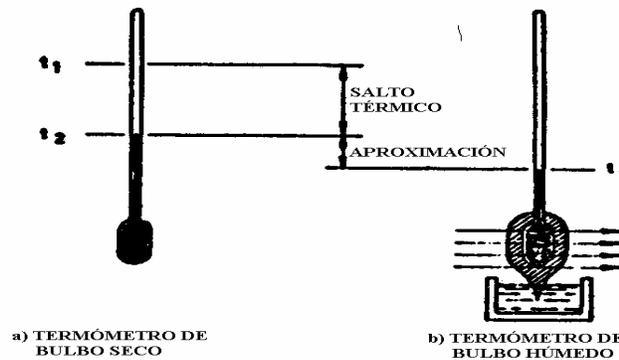
Es la diferencia entre la temperatura del agua a la salida de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire en la entrada.

$$A = t_2 - t_h$$

t_2 = temperatura del agua fría

t_h = temperatura húmeda

Esta aproximación representa el límite de enfriamiento que se puede alcanzar en el lugar de emplazamiento de la torre, puesto que el agua nunca podrá salir de ella con una temperatura inferior a la que tenga el aire saturado en dicho lugar.



Este es un parámetro que condiciona de manera muy importante las características de la torre, de forma que cuanto menor sea dicha diferencia mayor ha de ser el rendimiento de la torre y, por tanto, mayor será su tamaño y costo.

Como indicación podemos señalar que los valores normales de aproximación para un diseño económico oscilan entre 8 y 3 °C, siendo 2,8 °C el valor mínimo aceptable.

1.4.7. Capacidad de refrigeración

Es la cantidad de calor que una torre puede disipar; se mide en Kcal/hora y se calcula aplicando la fórmula:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Q = cantidad de calor transferido (Kcal)

m = cantidad de agua (kg)

ΔT = diferencia de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

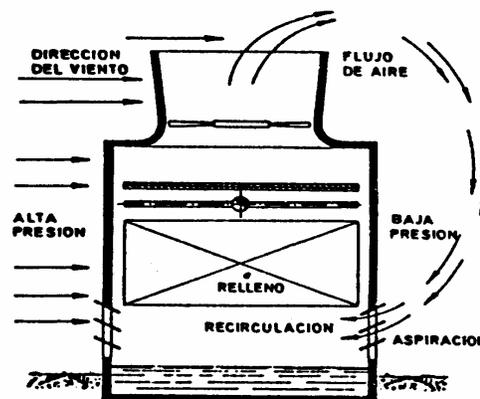
C_p = calor específico del agua (Kcal/kg \cdot $^{\circ}\text{C}$)

1.4.8. Recirculación

Es un término utilizado para indicar que una torre está afectando adversamente a su propio rendimiento.

Es el fenómeno que se produce cuando el aire saturado de vapor que sale de la torre vuelve a entrar en ella mezclado con el aire ambiente.

La causa principal de la recirculación es el viento, puesto que se crea una zona de baja presión en el lado opuesto al del sentido del viento incidente sobre la torre, dando lugar a que el aire al salir por las chimeneas tienda a descender absorbido por la dispersión y favorecido por el propio tiro de la torre.



Fenómeno de recirculación

Cada fabricante de torres de refrigeración tiene datos de pruebas en terreno indicando el efecto perjudicial de la recirculación, basados en la

longitud de la torre, dirección del viento, altura de los cilindros de ventilación y otros datos pertinentes.

La tolerancia a la recirculación puede o no estar incluida en el dimensionado de la torre dependiendo de si las especificaciones exigen temperaturas de termómetro húmedo ambiente o de entrada.

1.4.9. Altura total de bombeo

Es la presión en metros de columna de agua (m.c.a.) requerida para llevar el caudal de diseño a la presión requerida por las boquillas del sistema de distribución de agua fría. Se compone de la altura de la torre, más la pérdida de carga por fricción en la línea y la caída de presión en el propio sistema de distribución, incluida la de las boquillas o pulverizadores.

1.4.10. Ciclos de concentración

Son la relación de sólidos disueltos en el agua recirculante respecto a los sólidos disueltos en el agua de acondicionamiento o de aporte. Como los cloruros permanecen solubles en la concentración, los ciclos pueden expresarse mejor como la relación del contenido de cloruros del agua respecto a las corrientes de recirculación y acondicionamiento.

$$\text{Ciclos de concentración} = (W_e + W_b) / W_b$$

Los ciclos de concentración incluidos en la operación normal de las torres de enfriamiento se encuentran entre tres y cinco. Cuando se tiene menos de tres ciclos de concentración se requieren cantidades excesivas de flujo que se pierde a causa del viento, además de considerar la adición de ácido a escala límite.

1.5. MATERIALES

La elección de los materiales de que constará un sistema refrigeración, será una fase muy importante dentro del diseño de una torre de refrigeración, ya que dependiendo de esos materiales tendremos distintos valores en muchos de los parámetros a controlar y distintas respuestas del sistema frente a los problemas que surgen en ellos, como se verá más adelante.

Los sistemas de refrigeración están constituidos generalmente por los siguientes materiales:

1.5.1. Hormigones

Es el material de obra empleado habitualmente para la construcción de las torres de refrigeración, así como de las líneas de conducción de agua. Como característica principal, hay que destacar que puede verse muy afectado por variaciones importantes de pH, así como por determinados iones del agua como, por ejemplo, los sulfatos.

1.5.2. Acero al carbono

Material ampliamente empleado en el tendido de tuberías, fabricación de equipos de proceso e intercambiadores de calor. Es el material más susceptible a los fenómenos de corrosión en los sistemas de refrigeración y calderas. Se puede combinar con determinados elementos metálicos con objeto de mejorar sus propiedades mecánicas o de resistencia a la corrosión.

1.5.3. Otros metales o aleaciones

Cada día los requerimientos tecnológicos de los procesos productivos introducen nuevos materiales en la fabricación de los mismos, estos

materiales presentan mejoras sustanciales en cuanto a duración, desgaste y resistencia mecánica y/o química. De entre muchos podemos citar: Titanio, Cobre-Níquel, Aceros inoxidable, Bronces, etc.

1.6. PARTES COMPONENTES DE UNA TORRE DE REFRIGERACIÓN

Las partes de una torre de refrigeración son básicamente las mismas para cualquier tipo, sea de tiro natural o mecánico.

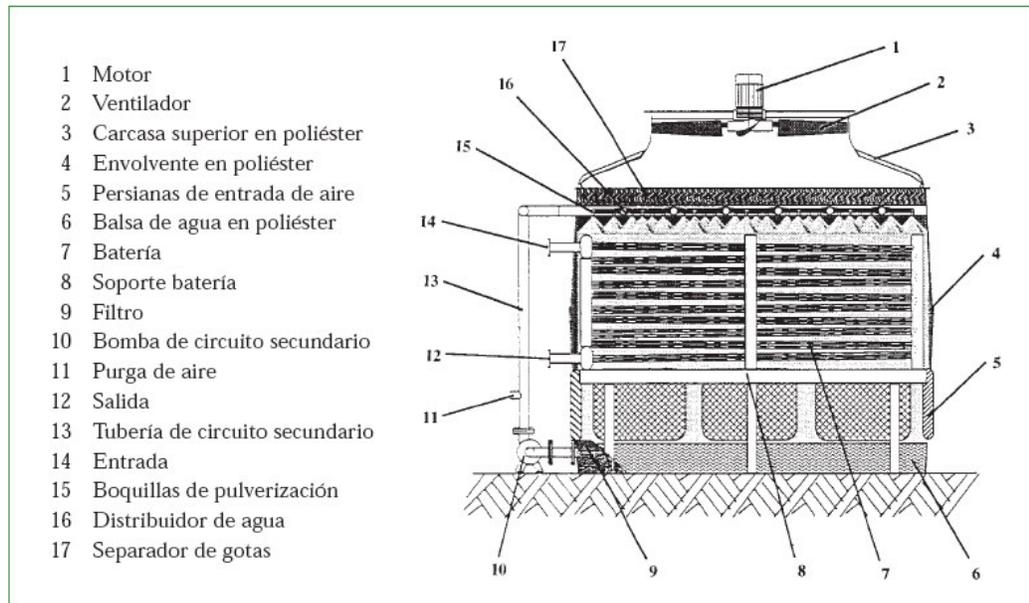
Se puede distinguir entre partes relacionadas con el diseño estructural:

1. Estructura y cerramiento
2. Balsa de agua fría
3. Acceso y protecciones

Y las partes relacionadas con el diseño termodinámico, de las que dependerá la eficiencia del proceso de intercambio de calor:

4. Sistema de distribución de agua fría
5. Relleno
6. Separador de gotas
7. Equipo mecánico
8. Deflector de aire
9. Pantallas divisorias de flujo
10. Chimenea y difusor

En el siguiente esquema, ofrece una visión general de los principales elementos que forman una torre de refrigeración, creando una idea mejor de su posición en la torre, antes de pasar a describirlos:



1.6.1. Estructura y cerramiento

La estructura y el cerramiento de la torre sirven como soporte para el relleno, eliminadores de gotas, sistemas de distribución de agua, equipos mecánicos y cubierta de la torre.

1.6.2. Balsa de agua fría

La balsa es la encargada de recoger el agua enfriada que cae de la torre después de haber pasado por el relleno y transferir su calor al aire. En las balsas se puede distinguir una zona de aspiración, donde la bomba aspirará esa agua enfriada y la devolverá de nuevo al proceso, un flotador que actúa como sensor de nivel y un rebosadero que impide el derrame de agua en caso de fallo del sensor.

En el caso de la torre objeto de estudio, consta de una balsa con capacidad de 500 m³.

1.6.3. Acceso y protecciones

Cada celda va provista de una puerta de acceso al interior, colocada en la planta de la cubierta, y de una escalerilla interior para facilitar la inspección de los equipos mecánicos, relleno, sistema de distribución de agua y eliminadores de gotas.

Además, por cuestiones de seguridad, se coloca una barandilla de protección que se extiende en todo el contorno superior de la torre.

1.6.4. Sistema de distribución de agua fría

Como su propio nombre indica, estos sistemas de tuberías y conducciones se encargan de repartir el flujo de agua de modo uniforme por encima del relleno.

Existen dos sistemas de distribución de agua: por gravedad y por presión. El sistema de gravedad se utiliza casi siempre con torres de flujo cruzado, mientras que en flujo a contracorriente, como es nuestro caso, se recurre generalmente a la distribución mediante presión, mediante pulverizadores o boquillas.

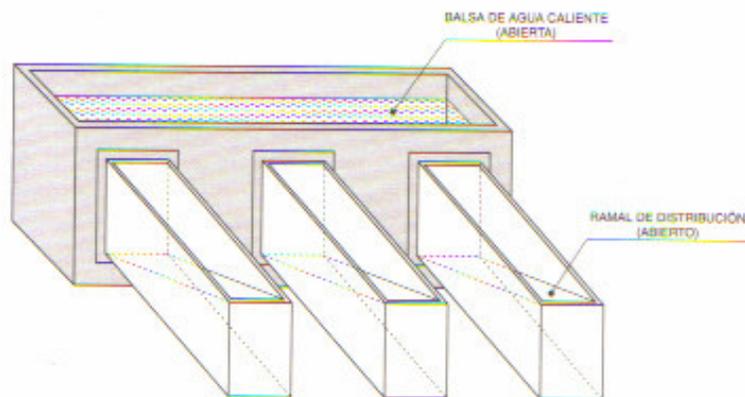


Fig. 6.1. Sistema de distribución por gravedad

En el sistema de distribución por gravedad, el agua caliente cae sobre el relleno por su propio peso. El funcionamiento es muy simple: el agua caliente llega a una balsa o cubeta situada sobre el relleno. Una vez allí, cae por gravedad a través de unas toberas fijadas en la parte inferior de la cubeta. En la figura anterior, se muestra un sistema de este tipo: el agua caliente llega a una cubeta abierta provista de toda una serie de orificios laterales. A estos orificios se les unen unos canales de distribución también abiertos por la parte superior. La profundidad de estos canales va disminuyendo con la finalidad de que el agua, una vez que inunde los canales, caiga hacia abajo a la misma velocidad en cualquier punto del canal. Debajo de cada canal se coloca una placa de plástico ondulada para abrir con un determinado ángulo la película de agua que cae y poder mojar así toda la sección transversal de relleno. El sistema de distribución por gravedad requiere poca altura de bombeo, debido a que el agua cae por su propio peso. El mantenimiento es mínimo y puede realizarse incluso con la torre funcionando. La regulación de caudal de agua por celda, necesaria para lograr una eficiencia máxima, se lleva a cabo mediante una simple inspección visual y la consiguiente variación del nivel de agua en la balsa. Es un sistema que acepta grandes variaciones del caudal de agua. Rara vez se utiliza este sistema para torres con flujo a contracorriente, debido a las dificultades que se presentan en el diseño y el ajuste de la distribución del agua. Se interfiere con el flujo de aire y es difícil de mantener con su localización interna.

La mayor parte de las torres con flujo en contracorriente se encuentran equipadas con sistemas de pulverización a presión con las toberas dirigidas hacia abajo. Este sistema no sólo actúa como distribuidor de agua sino que contribuye directamente al rendimiento de la torre. Un sistema de distribución por presión es aquél en el que el agua caliente cae sobre el relleno a través de boquillas o pulverizadores conectados a unos ramales por los que circula el agua. La presión de trabajo es inferior a los 5 bar. Es un sistema que no actúa únicamente de distribuidor, sino que aumenta el rendimiento de la torre. Esto es debido a que disgrega el agua en pequeñas gotas, aumentando así la superficie de transferencia de calor. Los sistemas de distribución por presión más utilizados están compuestos de una

tubería central de la que parten toda una serie de ramales equidistantes y simétricos que cubren el área transversal de la torre, como puede verse en la siguiente figura. El caudal queda repartido de forma homogénea. El principal inconveniente de este sistema de distribución es el mantenimiento; es muy difícil limpiar la suciedad acumulada en los ramales y pulverizadores que, además, se encuentran situados debajo del separador de gotas. En el caso de torres con varias celdas, es muy habitual que el flujo de agua se desequilibre, ocasionando una disminución del rendimiento.

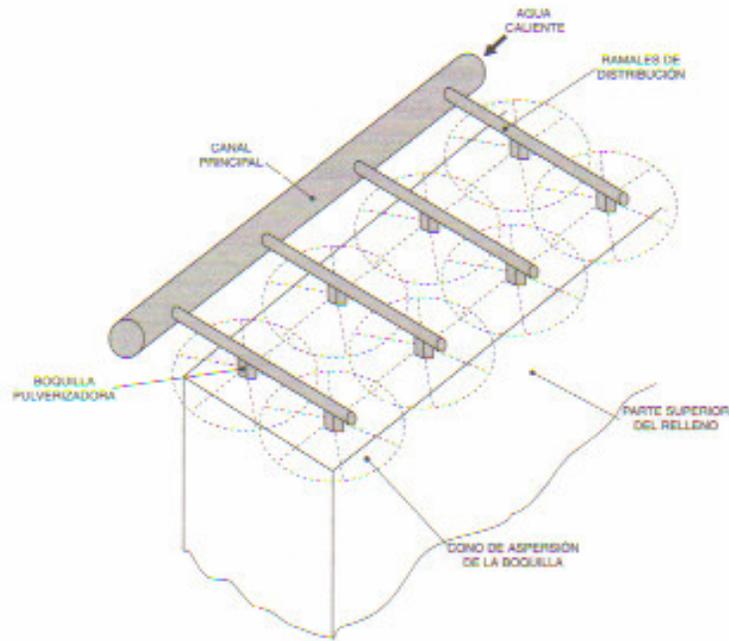


Fig. 6.2. Sistema de distribución por presión.

1.6.5. Relleno

El relleno es el elemento más importante en el proceso de intercambio de calor. Los rellenos o empaques se definen por una ecuación característica que depende del material con el que está construido, su forma y su disposición geométrica. Conociendo esta ecuación característica, podrá dimensionarse la torre. Por lo tanto, el

tamaño o volumen de la torre y su costo dependerán del tipo de relleno utilizado.

El relleno cumple dos funciones:

a) Proporcionar una superficie de intercambio lo más grande posible entre el agua que cae y el aire ascendente, favoreciendo la presencia de una amplia superficie húmeda mediante la creación de gotas o finas películas.

b) Retardar el tiempo de caída del agua, asegurando una mayor duración del proceso de intercambio, que se traducirá en un aumento de calor cedido.

El relleno debe ser un material de bajo coste y fácil instalación. La relación entre superficie de relleno y volumen de relleno debe ser lo más grande posible. Es importante que ofrezca poca resistencia al paso del aire (poca pérdida de carga) y proporcione una distribución uniforme del aire y del agua. Por último, debe ser resistente al deterioro y fácil de limpiar.

Los rellenos pueden clasificarse de la siguiente forma:

1.6.5.1. Rellenos de goteo o salpicadura

En los rellenos de goteo, el agua cae sobre una serie de pisos superpuestos de listones o rejillas. Al chocar con los listones, el agua se va fraccionando en gotas cada vez más pequeñas. El aire, mientras tanto, se mueve en sentido vertical (flujo a contracorriente) o en sentido horizontal (flujo cruzado).

La finalidad del relleno de goteo es fraccionar el agua en pequeñas gotas, cuya superficie constituirá el área de

intercambio de calor. Al salir del sistema de distribución, el agua caliente cae sobre una serie de pisos superpuestos de rejillas o listones. El agua se fracciona en gotas cada vez más pequeñas, rompiéndose, además, las de mayor diámetro, que se habían formado por unión de otras más pequeñas. En la figura 6.3 puede verse una disposición muy usual en este tipo de rellenos. La distancia vertical entre pisos, así como la distancia horizontal entre largueros, es analizada mediante ensayos para que aquella disposición determinada proporcione un máximo rendimiento. Actualmente, los largueros se fabrican con sección triangular o rectangular y menor área transversal que hace unos años. De esta manera, son más fáciles de instalar, más económicos y provocan menores pérdidas de carga. Parte del agua que golpea la zona superior del larguero salpica y se fracciona en gotitas, pero una gran parte del agua resbala por los lados y, al llegar a la parte inferior del larguero, se rompe en flujo turbulento, con lo cual se vuelven a formar nuevas gotas. Este proceso se repetirá en todos los largueros que forman el relleno. Debe destacarse que la película de agua que se forma en la superficie lateral de los largueros es de mayor importancia en el proceso de enfriamiento que la formación de superficie de gota.

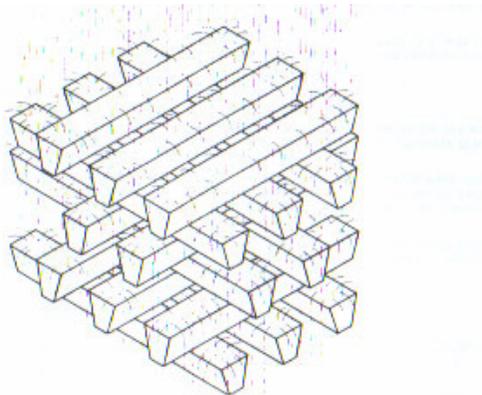


Fig. 6.3. Relleno de goteo

Las ventajas de estos rellenos son las siguientes:

- a) Provocan menor pérdida de carga que los rellenos de película.
- b) No se obstruyen debido a la suciedad y a las incrustaciones. Esto implica un mínimo mantenimiento.
- c) Son los rellenos más adecuados para saltos térmicos de más de 15 °C.

Los inconvenientes son los siguientes:

- a) La superficie de intercambio por unidad de volumen en estos rellenos es menor que en los rellenos de película, por lo que, para unas condiciones de diseño determinadas, la altura necesaria será mayor si se utiliza relleno de goteo que uno de película.
- b) En este tipo de rellenos, el arrastre de agua es importante, por lo que debe reducirse considerablemente utilizando separadores de gotas de alto rendimiento.
- c) Los largueros deben colocarse nivelados para que la distribución de agua sobre el relleno sea correcta y uniforme. Si no fuera así. El agua se deslizaría por los largueros debido a la pendiente, desequilibrando la distribución de agua y creando zonas secas de relleno que harían descender notablemente el rendimiento de la torre.

Actualmente, este tipo de relleno se utiliza en torre de tiro natural y en grandes torres de tiro mecánico que funcionan con caudales de agua de gran magnitud y grandes saltos térmicos. También se utiliza cuando el agua que se quiere enfriar es dura o sucia. Los listones con sección transversal en forma de V invertida son los que más se utilizan.

1.6.5.2. Rellenos laminares o de película

Este tipo de relleno distribuye el agua en una fina película que fluye por su superficie, proporcionando la exposición de la película de agua a la corriente de aire. La película de agua debe ser muy delgada y debe cubrir la máxima superficie de relleno posible, para que así la evaporación sea mayor. La lámina de agua descende adherida a la superficie del relleno. La tensión superficial del líquido impide que la corriente de aire desprenda la película de agua del relleno. Si esto ocurriera, el rendimiento de la torre descendería bruscamente, ya que una porción de superficie dejaría de estar mojada.

Los rellenos de película tienen más superficie por unidad de volumen (mayor compacidad) que los rellenos de salpicadura, y, además, este dato es, en los primeros, fácilmente calculable, mientras que en rellenos de salpicadura es muy difícil determinarlo de forma precisa.

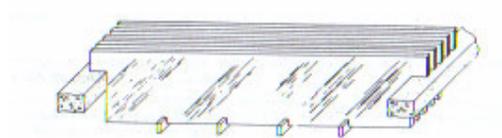


Fig. 6.4. Relleno laminar de placas de fibrocemento.

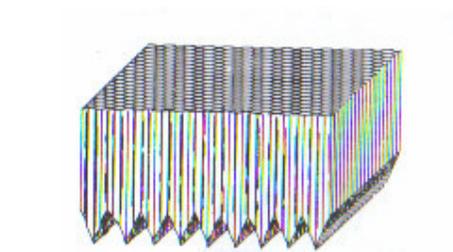


Fig. 6.5. Relleno laminar de placas onduladas.

Las ventajas de los rellenos de película son los siguientes:

a) Como acaba de indicarse, la compacidad es mayor que en los rellenos de goteo, por lo tanto, para unas mismas condiciones de diseño, una torre con relleno de película tendrá menor volumen que una torre con relleno de goteo y consecuentemente será más económica.

b) Las pérdidas por arrastre son muy inferiores a las producidas en rellenos de goteo, debido a la inexistencia de gotas. La velocidad que puede darse al aire es, en consecuencia, muy elevada, disminuyendo conjuntamente la altura del relleno y, por lo tanto, la altura de bombeo. Esta ventaja se suma a la anterior, conduciendo a torres más compactas y a costos de operación inferiores que en el caso de torres con relleno de goteo.

Los principales inconvenientes también son dos:

a) El relleno de película acumula suciedad y residuos entre las láminas o paquetes que lo constituyen. Estos residuos podrían obstruir muchas zonas de relleno, impidiendo la circulación del aire y del agua, lo que provoca una disminución notable del rendimiento de la torre. Estas obstrucciones parciales del relleno conducen a la formación de canales preferenciales por los que desciende el agua, rompiéndose la uniformidad de la película de agua. Para evitarlo, se colocan las láminas de relleno de manera que las ondas estén orientadas de forma distinta en cada piso.

b) Este tipo de relleno es muy sensible a las variaciones de caudal de agua y de aire, y a la distribución de la película de agua, por lo que la torre deberá diseñarse garantizando una correcta distribución del agua y del aire para todo el relleno.

Existen tres tipos de relleno de película:

A. Relleno formado por la acumulación de objetos

Son utilizados en procesos de absorción y desorción de gases en la industria química. Son rellenos que pueden colocarse ordenados o al azar. Están constituidos por objetos que pueden tener distintas formas. Estos objetos están constituidos con materiales inertes u ligeros, como porcelana. Arcilla, plástico o aluminio. No se utilizan en torres de enfriamiento industriales, debido a que no dejan huecos y, para los caudales usados habitualmente en procesos de refrigeración, la pérdida de carga que provocarían al aire sería enorme.

B. Relleno laminar abierto

El relleno laminar abierto es muy utilizado actualmente en torres de tiro natural y de tiro mecánico. Están constituidos por grupos de láminas colocadas de forma paralela y a cierta distancia. Las láminas pueden ser planas u onduladas y suelen ser de fibrocemento o de fibra de vidrio y PVC. Este relleno es muy utilizado en torres de flujo cruzado y a contracorriente.

C. Relleno laminar cerrado o de panal

El relleno laminar cerrado o relleno de panal está formado por paneles realizados en rejilla plástica. Estos paneles son ligeros y manejables y se amontonan hasta la altura requerida de relleno. Acostumbran a fabricarse en polietileno o en polipropileno. Cada panal está formado por una serie de conductos rectos de sección triangular o de cualquier forma poligonal. Las secciones de los conductos determinan la

compacidad del relleno. Este tipo se suele utilizar ampliamente en torres prefabricadas.

La pérdida de carga que provocan los rellenos de panel es superior a la provocada por los rellenos laminares abiertos. Los rellenos de salpicadura son los que ofrecen una menor resistencia al paso del aire.

Los rellenos de panel tienen un mayor rendimiento que los rellenos laminares abiertos. Son, asimismo, muy resistentes al medio y tienen una gran estabilidad mecánica. Frente a los rellenos laminares abiertos, los rellenos de panel presentan dos principales inconvenientes:

- a) El proceso de fabricación de los rellenos de panel es laborioso y requiere maquinaria específica. Por lo tanto, son, en general, rellenos caros.
- b) Tienen tendencia a ensuciarse y a obstruirse debido a las pequeñas áreas de paso y al estar contruidos con rejilla. Por esta razón, no se aconseja la utilización de estos rellenos en instalaciones que operen con agua muy dura o sucia.

A pesar de estos inconvenientes, el relleno de panel se está utilizando mucho, no tan sólo en torres prefabricadas, sino también en grandes torres de tiro mecánico e incluso en algunas torres de tiro natural. Es un relleno que ha empezado a desplazar al relleno laminar abierto en muchas aplicaciones, debido a su buen rendimiento y a su alta compacidad.

En los rellenos laminares abiertos, el fibrocemento es un material que, hoy en día, tiende a ser sustituido por otros materiales plásticos. En algunas aplicaciones muy puntuales

las planchas se construyen en aluminio, cobre, o acero con recubrimiento anticorrosivo.

1.6.5.3. Rellenos mixtos

Los rellenos mixtos son aquellos que se basan en la pulverización y en la formación de película. De hecho, son, básicamente, rellenos de salpicadura formados por listones, la superficie lateral de los cuales es más ancha que en el caso de los rellenos de goteo. De esta forma, se contribuye a la formación de una película de agua en los lados de los listones, aumentando el efecto conseguido por la salpicadura.

Este tipo de relleno está formado por varios pisos de rejillas. Los listones que constituyen las rejillas son de sección en T, y dejan unos huecos de forma rectangular por los que circula el aire en contacto con la película de agua descendente. Es decir, el agua se fracciona en gotitas al impactar sobre la rejilla y, al mismo tiempo, se forma una película de agua que desciende por la superficie lateral de los distintos huecos que forman la rejilla (figura 6.6), potenciándose el efecto de salpicadura con la formación de película.

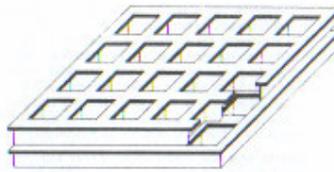


Fig. 6.6. Relleno de tipo mixto.

Los rellenos mixtos se utilizan en torres de tiro mecánico de flujo a contracorriente que enfrían agua muy dura o sucia, o bien se utilizan como alternativa a los otros dos tipos de relleno. De todas formas, no es un relleno que se acostumbre utilizar de

forma generalizada, sino que, por el contrario, se usa en aplicaciones con unos requerimientos específicos.

1.6.6. Separador o eliminador de gotas

El separador de gotas tiene como misión principal retener las pequeñas gotas de agua que el aire arrastra consigo al salir de la torre. Los separadores de gotas actúan provocando cambios súbitos de dirección en la corriente de aire. Estos cambios bruscos en la trayectoria del aire provocan que las pequeñas gotas de agua queden depositadas en la superficie del separador, cayendo posteriormente de nuevo al relleno.

En la figura 6.7 se muestran las distintas disposiciones en las que podemos colocar los separadores de gotas para que cumplan la función anteriormente expuesta:

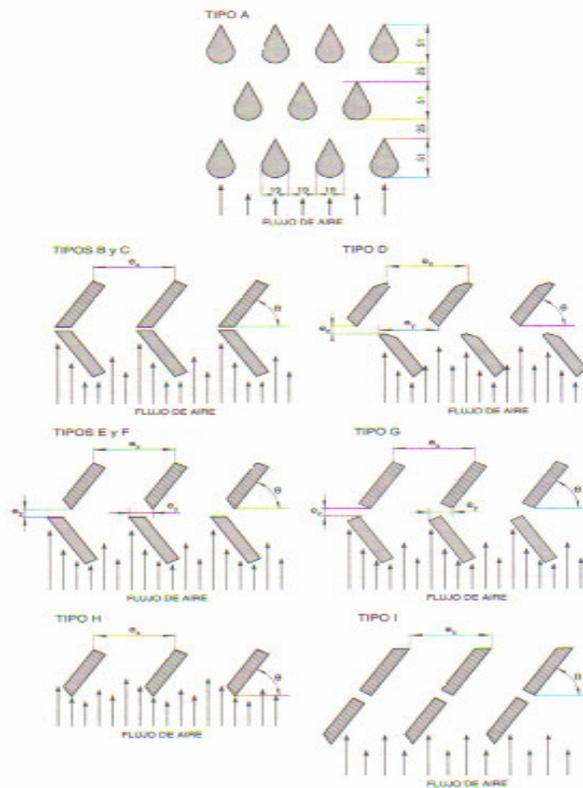


Fig.6.7.Disposiciones separadores de gotas

La existencia del separador es necesaria, básicamente, por tres motivos: para reducir las pérdidas de agua, para evitar daños en el entorno de la torre y/o en la propia torre y para limitar la formación de neblina. En las torres de tiro inducido se añade otra ventaja: debido a la depresión creada entre los separadores y el ventilador al obstruirse el paso del aire, se consigue un efecto de uniformización del flujo de aire que atraviesa el relleno. En la figura anterior, se muestran algunas disposiciones adoptadas para los separadores. Cuando las gotitas de agua llegan a los separadores, algunas de ellas impactan en la cara inferior y vuelven a caer. Por encima de los separadores, la corriente de aire saturado se divide en dos zonas; una seca, sin arrastre de gotas, y una húmeda, conteniendo pequeñas gotitas. Los límites de dichas zonas se determinan experimentalmente.

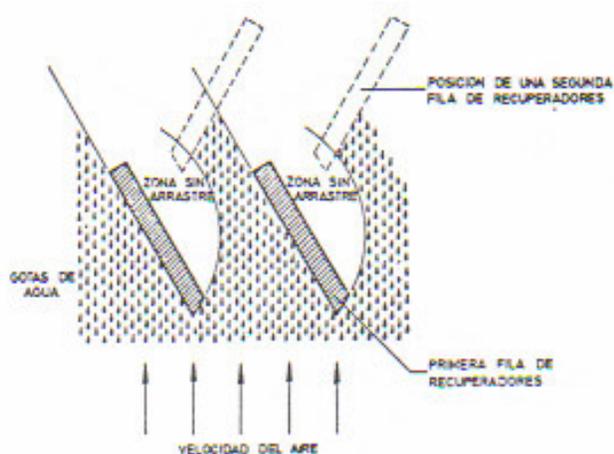


Fig. 6.8. Funcionamiento de los eliminadores de gota

Siempre existe un pequeño porcentaje de gotitas de agua que varían su trayectoria debido a turbulencias. Una de las conclusiones extraídas de los múltiples ensayos realizados con distintos separadores es que una única hilera de separadores es muy sensible al ángulo de aproximación de las gotas. Lo ideal es colocar varias hileras. El valor óptimo de la separación vertical entre dos hileras de separadores varía entre 1 y 1,5 cm., y no deben instalarse disposiciones que ofrezcan demasiada resistencia al aire. Puede disminuirse la resistencia, sin disminuir la eficacia de los separadores, aumentando el ángulo θ , como se observa en el dibujo anterior, y acercando más los separadores de

una misma hilera. Redondeando la arista principal de los separadores, se reduce la resistencia al aire, pero disminuye el rendimiento del separador; redondeando la arista secundaria, se consigue disminuir ligeramente la resistencia.

Las pérdidas por arrastre producidas en los separadores utilizados hoy en día no exceden del 0,2 % del caudal de agua circulante en las torres de tiro mecánico. En las torres de tiro natural, este porcentaje es mayor, llegando a alcanzar algunas veces el 1% del caudal de agua.

Hasta hace algunos años, en las torres de tiro natural se practicaban algunos orificios en la garganta de la chimenea. La misión de estos orificios era permitir la entrada de aire fresco del exterior que hiciera que las pequeñas gotitas arrastradas por el aire saturado volvieran a caer sobre el relleno. Pero lo que ocurría normalmente era que gran parte del agua arrastrada por el aire salía expulsada por las aberturas y caía deslizándose por la lámina de la torre. Evidentemente, este efecto no era en absoluto deseable, ya que, además de perderse el agua, se manchaba, y estropeaba una gran parte de la lámina de la torre. Hoy en día, esta aplicación no se utiliza.

Existen diversos materiales con los que se construyen los separadores. Los más habituales en torres de tiro mecánico son los separadores contruidos con láminas de PVC plegadas, y los contruidos en poliéster con fibra de vidrio. En algunas ocasiones, se construyen en aluminio, acero inoxidable o con chapa de acero con tratamiento anticorrosivo. En torres de tiro natural, se acostumbra a utilizar láminas de fibrocemento onduladas, unidas mediante varillas de acero inoxidable y distanciadores de PVC. En torres de tiro mecánico prefabricadas, algunos constructores suelen colocar una hilera de relleno laminar cerrado de unos 15 ó 20 cm. de altura haciendo, de esta forma, las funciones de separador.



Fig. 6.9. Diferentes sistemas de eliminadores.

1.6.7. Equipo mecánico

El equipo mecánico engloba:

- a) El equipo encargado de crear el flujo de aire (motor, transmisión y ventilador).
- b) El equipo encargado de impulsar el agua (bomba).

Es necesario destacar que estos equipos trabajan en condiciones muy duras, ya que, además de funcionar de forma continua, lo hacen en una atmósfera extremadamente húmeda y caliente.

En la figura se muestra el conjunto de los equipos mecánicos:

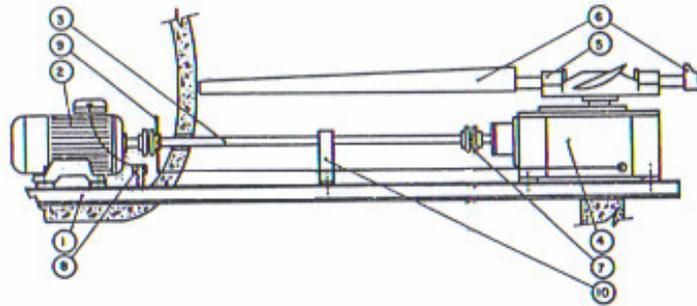


Fig. 6.10. Conjunto de los equipos mecánicos.

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| 1- Soporte | 6- Pala del ventilador |
| 2- Motor | 7- Acoplamiento |
| 3- Eje flexible | 8- Interruptor de vibración |
| 4- Reductor | 9- Nivel de aceite del reductor |
| 5- Cubo del ventilador | 10- Salvaguarda |

1.6.7.1. Motor

Los motores eléctricos de las torres de refrigeración han de estar convenientemente protegidos de la humedad, de la atmósfera contaminada y de las inclemencias del tiempo. Estos motores tienen protección IP 55, lo cual significa que están protegidos del polvo y de chorros de agua lanzados en cualquier dirección. No obstante, a pesar de estar rigurosamente protegidos, es preferible, siempre que sea posible, instalar el motor fuera del alcance de la corriente de aire caliente y saturado. Esta solución puede adaptarse en torres de mediana y gran capacidad, en las que existe espacio suficiente para instalar el motor dentro de la propia carcasa de la torre utilizando un sistema de transmisión. En las pequeñas torres prefabricadas, se opta por colocar el motor de forma directa sobre el ventilador. Con esta disposición, la transmisión es directa, pero el motor se estropea rápidamente. El tipo de aislamiento utilizado en la ejecución de un motor eléctrico, es, sin duda, uno de los factores más importantes para asegurar una larga vida de operación sin averías ni problemas de funcionamiento. Para hacer frente a las sollicitaciones térmicas en las condiciones de servicio citadas –humedad, humos, contaminación, vibraciones, etc.- se dispone de diversos materiales aislantes, estando la elección del tipo más adecuado condicionada por la temperatura máxima que se espera alcanzar, por lo que si no se pudiese determinar ésta con exactitud, es recomendable utilizar la clase de aislamiento de tipo inmediatamente superior.

A su vez, con el mismo tipo de material de aislamiento, se pueden suministrar dos ejecuciones diferentes:

- a) Normal: protege contra la acción de la humedad y la suciedad moderada.
- b) Especial: protege además contra gases y vapores agresivos y contra fuertes grados de humedad ambiental.

Los motores de serie tienen los bobinados protegidos contra ambientes húmedos, no obstante, en los lugares donde exista riesgo de condensación o en atmósferas muy agresivas, deberán protegerse con impregnaciones especiales, por lo que resulta necesario especificarlo con claridad cuando existan atmósferas atípicas, para impedir que una impregnación inadecuada reduzca la vida útil del motor utilizado

1.6.7.2. Motores de polos conmutables

Cuando la temperatura de bulbo húmedo desciende por debajo del valor de diseño a causa de las variaciones estacionales o bien se reduce la carga térmica de la torre por razones de proceso, es posible reducir el costo de la energía consumida en el accionamiento de los ventiladores por los motores, puesto que como sabemos disminuye el caudal de aire requerido en el proceso al aumentar la tensión entálpica disponible en el proceso evaporativo; como orientación podemos señalar que una reducción del 25 por 100, produce una disminución del 40 por 100 aproximadamente, de la potencia consumida a plena carga.

La reducción de caudal y con ella, la potencia absorbida, puede realizarse de varias formas:

- a) Modificando la velocidad de giro del ventilador, o sea, la del motor de accionamiento.
- b) Variando el ángulo de las aspas respecto a la posición requerida a plena carga.
- c) Parando y arrancando el motor de una o varias celdas, en función de la temperatura del agua fría.
- d) Combinando algunas de estas formas.

La variación de la velocidad del motor, se realiza mediante el empleo de motores de polos conmutables, de dos velocidades. Como se sabe, la velocidad de un motor trifásico

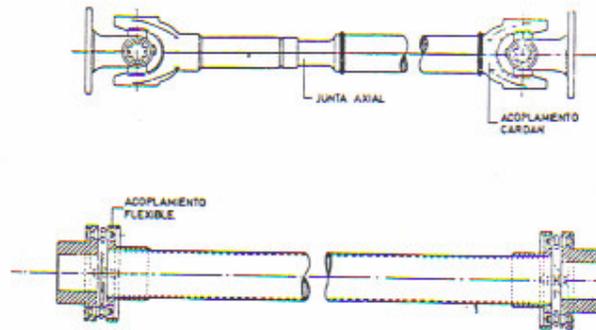
está definida por el número de pares de polos ($2p$) y la frecuencia de la red (f) mediante la expresión:

Para facilitar el servicio de estos tipos de motores, se construyen normalmente para conexión directa y rotar en jaula, pudiendo arrancarse desde el reposo con cualquier velocidad, no obstante si se desea reducir el calor generado en el arranque o mover equipos de mucha inercia, como en este caso, es preferible iniciar la puesta en marcha a la velocidad inferior para conmutar después a la superior.

1.6.7.3. Sistema de transmisión

Se encarga de transmitir el movimiento del motor al ventilador. En la gran mayoría de torres de tiro inducido de pequeño tamaño, como hemos dicho antes, la transmisión es directa, es decir, el ventilador se encuentra situado en el mismo eje del motor. De esta forma, se reduce el costo de fabricación, la complejidad mecánica, y se aumenta la eficiencia del sistema. El único inconveniente, tal y como se ha descrito anteriormente, es una disminución de la vida del motor, al estar situado en la zona de descarga del ventilador.

En las grandes torres de tiro inducido es usual que el motor se encuentre situado fuera del difusor. La transmisión se realiza mediante un árbol que conecta, por medio de acoplamientos flexibles, el eje del motor con el eje de alta velocidad del reductor. Cuando existen desalineaciones entre el eje del motor y el eje de entrada del reductor, se utiliza una junta Cardan, como se indica en la figura. Es de gran importancia un correcto equilibrado estático y dinámico para evitar vibraciones y tensiones durante el funcionamiento que podrían llegar a producir graves desperfectos, como, por ejemplo, la rotura de los cojinetes y de los engranajes del reductor.

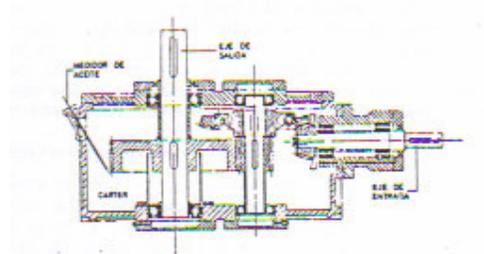


Ejes de transmisión.

En algunas torres, se utiliza la transmisión por correa. Este tipo de transmisión se emplea cuando el motor se sitúa paralelamente a una corta distancia del ventilador. Estas correas normalmente están fabricadas con una mezcla de neopreno y poliéster. Presentan un dentado o rallado para evitar el deslizamiento en las gargantas de las poleas. Las poleas están construidas en aluminio o aluminio y zinc. La polea conducida es de mayor diámetro que la conductora, para establecer así la reducción. El mantenimiento de este sistema de transmisión es reducido, ya que es suficiente con una limpieza periódica de las poleas, así como un control de la tensión de la correa. Los cojinetes deben ser engrasados regularmente. La transmisión por correa también se utiliza en torres de tiro forzado.

El reductor de velocidad por ser, desde el punto de vista operativo el mecanismo más delicado de una torre mecánica, debe reunir las siguientes cualidades: gran resistencia, poco mantenimiento y larga vida útil, ya que cualquier reparación no rutinaria requeriría parar la celda afectada durante un periodo largo de tiempo. Los reductores que se utilizan en las torres de enfriamiento son los reductores de engranajes cónicos helicoidales, cónicos rectos y de tornillo sin fin, y dependiendo del tamaño y del índice de reducción, pueden ser de una o dos etapas de reducción; como indicación, para ventiladores de 12

pies de diámetro en adelante y para potencias por encima de unos 75 H.P. han de emplearse reductores de dos etapas:



Sección de una caja reductora de dos etapas.

1.6.7.4. Ventiladores

En torres de refrigeración se montan dos tipos de ventiladores: axiales y centrífugos. En los axiales, la corriente de aire mantiene la dirección del eje antes y después de pasar por el ventilador. Los ventiladores centrífugos son aquellos en los que el aire se descarga en dirección perpendicular a la entrada.

Los ventiladores axiales son apropiados para mover grandes volúmenes de aire, venciendo pequeñas presiones. Se usan extensamente en instalaciones industriales. La velocidad de paso del aire a través del ventilador, oscila entre 6 y 12,5 m/s, utilizándose normalmente como valor óptimo de diseño 9 m/s. Estos ventiladores son relativamente baratos y pueden utilizarse en torres de cualquier tamaño. Los ventiladores axiales pueden llegar a obtener eficiencias del orden del 80 al 85% si se utilizan conjuntamente con difusores convenientemente diseñados.

Los ventiladores axiales son más ruidosos que los centrífugos, por lo que su uso es adecuado en grandes torres o en pequeñas torres en las que, debido a su situación o a sus horas de funcionamiento, el nivel sonoro no causa molestias. El nivel sonoro es directamente proporcional a la velocidad

tangencial del ventilador, que es igual al producto de la velocidad angular por el radio. Por lo tanto, esta velocidad tangencial debe mantenerse en unos límites ya que, además del ruido, debe tenerse en cuenta la resistencia mecánica de las aspas del ventilador y las vibraciones.

El número de aspas también es un factor de considerable importancia. Un mayor número de aspas implica una menor presión en cada una de ellas, puesto que si el mismo ventilador tuviera menos aspas, éstas deberían ser más anchas. Además, hay que tener en cuenta que un mayor número de aspas da un mayor equilibrio en el funcionamiento y por lo tanto elimina posibles problemas de vibraciones. Los ventiladores de gran tamaño (más de 24 pies de diámetro) suelen ser de ocho aspas, e incluso los hay de doce (para 26 pies de diámetro). Los ventiladores de tamaño medio y pequeño acostumbran a tener seis aspas. Existen también pequeños ventiladores montados en torres de tiro forzado prefabricadas que tienen tres aspas.

Las aspas de los ventiladores están equilibradas de forma individual. Una vez montadas en el cubo, se equilibra todo el conjunto. No obstante, cada tres o cuatro años se recomienda un reequilibrado del ventilador, debido a la posible erosión de las aspas, a la corrosión y a la deposición de suciedad.

En algunos ventiladores puede variarse el ángulo de ataque de las aspas aflojando solamente las abrazaderas que las unen al cubo central. El material con el que se fabrica el cubo acostumbra a ser acero o hierro fundido. Las aspas son de aluminio o de aleación de aluminio y magnesio. La fabricación mediante el proceso de extrusión permite obtener piezas muy largas con formas, dimensiones y tolerancias muy precisas, así como una estructura cristalográfica perfectamente homogénea y estable, reduciéndose además el peso por

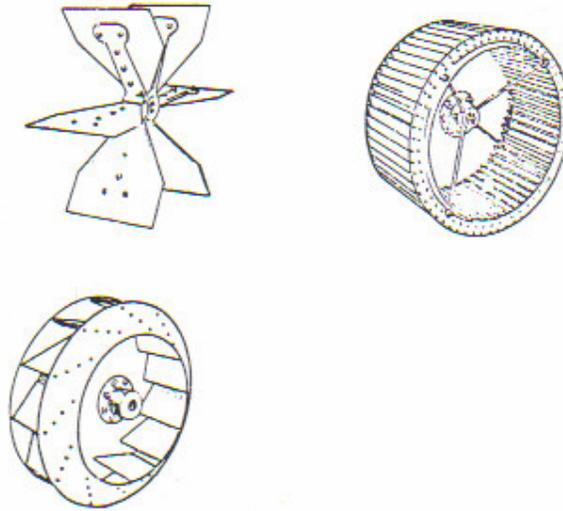
unidad de superficie de aspa, con lo cual disminuyen los momentos de giro y las tensiones a que dan lugar las fuerzas centrífugas ocasionadas por masas elevadas con grandes radios de giro.

Actualmente, los ventiladores con palas de plástico han alcanzado una gran difusión, debido a su bajo costo, ligereza y buena resistencia a la corrosión; se fabrican en poliéster reforzado con fibra de vidrio, utilizándose sistemas e moldeo por compresión, aplicándose después en caliente, las sucesivas capas de los materiales de acabado.

Los ventiladores centrífugos están constituidos por una carcasa y un rodete. Pueden ser de simple o de doble aspiración, es decir, con una o dos entradas de aire a la voluta. Los ventiladores centrífugos de doble aspiración son los más utilizados. Estos ventiladores tienen como principales características un amplio margen de funcionamiento, un gran rendimiento y presiones relativamente elevadas. Además, el nivel de ruido que producen es inferior al de los ventiladores axiales.

Existen tres tipos de ventiladores centrífugos: el de álabes curvados hacia delante (según el sentido de rotación), el de álabes radiales y el de álabes curvados hacia atrás (figura 1.20.). El primero es el más utilizado en torres de refrigeración, ya que debido a la velocidad relativamente alta con la que el aire abandona el rodete, éste puede girar a una velocidad más pequeña comparada con los otros tipos, con lo que se consigue disminuir el nivel de ruido. Además, para un servicio determinado, el tamaño requerido es más pequeño, por lo que resulta más compacto y económico. Estos ventiladores, al igual que los axiales, están equilibrados estática y dinámicamente. La carcasa suele estar construida en chapa de acero, plástico o fibra de vidrio. Los álabes del rodete son de acero y el núcleo suele ser de hierro fundido o de aluminio. Las partes metálicas

se protegen con pinturas a base de resinas epóxicas, o a base de cromo, zinc y aluminio. En el caso de los ventiladores centrífugos, el caudal de aire no puede regularse variando el ángulo de ataque de los álabes, como se haría con los axiales, sino que se regula utilizando motores de polos conmutables.



Tipos de rodete en ventiladores centrífugos.

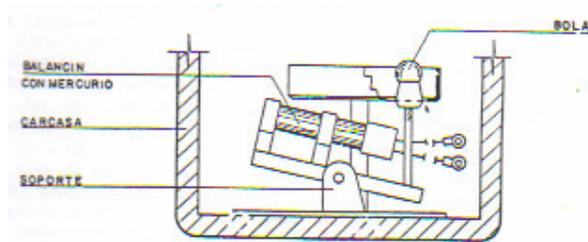
En resumen, podemos decir que los ventiladores axiales se utilizan en pequeñas, medianas y grandes torres de tiro inducido. En el mercado, existen algunas torres de tiro forzado de pequeño tamaño que también los utiliza, pero no es habitual: en estos casos, se acostumbra a montar ventiladores centrífugos, cuyo tamaño es más compacto, tienen mejor rendimiento y hacen menos ruido que los axiales, aunque también son más caros.

1.6.7.5. Interruptores por vibración

Se utilizan en todas las instalaciones (torres y aerorefrigerantes) que poseen ventiladores que estén sometidos a pulsaciones por causas de excentricidad de ejes de transmisión, acumulación de hielo o agua en las palas, etc.;

actúan deteniendo el suministro de energía a los accionamientos cuando se producen vibraciones anormales por encima de un cierto nivel.

Consisten normalmente en un balancín que soporta una cápsula con mercurio, contrapesada con una bola que va montada sobre un vástago con un soporte (tuerca) de altura variable:



Interruptor de vibraciones.

Bajo condiciones normales de funcionamiento, la bola se encuentra en equilibrio, pero cualquier sacudida brusca, la desaloja de su posición, produciéndose el vuelco del balancín, interrumpiéndose el circuito de conexión con el arranque de los motores.

1.6.7.6. Bombas

Las bombas se utilizan para conducir el agua caliente hacia la parte superior de la torre, y para enviar el agua ya enfriada a los procesos a los cuáles ésta sirve. Muchos sistemas de enfriamiento utilizan una sola bomba para realizar ambas funciones.

Las bombas que generalmente se utilizan son centrífugas, de flujo axial y de flujo mixto. Para poder seleccionar correctamente el tipo de bomba que hay que utilizar conociendo el caudal, la altura manométrica y la velocidad de giro, se utiliza el concepto de velocidad específica. La velocidad específica está relacionada con el

diseño de bomba más eficiente. Un valor de velocidad específica bajo significa que es mejor escoger una bomba centrífuga. Por el contrario, un valor alto, implica una bomba axial. En líneas generales, la bomba centrífuga es mejor para velocidades específicas comprendidas entre 500 y 4000, la bomba heliocentrífuga entre 4000 y 10000, y la bomba axial a partir de 10000. Al igual que ocurría con los ventiladores, para seleccionar la bomba adecuada se utilizan las curvas características. A partir del caudal y de la altura manométrica requerida, se escoge el tipo de bomba adecuada a la instalación. Un parámetro muy importante, que debe tenerse en cuenta al seleccionar la bomba, es la altura neta de succión, que es la carga disponible a la entrada de la bomba para evitar la cavitación. La cavitación debe evitarse por todos los medios, pues conlleva vibraciones en la bomba, aumento del ruido, deterioro del rotor y una disminución brusca del caudal y de la altura manométrica de la bomba. Dicha altura debe ser igual a la altura total de la instalación. La altura total de la instalación engloba la altura geométrica y la altura debida a las pérdidas por rozamiento en las tuberías y accesorios (codos, válvulas, derivaciones, boquillas, etc.). Una vez conocida la altura total de la instalación, se podrá escoger la bomba adecuada, cuya altura manométrica deberá ser igual o ligeramente superior a la altura total de la instalación. Si una bomba proporciona un caudal adecuado pero su altura manométrica es muy pequeña, puede solucionarse el problema acoplando en serie una bomba semejante, con la salida de una bomba acoplada directamente al lado de succión de la otra. Si el problema es el inverso, es decir, se tiene una bomba que da la altura manométrica correcta pero su caudal es demasiado pequeño, la solución es el acoplamiento en paralelo. En ambos casos, para que el acoplamiento resulte rentable, ambas bombas deberán funcionar cerca del punto de máximo rendimiento. Cuando la altura de la bomba debe ser muy elevada se recurre a bombas de varios escalones, donde la salida de un rotor comunica directamente con la entrada del siguiente.



Bombas de una torre de refrigeración.

1.6.8. Deflectores de aire

Se utilizan en las torres de tiro inducido para conducir el aire hacia el interior de una forma eficiente y para prevenir las pérdidas de agua debidas a la acción del viento. También pueden diseñarse para eliminar los problemas de formación de hielo en invierno.

La distribución del aire y la retención del agua están directamente relacionadas con la inclinación, la anchura y el espaciado de los paneles. Las características físicas de los paneles afectan a ambos conceptos en forma opuesta, por lo cual es preciso llegar a un diseño de compromiso que proporcione en conjunto los mejores resultados.

Están formados por unos paneles en forma de persianas con una inclinación mínima de 40° , situados en varias filas paralelas en número variable según los tipos y fabricantes.

Existen ciertos diseños en los que la inclinación de las paletas puede ser modificada a fin de adaptarse a las condiciones climatológicas existentes, pudiendo llegar a cerrarse por completo cuando puede formarse hielo o la velocidad del aire provoque el arrastre del agua.

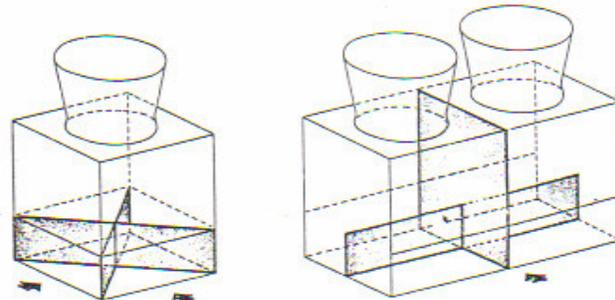


Defltores de aire de una torre de refrigeración.

1.6.9. Pantallas divisorias de flujo

Se utilizan para independizar las diferentes zonas de operación de la torre (tabiques de separación entre celdas) o para evitar las turbulencias en las partes en que confluyen dos flujos de aire.

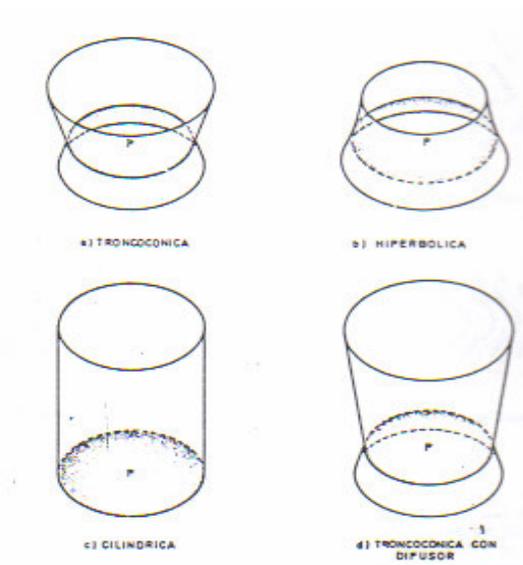
En las torres de flujo en contracorriente con entradas de aire opuestas, se sitúan estas pantallas en el eje longitudinal de la torre hasta una altura equivalente a la entrada de aire; también se utilizan en las torres con celdas múltiples (dos o más ventiladores por celda) se sitúan tabiques de separación, en la zona de salida de las chimeneas, para evitar las turbulencias en la confluencia de los flujos aspirados por cada ventilador.



Tabiques de separación del flujo de aire.

1.6.10. Chimenea y difusor

La chimenea se instala en las torres de tiro inducido. Protege el ventilador y evita la recirculación del aire caliente y saturado que sale de la torre. Además, permite al ventilador un buen rendimiento, al proporcionarle un espacio libre de turbulencias, y da mayor seguridad en las operaciones de mantenimiento.



Tipos de chimeneas.

La gran mayoría de torres de tiro inducido utilizan chimeneas con difusor en el lado de descarga del ventilador. El difusor provoca una disminución de la velocidad del aire a la salida debido al aumento gradual de la sección de paso. Esta disminución de la velocidad va acompañada de un aumento de la presión estática del aire lo que puede conducir a aumentos del 10 % en el aire suministrado sin variar la potencia consumida por el ventilador. Esto significa que para unas necesidades determinadas de ventilación, la presencia del difusor permitirá seleccionar un ventilador con una potencia de accionamiento sensiblemente menor.

Capítulo 2

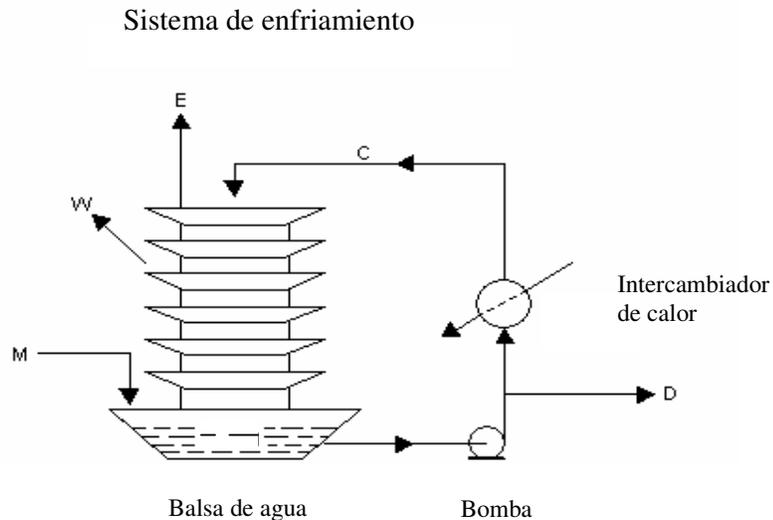
MEMORIA DE CÁLCULOS

2.1. OBJETIVO

El objetivo de la presente memoria de cálculos es el diseño termodinámico de una torre de refrigeración de tiro mecánico inducido, por la que el agua circula en circuito cerrado, de forma que enfría un caudal de agua de 2000 m³/h siendo su temperatura de entrada de 46 °C procedente de procesos de intercambio de calor y que se desea devolver a dicho proceso a una temperatura de 30°C considerando una temperatura ambiente de 27 °C, una humedad relativa del 80 % y siendo la temperatura de bulbo húmedo de aproximadamente 24 °C.

2.2. BALANCE DE MATERIA. CÁLCULO DEL AGUA DE APORTE

Para realizar el balance de materia se recurrirá al esquema que se vió en la memoria descriptiva:



Donde se vió que:

M = Agua de aporte en m³/h

C = Agua circulante en m³/h

D = Trasegado de agua en m³/h

E = Agua evaporada en m³/h

W = Pérdida por viento de agua en m³/h

X = Concentración en ppm (de sales solubles, como cloruros)

X_M = Concentración de cloruros en el agua de la estructura (M), en ppm

X_C = Concentración de cloruros en el agua circulante (C), en ppm

Ciclos = Ciclos de concentración = X_C / X_M (sin dimensión)

Conociendo las condiciones bajo las que opera la torre, será posible determinar cada uno de estos parámetros:

- Agua de entrada = 2000 m³/h
- Temperatura de agua de entrada = 46 °C
- Temperatura de agua de salida = 30 °C
- Pérdida por arrastre = 0,2%
- Ciclos de concentración = 5

Si se aplica el balance de materia al sistema:

$$M = E + D + W$$

Dado que el agua evaporada (E) no tiene sales, el equilibrio de cloruros del sistema es:

$$M (X_M) = D (X_C) + W (X_C) = X_C (D + W)$$

y, en consecuencia:

$$X_C / X_M = \text{Ciclos de concentración} = M / (D + W) = M / (M - E) = 1 + [E / (D + W)]$$

Ya se puede empezar a calcular cada uno de los términos del balance. Las pérdidas por evaporación se pueden estimar mediante la ecuación:

$$E = 0,00085 \cdot C \cdot (T_1 - T_2)$$

Donde: $T_1 - T_2$ = diferencia de temperatura entre agua de entrada y de salida

Así:

$$E = 0,00085 \cdot C \cdot (T_1 - T_2) = 0,00085 \cdot 2000 \cdot (46-30) = 27,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

A partir de la expresión de la expresión de los ciclos de concentración, se puede calcular las pérdidas a causa del viento, ya que dichos ciclos son un parámetro que viene ya definido por la torre:

$$\text{Ciclos de concentración} = (W + D) / D$$

$$D = W / (\text{ciclos}-1)$$

Así:

$$D = 27,2 / (5-1) = 6,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Las pérdidas por arrastre serán:

$$W = 2000 \cdot 0,002 = 4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luego, finalmente, el caudal de agua que habrá que aportar para mantener el equilibrio del sistema será:

$$\boxed{M = 27,2 + 4 + 6,8 = 38 \text{ m}^3/\text{h}}$$

2.3. BALANCE DE CALOR

En la torres de refrigeración llega agua caliente procedente del proceso, de forma que se necesita enfriar esa agua y devolverla al proceso. Para ello se realizará una transferencia de calor sensible y latente de esa agua al aire frío que entra en la torre. Puede realizarse un balance energético en una torre sabiendo que el calor cedido por el agua será igual al calor ganado por el aire. Esto se expresará de la siguiente forma:

$$L \cdot C_{pw} \cdot (t_{w1} - t_{w2}) = G \cdot (h_{a2} - h_{a1}) \quad (3.1)$$

Donde:

L es el caudal másico de agua (Kg/s)

C_{pw} es el calor específico del agua a presión constante. Se considera un valor de 4,186 KJ/ Kg · K

t_{w1} es la temperatura de entrada del agua a la torre (°C)

t_{w2} es la temperatura de salida del agua de la torre (°C)

G es el caudal másico de aire húmedo que sale de la torre (Kg_{as}/s)

h_{a2} es la entalpía específica del aire húmedo que sale de la torre (KJ / Kg_{as})

h_{a1} es la entalpía específica del aire ambiente que entra en la torre (KJ / Kg_{as})

Podrá calcularse el calor intercambiado en la torre de refrigeración a partir del calor cedido por el agua:

$$Q = L \cdot C_{pw} \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \quad (3.2)$$

$$L = 2000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ dm}^3}{1 \text{ m}^3} \cdot 1 \frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 555,56 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$C_{pw} = 4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$$

$$t_{w1} = 46 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_{w2} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Así:

$$Q = 555,56 \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \cdot 4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (46 - 30) \text{K} = 37209,19 \frac{\text{KJ}}{\text{s}}$$

A partir de la igualdad obtenida al hacer el balance de calor en la torre (ecuación 2.1), se obtiene la entalpía del aire a la salida de la torre:

$$h_{a2} = h_{a1} + \frac{L}{G} \cdot C_{p_{w1}} \cdot (t_{w1} - t_{w2}) \quad (3.3)$$

Esta ecuación corresponde a una recta con pendiente L/G en un diagrama h-t como el mostrado en la figura 2.1. Esta recta se conoce con el nombre de “línea de funcionamiento del aire” o “línea del aire”.

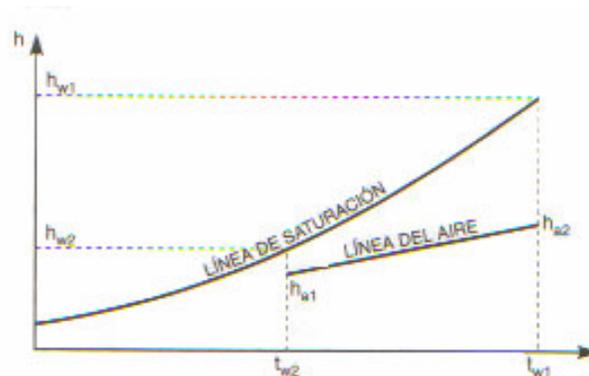


Fig. 3.1. Proceso de enfriamiento representado en un diagrama h-t.

El área comprendida entre la línea de saturación en la figura 2.1 indica la magnitud del potencial que provoca la transferencia de calor. Por lo tanto, para unas condiciones de diseño determinadas, cuanto más amplia sea ésta, mayor será el potencial y menor tamaño tendrá la torre.

A la relación L/G se la denomina “factor de enfriamiento”. Se calcula dividiendo el caudal másico de agua entre el de aire. En el caso de las torres de tiro mecánico, esta relación generalmente varía entre 0,75 y 1,75. En la expresión del balance de calor, el factor de enfriamiento se considera constante. Esta suposición no es rigurosamente exacta, ya que, debido a la evaporación, el caudal de agua varía, pero el error que se introduce no es significativo. Si se aumentara el caudal de agua, sería necesario aumentar

proporcionalmente el caudal de aire si se desea mantener fijas las otras variables (temperatura y entalpía).

De todos los parámetros que aparecen en estas dos expresiones, L , t_{w1} y t_{w2} se conocen, al ser especificados previamente al diseño de la torre, $C_{p,w1}$ es un valor conocido, y la entalpía del aire (h_{a1}) ambiente de entrada a la torre podemos hallarla en la gráfica del ANEXO “carta psicrométrica” a una temperatura de 27 °C, considerada la temperatura ambiente, y un 80 % de humedad relativa:

$$h_{a1} = 16,7 \text{ Kcal/Kg} = 69,87 \text{ KJ/Kg}$$

Por tanto, desconocemos la relación de enfriamiento para poder calcular la entalpía de salida del aire húmedo de la torre. Lo que vamos a hacer es suponer un valor de L/G de 1,25 (el intermedio del rango en que varía), con lo que obtendríamos un valor de entalpía de salida del aire de:

$$h_{a2} = 69,87 + 1,25 \cdot 4,186 \cdot (46-30) = 153,59 \text{ KJ/Kg}$$

A continuación, puede verse que hubiera ocurrido en el caso de haber tomado valores más bajos y más altos de la relación de enfriamiento:

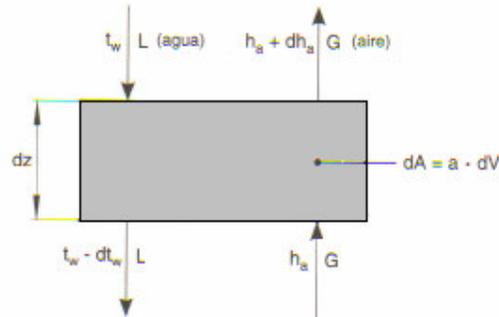
$$L/G = 0,75 \rightarrow h_{a2} = 69,87 + 0,75 \cdot 4,186 \cdot (46-30) = 120,1 \text{ KJ/Kg}$$

$$L/G = 1,75 \rightarrow h_{a2} = 69,87 + 1,75 \cdot 4,186 \cdot (46-30) = 187,1 \text{ KJ/Kg}$$

Se observa que cuando disminuimos la relación de enfriamiento, la entalpía de salida del aire también disminuye; y, al contrario, cuando se aumenta la relación L/G .

Esto indica que cuando se aumenta la relación de enfriamiento de la torre el aire es capaz de absorber más calor, ya que aumenta su temperatura y, por tanto, su entalpía. Con esto se consigue retirar más calor de la corriente de agua que llega del proceso.

Mediante la ecuación de Merkel, puede modelarse esa transferencia de calor que se da en la torre. Ésta ecuación se obtiene de aplicar un balance a una parte diferencial de la torre:



El calor que cede el agua es igual al ganado por el aire:

$$dQ = G \cdot dh_a = -L \cdot C_{p_{w1}} \cdot dt_w \quad (3.4)$$

donde:

dQ es el calor diferencial intercambiado en el trozo de torre considerado

dh_a es la entalpía diferencial del aire

dt_w es la entalpía diferencial del agua

La ecuación de transmisión de calor entre una superficie mojada y una corriente de aire no saturado es:

$$Q = \frac{h_{ai}}{c_{pm}} \cdot A \cdot (h_i - h_a) \quad (3.5)$$

Donde:

h_{ai} = coeficiente de convección entre la interfase y el aire ($\text{KW}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

c_{pm} = calor específico del aire húmedo ($\text{KJ}/\text{Kg}_{\text{as}} \cdot \text{K}$)

A = área de intercambio (m^2)

h_i = entalpía del aire húmedo saturado de la interfase ($\text{KJ}/\text{Kg}_{\text{as}}$)

h_a = entalpía del aire circulante ($\text{KJ}/\text{Kg}_{\text{as}}$)

$h_i - h_a$ = entalpía potencial ($\text{KJ}/\text{Kg}_{\text{as}}$)

Nota: Kg_{as} indica que está referido a la masa de aire seco.

Expresada de forma diferencial:

$$dQ = \frac{h_{aw}}{c_{pm}} \cdot dA \cdot (h_w - h_a) \quad (3.6)$$

El concepto de entalpía potencial se basa en suponer que, para el caso de agua evaporándose en aire, la relación de Lewis tiene un valor unitario, es decir:

$$Le = \frac{h_{aw}}{K \cdot c_{pm}} = 1$$

Donde:

Le = el número de Lewis (adimensional)

K = coeficiente global de transferencia de masa ($\text{Kg}_{\text{as}} / \text{m}^2 \cdot \text{s}$)

Por tanto, se tiene que:

$$dQ = KadV \cdot (h_w - h_a) \quad (3.7)$$

El área de intercambio dA se ha cambiado por el producto adV , donde a es la compacidad del relleno (m^2/m^3) y dV es el volumen útil de la porción diferencial de torre (m^3). La compacidad es un dato característico del relleno.

Combinando la ecuación (3.4) con la (3.7), resulta:

$$Gdh_a = KadV \cdot (h_w - h_a) \quad (3.8)$$

Arreglando ambos miembros e integrando se obtiene:

$$\frac{KaV}{G} = \int_{h_{a1}}^{h_{a2}} \frac{dh_a}{h_w - h_a} \quad (3.9)$$

Esta ecuación se denomina “ecuación o integral de Merkel”.

De forma análoga, si se combina el otro miembro de la ecuación (3.4) con la ecuación (3.7), se obtiene:

$$\frac{KaV}{L} = C_{p_w1} \int_{h_{a1}}^{h_{a2}} \frac{dh_a}{h_w - h_a} \quad \text{ó} \quad \frac{KaV}{L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{h_w - h_a}$$

Esta ecuación se denomina “característica termodinámica”. La integral de dicha ecuación, es directamente proporcional al área ABCD, tal como se muestra en la figura 3.2. También queda reflejada la disminución de la pendiente de la curva de las entalpías de saturación conforme va disminuyendo la temperatura del agua.

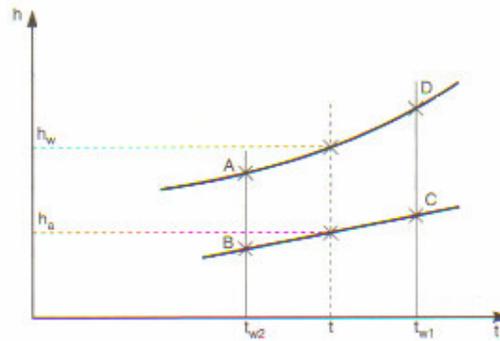


Fig. 3.2. Representación gráfica de la integral o característica termodinámica.

El valor de la característica de la torre puede calcularse utilizando dos métodos, bien por el método de la integración numérica o resolviendo mediante el llamado “método de los cuatro puntos de Chebyshev”, que nos dice que esa ecuación puede expresarse como:

2.3.1. Método de integración numérica

Para resolver la integral característica mediante este método, se divide la torre en un número finito de volúmenes denominados “pisos”, tales que la temperatura del agua descienda por igual en cada uno de ellos. En la práctica, es usual suponer una caída de 1 °C por piso, por lo tanto:

$$(\Delta t_w)_{\text{piso}} = \frac{R}{n} \quad (3.1.1)$$

Donde:

Δt_w = la caída de temperatura del agua por piso (°C/piso)

R = salto térmico

n = número de divisiones realizadas

Por tanto, en nuestro caso, donde el salto térmico es de 16 °C (46 °C de entrada del agua – 30 °C de salida) y la caída de temperatura del agua por piso se supone en la práctica de 1 °C:

$$n = \frac{16^{\circ}\text{C}}{1^{\circ}\text{C}/\text{piso}} = 16 \text{ pisos}$$

La entalpía del aire húmedo a la salida puede calcularse utilizando la ecuación (3.3):

$$h_{a_{sal}} = h_{a_{ent}} + \frac{L}{G} \cdot C_{p_w} \cdot (t_{w1} - t_{w2})$$

Con el dato que ya habíamos calculado antes de la entalpía del aire seco a la entrada de la torre a 27 °C ($h_{a_{ent}} = 69,87 \text{ KJ/Kg}$) y como hemos supuesto una relación de caudales L/G de 1,25, sustituyendo:

$$h_{a_{sal}} = 69,87 + 1,25 \cdot 4,186 \cdot (46 - 30) = 153,59 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Una vez determinada h_{a2} , puede obtenerse el salto entálpico por piso:

$$(\Delta h_a)_{\text{piso}} = \frac{h_{a_2} - h_{a_1}}{n} = \frac{153,59 - 69,87}{16} = 5,23 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \quad (3.1.2)$$

Para cada piso se calculará la entalpía potencial media de la siguiente forma:

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_i = \frac{1}{2} \cdot [(h_w - h_a)_{ent} + (h_w - h_a)_{sal}] \quad (3.1.3)$$

Donde:

$(h_w - h_a)_{ent}$ = la entalpía potencial a la entrada del piso (KJ/Kg_{as})

$(h_w - h_a)_{sal}$ = la entalpía potencial a la salida del piso (KJ/Kg_{as})

Vamos a calcular, pues, el valor de la entalpía potencial en cada piso:

Piso 1:

Teniendo en cuenta que el primer piso es el de abajo, el agua entra a 31 °C y sale a 30 °C. La entalpía del agua en cada piso se toma de la tabla del ANEXO “entalpía aire saturado”, notando que al estar finamente dividida, se considera la entalpía del aire saturado como la del agua.

Por otro lado, el aire entra en este piso a una temperatura de 27 °C (temperatura ambiente). La temperatura de salida del aire de cada piso se desconoce y se calculará más adelante, pero su entalpía se puede hallar sumando el incremento de entalpía del aire en cada piso obtenido en la expresión (3.1.2) a la entalpía de entrada del aire al piso.

Por tanto:

$$h_{w \text{ ent } (31 \text{ }^\circ\text{C})} = 105,43 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent } (27 \text{ }^\circ\text{C})} = 69,87 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal } (30 \text{ }^\circ\text{C})} = 100,06 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 69,87 \text{ KJ/Kg} = 75,10 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_1 = \frac{1}{2} \cdot [(105,43 - 69,87) + (100,06 - 75,10)] = 30,26 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 2:

$$h_{w \text{ ent } (32 \text{ }^\circ\text{C})} = 111,04 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 75,10 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal } (31 \text{ }^\circ\text{C})} = 105,43 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 75,10 \text{ KJ/Kg} = 80,33 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_2 = \frac{1}{2} \cdot [(111,04 - 75,10) + (105,43 - 80,33)] = 30,52 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 3:

$$h_{w \text{ ent } (33 \text{ }^\circ\text{C})} = 116,92 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 80,33 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal } (32 \text{ }^\circ\text{C})} = 111,04 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 80,33 \text{ KJ/Kg} = 85,56 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_3 = \frac{1}{2} \cdot [(116,92 - 80,33) + (111,04 - 85,56)] = 31,03 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 4:

$$h_{w \text{ ent}} (34 \text{ }^\circ\text{C}) = 123,08 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 85,56 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal}} (33 \text{ }^\circ\text{C}) = 116,92 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 85,56 \text{ KJ/Kg} = 90,79 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_4 = \frac{1}{2} \cdot [(123,08 - 85,56) + (116,92 - 90,79)] = 31,82 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 5:

$$h_{w \text{ ent}} (35 \text{ }^\circ\text{C}) = 129,53 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 90,79 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal}} (34 \text{ }^\circ\text{C}) = 123,08 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 90,87 \text{ KJ/Kg} = 96,02 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_5 = \frac{1}{2} \cdot [(129,53 - 90,79) + (123,08 - 96,02)] = 32,90 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 6:

$$h_{w \text{ ent}} (36 \text{ }^\circ\text{C}) = 136,29 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 96,02 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal}} (35 \text{ }^\circ\text{C}) = 129,53 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 96,02 \text{ KJ/Kg} = 101,25 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_6 = \frac{1}{2} \cdot [(136,29 - 96,02) + (129,53 - 101,25)] = 34,27 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 7:

$$h_{w \text{ ent}} (37^\circ\text{C}) = 143,37 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 101,25 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal}} (36 \text{ }^\circ\text{C}) = 136,29 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 101,25 \text{ KJ/Kg} = 106,48 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_7 = \frac{1}{2} \cdot [(143,37 - 101,25) + (136,29 - 106,48)] = 35,96 \frac{KJ}{Kg}$$

Piso 8:

$$h_{w \text{ ent } (38^\circ C)} = 150,80 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent }} = 106,48 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal } (37^\circ C)} = 143,37 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal }} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 106,48 \text{ KJ/Kg} = 111,71 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_8 = \frac{1}{2} \cdot [(150,80 - 106,48) + (143,37 - 111,71)] = 37,99 \frac{KJ}{Kg}$$

Piso 9:

$$h_{w \text{ ent } (39^\circ C)} = 158,60 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent }} = 111,71 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal } (38^\circ C)} = 150,80 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal }} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 111,71 \text{ KJ/Kg} = 116,94 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_9 = \frac{1}{2} \cdot [(158,60 - 111,71) + (150,80 - 116,94)] = 40,37 \frac{KJ}{Kg}$$

Piso 10:

$$h_{w \text{ ent } (40^\circ C)} = 166,78 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent }} = 116,94 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal } (39^\circ C)} = 158,60 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal }} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 116,94 \text{ KJ/Kg} = 122,17 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_{10} = \frac{1}{2} \cdot [(166,78 - 116,94) + (158,60 - 122,17)] = 43,13 \frac{KJ}{Kg}$$

Piso 11:

$$h_{w \text{ ent } (41^\circ C)} = 175,37 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent }} = 122,17 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal } (40^\circ C)} = 166,78 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal }} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 122,17 \text{ KJ/Kg} = 127,40 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_{11} = \frac{1}{2} \cdot [(175,37 - 122,17) + (166,78 - 127,40)] = 46,29 \frac{KJ}{Kg}$$

Piso 12:

$$h_{w \text{ ent}} (42^\circ\text{C}) = 184,38 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 127,40 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal}} (41^\circ\text{C}) = 175,37 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 127,40 \text{ KJ/Kg} = 132,63 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_{12} = \frac{1}{2} \cdot [(184,38 - 127,40) + (175,37 - 132,63)] = 49,86 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 13:

$$h_{w \text{ ent}} (43^\circ\text{C}) = 193,86 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 132,63 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal}} (42^\circ\text{C}) = 184,38 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 132,63 \text{ KJ/Kg} = 137,86 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_{13} = \frac{1}{2} \cdot [(193,86 - 132,63) + (184,38 - 137,86)] = 53,87 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 14:

$$h_{w \text{ ent}} (44^\circ\text{C}) = 203,82 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 137,86 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal}} (43^\circ\text{C}) = 193,86 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 137,86 \text{ KJ/Kg} = 143,09 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_{14} = \frac{1}{2} \cdot [(203,82 - 137,86) + (193,86 - 143,09)] = 58,36 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 15:

$$h_{w \text{ ent}} (45^\circ\text{C}) = 214,29 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 143,09 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal}} (44^\circ\text{C}) = 203,82 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 143,09 \text{ KJ/Kg} = 148,32 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_{15} = \frac{1}{2} \cdot [(214,29 - 143,09) + (203,82 - 148,32)] = 63,35 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Piso 16:

$$h_{w \text{ ent}} (46^\circ\text{C}) = 225,30 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ ent}} = 148,32 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{w \text{ sal}} (45^\circ\text{C}) = 214,29 \text{ KJ/Kg}$$

$$h_{a \text{ sal}} = 5,23 \text{ KJ/Kg} + 148,32 \text{ KJ/Kg} = 153,55 \text{ KJ/Kg}$$

$$(\bar{h}_w - \bar{h}_a)_{16} = \frac{1}{2} \cdot [(225,30 - 148,32) + (214,29 - 153,55)] = 68,86 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$$

Una vez se haya calculado la entalpía potencial media del piso, se procederá a calcular el inverso de dicho valor. Esto se hará para cada piso, y, finalmente, se sumarán todos los inversos.

$$\sum_{i=1}^{16} \frac{1}{(h_w - h_a)_i} = 0,3988 \frac{\text{Kg}}{\text{KJ}} \quad (3.1.4)$$

Como se ha visto anteriormente, la ecuación de la característica termodinámica es la siguiente:

$$\frac{KaV}{L} = C_{p_{w1}} \int_{h_{a1}}^{h_{a2}} \frac{dh_a}{h_w - h_a} \quad (3.1.5)$$

Sustituyendo la integral por un sumatorio, que es el resultado de sumar los inversos de las entalpías potenciales medidas en cada piso:

$$\frac{KaV}{L} = C_{p_{w1}} \cdot (\Delta t_w)_{\text{piso}} \cdot \sum \frac{1}{(h_w - h_a)_i} \quad (3.1.6)$$

Por tanto, el valor de la característica termodinámica será:

$$KaV/L = 4,186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot 1 \text{K} \cdot 0,3988 \frac{\text{Kg}}{\text{KJ}} = 1,6694$$

2.3.2. Método de Chebychev

$$\frac{KaV}{L} = \int_{T_2}^{T_1} \frac{dT}{h_w - h_a} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{4} \cdot C_{p_{w1}} \left(\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4} \right) \quad (3.2.1)$$

Donde:

Δh_1 = valor de la entalpía potencial en un punto de la torre donde la temperatura tiene un valor de $t_{w2} + 0,1(t_{w1} - t_{w2}) = 30 + 0,1(46 - 30) = 31,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

Δh_2 = valor de la entalpía potencial en un punto de la torre donde la temperatura tiene un valor de $t_{w2} + 0,4(t_{w1} - t_{w2}) = 30 + 0,4(46 - 30) = 36,4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Δh_3 = valor de la entalpía potencial en un punto de la torre donde la temperatura tiene un valor de $t_{w1} - 0,4(t_{w1} - t_{w2}) = 46 - 0,4(46 - 30) = 39,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

Δh_4 = valor de la entalpía potencial en un punto de la torre donde la temperatura tiene un valor de $t_{w1} - 0,1(t_{w1} - t_{w2}) = 46 - 0,1(46 - 30) = 44,4 \text{ } ^\circ\text{C}$

Luego:

El valor de Δh_1 correspondería al piso 2 en que el agua entra a $32 \text{ } ^\circ\text{C}$ y sale a $31 \text{ } ^\circ\text{C}$, por tanto: $\Delta h_1 = 30,52 \text{ KJ/Kg}$.

El valor de Δh_2 correspondería al piso 7 en que el agua entra a $37 \text{ } ^\circ\text{C}$ y sale a $36 \text{ } ^\circ\text{C}$, por tanto: $\Delta h_2 = 35,96 \text{ KJ/Kg}$.

El valor de Δh_3 correspondería al piso 10 en que el agua entra a $40 \text{ } ^\circ\text{C}$ y sale a $39 \text{ } ^\circ\text{C}$, por tanto: $\Delta h_3 = 43,13 \text{ KJ/Kg}$.

El valor de Δh_4 correspondería al piso 15 en que el agua entra a $45 \text{ } ^\circ\text{C}$ y sale a $44 \text{ } ^\circ\text{C}$, por tanto: $\Delta h_4 = 63,35 \text{ KJ/Kg}$.

Finalmente, sustituyendo en la expresión inicial, obtendríamos el valor de la característica de la torre mediante el método de Chebyshev:

$$\frac{KaV}{L} = \frac{46 - 30}{4} \cdot 4,186 \left(\frac{1}{30,52} + \frac{1}{35,96} + \frac{1}{43,13} + \frac{1}{63,35} \right) = 1,6668$$

Cabe destacar que, aunque en esta ocasión los resultados son muy similares, el procedimiento de integración numérica es más fiable que la aproximación mediante el método de Chebyshev, por tanto, en los cálculos posteriores utilizaremos el valor obtenido por el primer método.

2.4. CÁLCULO DE LA ALTURA DEL RELLENO

2.4.1. Ecuación característica del relleno

La ecuación característica del relleno es indispensable para poder dimensionar correctamente una torre de refrigeración. El punto de intersección entre la curva característica de la torre y la característica del relleno indica la relación de caudales correcta para el diseño.

Los fabricantes de relleno se encargan de encontrar, de forma experimental, las ecuaciones características de sus propios rellenos. Para ello, montan la disposición de relleno con la que se va a ensayar una torre de refrigeración de pequeñas dimensiones (la mayoría de veces son torre prefabricadas de pequeño tamaño) dotada de sensores de temperatura, medidores de caudal y otros instrumentos de medida. Dejando constantes ciertos parámetros y haciendo variar otros, se calculan, por integración numérica, los sucesivos valores de KaV/L . A continuación, se adapta una ecuación a dichos valores, de manera que se obtiene una expresión que permite conocer el comportamiento del relleno ensayado dentro de una amplia gama de condiciones de funcionamiento. Esta ecuación es la característica del relleno.

Como podrá comprobarse a continuación, el factor KaV/L de un relleno depende de la relación de caudales agua/aire, la geometría o forma del relleno, la dimensión del relleno y, en menor medida, de la temperatura del agua caliente. Los fabricantes guardan celosamente las ecuaciones características de sus rellenos. Debido a ello, es prácticamente imposible encontrar bibliografía sobre ecuaciones características de rellenos utilizados actualmente. A continuación, se mostrarán las ecuaciones características correspondientes a los rellenos de goteo o salpicadura, que son los que tenemos en nuestra torre.

2.4.2. Ecuación característica para rellenos de goteo o salpicadura

Kelly y Swenson analizaron distintos tipos y disposiciones de rellenos de salpicadura, y adaptaron una misma expresión de la ecuación característica para todos ellos. La expresión es la siguiente:

$$KaV/L = 0,07 + A \cdot N \cdot \left(\frac{L}{G}\right)^{-n} \quad (4.21)$$

Donde:

A, n = constantes que dependen del tipo de relleno y del espaciado vertical de éste.

N = número de pisos de largueros o rejillas utilizados.

L = flujo másico de agua

G = flujo másico de aire

L y G se refieren a la superficie en planta que ocupa el relleno.

Esta ecuación engloba la característica del relleno y las características de las porciones de torre que hay por encima (distribución de agua), y por debajo del relleno (entre la entrada de aire y la parte inferior del relleno), es decir, esta ecuación puede descomponerse de la siguiente forma:

$$KaV/L_{TOTAL} = \left[KaV/L \right]_{\substack{\text{Porciones} \\ \text{superior+inferior}}} + \left[KaV/L \right]_{\text{Relleno}} \quad (4.22)$$

Donde:

$$\left[KaV/L \right]_{\substack{\text{Porciones} \\ \text{superior+inferior}}} \cong 0,07$$

Kelly y Swenson encontraron que el valor de KaV/L para las porciones de torre superior e inferior al relleno era, aproximadamente, de 0,07. Este valor depende del sistema de distribución de agua y de la zona de entrada del aire, pero podrá utilizarse para cualquier torre en caso de no poder determinarlo.

En la figura 4.2 se muestran las características de las distintas disposiciones ensayadas.

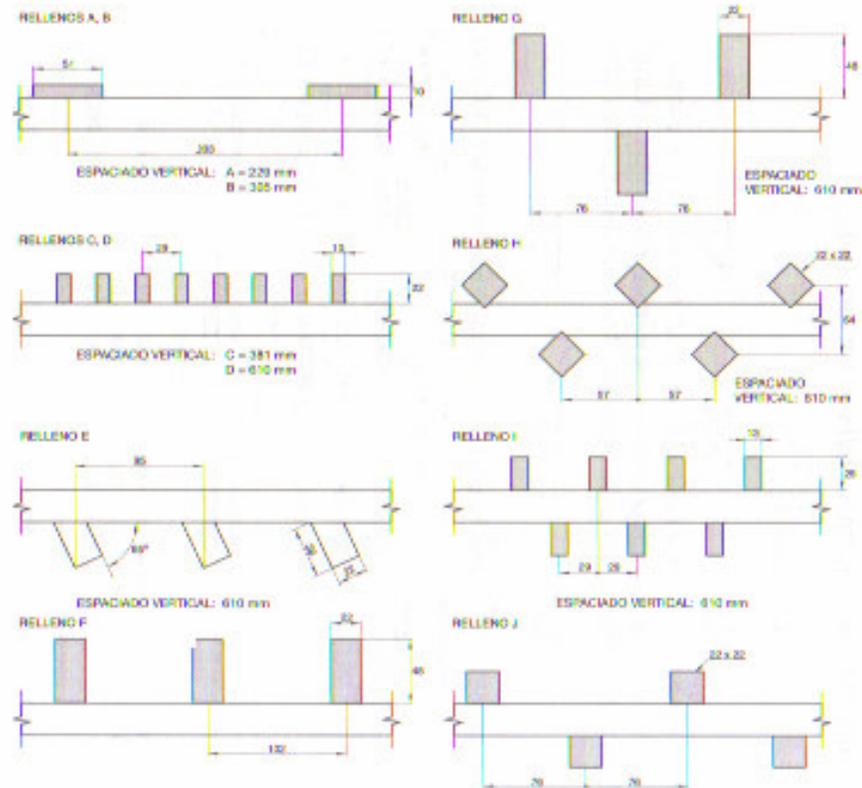


Fig. 4.2 Disposiciones de relleno ensayadas por Kelly y Swenson.

La ecuación (4.21) puede escribirse de la siguiente forma:

$$KaV/L = 0,07 + A \cdot \left(\frac{z}{e_v} + 1 \right) \cdot \left(\frac{L}{G} \right)^{-n} \quad (4.23)$$

Donde:

z = la altura del relleno (m).

e_v = espaciado vertical entre rejillas o listones (m).

De esta forma, KaV/L queda expresado en función de la altura del relleno.

Ahora vamos a proceder al cálculo de la altura del relleno suponiendo que utilizamos un relleno tipo A de salpicadura:

$$A = 0,060$$

$$n = 0,62$$

$$KaV/L = 1,6694$$

$$L/G = 1,25$$

$$e_v = 0,229 \text{ m.}$$

Sustituyendo en la ecuación (4.23) obtenemos:

$$1,6694 = 0,07 + 0,060 \cdot \left(\frac{z}{0,229} + 1 \right) \cdot (1,25)^{-0,62}$$

Por tanto el valor de z será:

$$\boxed{z = 6,78 \text{ m}}$$

2.4.3. Cálculo de la pérdida de carga a través del relleno

La pérdida de presión que experimenta el aire a través de una torre de refrigeración es la suma de las pérdidas provocadas por:

- a) El relleno de la torre y sus elementos de soporte.
- b) El separador de gotas.
- c) Los deflectores a la entrada del aire (tiro inducido).
- d) El cambio de dirección provocado a la corriente de aire (tiro forzado).
- e) El armazón o carcasa de la torre.
- f) Otros elementos estructurales.

Las pérdidas de mayor magnitud son las correspondientes al relleno y sus elementos de soporte. Las pérdidas causadas por los deflectores y el separador de gotas son inferiores a las provocadas por el relleno, pero también deben tenerse en cuenta. Las demás pueden despreciarse por su pequeña magnitud en comparación con las anteriores.

La pérdida de presión del aire a través del relleno depende de la geometría o forma del mismo, su altura, el caudal de agua, la velocidad del aire y, en el caso de los rellenos de goteo, de la velocidad relativa entre el aire y el agua que desciende.

Los fabricantes determinan las pérdidas que provocan sus rellenos de forma experimental. Relacionan los valores obtenidos en los ensayos mediante expresiones que acostumbran a guardar en secreto. Si a esto se añade la falta de bibliografía sobre pérdidas de carga en rellenos utilizados actualmente, resulta difícilísimo prever de forma teórica la pérdida de carga que se originará en un relleno determinado. A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos en los ensayos de los rellenos vistos en el apartado anterior.

Kelly y Swenson determinaron experimentalmente las pérdidas de presión provocadas por cada una de las disposiciones de relleno

mostradas en la figura 4.2. Se vio que los valores obtenidos podían relacionarse mediante la siguiente expresión:

$$\Delta p = N \cdot \frac{1,0812}{\rho_G} \cdot \left(B \cdot G^2 + C \cdot S_F^{1/2} \cdot L \cdot G_E^2 \right) \quad (4.31)$$

Donde:

Δp = la pérdida de carga provocada por el relleno, los soportes y el agua que desciende (m.c.a.).

N : número de pisos de relleno.

ρ_G : Densidad del aire seco (Kg/m³)

B, C, S_F = constantes propias de cada diseño y disposición de relleno.

B = constante determinada por la geometría y espaciamiento horizontal de los listones de un tipo de relleno determinado (s² m⁵ / Kg²).

C = constante que depende del tipo de salpicadura y del diámetro de las gotas producidas al chocar (s³ m^{6,5} / Kg³).

S_F = distancia vertical de caída libre de las gotas de agua (m).

G_E : Caudal másico de aire equivalente para la pérdida de carga entre el aire y las gotas de agua. Está referido a la velocidad relativa entre el agua y el aire $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right)$.

Se calcula a partir de:

$$G_E = \left(G^2 + \frac{4}{3} \cdot G \cdot \rho_G \cdot (2g \cdot S_F)^{1/2} + g \cdot \rho_G^2 \cdot S_F \right)^{1/2} \quad (4.32)$$

Donde:

L = flujo másico de agua (Kg / s · m²).

G = flujo másico de aire (Kg / s · m²).

L y G se refieren a la superficie en planta que ocupa el relleno.

En torres de tiro inducido, la carga másica de agua suele estar comprendida entre 0,8 y 4 Kg / s · m² siendo un valor muy usual 2,72 Kg / s · m² y es el valor que vamos a tomar. Teniendo en cuenta que la relación L/G es 1,25, la carga másica de aire será:

$$1,25 = \frac{2,72}{G}; \quad G = 2,17 \text{ Kg} / \text{s} \cdot \text{m}^2$$

Ahora va a calcularse la pérdida de carga correspondiente al relleno calculado en el apartado anterior:

El número de pisos de relleno se calcula como:

$$N = \frac{z}{e_v} = \frac{6,82}{0,229} = 29,78 \approx 30 \text{ pisos de relleno}$$

El número de pisos no puede ser nunca decimal, por tanto siempre se aproxima al siguiente número entero.

En la tabla del ANEXO 7, obtenemos el volumen específico, cuya inversa será la densidad del aire seco a 27 °C:

$$\rho_G = 1,134 \text{ Kg}_a / \text{m}^3$$

Los valores de las constantes B, C, y S_F son:

$$B = 4,6951 \cdot 10^{-5} \text{ s}^2 \text{ m}^5 / \text{Kg}^2$$

$$C = 2,0287 \cdot 10^{-6} \text{ s}^3 \text{ m}^{6,5} / \text{Kg}^3$$

$$S_F = 0,915 \text{ m.}$$

Por último, G_E se calcula a partir de la ecuación (4.32), resultando:

$$G_E = \left(2,17^2 + \frac{4}{3} \cdot 2,17 \cdot 1,134 (2,9,81 \cdot 0,915)^{1/2} + 9,81 \cdot 1,134^2 \cdot 0,915 \right)^{1/2} = 5,49 \text{ Kg} / \text{s} \cdot \text{m}^2$$

Así, la pérdida de carga debida al relleno será:

$$\Delta p = 30 \cdot \frac{1,0812}{1,134} \cdot \left(4,6951 \cdot 10^{-5} \cdot 2,17^2 + 2,0287 \cdot 10^{-6} \cdot 0,915^{1/2} \cdot 2,72 \cdot 5,49^2 \right) =$$

$$= 0,0139 \text{ m.c.a.} \equiv 13,9 \text{ mm.c.a.}$$

2.4.4. Cálculo de la altura de la torre

La altura de una torre de refrigeración se calcula de formas diferentes en función del tipo de torre que se trate. Así, cuando la torre es de tiro natural, se suele calcular como la altura del relleno más 1,5 veces la longitud de la torre en la dirección del viento dominante. Cuando se trata de una torre de refrigeración de tiro inducido, debemos diferenciar entre las de flujo cruzado y flujo en contracorriente. Cuando la torre es de flujo cruzado, la altura de ésta es prácticamente la altura del relleno, y se suele tomar como tal. En el caso de torres de tiro inducido y flujo en contracorriente (objeto de este proyecto) la altura de la torre es aproximadamente el doble de la altura del relleno.

Así:

$$H = 2 \cdot z \quad (4.41)$$

Donde:

H = altura de la torre (m).

z = altura del relleno (m).

Por tanto, como la altura del relleno es 6,78 m:

$$H = 2 \cdot 6,78 = 13,56 \text{ m}$$

2.5. POTENCIA DEL VENTILADOR

Cuando se lleva a cabo un análisis del costo de una torre de enfriamiento y los costos de operación de la misma, uno de los factores más significativos debe ser el establecimiento de la potencia del ventilador. A través de las torres de enfriamiento circulan grandes cantidades de aire, con velocidades en la salida de hasta 10,2 m/s en este tipo de torres de tiro inducido.

La potencia consumida por un ventilador se calcula a partir de la expresión:

$$N_a = \frac{P_T V_G}{\eta_t}$$

La presión total contra la que opera el ventilador será la suma de la pérdida de carga debida al relleno calculada en el apartado anterior (10,2 mm.c.a) y la debida al separador de gotas, que suele estar comprendida entre 0,5 y 3 mm.c.a. Nosotros vamos a tomar el valor más alto ya que son las condiciones más desfavorables.

$$P_T = 10,2 + 3 = 13,2 \text{ mm.c.a.} \cdot \frac{9,81 \text{ Pa}}{1 \text{ mm.c.a}} = 129,49 \text{ Pa}$$

El caudal volumétrico de aire será:

$$V_G = \frac{L}{L/G} = \frac{555,56 \text{ Kg/s}}{1,25} \div 1,134 \text{ Kg/m}^3 = 391,93 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Por tanto, la potencia del ventilador será, según la expresión 2.32:

$$N_a = \frac{129,49 \cdot 391,93}{0,7} = 72503 \text{ W} \equiv 72,503 \text{ KW}$$

2.6. GRADO DE CONCENTRACIÓN. INDICES DE ESTABILIDAD

Como vimos en la memoria descriptiva, el índice de estabilidad de Ryznar, establece una relación entre el pH de saturación del carbonato cálcico y el pH del agua que tenemos que examinar, de forma que se cumple que:

$$I_R = 2pH_s - pH$$

Mientras que Langelier establece su índice de saturación, por la diferencia entre el pH del agua y su pH de saturación, para una temperatura determinada, de la siguiente forma:

$$I_L = pH - pH_s$$

Donde el pH_s es función de la temperatura, alcalinidad, sólidos totales, disueltos y calcio, pudiendo ser calculado mediante la siguiente fórmula:

$$pH_s = 9,3 + (A+B) - (C+D)$$

Los valores de A, B, C y D los sacamos de las siguientes tablas:

TABLA - A		TABLA - B	
Temperatura °C	A	ppm TDS	B
20	2,09	50	0,07
25	1,98	75	0,08
30	1,87	100	0,10
35	1,78	150	0,11
40	1,71	200	0,13
45	1,63	300	0,14
50	1,55	400	0,16
55	1,46	500	0,17
60	1,40	600	0,18
		800	0,19
		1.000	0,20
		1.200	0,22
		1.500	0,25

TABLA - C		TABLA - D	
ppm Ca como CaCO ₃	C	ppm TAC. como CaCO ₃	D
100	1,61	25	1,40
150	1,78	50	1,70
200	1,91	75	1,88
250	2,00	100	2,00
300	2,08	125	2,10
350	2,15	150	2,18
400	2,20	175	2,24
450	2,22	200	2,30
500	2,30	225	2,34
550	2,34	250	2,42
600	2,38	275	2,50
650	2,42	300	2,58
700	2,45		
750	2,48		
800	2,51		

Luego, a partir de los valores reflejados en el manual de mantenimiento, obtenemos unos valores de:

$$A = 1,93$$

$$B = 0,075$$

$$\text{Extrapolando} \rightarrow C = 0,46$$

$$D = 1,60$$

Sustituyendo en la fórmula de pHs:

$$\text{pHs} = 9,3 + (1,93+0,075) - (0,46+1,60) = 9,25$$

Y sustituyendo en las ecuaciones de los índices:

$$I_R = 2 \cdot 9,25 - 7,5 = 11$$

$$I_L = 7,5 - 9,25 = -1,75$$

Por lo explicado en el mantenimiento de la calidad del agua, se ajusta mejor a nuestro sistema el índice de Langelier, por tanto, sólo trataremos la discusión de los resultados obtenidos para ese índice.

Así, a la vista de esto resultados, con respecto al carácter corrosivo o incrustante del agua que empleamos, podemos decir que debido a que obtenemos un índice de saturación (Langelier) negativo:

$I_L < 0 \rightarrow$ El agua tiene tendencia corrosiva

$I_L > 0 \rightarrow$ El agua tiene tendencia incrustante

$I_L = 0 \rightarrow$ El agua esta químicamente equilibrada

Capítulo 3

PLIEGO DE CONDICIONES

3.1. Objetivo

El objetivo del presente pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables al desarrollo de las obras a las que se refiere el proyecto del que forma parte. Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el presente proyecto. El pliego de condiciones constituye el documento más importante desde el punto de vista contractual.

El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones. Del mismo modo, la administración podrá conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollarán durante la ejecución del proyecto.

3.2. Disposiciones generales

En estas disposiciones generales, se van a tratar distintos puntos que hay que recoger, describir y tener muy en cuenta en un pliego de condiciones, de modo que el proyecto quede perfectamente definido, así se harán comentarios sobre las posibles contradicciones, omisiones o errores que puedan aparecer a lo largo del desarrollo del proyecto, los plazos de ejecución, una descripción sobre el desarrollo y control de los trabajos, la medición de obras, así como se describirán brevemente cuáles son las certificaciones necesarias, la legislación social, los gastos de cuenta del contratista.

Por último, se explicarán las funciones del ingeniero directos de obra y cuáles son las recepciones, garantías y obligaciones del contratista.

3.2.1. Contraindicaciones, omisiones o errores

En el caso de contradicción entre los planos y el pliego de prescripciones técnicas, prevalecerá lo indicado en este último. Lo mencionado en el pliego de prescripciones técnicas y omitido en los plano o viceversa, habrá de ser aceptado como si estuviese en expuesto en ambos

documentos, siempre que a juicio del director de obras, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y ésta tenga precio en el contrato.

En todo caso las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos por el director o contratista deberán reflejarse en el acta de comprobación.

3.2.2. Trabajos preparatorios

Los trabajos preparatorios para el inicio de la obra consistirán en:

- Comprobación del replanteo.
- Fijación y conservación de los puntos del replanteo.
- Programación de los trabajos.

3.2.2.1. Comprobación del replanteo

En el plazo de quince días a partir de la adjudicación definitiva, se comprobarán, en presencia del adjudicatario o de su representante, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente acta de comprobación del replanteo.

El acta de comprobación del replanteo reflejará la conformidad o disconformidad del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto, refiriéndose expresamente a las características geométricas de los trabajos, así como a cualquier punto que en caso de disconformidad pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Cuando el acta de comprobación del replanteo refleja alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato.

3.2.2.2. Fijación de los puntos de replanteo

La comprobación del replanteo deberá incluir como mínimo los datos y referencias previstos para poder materializar las obras, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y de otros elementos que puedan estimarse precisos.

Los puntos de referencia para los sucesivos replanteos se marcarán con los medios adecuados para evitar su desaparición.

Los datos, cotas y puntos fijados se anotarán en un anexo al acta de comprobación del replanteo, el cual se unirá al expediente de las obras, entregándose una copia al contratista.

El contratista se responsabilizará de la conservación de la señales de los puntos que hayan sido entregados.

3.2.2.3. Programación de los trabajos

En el plazo que se determine en días hábiles a partir de la aprobación del acta de comprobación del replanteo, el adjudicatario presentará el programa de trabajos de las obras. Dicho programa de trabajo, incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases de obras y trabajos que integran el proyecto e indicación de las mismas.
- Determinación de los medios necesarios (instalaciones, equipos y materiales).
- Valoración mensual y acumulada de la obra, programada sobre la base de los precios unitarios de adjudicación.
- Representación gráfica de las diversas actividades, bien en un gráfico de barras, bien en un diagrama de espacio-tiempo.

Si del programa de trabajos se deduce la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado por el adjudicatario y por la dirección técnica de las obras,

acompañándose de la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria.

3.2.3. Plazos de ejecución

El contratista empezará las obras al día siguiente de la fecha del acta de comprobación de replanteo, debiendo quedar terminadas en la fecha acordada en dicho acta.

3.2.4. Desarrollo y control de los trabajos

Para el mejor desarrollo y control de los trabajos, el adjudicatario seguirá las normas que se indican en los apartados siguientes:

3.2.4.1. Equipos y maquinaria

El contratista quedará obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que se comprometa a aportar en la licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos de maquinaria deberán ser aprobados por el director.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán estar en perfectas condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de la ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del director.

3.2.4.2. Ensayos

El número de ensayos y su frecuencia, tanto sobre materiales como unidades de obra terminadas, será fijado por el ingeniero director y se efectuarán con arreglo a las normas afectantes a cada

unidad de obra, o, en su defecto, con arreglo a las instrucciones que dicte el director.

El adjudicatario abonará el costo de los ensayos que se realicen, los cuales no podrán superar el 1% del presupuesto de adjudicación.

El contratista está obligado a realizar su autocontrol de cotas, tolerancias y geométrico en general, así como el de calidad, mediante ensayos materiales, densidades de compactación, etc. Se entiende que no se comunicará a la dirección de obra que una unidad de obra está terminada a juicio del contratista para su comprobación, hasta que el mismo contratista, mediante su personal facultativo para el caso, haya hecho sus propias comprobaciones y ensayos y se haya asegurado de cumplir las especificaciones.

Al mismo tiempo, el contratista está obligado a disponer de los equipos necesarios para divas mediciones y comprobaciones.

3.2.4.3. Materiales

Todos los materiales que se utilicen en las obras deberán cumplir las condiciones que se establecen en el pliego de condiciones, pudiendo ser rechazados en caso contrario por el ingeniero director. Por ello, todos los materiales que se propongan ser utilizados en obra deben ser examinados y ensayados antes de su aceptación en primera instancia mediante el autocontrol del contratista y, eventualmente, con el control de dirección de obra.

Cuando la procedencia de los materiales no esté fijada en el pliego de prescripciones técnicas, los materiales requeridos para la ejecución del contrato serán fijados por el contratista de las fuentes de suministro que éste estime oportuno.

El contratista notificará la directora, con la suficiente antelación, los materiales que se propone utilizar y su procedencia, aportando, cuando así lo solicite el director, las muestras y los datos necesarios

para su posible aceptación, tanto en lo que se refiere a su cantidad como a su calidad.

El no rechazo de un material no implica su aceptación. El no rechazo o la aceptación de una procedencia ni impide el posterior rechazo de cualquier partida de material que no cumpla las prescripciones, ni incluso la eventual prohibición de dicha procedencia.

En ningún caso podrán ser acoplados y utilizados en los trabajos materiales cuya procedencia no haya sido aprobada por el director.

A continuación se expondrán una serie de puntos relacionados con los materiales:

- Manipulación de materiales: todos los materiales se manipularán con cuidado y del tal modo que se mantengan su calidad y aptitud para la obra.
- Inspección en planta: si el volumen de la obra, la marcha de la construcción y otras consideraciones lo justifican, el ingeniero puede proceder a la inspección del material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.
- Inspección de los materiales: con objeto de facilitar la inspección y prueba de los materiales, el contratista notificará la entrega al ingeniero con dos semanas mínimas de antelación.
- Materiales defectuosos: todos los materiales que no se ajusten a los requisitos del pliego de condiciones se considerarán defectuosos y, por tanto, se retirarán inmediatamente del lugar de la obra, a menos que el ingeniero ordene lo contrario.

Los materiales rechazados, cuyos defectos se hayan corregido substancialmente, no se utilizarán mientras no se les haya otorgado la aprobación.

3.2.4.4. Acopios

Quedará terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del director, efectuar acopio de materiales, cualesquiera que sea su naturaleza, sobre la plataforma de obra y en aquellas zonas marginales que defina el director.

Se considera especialmente prohibido el depositar materiales, herramientas, maquinaria, escombros o cualquier otro elemento no deseable en las siguientes zonas:

- Áreas de procesos adyacentes o limítrofes con las zonas donde se realizan los trabajos.
- Desagües y zonas de trabajo en general.
- Vías de acceso a casetas de operación, puntos de reunión para estados de emergencia y punto de situación de extintores.
- Calles y vías de circulación interior, tanto de la zona de construcción como de áreas de proceso adyacentes a ésta.
- En general, cualquier lugar en el que la presencia de materiales, herramientas o utensilios pueda entorpecer las labores de mantenimiento y operación de las unidades de proceso, o pueda dificultar el proceso de emergencia de la planta.
- Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en la obra, requisito que deberá de ser comprobado en el momento de su utilización.

Las superficies empleadas en la zona de acopios deberán acondicionarse de forma que, una vez terminada su utilización, recuperen su aspecto original. Todos los gastos que de ello se deriven correrán por cuenta del contratista.

3.2.4.5. Trabajo nocturnos

Los trabajos nocturnos deberán ser previamente autorizados por el director, y solamente realizados en aquellas unidades de obra que así lo requieran. El contratista deberá instalar los equipos de iluminación y mantenerlos en perfecto estado mientras duren los trabajos nocturnos.

3.2.4.6. Accidentes de trabajo

De conformidad con lo establecido en el artículo 71 del Reglamento de la Ley de Accidentes de Trabajo, el contratista está obligado a contratar, para su personal, el seguro contra riesgos de accidentes de trabajo.

El contratista y la dirección de obra fijarán de antemano las condiciones de seguridad en las que se llevarán a cabo los trabajos objeto del presente proyecto, así como las pruebas, ensayos e inspecciones y verificaciones necesarias, que en cualquier caso deberán ser, como mínimo, las prescritas por los reglamentos actuales vigentes.

No obstante, en aquellos casos en los que el contratista o la dirección consideren que se deben tomar disposiciones adicionales de seguridad, podrán tomarse éstas sin reserva alguna.

Por otra parte, el contratista será responsable de suministrar al personal a su cargo los equipos necesarios para que éste trabaje en las condiciones de seguridad adecuadas, tales como cascos, caretas, botas reforzadas, gafas de protección, etc.

Será también responsabilidad del contratista los posibles daños causados en las instalaciones, tanto terminadas como aún en construcción, ocasionados por personas ajenas a la obra dentro del horario establecido de trabajo, así como los accidentes personales que puedan ocurrir.

3.2.4.7. Descanso en días festivos

En los trabajos concedidos a la contrata se cumplirán puntualmente el descanso en días festivos, del modo que se señala en las disposiciones vigentes.

En casos excepcionales en los que fuera necesario trabajar en dichos días, se procederá cómo indican en las citadas disposiciones.

3.2.4.8. Trabajos defectuosos o no autorizados

Los trabajos defectuosos no serán de abono, debiendo ser demolidos por el contratista y reconstruidos en el plazo de acuerdo con las prescripciones del proyecto.

Si alguna obra no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato y fuera, sin embargo, admisible a juicio del ingeniero director de obras, podrá ser recibida provisionalmente, y definitivamente en su caso, quedando el adjudicatario obligado a conformarse, sin derecho a reclamación, con la rebaja económica que el ingeniero director estipule, salvo en el caso de que el adjudicatario opte por la demolición a su costa y las rehaga con arreglo a las condiciones del contrato.

3.2.4.9. Señalización de las obras

El contratista queda obligado a señalar a su costa las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y uso de aparatos que prescriba el director.

3.2.4.10. Precauciones especiales

Dentro de las precauciones especiales, se va a distinguir entre los casos de lluvia y los casos de incendios:

3.2.4.10.1. Lluvias

Durante las fases de construcción, montaje y equipos, éstos se mantendrán en todo momento en perfectas condiciones de drenaje. Las cunetas y demás desagües se mantendrán de modo tal que no produzcan daños.

El equipo que no necesite revisión o inspección previa a su instalación no será desembalado hasta el momento de la misma. Se protegerá el equipo desembalado de la lluvia mediante cubiertas y protectores adecuados.

3.2.4.10.2. Incendios

El contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios y a las recomendaciones u órdenes que reciba el director.

En todo caso, adoptará las medidas necesarias para evitar que se enciendan fuegos innecesarios, y será responsable de evitar la propagación de los que se requieran para la ejecución de las obras, así como de los daños y perjuicios que se puedan producir.

El contratista podrá exigir el asesoramiento de un técnico de seguridad competente, elegido por la dirección, en todos los casos en los que lo estime conveniente y, particularmente, en aquellos en los que el riesgo de producción

de incendio sea más elevado (soldadura, corte con soplete, etc).

3.2.4.11. Personal técnico

El contratista está obligado a dedicar a los trabajos, tanto de obra civil como de montaje e instalación de líneas y equipos, el personal técnico a que se comprometió en la licitación. A pie de las obras, y al frente de las mismas, deberá haber un ingeniero superior.

El personal así designado, no será asignado a otras obligaciones mientras duren los trabajos.

Por otra parte, el personal a cargo del contratista, deberá estar lo suficientemente cualificado para la realización de los trabajos. Es responsabilidad del contratista, por lo tanto, cualquier retraso derivado de la incompetencia o ignorancia del personal a su cargo.

El director podrá prohibir la presencia en la zona de trabajo de determinado personal del contratista por motivo de falta de obediencia o respecto, o por causa de actos que comprometan o perturben, a su juicio, la seguridad, integridad o marcha de los trabajos.

El contratista podrá recurrir, si entendiéndose que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

3.2.5. Legislación social

El contratista estará obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley sobre el Contrato del Trabajo y Reglamentaciones de Trabajo Reguladoras de Subsidio y Seguros Sociales Vigentes.

3.2.6. Gastos a cuenta del contratista

Serán de cuenta del contratista, siempre que en el contrato no se prevea explícitamente lo contrario, los siguientes gastos:

- Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.
- Los gastos de alquiler o adquisición de terreno para depósito de maquinaria y materiales.
- Los gastos de protección de acopios y de la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los requisitos vigentes para almacenamiento de explosivos y carburantes.
- Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basuras.
- Los gastos de suministro, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.
- Los gastos de montaje, conservación y retirada de instalaciones para el suministro del agua y la energía eléctrica necesarias para las obras.
- Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales.
- Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

3.2.7. Funciones del Ingeniero Director de obras

El ingeniero director de obras será responsable de la inspección y vigilancia de la ejecución del contrato y asumirá la representación de la administración o de la entidad pertinente frente al contratista.

Las funciones del ingeniero director de obras serán las siguientes:

- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.
- Definir aquellas condiciones técnicas que en el presente pliego de condiciones se dejen a su decisión.

- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de los planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente bajo su responsabilidad,, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual, el contratista deberá de poner a su disposición el personal y el material de la obra.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- Participar en las recepciones provisionales y definitivas y redactar la liquidación de las obras conforme a las normas legales establecidas.

El contratista, por su parte, estará obligado a prestar su colaboración al ingeniero director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

3.2.8. Recepción, garantía y obligaciones del contratista

El adjudicatario deberá obtener a su costa todos los permisos y licencias para la ejecución de las obras. Del mismo modo serán de su cuenta los gastos derivados de los permisos y tasas.

3.2.8.1. Recepción provisional

Una vez terminados los trabajos se procederá al examen global por parte del director, al cual, si los considera aptos para ser recibidos, extenderá un acta donde así lo haga constar, procediéndose inmediatamente a la puesta en marcha y entrada en normal funcionamiento de las instalaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior, la obra no podrá ponerse en funcionamiento por partes desde su inicio, a menos que, a juicio del ingeniero director, no se perjudique la integridad de la instalación y no se interfiera en la normal operación de otras unidades o procesos adyacentes.

Si el ingeniero director apreciase en la obras defectos de calidad u otras imperfecciones que, a su juicio, pudieran resultar perjudiciales o poco convenientes, el contratista deberá reparar o sustituir, a su costa, dicha partes o elementos no satisfactorios.

3.2.8.2. Plazo de garantía

Será de un año, contado a partir de la fecha de recepción provisional, salvo indicación contraria expresa en el pliego de contratación de la obra. Durante dicho periodo, las posibles obras de reparación, conservación y sustitución serán responsabilidad del contratista, siendo éste responsable de las faltas que puedan existir.

En caso de existir defectos o imperfecciones, no servirá de disculpa ni le dará derecho alguno al contratista el que el director o subalterno hayan examinado durante la construcción, reconocido sus materiales o hecho su valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, si se observan vicios o imperfecciones antes de efectuarse la recepción, se dispondrá que el contratista demuela y construya, o bien repare, por su cuenta, las partes defectuosas.

3.2.8.3. Recepción definitiva

La recepción de la torre se realizará mediante un ensayo durante el cual se tomarán los datos necesarios para comprobar si la torre en su funcionamiento cumple o no las garantías acordadas.

El ensayo podrá ser realizado, a menos que exista un centro oficial que se encargue de ello, mediante la colaboración de técnicos capacitados de las compañías interesadas.

Durante el ensayo se tratará de mantener lo más constante posible el caudal de agua y la carga calorífica, y se suprimirá el agua de aporte y la purga.

En la realización del ensayo se aplicarán los métodos de medida que se indican en los apartados siguientes.

3.2.8.3.1. Realización del ensayo

El ensayo se realizará dentro de un plazo de 12 meses a partir de la puesta en marcha de la torre ó 18 después de su terminación y aceptación provisional. Los elementos componentes de la torre deben estar libres de materias extrañas a los mismos, como pueden ser aceites, algas o depósitos sólidos. Los equipos mecánicos han de estar en buenas condiciones de funcionamiento y ajustados lo mejor posible a las condiciones de diseño.

3.2.8.3.2. Límites de validez del ensayo

Para que los resultados del ensayo sean válidos, se han de cumplir las siguientes condiciones:

- La prueba será en horas diurnas y con buen tiempo, a fin de garantizar la seguridad y la precisión de las medidas. Se

recomienda realizar dicha prueba durante las horas del mediodía.

- La temperatura húmeda será la de diseño.
- La humedad relativa no será inferior a la de diseño $\pm 5\%$.
- El caudal de agua será el de diseño $\pm 10\%$.
- El salto térmico será el de diseño $\pm 10\%$.
- La carga calorífica será la de diseño $\pm 20\%$.
- La velocidad del viento no será superior a 5 m/s.
- El contenido en sólidos totales en el agua no será superior a 5000 p.p.m.

3.2.8.3.3. Constancia de las condiciones de ensayo

Se vigilará la constancia de las condiciones del ensayo. En el caso de que se observen oscilaciones, las máximas admisibles serán las siguientes:

- Para la temperatura seca: 1°C por hora ó 0,2 °C cada 10 minutos.
- Para la temperatura húmeda 1°C por hora ó 0,2 °C cada 10 minutos.
- Para el caudal 5% por hora o el 2% cada 20 minutos.
- Para la cantidad de calor 5% por hora o el 2% cada 20 minutos.
- Para el salto térmico 5% por hora o el 1% cada 10 minutos.

3.2.8.3.4. Magnitudes a medir e intervalos de medición

El ensayo de recepción se extenderá a la toma de los siguientes datos que serán medidos en los intervalos mínimos que se indican en la siguiente:

Datos a medir	Número mínimo de medidas a la hora

Caudal de agua	3
Temperatura del agua de entrada	6
Temperatura del agua de salida	6
Temperatura del aire	6
Temperatura de bulbo húmedo del aire de entrada	6
Dirección y velocidad del viento	3
Presión barométrica	3
Potencia absorbida por motor	1
Presión a la entrada del sistema de distribución de agua	1

La duración total del ensayo dependerá de la estabilidad de las condiciones de funcionamiento. Siendo éstas estables, una hora de duración puede ser suficiente.

Una vez realizado el oportuno reconocimiento de las mismas y en el supuesto de que todas ellas se encuentran en las condiciones debidas, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras.

En caso de que, al proceder al reconocimiento de las obras, éstas no se encontrasen en estado de ser recibidas, se aplazará su recepción hasta que estén en condiciones de serlo.

Al proceder a la recepción definitiva de las obras, se extenderá por cuadruplicado el acta correspondiente.

3.2.8.4. Prescripciones particulares

En todos aquellos casos en que, a juicio del director de las obras, se haga aconsejable para la ejecución de los trabajos previstos la fijación de determinadas condiciones específicas, se procederá a la redacción por éste del oportuno pliego de prescripciones particulares, que ha de ser aceptado por el contratista, quedando obligado a su cumplimiento.

3.3. Condiciones de los materiales

El presente apartado del pliego tiene por objeto establecer las calidades y características de los materiales utilizados.

No podrán ser en ningún caso distintos en sus características a los tipos proyectados. Si hubiese que variar la clase de algunos inicialmente aprobados, los nuevos no podrán ser instalados sin la previa autorización de la dirección de obra, la cual podrá someterlos a cuantas pruebas estime oportunas.

3.3.1. Hormigones

Las tolerancias en las especificaciones expresadas en el presente pliego serán precisamente las que figuran en la instrucción EH-80 como recomendables.

3.3.1.1. Transporte del hormigón

El transporte del hormigón desde la amasadora hasta su colocación en la obra, se realizará por camiones hormigoneras debiendo cumplir las condiciones siguientes:

- No deberá transcurrir mucho tiempo desde el amasado y la puesta en obra del hormigón, dicho intervalo no será superior a una hora cuando se empleen cementos Pórtland corrientes, si bien puede aumentarse cuando se adopten medidas que impidan la evaporación del agua. Por el contrario, este plazo resulta excesivo si no se toman precauciones especiales.
- Al variar las características de la masa al principio y final de cada descarga de la amasadora, no es conveniente dividir una misma amasada en distintos recipientes para su transporte.

- Cuando se empleen hormigones de diferentes tipos de cemento, se limpiará cuidadosamente el material de transporte antes de hacer el cambio.
- Si al llegar al tajo de colocación el hormigón acusa un principio de fraguado, la masa debe desecharse y no ser puesta en obra. Los hormigones deberán ser compactos, sin espacios huecos en su masa, a la salida de las hormigoneras se tomarán muestras cuando lo disponga el Ingeniero con las que se confeccionará a los 28 días, pruebas de resistencia.

3.3.1.2. Vertido, colocación y otras precauciones del hormigón

Para el vertido y colocación del hormigón son aplicables las siguientes recomendaciones:

- El vertido no debe efectuarse desde gran altura, procurando que sea vertical y evitando desplazamientos de la masa, debe ser dirigido, durante el vertido, mediante canaletas u otro dispositivo que impida su choque contra el encofrado o las armaduras.
- La colocación se efectuará por capas o tongadas horizontales de espesor inferior al que permita una buena compactación de la masa. Las distintas capas se consolidarán sucesivamente cosiendo cada una a la anterior por el medio de compactación que se emplee y sin que transcurra mucho tiempo para evitar que la masa se seque o comience a fraguar.
- No se arrojará el hormigón con pala o gran distancia, ni se distribuirá con rastrillo para no disgregarlo, ni se hará avanzar más de un metro dentro de los encofrados.

Mientras no se han concluido los procesos de curado y endurecimiento del hormigón es necesario evitar cualquier causa externa que pueda agrietarlo, tales como sobrecargas, choques o

vibraciones excesivas, originadas por el trabajo de construcción del resto de la obra.

3.3.2. Soldaduras

Las piezas que lleven soldadura serán esmeriladas. La superficie de la soldadura será regular y lo más lisa posible, se prohíbe todo enfriamiento anormal o excesivamente rápido de las soldaduras por lo que tomarán las precauciones precisas para ello.

3.5. Prescripciones de la ejecución

El contratista tiene obligación de ejecutar esmeradamente las obras, cumplir estrictamente todas las condiciones estipuladas y cuantas ordenes le sean dadas por el director de obra, entendiéndose que deben entregarse completamente terminadas cuantas obras afecten a este compromiso.

Si a juicio del citado director, hubiese alguna parte de la obra mal ejecutada, tendrá el contratista obligación de volverla a ejecutar cuantas veces sean necesarias, hasta quedar a satisfacción de aquél, no siendo motivos estos aumentos de trabajo para pedir indemnización alguna.

3.5.1. Mano de obra

La mano de obra no deberá padecer enfermedades contagiosas e infecciones ni defecto físico que imposibilite la labor de ejecutar.

Todos los integrantes de la mano de obra deberán estar debidamente asegurados de acuerdo con la legislación vigente.

3.5.2. Replanteo

Antes de comenzar los trabajos se realizará el replanteo general del trazado de cables y tuberías por el contratista o su representante bajo las órdenes del director de obra, marcando las alineaciones con los puntos necesarios para que, con el auxilio de los planos, pueda el contratista ejecutar debidamente las obras.

El Ingeniero Encargado podrá ejecutar u ordenar cuantos replanteos parciales estime necesarios durante el periodo de ejecución de las obras.

Será obligación del contratista la custodia y reposición de las señales que se establezcan en el replanteo. Para la realización del replanteo el contratista deberá aportar todo el material y personal necesario para la ejecución de esta operación.

Entre las dimensiones indicadas en el proyecto o sus modificaciones y las reales de la obra, se tolerarán diferencias que resulten admisibles a juicio del Ingeniero Director de obra.

3.5.3. Orden de los trabajos

El Técnico Director encargado de las obras fijará el orden en que deben llevarse a cabo estos trabajos, y la contrata está obligada a cumplir exactamente cuanto se disponga sobre el particular.

3.5.4. Marcha de las obras

Una vez iniciadas las obras deberán continuarse sin interrupción y terminarse en el plazo estipulado. Los retrasos, cuando sean justificados, podrán ser aceptados por la dirección de la obra.

3.6. Obra civil

Se realizará con arreglo a las especificaciones de los restantes documentos del proyecto y a las órdenes que expresamente deberá solicitar el contratista al director de la obra.

3.7. Responsabilidad de la contrata

La contrata será la única responsable de la ejecución de las obras, no teniendo derecho a indemnizaciones de ninguna clase por errores que pudiera cometer, y que serán de su cuenta y riesgo.

Aún después de la recepción provisional, la contrata está obligada a rectificar todas las deficiencias que sean advertidas por la dirección de obra.

La demolición o reparación precisa será exclusivamente por cuenta de la contrata.

Asimismo, la contrata se responsabilizará ante los tribunales de los accidentes que puedan ocurrir durante la ejecución de las obras. Igualmente, estará obligada al cumplimiento de todos los preceptos legales establecidos o que se establezcan por disposiciones oficiales.

3.8. Dirección de los trabajos

El técnico encargado de las obras constituye la dirección técnica y, como tal, ejecutará todos los trabajos del desarrollo del proyecto, así como la dirección e inspección de los trabajos. Por lo tanto, la dirección técnica asumirá toda la responsabilidad en lo concerniente a planos e instrucciones técnicas.

3.9. Legalización

Para la recepción de las obras la contrata está obligada a la legalización de las obras e instalaciones ante los organismos oficiales competentes. Los gastos que estos ocasionen correrán por cuenta de la contrata.

3.10. La legionella en las torres de refrigeración

A continuación vamos a tratar aquellos artículos del *Real Decreto 865/2003, del 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis*, que tienen que ver con las torres de refrigeración.

Artículo 2. Ámbito de aplicación

Las medidas contenidas en el presente Real Decreto se aplicarán a las siguientes instalaciones que utilicen agua en su funcionamiento, produzcan aerosoles y se encuentren ubicadas en el interior o exterior de edificios de uso colectivo o instalaciones industriales que puedan ser susceptibles de convertirse en focos para la propagación de la enfermedad:

- a) Sistemas de agua caliente sanitaria: red y depósitos, acumuladores, calderas, calentadores.
- b) Sistemas de agua fría de consumo humano; red y depósitos, tanques, aljibes, cisternas, pozos.
- c) Torres de refrigeración.
- d) Condensadores evaporativos equipos de enfriamiento evaporativo.

Artículo 3. Notificación de torres de refrigeración y condensadores evaporativos.

Los titulares de torres de refrigeración y condensadores evaporativos están obligados a notificar a la Administración sanitaria competente, en el plazo de un mes desde su puesta en funcionamiento, el número y características técnicas de las mismas, así como las modificaciones que afecten al sistema.

Artículo 4. Responsabilidad de los titulares de las instalaciones.

Los titulares de las instalaciones descritas en el artículo 2 serán los responsables del cumplimiento de lo dispuesto en este Real Decreto y de realizar los programas de mantenimiento periódico que garanticen el correcto funcionamiento de sus instalaciones, así como el control de la calidad microbiológica y físico-química del agua, con el fin de que no representen un riesgo para la salud pública.

La contratación de un servicio de mantenimiento externo no exime al titular de la instalación de su responsabilidad.

Artículo 5. Registro de operaciones de mantenimiento.

Los titulares de las instalaciones recogidas en el artículo 2 deberán disponer de un Registro de mantenimiento. El titular de la instalación podrá delegar la gestión de este Registro en personas físicas o jurídicas designadas al efecto, que realizarán las siguientes anotaciones:

- a) Fecha de realización de las tareas de revisión, limpieza y desinfección general, protocolo seguido, productos utilizados, dosis y tiempo de actuación. Cuando sean efectuadas por una empresa contratada, ésta extenderá un certificado.
- b) Fecha de realización de cualquier otra operación de mantenimiento (limpiezas parciales, reparaciones, verificaciones, engrases) y especificación de las mismas, así como cualquier tipo e incidencia y medidas adoptadas.
- c) Fecha y resultados analíticos de los diferentes análisis del agua.
- d) Firma del responsable técnico de las tareas realizadas y del responsable de la instalación.

El Registro de mantenimiento estará siempre a disposición de las autoridades sanitarias responsables de la inspección de las instalaciones.

Artículo 7. Medidas preventivas generales.

Estas medidas se aplicarán tanto en la fase de diseño como de mantenimiento.

1. En la fase de diseño de las instalaciones se tendrá en cuenta en las torres de refrigeración y condensadores evaporativos:

- a) Estarán ubicados de manera que se reduzca al mínimo el riesgo de exposición de las personas a los aerosoles. Este efecto se deberán ubicar en lugares alejados de las personas, protegiendo tomas de aire acondicionado y ventanas.
- b) Los materiales han de resistir la acción agresiva del agua y del cloro u otros desinfectantes, con el fin de evitar los fenómenos de corrosión.

Se evitarán los materiales que favorecen el desarrollo de bacterias y hongos como el cuero, madera, fibrocemento, hormigón o los derivados de celulosa.

- c) El diseño del sistema deberá hacerse de manera que todos los equipos y aparatos sean fácilmente accesibles para su inspección, limpieza, desinfección y toma de muestras.

2. Los programas de mantenimiento se realizarán en todas las instalaciones recogidas en el artículo 2 e incluirán:

- a) Elaboración de un plano de cada instalación que contemple todos sus componentes, que se actualizará cada vez que se realice alguna modificación.
- b) Revisión y examen de todas las partes de la instalación para asegurar su correcto funcionamiento, estableciendo los puntos de revisión, parámetros a medir y los procedimientos a seguir, así como la periodicidad de cada actividad.
- c) Programa de tratamiento del agua, que asegure su calidad. Este programa incluirá productos, dosis y procedimientos, así como introducción de parámetros de control físicos, químicos y biológicos, los métodos de medición y la periodicidad de los análisis.
- d) Programa de limpieza y desinfección de toda la instalación para asegurar que el equipo funciona en condiciones de seguridad, estableciendo claramente los procedimientos, productos a utilizar y dosis, precauciones a tener en cuenta, y la periodicidad de cada actividad.
- e) Existencia de un Registro de mantenimiento de cada instalación que recoja todas las incidencias, actividades realizadas y resultados obtenidos.

Para llevar a cabo el programa de mantenimiento se realizará una adecuada distribución de competencias para su gestión y aplicación, entre personal especializado, facilitándose los medios para que puedan realizar su función con eficacia y un mínimo de riesgo.

Las condiciones específicas de mantenimiento para las torres de refrigeración y condensadores evaporativos se recogen en el anexo 4.

ANEXO 4. Mantenimiento de torres de refrigeración y dispositivos análogos.

Se detallan a continuación los aspectos mínimos que deben recoger la revisión y la limpieza y desinfección de este tipo de instalaciones, completando lo ya recogido en el artículo 7 del presente Real Decreto.

A. Revisión

La revisión de todas las partes de una instalación comprobará su correcto funcionamiento y su buen estado de conservación y limpieza.

Dicha revisión se realizará con la siguiente periodicidad: anualmente el condensador y el separador de gotas, semestralmente el relleno y mensualmente la bandeja. Se revisará el estado de conservación y limpieza general, con el fin de detectar la presencia de sedimentos, incrustaciones, productos de la corrosión, lodos y cualquier otra circunstancia que altere o pueda alterar el buen funcionamiento de la instalación.

Si se detecta algún componente deteriorado, se procederá a su reparación o sustitución.

Se revisará también la calidad físico-química y microbiológica del agua del sistema, determinando mensualmente los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad, sólidos en suspensión, nivel e cloro o biocida utilizado, productos de corrosión, así como contaminación microbiológica. Se incluirán, si fueran necesarios, otros parámetros que se consideren útiles en la determinación de la calidad del agua o de la efectividad del programa de mantenimiento o de tratamiento del agua.

Cuando se detecten cambios en la calidad físico-química o microbiológica del agua, se procederá a aplicar las medidas correctivas necesarias para recuperar las condiciones del sistema.

B. Limpieza y desinfección

Se tendrá en cuenta que una desinfección no será efectiva si no va acompañada de una limpieza exhaustiva.

La limpieza y desinfección del sistema completo se realizará, al menos, dos veces al año, preferiblemente al comienzo de la primavera y el otoño, cuando las instalaciones sean de funcionamiento no estacional y además en las siguientes circunstancias: cuando se ponga en marcha la instalación por primera vez, tras una parada superior a un mes, tras una reparación o modificación estructural, cuando una revisión general así lo aconseje y cuando lo determine la autoridad sanitaria.

El procedimiento de limpieza y desinfección general para equipos que puedan cesar en su actividad, y en caso de utilizar cloro, será el siguiente:

- a) Cloración del agua del sistema, al menos 5 ppm de cloro residual libre y adición de biodispersantes capaces de actuar sobre la biocapa y anticorrosivos compatibles con el cloro y el biodispersante, y en cantidad adecuada, manteniendo un pH entre 7 y 8.
- b) Recircular el sistema durante 3 horas, con los ventiladores desconectados y cuando sea posible las aberturas cerradas para evitar la salida de aerosoles. Se medirá el nivel de cloro residual libre al menos cada hora reponiendo la cantidad perdida.
- c) Neutralizar el cloro, vaciar el sistema y aclarar con agua a presión.
- d) Realizar las operaciones de mantenimiento mecánico del equipo y reparar las averías detectadas.
- e) Limpiar a fondo la superficie del equipo con detergentes y agua a presión y aclarar.
- f) Introducir en el flujo de agua la cantidad de cloro suficiente para alcanzar 15 ppm de cloro residual libre, añadiendo anticorrosivos compatibles y en cantidad adecuada.
- g) Recircular el sistema, con los ventiladores desconectados durante 2 horas, midiendo cada 30 minutos los niveles de cloro residual libre y reponiendo la cantidad perdida.
- h) Neutralizar el cloro nuevamente, vaciar y aclarar.
- i) Llenar de agua y añadir el desinfectante de mantenimiento. Cuando este desinfectante sea cloro, se mantendrán unos niveles de cloro residual libre de 2 ppm mediante un dispositivo en continuo, añadiendo anticorrosivo, compatible con el cloro, en cantidad adecuada.

Las piezas desmontables serán limpiadas a fondo sumergidas en una solución que contenga 15 ppm de cloro residual libre, durante 20 minutos, aclarando posteriormente con abundante agua fría. Los elementos difíciles de desmontar o de difícil acceso se pulverizarán con la misma solución durante el mismo tiempo. En caso de equipos, que por sus dimensiones o diseño no admitan la pulverización, la limpieza y desinfección se realizará mediante nebulización eléctrica, utilizando un desinfectante adecuado para este fin (la nebulización eléctrica no se puede realizar con cloro):

La limpieza y desinfección, tanto el relleno como de la balsa y resto de componentes, de torres de refrigeración industriales de tiro inducido y flujo de aire cruzado o en contracorriente, sin posibilidad de parada, se realizará al menos dos veces al año, preferiblemente en primavera y otoño, según el siguiente procedimiento:

- a) Ajustar el pH entre 7 y 8, para mejorar la acción del ácido hipocloroso (HClO).
- b) Añadir hipoclorito sódico (NaClO) en cantidad suficiente para mantener en el agua de la balsa una concentración máxima residual de cloro libre residual de 5 ppm.
- c) Añadir la cantidad adecuada de biodispersante para que actúe sobre la biocapa y permita el ataque del cloro en su interior, así como un inhibidor de la corrosión, específico para cada sistema.
- d) Recircular durante 4 horas manteniendo los niveles de cloro residual libre. Se realizarán determinaciones del mismo cada hora, para asegurar el contenido de cloro residual previsto.
- e) Una vez finalizada la operación de limpieza, se renovará la totalidad del agua del circuito abriendo la purga al máximo posible y manteniendo el nivel de la balsa.
- f) Normalización de las condiciones de operación, durante este periodo con el fin de eliminar la biocapa que pudiera permanecer en los intercambiadores y zonas muertas o de baja velocidad del circuito, se mantendrá una concentración de cloro residual libre entre 1 y 2 ppm y la cantidad adecuada de biodispersante durante 24 horas.

C. Limpieza y desinfección en caso de brote de legionelosis.

- a) Clorar el agua del sistema hasta conseguir al menos 20 ppm de cloro libre residual y añadir biodispersantes y anticorrosivos compatibles, en cantidad adecuada, manteniendo los ventiladores desconectados y cuando sea posible, las aberturas cerradas para evitar la salida de aerosoles.
- b) Mantener este nivel e cloro durante 3 horas, comprobando éste cada hora y reponiendo la cantidad perdida, mientras está recirculando agua a través del sistema.
- c) Neutralizar el cloro y proceder a la recirculación del agua de igual forma que en el punto anterior.
- d) Vaciar el sistema y aclarar con agua a presión.
- e) Realizar las operaciones de mantenimiento mecánico del equipo y reparar las averías detectadas.
- f) Limpiar a fondo las superficies del sistema con detergente y agua a presión, y aclarar.
- g) Introducir en el flujo e agua cantidad de cloro suficiente para alcanzar 20 ppm de cloro residual libre, añadiendo anticorrosivos compatibles con el cloro, en cantidad adecuada. Se mantendrá durante 2 horas, comprobando el nivel de cloro residual libre cada 30 minutos, reponiendo la cantidad perdida. Se recirculará el agua por todo el sistema, manteniendo los ventiladores desconectados y las aberturas tapadas.
- h) Neutralizar el cloro y recircular de igual forma que en el punto anterior.
- i) Vaciar el sistema, aclarar y añadir el desinfectante de mantenimiento. Cuando este desinfectante sea cloro, mantener un nivel de cloro residual libre de 2ppm mediante un dispositivo en continuo, añadiendo el anticorrosivo compatible, en cantidad adecuada.

Las piezas desmontables serán limpiadas a fondo y desinfectadas por inmersión en una solución de agua que contenga 20 ppm de cloro residual libre, durante al menos 20 minutos. Las piezas no desmontables o de difícil acceso se limpiarán y desinfectarán pulverizándolas con la misma solución durante el mismo tiempo. En caso de equipos, que por sus dimensiones o diseño no admitan la pulverización, la limpieza y desinfección se realizará mediante nebulización eléctrica, utilizando un desinfectante adecuado.

Todas estas actividades se realizarán por personal suficientemente entrenado, con todas las medidas de seguridad necesarias, avisando a los usuarios para evitar posibles accidentes.

Estas actividades quedarán reflejadas en el Registro de mantenimiento.

Posteriormente se continuará con las medidas de mantenimiento habituales.

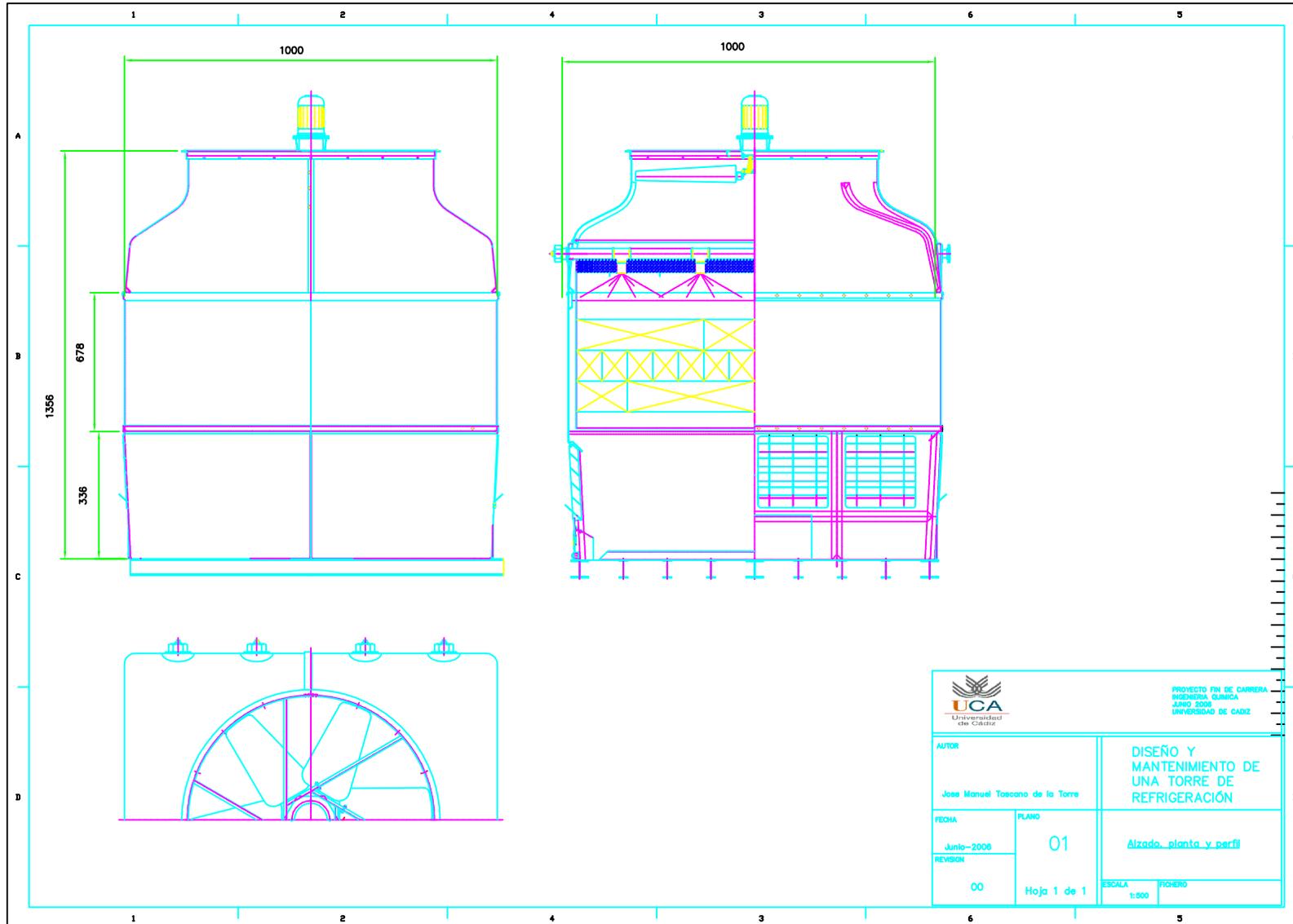
ANEXO 6. Recogida de muestras ambientales para aislamiento de legionella en torres de refrigeración.

En torres de refrigeración, condensadores evaporativos u otros aparatos de refrigeración que utilicen agua en su funcionamiento y generen aerosoles, se tomará aproximadamente un litro de agua de la parte baja de la torre y de la bandeja, procurando recoger restos de suciedad, incluso rascando posibles incrustaciones de la pared. Medir temperatura del agua y cantidad de cloro libre.

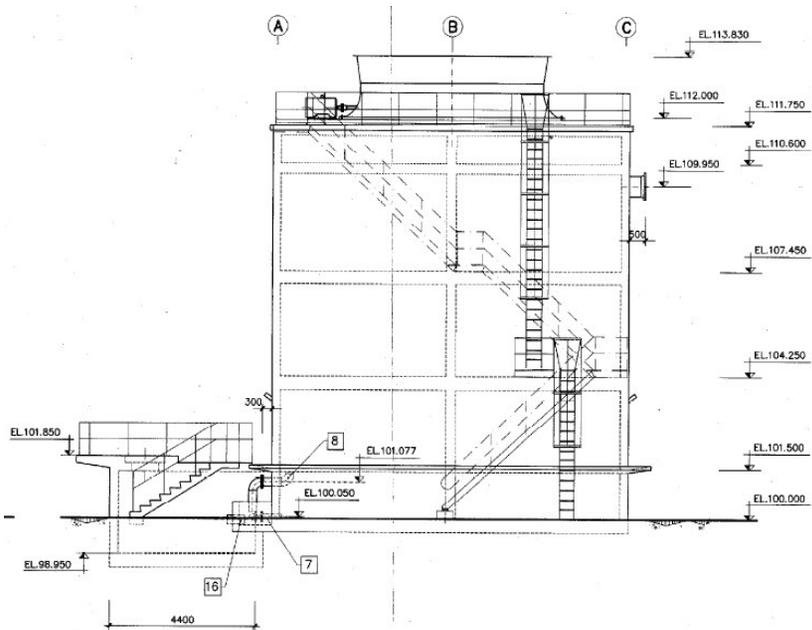
Las muestras deberán recogerse en envases estériles, adecuados para evitar que se rompan o se vierta su contenido en el transporte, con cierre hermético, a los que se añadirá un neutralizante. Deberán llegar al laboratorio lo antes posible, manteniéndose a temperatura ambiente y evitándose temperaturas extremas.

Capítulo 4

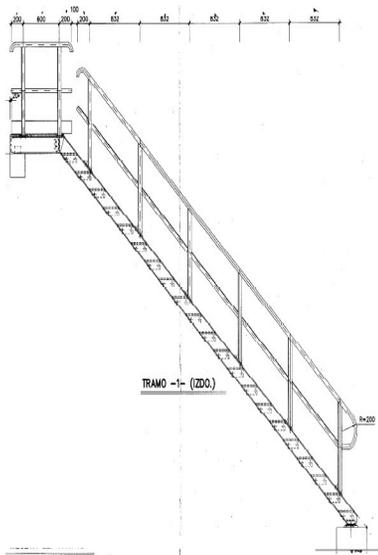
PLANOS



 UNIVERSIDAD DE CÁDIZ		PROYECTO FIN DE CARRERA INGENIERIA QUIMICA JUNIO 2006 UNIVERSIDAD DE CADIZ	
		DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA TORRE DE REFRIGERACIÓN	
AUTOR Jose Manuel Toscano de la Torre		DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA TORRE DE REFRIGERACIÓN	
FECHA Junio-2006	PLANO 01	Alzado, planta y perfil	
REVISION 00	Hoja 1 de 1	ESCALA 1:000	FICHERO



ALZADO LATERAL



 UCA Universidad de Cádiz		PROYECTO FIN DE CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA CONVOCATORIA JUNIO 2006 UNIVERSIDAD DE CÁDIZ	
		DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA TORRE DE REFRIGERACIÓN	
AUTOR		Detalle Barandilla	
Jose Manuel Toscano de la Torre			
PROMOTOR			
FECHA	PLANO		
Junio 2006	03		
REVISIÓN		ESCALA	FICHERO
00	Hoja 1 de 1	1:50	

Capítulo 5

PRESUPUESTO

5.1. Introducción

Para la realización del presupuesto, éste se ha dividido en cuatro partes, diferenciando entre:

- El coste del inmovilizado, es decir, lo que representan los costes fijos. Representa el coste de los equipos, tuberías, aparatos, etc.
- El coste de producción, es decir, los costes derivados de las materias primas, electricidad, salarios, etc.
- Los costes de amortización, ya que algunos medios (maquinaria, edificios, etc) van perdiendo su utilidad paulatinamente por diversas causas: Desgaste físico y químico, envejecimiento técnico y económico, etc. Por tanto, habrá que conocer el porcentaje anual sobre la inversión total y, por tanto, que cantidad económica se debe pagar anualmente para amortizar la inversión. Para ello emplearemos el método del reparto constante, que consiste en una amortización uniforme, en la que se valora la cantidad a amortizar y el número de ejercicios que pervivirá lo amortizado.
- Por último, un resumen del presupuesto total del proyecto, donde se incluyen los totales de los apartados anteriores, incluyendo además gastos de ingeniería e I.V.A.

5.2. Presupuesto de Inmovilizado

- Coste instalado..... $3653,468 \cdot (2000 \text{ m}^3/\text{h})^{0,6} = 349.400,37$
- Tuberías ($\varnothing = 6'$)..... $7,43 \text{ /m} \times 172 \text{ m} = 1277,96$
- Agua filtrada balsa..... $0,26 \text{ /m}^3 \times 2336 \text{ m}^3 = 607,36$
- **Total..... 351.285,69 €**

Nota: El coste de instalado incluye la instalación en el terreno más bombas y motores.

5.3. Presupuesto de producción

- Materia Prima : Caudal agua..... $0,26 \text{ /m}^3 \times 38 \text{ m}^3/\text{h} = 9,88 \text{ /h}$
- Electricidad: Ventilador..... $0,079941 \text{ /kW}\cdot\text{h} \times 72,5 \text{ kW} = 5,79 \text{ /h}$
- Bombas..... $2 \times 0,079941 \text{ /kW}\cdot\text{h} \times 12,5 \text{ kW} = 1,99 \text{ /h}$
- Motor $0,079941 \text{ /kW}\cdot\text{h} \times 44 \text{ kW} = 3,52 \text{ /h}$
- Total..... $11,3 \text{ /h}$
- Mantenimiento medio (5-7%)..... $0,06 \times 351.285,69 = 21.077,14 \text{ /año}$

5.4. Amortización

- 10% en 10 años..... $0,1 \times 351.285,69 = 35.128,57 \text{ /año}$

Nota: Los cálculos del resumen, se han realizado considerando como útiles 356 días al año, ya que el proceso es en continuo.

5.5. Resumen del presupuesto

- Coste inmovilizado..... 351.285,69
- Coste producción..... 206.577,49 /año
- Amortización..... 35.128,57 /año
- Honorarios de ingeniería 35.067,83
- Total bruto..... 276.773,89 /año
- I.V.A (16%)..... 44283,82
- **Total..... 321.057,71 €/año**

ANEXOS

ANEXO I. MANUAL DE OPERACIONES

En el manual de operaciones vamos a describir como ha de realizarse la primera puesta en funcionamiento de la torre, como ha de realizarse la parada programada para el mantenimiento preventivo y como haremos su posterior puesta en marcha. Por último, veremos como se haría la dosificación de hipoclorito sódico en continuo para mantener en la balsa de agua un determinado nivel de cloro residual que evite la aparición de microorganismos:

1. COMPROBACIONES ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA

Antes de la puesta en marcha de la torre de refrigeración, debe ser revisada para comprobar los siguientes puntos:

1. El sistema de distribución de agua deberá estar limpio y los aspersores instalados correctamente. Todas las válvulas de control de flujo deberán estar abiertas para prevenir un exceso de presión y asegurar la purga de aire de las tuberías.
2. La balsa estará limpia y libre de escombros.
3. El control de nivel de flotador para el agua de aportación de la balsa, deberá revisarse para comprobar que opera correctamente.
4. Todos los tornillos y espárragos estarán correctamente apretados, principalmente, los que corresponden a los equipos mecánicos y al soporte de los mismos.
5. Comprobar que el reductor de velocidad esta lleno del aceite recomendado hasta el nivel correcto.
6. Comprobar que el motor está debidamente lubricado.
7. El ventilador deberá girar libremente en la sentido de las agujas del reloj.
8. Comprobar que las conexiones eléctricas están hechas correctamente, para seguridad del funcionamiento.
9. Comprobar que el equipo mecánico opera normalmente, es decir, sin excesivo ruido, vibraciones o calentamiento.
10. Ajustar el interruptor de vibraciones y comprobar que funciona correctamente.

2. PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN MARCHA

Una vez que se hayan comprobado todos los puntos anteriores y éstos sean satisfactorios, puede procederse al llenado de la balsa de agua y la puesta en operación de la torre, siguiendo el siguiente orden de operación:

1. Todas las válvulas de acceso a los colectores deben estar completamente abiertas. La balsa de agua fría totalmente llena y los aspersores completamente limpios.
2. Cerrar las válvulas de descarga de las bombas antes de poner estas en marcha.
3. No poner nunca en operación la torre con el caudal máximo de la misma, ya que esto puede ocasionar problemas en los colectores. Habrá que comenzar a operar con las válvulas de control de las bombas abiertas un 25%. Estabilizar esta operación durante 10 minutos y, aumentar entonces la apertura de las válvulas hasta el 50%. Repetir el procedimiento hasta que se alcance el caudal total de la torre.
4. Comprobar que las condiciones de operación de las bombas (caudal y presión) no excedan de las especificaciones de diseño de la torre.
5. Los ventiladores de la torre pueden ponerse en marcha en cualquier secuencia, comprobando en cualquier caso la potencia consumida por los mismos. Puede darse el caso, que debido a épocas más frías del año, la temperatura de entrada del agua a la torre esté por debajo de la temperatura de diseño, en cuyo caso, el aire que extraen los ventiladores es más frío, luego su densidad será mayor y, por tanto, el ventilador consumirá una potencia superior a la de diseño. En estos casos puede ser necesario reducir el ángulo de ataque de las palas de los ventiladores, con lo que el trabajo que tienen que hacer para extraer la masa de aire es menor, evitando así posibles sobrecargas de los motores eléctricos.

3. OPERACIÓN NORMAL DE LA TORRE

Una vez realizadas las operaciones indicadas en los dos apartados anteriores, la torre puede comenzar a operar en las condiciones de producción continua.

El punto principal durante esa operación continua de la torre, es el mantenimiento de los equipos adecuadamente, de forma que nos obligue a realizar una parada no programada, que altere nuestra producción con las consecuencias económicas que conllevaría. Por ello, más adelante, veremos un como ha de hacerse un correcto mantenimiento de esos equipos y, la torre en general, para evitar esas paradas no programadas.

Los dos sistemas más importantes que es necesario vigilar durante la operación normal de la torre son: los componentes mecánicos y el sistema de distribución de agua. Por ello, tendremos que comprobar que todos los componentes de los equipos mecánicos reciben el mantenimiento e inspección requeridos por cada uno y, con respecto al sistema de distribución de agua, comprobar que los aspersores se mantienen limpios.

Por último, será importante también, comprobar con frecuencia el consumo de potencia del motor, para verificar que los motores no operan sobrecargados durante largos periodos de tiempo.

4. PUESTA EN MARCHA DESPUÉS DE LA PARADA

Cuando llegue el momento de realizar la parada programada para el mantenimiento de la torre, por circunstancias de producción o cualquier otro motivo, una torre de tiro mecánico ha permanecido fuera de servicio durante un periodo de tiempo más o menos largo, siempre superior a tres meses, es necesario realizar algunas comprobaciones antes de volver a ponerla en marcha, que se resumen en el siguiente cuadro:

Componente	Comprobación
Ventilador	Ángulo de palas Giro Vibraciones
Equipo mecánico (motor-reductor-eje)	Conexiones eléctricas Lubricación Alineamiento y nivelación
Relleno	Inspección visual para comprobar estado, colocación y formación de algas, hongos, etc.
Sistema de distribución de agua	Nivelación (cuando sea posible) Limpieza general Estado de los pulverizadores
Balsa, filtros (rejillas)	Limpieza Corrosión (cuando la balsa es metálica)
Válvulas y accesorios	Operación Limpieza Engrase

5. DOSIFICACIÓN DE BIOCIDA EN CONTÍNUO

5.1. Introducción

Por lo visto anteriormente, sabemos que el sistema de la balsa de agua fría de la torre es susceptible del crecimiento de microorganismos, con las consecuencias que hemos visto sobre la torre de refrigeración.

Con los tratamientos que hemos visto conseguimos este objetivo, pero tendremos que mantener siempre una determinada cantidad de biocida, hipoclorito sódico en nuestro caso, que deja en la balsa lo que se denomina “cloro residual”. Este cloro residual tiene como misión evitar que vuelvan a aparecer en el sistema los microorganismos.

Tradicionalmente, para mantener ese cloro residual, es un operario el que se encarga de hacer unas determinadas dosificaciones de cloro, abriendo la válvula de un gran bidón que permitía la entrada en la balsa del hipoclorito sódico (NaClO), en determinados momentos a lo largo del día, según se recoge en el plan de desinfección de la torre. Esta forma de dosificación “manual” presenta una serie de inconvenientes:

a) *Los volúmenes que se dosificaban no eran los exactos.*

Esto puede deberse a que el operario encargado de la dosificación añadiera hipoclorito sódico en exceso, con lo que estamos desperdiciando biocida y, por tanto, aumentando costes. También puede ocurrir que el operario añadiera hipoclorito en defecto, con lo que estaríamos aumentando la posibilidad de la aparición de microorganismos.

b) *Los tiempos de dosificación no eran los exactos.*

El operario puede estar ocupado con otra cosa, coincidir con un cambio de turno, etc, por lo que no se respetan las horas establecidas para la dosificación. Esto hace que el cloro residual en la balsa disminuya, y aparezca la posibilidad del crecimiento de microorganismos.

5.2. Fundamento teórico

Para determinar los niveles de cloro residual en los que se movía la torre, existen varios métodos: métodos colorimétricos, de conductividad, ph, etc. Para realizar las medidas de forma manual resultaba más sencillo el método colorimétrico.

Para ello, lo primero que hicimos es realizar las series establecidas de adición manual del NaClO y medimos mediante ese método colorimétrico aproximado con un rango de medida de 0-3,5 ppm, en intervalos de 0,1 ppm.

El método consiste verter sobre un tubo de ensayo 5 ml de una muestra de agua desionizada que utilizaremos como blanco y, en otro tubo, 5 ml de la muestra a analizar del agua recogida de la balsa de agua fría de la torre. Al tubo del agua desionizada le añadiremos un reactivo denominado APD. Este reactivo es un acidulante, cuya acción hace que los iones hipoclorito se descompongan en:



Así, debemos obtener un color rosa que aumenta su intensidad a medida que detecta un mayor contenido de cloro residual, y mediante una escala de colores de referencia, comparamos y determinamos el cloro residual que tenemos realmente en el agua.

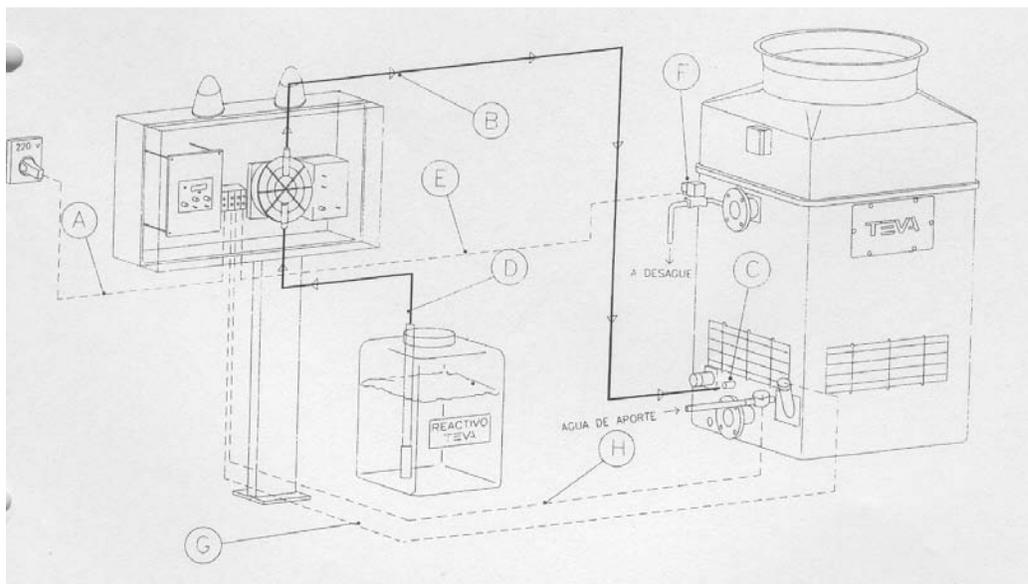
El inconveniente de este método es que, aunque sabemos el cloro libre residual de agua, no permite distinguir entre los dos responsables de que tengamos esa cantidad de cloro.

5.3. Sistema de tratamiento

El objetivo de esta mejora es la de eliminar estos inconvenientes. Para ello vamos a proponer un sistema de dosificación en continuo del biocida, hipoclorito sódico (NaClO), para mantener el cloro residual que evite la aparición de microorganismos.

Al igual que antes, a la hora de determinar el cloro residual elegíamos el método colorimétrico por una mayor sencillez en la medida, ahora con este proceso automático de dosificación, resulta mas cómodo y económico, medir el cloro libre residual a través de un conductivímetro. Mediante la medida de la conductividad, sabremos si hay un mayor o menor número de sales disueltas (mayor o menor conductividad, respectivamente) en el sistema y, por tanto, si hay mayor a menor cloro residual, respectivamente.

En la siguiente figura, podemos ver como será el funcionamiento de este sistema:



Donde:

A = alimentación eléctrica para 220 V

B = tubo de impulsión de la bomba

C = válvula de retención

D = caña de aspiración con electroválvula

E=cableconector-alimentación

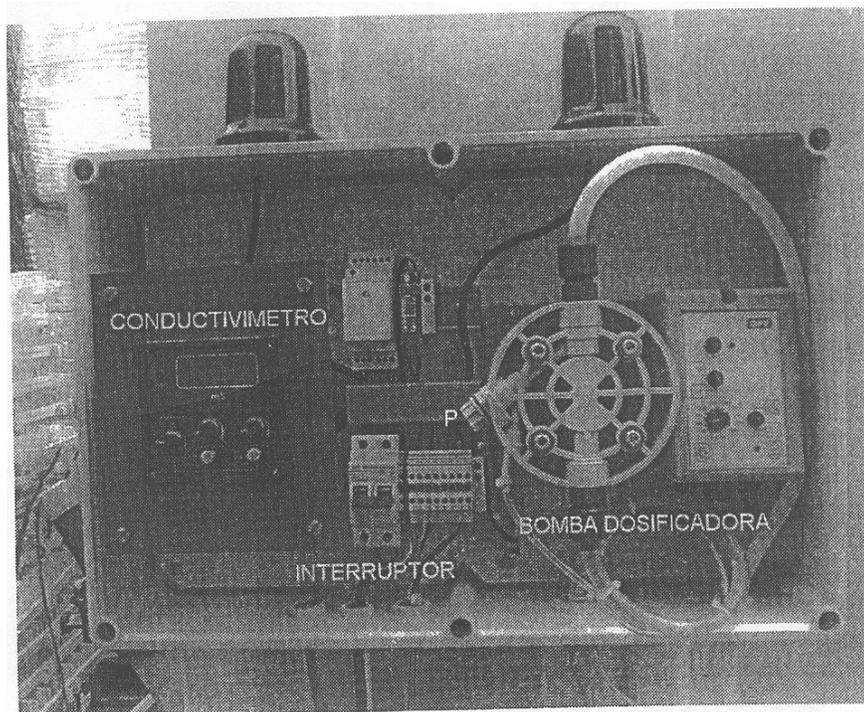
F = conector

G = sonda del conductivímetro

H = contador de entrada agua
aporte

5.4. Funcionamiento del equipo

Vamos a ver de forma más detallada el equipo que se encarga del tratamiento del agua, ya que la parte de la torre la hemos descrito y visto su funcionamiento en la memoria descriptiva de este proyecto:



El equipo está compuesto esencialmente de:

- Un interruptor de puesta en marcha.
- Un conductímetro con su correspondiente sonda.
- Una bomba dosificadora y sonda de aspiración.
- Un contador emisor de impulsos.
- Una electro-válvula a solenoide (normalmente preinstalada en la torre).

5.5. Contador y bomba dosificadora

El contador situado a la entrada del agua de reposición envía señales eléctricas a la bomba dosificadora y ésta a su vez, envía a la torre, la cantidad de reactivo necesaria para mantener en el agua la proporción en ppm a que se ha programado la bomba.

La bomba dosificadora aspira el producto reactivo de un depósito a través de un tubo introducido en el mismo. El tubo de aspiración de la bomba va equipado con un control eléctrico de nivel que enciende la luz de alarma en el caso de que el reactivo se esté acabando.

5.6. Conductivímetro y electro-válvula de purga

Por efectos de la evaporación parcial del agua en la torre, la concentración de las diversas sales presentes en el agua, aumenta progresivamente, haciendo ineficaz la acción de los diferentes reactivos.

Para mantener bajo control esta concentración, como ya se vio a lo largo de este proyecto, es necesario purgar periódicamente parte del agua que será sustituida por igual cantidad a través de la válvula a flotador de reposición.

El conductivímetro a través de su sonda introducida en la balsa de la torre detecta la concentración de sales y, si ésta supera a la cantidad programada teóricamente ($\approx 1,5$ mS), abre la válvula del solenoide de purga.

El conductivímetro lleva conectado un piloto de alarma, para el caso de que la electro-válvula no abriese por fallo mecánico o de otro tipo al superar la conductividad límite establecida ($\approx 1,7$ mS).

6. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Aunque este proyecto es objeto de un estudio de prevención y riesgos laborales, así como de una evaluación de riesgos en la operación de la torre con los correspondientes equipos de protección para los trabajadores, en este apartado se darán una serie de medidas de seguridad a tener en cuenta a la hora de hacer los trabajos rutinarios de la torre.

Siempre que se trabaje en una torre de refrigeración han de tomarse estrictas medidas de seguridad, ya que están formadas por grandes estructuras de las que forman parte equipos pesados en movimiento.

Cuando se trabaje en el equipo mecánico del ventilador, se tendrá plena seguridad de que está desconectado y que el operador es consciente de que hay un hombre trabajando en el difusor. La torre está provista de interruptor de vibración, que se activa como medida de seguridad adicional.

Si es necesario entrar en el cabezal del sistema de distribución, habrá que asegurarse de que las bombas están desconectadas y que e han tomad todas las medidas de seguridad posibles a fin de evitar que el agua circule cuando el personal está trabajando en el sistema de distribución.

Cuando se utilicen grúas o andamios portátiles, habrá que asegurarse que los cables o cadenas tengan la resistencia adecuada.

Está prohibido subirse a los deflectores, ya que pueden romperse con el peso de un hombre. Habrá que usar siempre andamios o grúas para inspeccionar los deflectores y el relleno.

Si se siguen unas buenas normas de seguridad, que estarán detalladas en ese plan de prevención de riesgos laborales al que hacíamos referencia, y se utilizan todos los equipos de protección personal y colectivos, que la empresa proporcionará a los trabajadores, podremos evitar la mayoría de accidentes que se producen durante la inspección y el funcionamiento de la torre.

7. ACTUACIONES FRENTE A DESVIACIONES EN LOS PARÁMETROS A CONTROLAR

Antes de finalizar este manual de operaciones de la torre de refrigeración, vamos a concluir describiendo las actuaciones que habría que tomar frente a hipotéticas desviaciones en las variables que manejamos comúnmente en este tipo de instalaciones, identificando además las posibles causas que han originado esa desviación y sus efectos sobre nuestro sistema:

7.1. Aumento del pH

- Causa:* Alto pH del agua de aporte.
Número elevado de ciclos.
- Efecto:* Formación de incrustaciones calcáreas.
- Actuación:* Comprobar pH del agua de aporte y si es superior al especificado cortar agua de aporte hasta que posea el pH especificado.
Verificar ciclos de trabajo.
Dosificar ácido al agua de la torre hasta conseguir el pH especificado.

7.2. Disminución del pH

- Causa:* Bajo pH del agua de aporte. Excesiva adición de dióxido de cloro.
Fuga de ácido en unidades.
- Efecto:* Corrosión.
- Actuación:* Comprobar pH del agua de aporte y si es inferior al especificado cortar agua de aporte hasta que posea el pH especificado.
Verificar residuales de dióxido de cloro.
Dosificar sosa para reducir el pH.

7.3. Aumento de la alcalinidad total (TAC)

- Causa:* Agua de aporte con alta alcalinidad.
Circuito muy concentrado.

Efecto: Incrustación calcárea en zonas de alta temperatura.

Actuación: Purgar el circuito.
Comprobar otros parámetros (Ca^{2+} , Cl^-)
Adicionar INCUS – CTR/40.

7.4. Aumento del Ca^{2+}

Causa: Agua de aporte con alto contenido en Ca^{2+} .
Circuito muy concentrado.

Efecto: Incrustación calcárea en zonas de alta temperatura.

Actuación: Purgar el circuito.
Comprobar otros parámetros (alcalinidad total TAC, Cl^-)
Adicionar INCUS – CTR/40.

7.5. Aumento de Cl^-

Causa: Circuito muy concentrado.
Alto aporte de agua bruta con alto contenido en Cl^- .
Verificar adición de dióxido de cloro.

Efecto: Corrosión en equipos de acero inoxidable.

Actuación: Purgar el circuito.

7.6. Disminución del residual de Molibdato (MoO_4^-)

Causa: Fallo de la bomba dosificadora.
Baja dosificación de RESTIN – 18.MP
Alta purga del circuito.

Efecto: Desprotección del circuito frente a la corrosión.

Actuación: Comprobar la bomba dosificadora.
Cerrar purgas del circuito siempre que sea posible y
comprobar otros parámetros (TAC, Ca^{2+} , Cl^-).
Aumentar dosificación de RESTIN – 18.MP

7.7. Aumento del residual de Molibdato (MoO_4^-)

Causa: Mal funcionamiento de la bomba dosificadora.
Baja purga del circuito.
Alta dosificación de RESTIN – 18.MP

- Efecto:* Aumento del coste del tratamiento.
- Actuación:* Comprobar bomba dosificadora.
Purgar el circuito si es posible y comprobar otros parámetros (TAC, Ca^{2+} , Cl^-).
Reducir dosificación de RESTIN – 18.MP

7.8. Aumento del Fe^{3+}

- Causa:* Alta velocidad de corrosión.
Agua de alimentación con alto contenido en Fe^{3+}
Baja purga del circuito.
- Efecto:* Corrosión bajo depósito.
- Actuación:* Comprobar bomba dosificadora.
Purgar el circuito hasta valores de hierro recomendados.
Comprobar si proviene del agua de aporte.
Si el hierro no proviene del agua de aporte, comprobar el tratamiento a base de molibdatos.

7.9. Aumento del número total de bacterias

- Causa:* Bajo nivel de protección frente a las bacterias del sistema, baja cloración.
- Efecto:* Corrosión bajo depósito.
Disminución del intercambio térmico.
- Actuación:* Aumentar la dosificación de dióxido de cloro.
Si es superior a 10^4 col/cc realizar un choque con MIRECIDE-DA/25.

7.10. Aparición de limos biológicos

- Causa:* Desarrollo excesivo de algas y bacterias.
- Efecto:* Corrosión bajo depósito.
Ensuciamiento del circuito.
Reducción del intercambio térmico.
- Actuación:* Adicionar choque de DISPERSENE-50.
Aumentar la dosificación de dióxido de cloro.

7.11. Presencia de bacterias sulfato-reductoras

Causa: Formación de depósitos de subproductos de corrosión o biológicos.

Efecto: Corrosión bajo depósito en zonas de acero al carbono.

Actuación: Realizar choque de MIRECIDE-DA/25.

7.12. Aumento de la velocidad de corrosión

Causa: Baja dosificación de RESTIN-18.MP

Efecto: Aumento de corrosión en el sistema.

Actuación: Comprobar residuales de molibdatos.

Comprobar residuales de cloro.

Comprobar presencia de bacterias sulfato y/o sulfito reductoras.

Comprobar valores de cloruros si la velocidad de corrosión es alta en probetas de acero inoxidable.

7.13. Aumento del residual de cloro

Causa: Alta dosificación de dióxido de cloro.

Efecto: Corrosión debida al cloro.

Actuación: Comprobar funcionamiento del sistema de dosificación de dióxido de cloro.

Reducir dosificación de dióxido de cloro.

7.14. Disminución del residual de cloro

Causa: Mal funcionamiento del dosificador de dióxido de cloro, presencia de materia orgánica en el sistema.

Efecto: Desprotección contra el crecimiento microbiano, principalmente algas.

Ensuciamiento del circuito.

Formación de limos biológicos.

Corrosión bajo depósito.

Actuación: Comprobar funcionamiento del dosificador de dióxido de cloro.

Aumentar dosificación de dióxido de cloro.

7.15. Alta conductividad

- Causa:* Aporte de agua bruta al circuito.
Baja purga del circuito.
- Efecto:* Incrustación calcárea.
Corrosión por Cl^- en el acero inoxidable.
- Actuación:* Comprobar valores de Cl^- , Ca^{2+} y TAC.
Purgar el circuito.

7.16. Baja conductividad

- Causa:* Purga excesiva del circuito.
- Efecto:* Aumento del coste del tratamiento.
- Actuación:* Comprobar valores de Cl^- y si son inferiores a 60 ppm disminuir purgas del circuito.

3.4. Especificaciones de las instalaciones

3.4.1. Válvulas

Las válvulas que se vayan a instalar en la obra, deberán ser sometidas a pruebas de resistencia y estanqueidad que se realizarán con aire, gas inerte, agua o cualquier otro líquido cuya viscosidad sea inferior a la del agua. Estas pruebas hidrostáticas se harán en taller a la presión correspondiente al rating de la brida a la que van soldadas. La prueba de estanqueidad tendrá una duración de un minuto durante el cual no se admitirán pérdidas reveladas por el equipo de detección. La prueba deberá hacerse antes de aplicar cualquier tipo de pintura al cuerpo de la válvula.

3.4.2. Bombas

Las bombas irán acompañadas de un certificado de garantía, además, el fabricante de las mismas, deberá indicar si han superado las pruebas de funcionamiento de presión hidrostática de sobrecarga, realizándose esta prueba con un motor funcionando con una carga superior al 25 % sobre la potencia admitida. Antes de ser puestas en servicio, las bombas serán alineadas con el eje del motor. Este alineamiento se hará girando el motor manualmente y sin ningún fluido en el interior de la tubería.

3.4.3. Ventiladores

Los ventiladores se probarán a diferentes caudales de aire, siendo el máximo un 25 % superior al de plena carga de operación. Antes de su puesta en servicio se comprobará su buen alineamiento con el reductor, debiendo superar 30 arranques de puesta en marcha con las hélices en inclinación de máximo caudal sin que el interruptor de vibraciones (debidamente calibrado) salte.

Para las pruebas, el fabricante aportará los equipos de medida de caudal de aire.

ANEXO II. MANTENIMIENTO DE LOS ELEMENTOS DE LA TORRE

La operación de las torres tiene lugar en condiciones muy duras, su funcionamiento es prácticamente continuo durante meses y aún años, como ocurre por ejemplo en las que operan en las centrales térmicas. Estas circunstancias obligan a que el diseño de todos y cada uno de los equipos que las componen tengan un servicio correcto con un mínimo de mantenimiento, sobre todo de aquellos elementos internos como relleno, sistema de distribución, eliminadores de gota, etc. que resultan inaccesibles durante el funcionamiento.

A pesar de que cada tipo de torre y cada fabricante tienen sus propias exigencias y recomendaciones, lógicamente todos ellos coinciden en la necesidad de prestar la máxima atención a las operaciones de conservación sin las cuales no puede asegurarse una eficacia completa y la vida útil garantizada.

En líneas generales, las torres de tiro mecánico requieren mayor atención, con inspecciones frecuentes y completas (cada mes o como máximo seis semanas) que las de tiro natural, en las cuales es suficiente, en condiciones normales, una revisión cada seis meses, y con paradas cada 3-5 años, coincidiendo con las de la central.

Para limitar de alguna manera el inconveniente de las paradas en aquellas unidades que resultan críticas en el proceso de producción, se recurre en ocasiones (y así lo exigirá el comprador en las especificaciones) a suministrar una torre con una celda adicional que podrá operar en el caso de que sea necesario parar alguna de las restantes para su reparación o conservación.

El establecer un buen mantenimiento de los elementos de nuestra torre va a ser fundamental a la hora de:

- prevenir y/o corregir averías

- cuantificar y/o evaluar el estado de las instalaciones
- mejorar el aspecto económico (reducir costes)

Con estos tres aspectos, podemos mejorar el rendimiento de la torre, alargar su vida útil, evitar paradas por avería, etc. En definitiva, nos supondrían costes muy elevados e imprevistos, que podemos evitar haciendo uso de un plan de mantenimiento.

Todo esto, nos indica la importancia que tendrá un buen mantenimiento de todos los elementos de la torre que lo requieran. Para ello, ese mantenimiento debe incluir lo siguiente:

- vigilancia permanente y/o periódica
- acciones preventivas
- acciones correctivas (reparaciones)
- reemplazamiento de maquinaria

Por todo esto, vamos a establecer un plan de mantenimiento para todos esos elementos, que tendrá como objetivos:

- aumentar la disponibilidad de los equipos hasta el nivel preciso
- reducir los costes al mínimo compatible con el nivel de disponibilidad necesario
- asistencia en los nuevos proyectos

En primer lugar, vamos a establecer un índice de los elementos de que consta la torre de refrigeración. A continuación, veremos una breve descripción, de cada uno de ellos y, para terminar, propondremos el mantenimiento más adecuado para dichos elementos. No entraremos demasiado en esa descripción de cada uno, ya que ésta se vio en la memoria descriptiva de una forma más extensa:

1. EQUIPOS GENERALES

1.1. Estructura y cerramiento

1.2. Acceso y protecciones

1.3. Balsa de agua fría

1.4. Tornillería

2. EQUIPOS TÉCNICOS

2.1. Separador de celdas

2.2. Relleno

2.3. Separadores o eliminadores de gotas

2.4. Sistema de distribución de agua

2.5. Chimenea y difusor

3. EQUIPOS MECÁNICOS

3.1. Ventiladores

3.2. Eje de transmisión

3.3. Reductores de velocidad

3.4. Motores

3.5. Bombas

3.6. Soportes de equipos mecánicos

1. EQUIPOS GENERALES

1.1. Estructura y cerramiento

Como ya vimos en la memoria descriptiva, la estructura y el cerramiento de la torre sirven como soporte para determinados elementos, cuyos mantenimientos veremos más adelante.

La cubierta de la torre está formada por una losa de hormigón armado, fundida con la estructura, para darle solidez al conjunto. El cerramiento exterior está construido también en hormigón.

Mantenimiento de la estructura

Cuando está realizada en hormigón armado el tratamiento es casi nulo, debiendo prestarse atención únicamente a la formación de olas fisuras que a causa de una vibración anormal en las torres mecánicas se hayan podido producir. Este problema es grave y debe ser inmediatamente reparado, ya que de otra forma pueden llegar a dañar por corrosión las armaduras. Se recomienda realizar inspecciones de rutina cada 6 meses y una inspección cuidadosa cada año.

Es muy importante comprobar que las escaleras, sus abrazaderas, placas de anclaje y barandillas están firmes y con todos los tornillos apretados a tope; también las puertas y trampillas de acceso deben ser comprobadas y reparadas cuando sea necesario. Es normal que las partes metálicas se tengan que volver a pintar después de algunos años de servicio.

Mantenimiento del cerramiento

El mantenimiento suele ser evidente, pues se limita a reparar o reponer las piezas de fibrocemento que hayan sido dañadas por accidente mecánico y a sustituir las juntas de cerramiento cuando se produzcan fugas de agua.

Cuando el recubrimiento se haya tratado con algún material de protección o pintura especial, habrá que volver a reponerlo, según su estado de conservación, cada 3/5 años. Cuando sea preciso pintar una instalación vieja, es aconsejable lavar previamente con una disolución tóxica que elimine las algas y los hongos formados sobre las caras internas del recubrimiento; esta operación se puede hacer durante una parada larga con una disolución acuosa de:

1% pentaclorofenato sódico

1% de solución de salicilato sódico

4% de silico-fluorato de cinc o magnesio

1.2. Acceso y protecciones

Todos los elementos de acceso y protección están fabricados en acero galvanizado.

Mantenimiento

No requiere un mantenimiento específico, salvo el de mantener limpia las zonas y comprobar que las medidas de seguridad se encuentran en perfecto estado.

1.3. Balsa de agua fría

El aire que pasa a través del refrigerante, es lavado de los polvos que arrastra por el agua en circulación, de modo que se produce una

decantación de los mismos en la balsa de recogida de agua enfriada, dando lugar a la formación de lodos, que es necesario retirar con regularidad, en función de la cantidad de polvo que acompañe al aire.

La balsa de agua fría es de hormigón armado, con una profundidad de un metro. En comunicación con la balsa, se sitúa el foso de aspiración de la bomba, construido también en hormigón.

Mantenimiento

Todas las balsas requieren una limpieza periódica sin la cual se produce a la larga la obstrucción de los drenajes, rebosaderos, válvulas y bombas de circulación. Esta limpieza profunda puede realizarse anualmente vaciando por completo el estanque. La frecuencia de esta limpieza dependerá de la cantidad de polvo que acompaña al aire, siendo suficiente, por lo general, una limpieza al año.

En el caso en que, además del polvo que acompaña al aire, existan otras aportaciones sólidas complementarias, es evidente que se precisará de una limpieza con mayor frecuencia.

No obstante, la inspección y limpieza de las rejillas (filtros) debe hacerse frecuentemente.

1.4. Tornillería

Toda la tornillería se suministra en acero galvanizado.

Mantenimiento

Basta con realiza una inspección y apriete semestralmente.

2. EQUIPOS TÉCNICOS

2.1. Separador de celdas

Los separadores de celdas son tabiques transversales de separación de hormigón, cuya misión es independizar el funcionamiento de las celdas, de forma que cualquiera de ellas pueda dejarse fuera de servicio sin afectar al buen funcionamiento de las demás.

Mantenimiento

No requiere un mantenimiento específico, salvo una inspección visual donde pudiera detectarse alguna anomalía, en cuyo caso se procedería a su reparación.

2.2. Relleno

El intercambio de masa térmica agua-aire se realiza en el seno del relleno. El diseño del relleno es tal que se incrementa el contacto del aire con el agua, con lo cual la transferencia de calor aumenta, mejorándose el efecto refrigerante.

Nuestro relleno será de tipo goteo, como se ha dicho anteriormente, compuesto de varios pisos de parrillas horizontales de propileno, unidos entre sí por piezas soporte del mismo material. La separación entre dichos pisos será de 40 cm, mediante tubos distanciadores de PVC.

El conjunto es fijado y suspendido a la estructura superior de la torre por alambres de acero inoxidable.

Mantenimiento

El relleno de este material requiere poca atención y normalmente basta con realizar inspecciones de rutina cada 6 meses para comprobar el estado de limpieza o las deformaciones que hayan podido originarse debidas a temperaturas del agua por encima de los valores admitidos por el material (≈ 55 °C), sistema de soporte y fijación del relleno, puesto que un fallo en el dispositivo empleado, ocasionaría casi con seguridad la caída completa de varios niveles de rejillas e incluso el colapso total del relleno.

Debido a que el plástico es un material frágil, las manipulaciones realizadas para la inspección y el mantenimiento han de ser muy cuidadosas para evitar roturas.

2.3. Eliminadores de gotas

El conjunto de eliminadores de gotas está situado por encima de sistema de distribución de agua, cubriendo toda la superficie de la torre.

La misión de los eliminadores de gotas es la de reducir las pérdidas por arrastre, por eso su diseño es de doble paso en zig-zag, ya que limita esas pérdidas por arrastre a menos del 0,05% del caudal circulante.

Las lamas están fabricadas en material de PVC formando paneles desmontables, con el fin de facilitar el sistema de distribución.

Mantenimiento

Los eliminadores de gotas requieren poco o nada de mantenimiento, tan sólo comprobar periódicamente si las lamas que los componen están en posición correcta. Si alguna lama se ha roto, puede sustituirse fácilmente.

2.4. Sistema de distribución de agua

Cada celda tiene un sistema de distribución de agua independiente, de tipo cerrado y de baja presión, formado por un canal principal de hormigón del que parten ramales secundarios formados por tuberías de PVC, provistos de platos dispersores de polipropileno convenientemente dispuesto para lograr una distribución uniforme del agua por toda la superficie del relleno.

Mantenimiento

Las dos exigencias principales de una operación correcta son:

- limpieza
- distribución uniforme

Esto exige inspecciones periódicas para comprobar que no se han producido obstrucciones ni daños en los colectores o boquillas.

La causa más frecuente de una mala distribución del caudal suele ser un exceso de flujo de agua, lo cual es fácil de corregir regulando las válvulas de entrada a los colectores principales.

Aunque, bajo adecuadas condiciones de mantenimiento, el sistema de distribución de agua dará buen servicio durante grandes periodos de tiempo.

Tratamientos de agua inadecuados darán lugar a la formación de cascarillas y depósitos en el interior del sistema, que dificultan el flujo normal del agua.

Los aspersores deben quitarse periódicamente para limpiarlos. El buen funcionamiento de una torre va a depender, en gran manera, del buen estado del sistema de distribución de agua en general y de los aspersores en particular.

2.5. Chimenea y Difusor

El difusor va instalado sobre la cubierta de la torre y, en su interior y centrado, el ventilador.

La parte inferior del difusor tiene un perfil de diseño del tipo Venturi, para reducir al mínimo la pérdida de presión.

Los difusores son fabricados en poliéster reforzado con fibra de vidrio, estando construido en varios módulos que se atornillan entre sí.

Mantenimiento

No requiere un mantenimiento específico, salvo una inspección visual donde pudiera detectarse alguna anomalía, en cuyo caso se procedería a su reparación.

3. EQUIPOS MECÁNICOS

3.1. Ventiladores

De tipo axial, especialmente diseñados para torres de refrigeración. El equilibrado del ventilador se realiza dinámicamente en un plano.

Las palas del ventilador son de perfil aerodinámico, fabricadas en poliéster reforzado con fibra de vidrio. El ángulo de pala se puede regular de forma manual, pero sólo en parada.

El cubo del ventilador está fabricado en acero, debidamente protegido contra la corrosión.

Mantenimiento

La mayor atención hay que prestarla al equilibrado de las aspas, para evitar que se produzcan vibraciones con amplitud y frecuencia elevadas y que pueden resultar muy perjudiciales para el equipo mecánico en particular y la estructura de la torre en general.

El desequilibrio en un ventilador puede producirse por muy variadas causas, siendo las más frecuentes:

- desajuste de alguna pala por la mordaza, en el cubo.
- cambio del ángulo de ataque o colocación incorrecta en el montaje de alguna pala.
- desperfectos mecánicos en la palas o en el rodete, por golpes, impactos, etc.
- acumulación de depósitos sobre las palas, por ejemplo de nieve.
- formación de hielo en las aspas.

El efecto de estas dos últimas acciones es mayor y, por tanto, más peligroso cuanto mayor sea la cantidad de hielo, nieve, sales, etc., acumulado de forma no homogénea sobre las diferentes aspas.

Estos ventiladores por estar recubiertos con fibra de vidrio, requieren una mayor atención, puesto que los cambios de temperatura diurna y nocturna pueden causar deformaciones, que, a su vez, originan despegues de las solapas en las juntas.

Cuando se hayan producido daños de importancia, lo más aconsejable, si no se pueden reparar con facilidad, es sustituir la pala dañada por otra nueva y proceder al equilibrado dinámico del conjunto, puesto que la pala repuesta no tendrá en ningún caso una geometría idéntica a la de la pala sustituida.

Formando parte de las operaciones del mantenimiento normal de una torre, se puede realizar un equilibrado “in situ” de los ventiladores todos los años, con lo cual se consigue de forma rápida y económica mantener un nivel óptimo de funcionamiento sin requerir enviar el equipo a un taller especializado.

3.2. Eje de transmisión

El eje de transmisión es de tipo flotante, con acoplamientos flexibles mediante láminas de acero inoxidable, por tanto, en su mantenimiento no requerirán ningún tipo de engrase.

El eje se selecciona con un factor de servicio igual o superior a dos.

Mantenimiento

El cambio de juntas se efectúa normalmente cada varios años (de 3 a 4) aunque si el mantenimiento es correcto, pueden tener una vida útil mayor.

Conviene señalar que como los ejes están contruidos en material anticorrosivo (acero inoxidable), no se requiere una limpieza frecuente (de 3 a 4 meses), ni una capa de pintura anticorrosiva cada 10/12 meses de operación.

3.3. Reductores de velocidad

Cada ventilador va montado sobre un reductor de velocidad de ejes perpendiculares, con sistema de corona y piñón cónico y doble reducción.

La carcasa de los reductores es de hierro fundido, están diseñados especialmente para torres de refrigeración y, al igual que el eje de transmisión, se seleccionan con un factor de servicio igual o superior a dos.

Mantenimiento

El mantenimiento en este caso, consistiría simplemente en lubricarlo, realizándose dicha lubricación por barboteo.

Son los equipos que requieren una mayor atención e inspecciones más rigurosas y frecuentes. Es fundamental comprobar el nivel de aceite, que no debe estar en ningún caso por debajo de la marca mínima de seguridad y cualquier pérdida que se observe por las juntas en los ejes de entrada o salida debe ser inmediatamente reparada, sustituyendo los retenes de aceite por otros nuevos.

Los rodamientos y engranajes son de características especiales en los tamaños mayores empleados en las torres, por lo que se recomienda disponer de un juego completo de ellos como repuesto por cada reductor instalado.

El cambio de aceite se debe hacer siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante, siendo las zonas más importantes:

- engranajes: por barboteo generalmente.
- soportes de los ejes: por grasa.

La cantidad y calidad del aceite requerido se indica en la placa de características, siendo la viscosidad variable con la temperatura. La frecuencia de cambio depende de las características del reductor, pero como norma, se puede indicar:

Primer cambio: a las 500 horas de funcionamiento

Segundo cambio: a las 700 horas de funcionamiento

Tercer cambio: a las 1000 horas de funcionamiento

Cambios sucesivos: cada 6 meses de operación en condiciones normales.

El funcionamiento del reductor requiere una aireación continua del cárter puesto que de otra forma se produciría un calentamiento del aire con el consiguiente riesgo de pérdida de aceite al aumentar la presión y el volumen; para ello se debe montar el reductor con una línea de aireación u otro dispositivo de ventilación que han de encontrarse permanentemente limpios, sin obturación.

Las inspecciones periódicas sobre el estado del reductor deben centrarse principalmente en los engranajes, siendo suficiente una inspección de rutina cada 4/6 meses, observando a través del hueco de la tapa el estado de las ruedas; en las inspecciones profundas (cada 8/10 meses) es imprescindible comprobar detalladamente el estado de engranajes, ejes, soportes y cojinetes.

3.4. Motores

El accionamiento del ventilador se realiza mediante un motor eléctrico, que va situado sobre la cubierta de la torre y fuera del difusor.

A la hora de diseñar el motor apropiado para la torre, siempre se hace sobredimensionándolos un 10% como mínimo.

Mantenimiento

Los motores eléctricos de las torres no requieren un mantenimiento especial y únicamente habrá que prestar atención al calentamiento, a la lubricación y a los rodamientos.

La temperatura máxima a la cual pueden trabajar se indica en la placa de características unida a la carcasa y corresponde al tipo de aislamiento que tenga el motor; en algunas partes puede observarse al tacto un calentamiento que no es en absoluto anormal y únicamente deben revisarse las condiciones de funcionamiento cuando la temperatura real del conjunto excede aquel límite.

Los rodamientos de los motores actuales no requieren lubricación en muchas ocasiones; no obstante los cojinetes de bolas se suelen lubricar con grasas a base de litio.

El cambio de los cojinetes de efectúa normalmente cada 5 ó 7 años, dependiendo de las horas de funcionamiento y el programa de conservación que se haya realizado.

Respecto a los arrancadores, controles e interruptores, se utilizan en general del tipo intemperie, por lo que no requieren más que inspecciones y ajustes periódicos cada 5/6 meses. Para motores de dos velocidades, se precisa una inspección más frecuente, con limpieza, ajuste y reposición de contactos según las instrucciones del fabricante.

3.5. Bombas

Como dijimos en la memoria descriptiva, cuando hablamos de las bombas, nos referimos a las bombas que se utilizan para conducir el agua caliente hacia la parte superior de la torre, y para enviar el agua ya enfriada a los procesos a los cuáles ésta sirve.

Las bombas centrífugas que utilizamos tienen un motor de paletas giratorio sumergido en el líquido, de 12.5 KW. El líquido entra en la bomba cerca del eje del motor, y las paletas lo arrastran hacia sus extremos a alta presión. El motor también proporciona al líquido una velocidad relativamente alta, que puede transformarse en presión en una parte estacionaria de la bomba, conocida como difusor. La gran holgura ofrecida en este tipo de bombas al paso de los fluidos, hace que estas resulten adecuadas para la manipulación de fluidos que lleven en suspensión partículas sólidas, y además permiten el estrangulado o aun el cierre temporal de la válvula de la tubería de descarga (de impulsión).

Las ventajas primordiales de una bomba centrífuga son la simplicidad, el bajo costo inicial, el flujo uniforme (sin pulsaciones), el pequeño espacio necesario para su instalación, los costos bajos de mantenimiento y su funcionamiento silencioso.

Mantenimiento

Para el mantenimiento del motor de la bomba, podemos aplicar el que hemos visto anteriormente para el caso de los ventiladores.

Los cojinetes deben lubricarse con grasa de alto grado, en general, cada 1,000 horas de uso, y volver a lubricar por lo menos dos veces al año.

El sellado mecánico de la bomba se lubrica con agua y, por lo tanto, no requiere otra lubricación. En caso de que hubiera una fuga, habrá que

revisar los componentes del sello para ver si hay desgaste, y reemplazarlo si fuese necesario como indique el manual.

3.6. Soportes de equipos mecánicos

El conjunto de los equipos mecánicos que hemos visto antes, va montado sobre soportes de acero galvanizado en caliente. Quedando, después de su construcción fijados a la estructura de la torre.

Se diseñan para resistir cargas de operación, minimizar las vibraciones y asegurar una perfecta alineación de los equipos.

Mantenimiento

Su mantenimiento se reduce a una inspección visual y, en caso de alguna observar anomalía, repararla.

Las siguientes comprobaciones de rutina, con la frecuencia que se indica en el cuadro, son indispensables para mantener la torre en buen uso y eliminar al máximo posibles averías:

frecuencia equipos	Semanal	Mensual	Trimestral	Semestral	Anual (o parada)	Cuando se requiera
Motores			Lubricar	Apriete tornillos	Chequear alineación	
Ventiladores				Inspección	Equilibrar	Reparar
Reductores de Velocidad	Nivel de aceite			Cambio aceite Apriete tornillos	Línea de aireación Limpieza obstrucción	
Bombas	Engrase			Lubricar y limpiar		Reparar
Eliminadores					Limpiar	Realignar
Válvulas		Inspección			Limpiar	Reparar
Balsa agua		Inspección		Limpiar	Limpiar	
Aspersores		Inspección		Inspección	Limpiar	Limpiar Reemplazar
Tuberías			Inspección		Inspección	Limpiar
Relleno				Inspección	Inspección	Reemplazar
Acoplamientos			Chequear alineación		Inspección	Realignar
Estructura					Inspección	

Cerramientos				Inspección	Limpiar	Reparar
Tornillería Equipos				Inspección y apriete	Inspección	

4. GUÍA DE AVERÍAS

Antes de finalizar este manual de mantenimiento de la torre de refrigeración, vamos a concluir describiendo una guía de averías con los problemas más comunes que vamos a encontrar en las zonas más problemáticas de las torres, es decir, el sistema de distribución de agua y equipos mecánicos, así como las causas que originaron esa avería y su correspondiente reparación:

4.1. Sistema de distribución de agua

Avería: Mala distribución de agua en el sistema cerrado de tuberías

Causas: Presión de agua inadecuada en la entrada del colector principal.

Aspersores rotos y/o obturados.

Reparación: Reparar o reemplazar las partes defectuosas.

Limpiar el sistema de distribución.

Ajustar el caudal a las condiciones de diseño.

Avería: Mala distribución de agua en el relleno

Causas: Relleno roto o caído.

Placas de soporte rotas.

Carga excesiva de agua en la parte de deflectores con ventiladores

Reparación: Reparar o sustituir las placas rotas.

Sustituir el relleno dañado y/o recolocar el relleno caído.

Reemplazar los aspersores rotos.

Avería: Pérdidas excesivas por arrastres

Causas: Exceso de caudal.
Desplazamiento o rotura de eliminadores.
Ángulo de palas excesivo.

Reparación: Comprobar el caudal de agua.
Recolocar y/o reemplazar los eliminadores rotos o dañados.
Ajustar el ángulo de palas según diseño.

4.2. Equipos mecánicos

Avería: Ventilador desequilibrado

Causas: Palas montadas incorrectamente.
Cubo no correspondiente a las palas.
Ángulo de ataque diferente en una o varias palas.
Pernos de anclaje del reductor y/o chasis flojos.
Desalineación del reductor y motor.
Desgaste de los cojinetes del eje vertical del reductor.

Reparación: Corregir de acuerdo con la(s) causa(s) de la avería, según diseño.

Avería: Ruido excesivo del reductor

Causas: Cojinetes desgastados.
Desalineación motor-reductor.
Defecto de lubricación.

Reparación: Inspeccionar el reductor.
Comprobar los cojinetes, el engrase y el nivel de aceite.
Chequear la alineación.

Avería: Pérdida de aceite del reductor

Causas: Retenes desgastados.

Falta de grasa en los cojinetes.

Fisuras en la carcasa.

Roturas e la línea de nivel de aceite.

Reparación: Inspeccionar y corregir de acuerdo con la avería, según diseño.

MANTENIMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA

El otro apartado más importante a tener en cuenta en el mantenimiento de una torre de refrigeración, es la de mantener una calidad del agua que evite los siguientes problemas:

1. Corrosión
2. Incrustaciones
3. Crecimiento biológico

En la aparición de estos problemas influyen tanto las características del agua, como las condiciones externas a las que esté sometida. En ésta última, poco podemos modificar, pero en las características del agua si que podemos influir y controlar cada variable en el rango de valores que nos interesen.

Lo primero que debemos conocer para aplicar el mantenimiento más adecuado, es saber las características del agua con la que estamos trabajando. Lo primero que se le ha practicado al agua ha sido un clarificado seguido de una filtración. Analizando el agua de aportación a la torre posee los siguientes valores de:

- pH = 7.5
- sólidos totales = 66 ppm
- dureza total = 40 ppm como CaCO_3
- dureza cálcica = 29 ppm como CaCO_3
- dureza magnésica = 11 ppm como CaCO_3
- sulfatos = 16 ppm como CaCO_3
- cloruros = 25 ppm como CaCO_3
- bicarbonatos = 23 ppm como CaCO_3

A la vista de estos datos, podemos decir que trabajaremos con un agua de aporte que:

- a) El agua es extremadamente corrosiva. Fundamentalmente, esta corrosividad se aprecia en los bajos contenidos de dureza y alcalinidad. Para compensar este efecto se requerirá la adición de una sustancia alcalinizante para aumentar la alcalinidad a niveles adecuados.
- b) El proceso de clarificación del agua se realiza con sulfato de alúmina. Así, un exceso de iones aluminio en el agua pueden dar lugar a fenómenos de co-precipitación interfiriendo el programa de tratamiento y, a posibles incrustaciones y depósitos.

Es muy importante prever el comportamiento del agua, calculando entre otros parámetros, el índice de saturación de Langelier o el de estabilidad de Ryznar determinando la tendencia incrustante o agresiva en función del grado de concentración previsto en el agua circulante y poder dictaminar el régimen de trabajo más adecuado.

El grado de concentración máximo admisible dependerá de los índices antes citados, del tipo de tratamiento que vaya a efectuarse en el agua, de la temperatura en los puntos de intercambio y de la composición del agua de aporte.

La valoración de estos índices de estabilidad se realiza en el apartado 6 de la memoria de cálculos, desarrollándose en base a los parámetros de pH y pH_s , que indican:

- Índice de Langelier : $I_L = pH - pH_s$

- Índice de estabilidad de Ryznar : $I_R = 2pH_s - pH$

El Índice Ryznar es una modificación del Langelier, basada en diferentes estudios de las condiciones de incrustación y corrosión.

El índice de Langelier es más útil para predecir tendencias corrosivas o formadoras de incrustaciones en un sistema a gran escala (en el que la velocidad del flujo es lenta), tal como un embalse o instalación de tratamiento de agua. El Índice Ryznar es más hipotético y sólo debe aplicarse a sistemas con gran flujo, en los que el ambiente en las paredes de la tubería es muy distinto del que tiene un sistema a gran escala.

El pH_s puede determinarse experimentalmente mediante la prueba del mármol o calcularlo a través de tablas en función de la dureza cálcica, magnésica, alcalinidad, salinidad y temperatura del agua.

En función del valor de los índices, obtendremos la denominada tendencia de agua en relación con el CO_3Ca .

Conocidos estos datos, vamos a detallar cada uno de los problemas mencionados anteriormente, describiremos los tratamientos posibles que se pueden realizar en cada caso y, finalmente, propondremos el tratamiento más adecuado para cada uno de ellos en forma de protocolo, indicando los productos a utilizar y las dosis correspondientes en cada caso.

Sabiendo que para obtener los resultados esperados, el tratamiento deberá mantenerse dentro de los siguientes rangos:

Parámetro	Unidades	Mínimo	Máximo
pH		7,7	8,3
Conductividad	$\mu\text{Siemens}$		850
Calcio	ppm CaCO_3	150	175
Alcalinidad total	ppm		150

	CaCO ₃		
Fosfato soluble	ppm PO ₄	6	8
Zinc soluble	ppm Zn	0.5	2.5
Hierro	ppm Fe		3
Cloro libre	ppm Cl ₂	0.2	0.5
Cloruros	ppm NaCl		125

ANEXO III. MANTENIMIENTO ANTICORROSIÓN-INCORUSTACIÓN

1. CORROSIÓN

1.1. Definición

- “Proceso físico-químico mediante el cual los metales y aleaciones tienden a alcanzar su estado de energía mínima”
- “Deterioro que sufre un metal o aleación cuando reacciona con su medio ambiente”

1.2. Tipos

Podemos hacer distinguir distintos tipos de corrosiones clasificándolos:

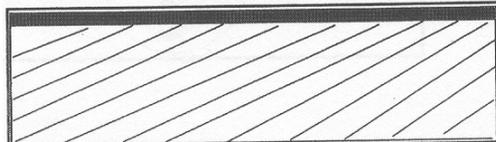
1.2.1. Por el medio en que se produce

- *Seca*: asociada a gases a alta temperatura

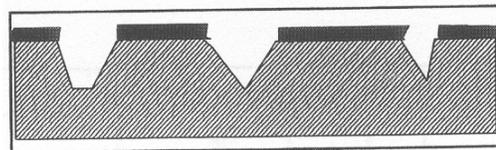
- *Húmeda*: asociada a la presencia de electrolitos, y es en la que nos vamos a centrar, ya que es la común en las torres de refrigeración.

1.2.2. Por la forma en que se efectúa el ataque

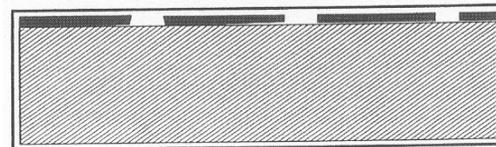
- *Uniforme*



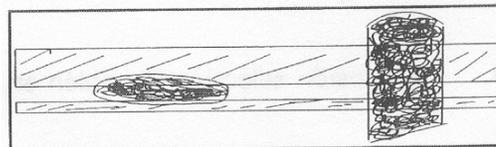
- *Por picaduras (pitting)*



- *A alta temperatura*



- *En resquicios*



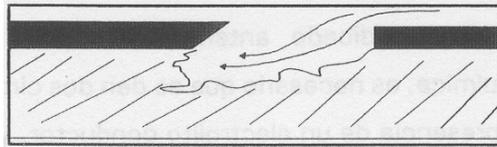
- *Intergranular*



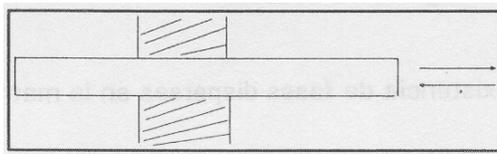
- *Fatiga con corrosión*



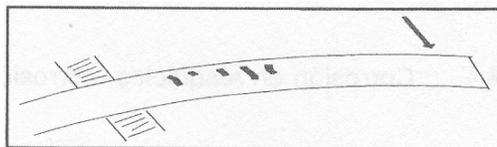
- *Erosión-Corrosión*



- *Por frotamiento*



- Stress Corrosion Cracking



1.2.3. Por el mecanismo de reacción química mediante el cual avanza

- *Corrosión directa u oxidación:* Es una corrosión uniforme, típica de ambientes secos.
- *Corrosión electroquímica:* Ésta se produce por vía húmeda. Se forma una pila galvánica, con cátodo y ánodo, siendo éste último el que se corroe; debido a la disolución de metal, la que contiene sustancias que favorecen esas reacciones galvánicas ánodo-cátodo, que dan lugar a esa pila galvánica. Para que se produzca, el metal-aleación debe estar en presencia de un electrolito conductor y que se produzca una diferencia de potencial entre el/los metal/es. Es la que más se da.

Ej: reacción anódica (se oxida): $Fe \leftrightarrow Fe^{2+} + 2e$

Ej: reacción catódica (se reduce): $2H + 2e \leftrightarrow H_2$

1.3. Inhibidores de corrosión

Los inhibidores de corrosión son productos químicos que adicionados en pequeñas cantidades al agua promueven la pasivación de los metales en contacto con dicha agua.

Dependiendo de sus mecanismos de actuación, los inhibidores de corrosión se clasifican en catódicos y anódicos, según interfieran la reacción catódica o anódica.

Siempre que se produce la corrosión electroquímica se establece una pila con un ánodo que se corroe y un cátodo en el que se producen las reacciones de descarga de electrones. Por tanto, para eliminar la corrosión bastará con eliminar una de las dos reacciones.

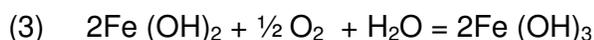
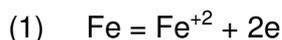
Otra forma importante de disminuir la corrosión sería la de prevenir las diferencias de potencial que se producen al unir dos metales que se encuentran muy separados en su posición en la serie electroquímica.

Los inhibidores de corrosión pueden ser filmantes o no, siempre que se produce un film se establece una barrera física al paso de iones desde el agua a la superficie del metal, cuanto más compacto sea este film en mayor medida se amortigua la corrosión.

1.3.1. Inhibidores anódicos

Los inhibidores anódicos pasivan el ánodo en la pila de corrosión mediante la formación de una película de óxido férrico denso y escasamente permeable, reacción que puede ir acompañada de otros óxidos metálicos.

Recordemos que el ánodo es el punto en que el metal se disuelve pasando del estado metálico a la forma iónica, según las reacciones siguientes:



En ausencia de un inhibidor de corrosión la reacción (3) continúa para formar un óxido férrico hidratado $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$. Este compuesto es muy voluminoso y poroso produciendo fouling y afectando a la transferencia de calor, así como formador de pilas de aireación diferencial y corrosión bajo depósito normalmente del tipo pitting..

Así pues, la acción de los inhibidores de corrosión anódicos impide la formación del óxido hidratado para pasar a un estado de óxido denominado óxido férrico gamma, compacto y no poroso que forma una amalgama con los inhibidores.

Los principales productos químicos que se emplean como inhibidores anódicos son:

1.3.1.1. Cromatos

Los cromatos han sido los inhibidores de corrosión para sistemas de refrigeración de más amplio uso, el ión cromato reacciona con el Fe^{2+} formando una película adherente de óxidos de hierro y cromo que actúa como barrera frente a la difusión del Fe^{2+} deteniendo la reacción anódica (1).

Cuando se emplean solos, debe tenerse en cuenta la concentración umbral por debajo de la cual la protección no es efectiva y puede inducir al pitting. Esta concentración se encuentra entre 350 y 400 ppm.

Con objeto de disminuir la cantidad de cromato en los sistemas se mezcla con otros inhibidores que actúan sinérgicamente, permitiendo trabajar a valores de 20 ppm en tratamientos convencionales y a valores de 3 – 5 ppm en los de muy bajo contenido en cromatos.

1.3.1.2. Nitritos

El empleo de los nitritos como inhibidores anódicos presenta la ventaja de su baja toxicidad, siendo por el contrario su desventaja la facilidad de oxidación de los mismos, lo cual prácticamente los inhabilita para su incorporación en sistemas de refrigeración abiertos, quedando restringido su uso a los sistemas cerrados. Se emplean a elevadas dosis (200 – 500 ppm) viéndose afectada su efectividad por la presencia de cloruros y sulfatos en concentraciones de más de 400 – 500 ppm. Suelen emplearse mezclados con otros productos tales como los silicatos, boratos y alcalinizantes.

Los nitritos pueden actuar como nutrientes para varios tipos de microorganismos, pudiendo ser oxidado a nitrato o reducido a amoniaco.

1.3.1.3. Ortosilicatos

Son inhibidores de corrosión filmantes que después de formar un gel de sílice y hierro se depositan sobre el ánodo “vitrificándolo” e impidiendo el paso de iones al agua. Su empleo está restringido al tratamiento de sistemas de distribución de aguas potables.

1.3.1.4. Molibdatos

Los molibdatos presentan un mecanismo de actuación bastante similar a los cromatos, formando una película protectora a base de ferromolibdato, trabajando normalmente a valores de pH superiores a 7,5.

A diferencia de los nitritos, requieren de la presencia de oxígeno con objeto de aumentar su capacidad oxidante y aportar el oxígeno necesario para la oxidación del hierro a la forma adherente y no porosa, no obstante, en determinadas aguas, fundamentalmente las desmineralizadas de los circuitos, esta necesidad de oxígeno disminuye pudiendo actuar perfectamente en condiciones de muy bajo contenido en oxígeno.

Presentan frente a los cromatos la ventaja de tener muy baja toxicidad y frente a los nitritos tienen la ventaja de no verse sometidos a la acción de los oxidantes, siendo compatibles con los tratamientos biocidas oxidantes.

En determinadas formulaciones se trabaja a dosis de 20 – 30 ppm, en otras, sin embargo, se puede trabajar a 4 – 10 ppm con garantía de protección.

1.3.1.5. Ferrocianuros

Los ferrocianuros son inhibidores anódicos que, empleados conjuntamente con otros compuestos como el zinc y los polifosfatos, inhiben la corrosión en los sistemas ácidos. Son indicados para la protección del acero dulce y el admiralty, pudiendo actuar a temperaturas próximas a 70 °C.

Su exhaustivo control y el estrecho margen de pH en el que actúan, hace que su uso no se haya extendido.

1.3.1.6. Lignosulfonatos y taninos

Este tipo de polímeros orgánicos, empleados en condiciones especiales. Actúan como inhibidores anódicos formando una película de óxido férrico estable. Necesitan para su actuación la existencia en el medio de una cantidad mínima de calcio, debiendo ir acompañados de un antiincrustante adecuado. Suele ser un constituyente de muchos productos de tratamiento debido a su capacidad de dispersión, si bien los polímeros sintéticos han desplazado su uso, debido a la mayor garantía y eficacia de estos últimos.

1.3.1.7. Benzoatos

Forman un film sobre el ánodo en los materiales féreos. Para una mejor inhibición de la corrosión, suelen combinarse con los nitritos y los molibdatos, estando su empleo restringido a los tratamientos de sistemas cerrados de agua desmineralizada. Los benzoatos se diferencian de otros tratamientos anódicos en que a bajas concentraciones no promueven la corrosión localizada. Sus principales desventajas son el coste y la falta de protección a los metales no ferrosos.

1.3.1.8. Derivados de fósforo orgánico

Los compuestos de fósforo orgánico forman un film de óxido férrico a elevadas concentraciones. Este film es menos estable que el producido por los inhibidores inorgánicos. Para su actuación necesitan tener las superficies metálicas limpias ya que el hierro soluble desactiva en parte su capacidad secuestrante y filmante.

Empleados conjuntamente con el zinc, han constituido, durante años, la base de los tratamientos alcalinos, hasta la aparición de los denominados tratamientos orgánicos.

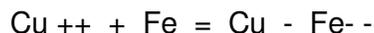
Dependiendo del tipo de fosfónico, varía su capacidad secuestrante, inhibidora y de resistencia a la hidrólisis promovida por los oxidantes fuertes y la temperatura.

1.3.1.9. Boratos

Los boratos actúan protegiendo los metales ferrosos por formación de un film de óxido, no entrando ellos a formar parte de dicho film. Se emplea conjuntamente con otros inhibidores en sistemas cerrados de agua desmineralizada.

1.3.1.10. Azoles

Son inhibidores casi específicos del cobre y sus aleaciones. Deben ser empleados siempre que se utilicen compuestos de fósforo en presencia de metales de cobre y sus aleaciones. En el caso de producirse corrosiones sobre los elementos de cobre, el ión Cu^{++} , se deposita sobre las picaduras y corrosión galvánica, de acuerdo con la reacción siguiente:



Los productos que se emplean para la protección del cobre y sus aleaciones basan su acción en un mecanismo de adsorción química sobre las superficies a proteger mediante la formación de un film. Esta película es autolimitada en su espesor por lo que no dará lugar a la aparición de fouling por exceso de inhibidor.

La dosis de inhibición suele ser muy baja (entre 1 y 5 ppm) pudiendo actuar en un margen de pH amplio (6,5 – 8,5).

Los principales productos que se emplean industrialmente son:

- Mercaptobenzotriazol (MBT)
- Benzotriazol (BTZ)
- Toliltriazol (TT)

El BTZ y el TT destacan por su mayor resistencia a los medios oxidantes.

Estos productos en combinación con dispersantes o antiincrustantes orgánicos han mostrado una acción inhibidora eficaz sobre las superficies de acero al carbono.

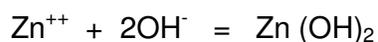
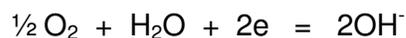
1.3.2. Inhibidores catódicos

Los inhibidores catódicos son productos que forman un film sobre las áreas catódicas, impidiendo la descarga de los electrones liberados en la reacción anódica y, por lo tanto, detienen la reacción de corrosión. Este film puede estar formado por hidróxidos, carbonatos, óxidos, fosfatos complejos u otros productos de reacción. Generalmente se emplean combinados con otros inhibidores, ya sean anódicos o catódicos.

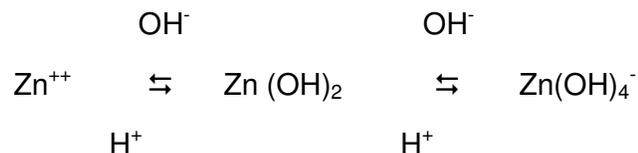
Los principales productos empleados son:

1.3.2.1. Sales de zinc

El zinc constituye el principal inhibidor catódico, su mecanismo de actuación se basa en la formación de un film de hidróxido de zinc, que se forma selectivamente al incrementarse localmente en el cátodo el pH como consecuencia de la descarga de electrones y la formación de OH, según la reacción catódica siguiente:



Un problema a tener en cuenta en los tratamientos que utilizan el zinc como inhibidor de la corrosión, y al cual los operadores de los sistemas de refrigeración no prestan adecuada atención, es el de las variaciones de pH en el agua. Se debe tener en cuenta que el zinc es un elemento anfótero y que como tal puede estar en forma de ión, de hidróxido y de ión cincato, de acuerdo con el equilibrio siguiente:



Esto hace que se puedan producir ensuciamientos generalizados al precipitar el zinc en el seno del agua cuando el pH aumenta por encima de los valores de seguridad, y, que se produzca un ataque de corrosión con redisolución del film protector si el pH baja por debajo del valor de seguridad.

1.3.2.2. Polifosfatos

Los polifosfatos son inhibidores que conjuntamente con los cromatos se han empleado en mayor medida, pudiéndose destacar dentro del grupo de polifosfatos o polímeros inorgánicos del fósforo a compuestos tales como:

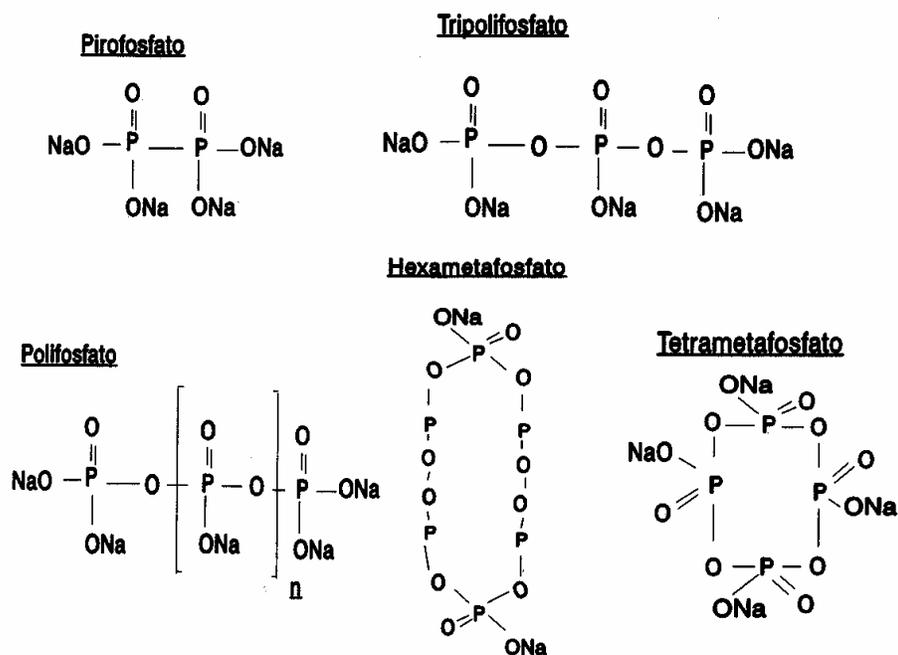
Hexametafosfatos

Pirofosfatos

Tripolifosfatos

Tetrametafosfatos

Polifosfatos



Su principal ventaja es la de su baja toxicidad, si bien si efectividad es bastante inferior a la de los cromatos, y pueden presentar problemas de eutrofización en los cauces de vertido.

Los mecanismos de reacción de los polifosfatos son muy complejos pudiéndose indicar que requieren la presencia simultánea de calcio para, mediante una coprecipitación, formar una película protectora.

Los fosfatos actúan en un amplio margen de pH, si bien es cierto que cuanto mayores son los pH, más fácilmente precipitan los ortofosfatos, y en estas circunstancias se recomienda trabajar a pH entre 6,5 y 7,2.

Normalmente se emplea combinado con otros inhibidores o estabilizadores como el zinc, los cromatos, los fosfonatos o los poliacrilatos.

1.3.2.3. Ortofosfatos

Los ortofosfatos pueden considerarse en principio como inhibidores catódicos debido a su tendencia a formar compuestos insolubles con el calcio y el hierro en las zonas catódicas, en un rango de pH comprendido entre 6 y 6,5. El principal inconveniente de su empleo es la tendencia al fouling, lo cual obliga a llevar un riguroso control de los valores de pH. No obstante el desarrollo de los polímeros dispersantes sintéticos han mejorado sensiblemente el rendimiento de estos tratamientos mejorando la limpieza de los mismos, dada la gran eficacia dispersante de estos polímeros.

1.4. Principales tratamientos anticorrosivos

Una vez conocidos los principales productos químicos que, como inhibidores de la corrosión, se emplean en sistemas de refrigeración, expondremos a continuación los tratamientos principales que se emplean a escala industrial y que, como hemos indicado en varias ocasiones, son mezclas sinérgicas de varios componentes.

1.4.1. Cromatos – Polifosfatos - Zinc

Estos tratamientos encuentran cada día más limitaciones debido a la carta contaminante de los cromatos, sigue siendo el punto de referencia para el resto de los tratamientos, e incluso se ha modificado la estequiometría de los mismos para disminuir sensiblemente la proporción de los cromatos.

El pH de trabajo en estos tratamientos es de 6,4 a 6,8 evitando de esta forma la aparición de depósitos calcáreos incontrolados.

En los tratamientos convencionales se emplean 20 –30 ppm de cromatos, 2 – 3 ppm de zinc y 5 – 6 ppm de fosfatos.

Se puede trabajar con aguas de hasta 600 ppm de calcio como CaCO_3 , 50 – 75 ppm de TAC y unos tiempos de residencia no superiores a las 48 horas.

En los sistemas de bajo contenido en cromato, se mantienen entre 3 y 5 ppm de cromato, aumentando el zinc a 4 – 6 ppm y manteniendo los fosfatos entre 3 y 5 ppm. Estos sistemas incorporan además poliacrilatos o fosfonatos en proporciones variables pero que podemos estimar entre 1,5 y 3 ppm.

Para no hacer un apartado especial incluiremos aquí los tratamientos a base de cromatos para los sistemas de refrigeración cerrados con agua desmineralizada. Estos sistemas mantienen un contenido en cromatos del orden de 300 a 500 ppm y un pH de 6,5 a 8.

1.4.2. Cromatos – Fosfonatos - Zinc

Constituye una variación del anterior en el cual se eliminan los fosfatos inorgánicos causantes de problemas de fouling y que, al introducir los fosfónicos, permite el trabajo en condiciones de pH más alcalinas con objeto de disminuir la tendencia corrosiva del agua. Al tratarse de un avance en el tratamiento con cromatos, sólo se aplica en sistemas de bajo contenido, siendo el residual de cromatos de 3 a 5 ppm, un contenido de zinc de 3 a 6 ppm y manteniéndose los fosfonatos entre 1 y 3 ppm.

En estas condiciones se puede incrementar el pH de trabajo a valores de 7,8-8, manteniendo el calcio en valores de 900-1000 ppm como CaCO_3 .

1.4.3. Polifosfatos – Zinc - Dispersantes

Los tratamientos a base de polifosfatos y zinc, constituyen, en cuanto a actividad, el segundo de los tratamientos que se emplean actualmente.

Ambos inhibidores son catódicos. La presencia del zinc retrasa la inclusión de hierro en la película protectora, haciéndola más resistente y de menor espesor.

Se mantienen valores muy variables de los diferentes componentes dependiendo de las características de los mismos, pudiendo oscilar desde las 20-30 ppm de fosfatos a las 2–4, siendo el

contenido en zinc más equilibrado entre 1,5-5 ppm según los tratamientos, los dispersantes varían igualmente en función de que sean a base de derivados policarboxílicos, poliacrilamidas hidrolizadas parcialmente o fosfonatos, situándose entre 2 y 8 ppm de producto activo.

1.4.4. Polifosfatos – Ferrocianuros - Zinc

La incorporación de ferrocianuros, potencia la acción inhibidora de la corrosión en metales no féreos y en zonas de elevada temperatura.

El residual de polifosfatos a mantener en el agua del sistema, es de 10 – 20 ppm y para que la mezcla polifosfato-ferrocianuro actúe, se necesitan pequeñas cantidades de un catión como puede ser el zinc.

El pH de trabajo es entre 6,3 – 6,8 y al igual que en todos los tratamientos con fosfatos debe controlarse el residual de ortofosfatos.

En la actualidad este tratamiento está en revisión debido a los posibles problemas de contaminación que puede originar en los vertidos.

1.4.5. Derivados fosfónicos – Zinc con o sin dispersantes

Estos tratamientos constituyen la base de los tratamientos alcalinos, en los cuales se disminuye el potencial corrosivo del agua a base de trabajar en medios alcalinos y se protege frente a la corrosión por el efecto filmante del zinc. Al igual que en todos los casos, la aparición en el mercado de fosfonatos más resistentes a la hidrólisis, ha permitido ir modificando las condiciones de operación. Sin embargo, estos tratamientos en ausencia de dispersantes han dado en el pasado algunos problemas de fouling debido a la tendencia a la formación de fosfonatos de calcio y zinc protectores. Las condiciones

de operación serían: un 7,6 a 8,3 de pH, TAC (alcalinidad total) de 100 a 275 en forma de CaCO_3 , calcio preferiblemente entre 600 y 800 ppm y zinc entre 1,5 y 3 ppm. La incorporación de dispersantes ha mejorado el grado de limpieza de los sistemas.

1.4.6. Polifosfatos – Fosfónicos – Zinc - Dispersantes

La inclusión de polifosfatos en estas formulaciones potencia la acción anticorrosiva del tratamiento, a la vez que permite trabajar con un pH más bajo (entre 6,5 y 7,8), lo cual equivale a disminuir el problema del fouling, el cual se radica por completo con la adición de dispersantes. El nivel de zinc a mantener se sitúa entre 2 y 3 ppm, mientras que la alcalinidad puede alcanzar de 100 a 200 ppm como CaCO_3 , y el calcio entre 600 y 800 ppm dependiendo de los sistemas.

1.4.7. Acrilatos - Zinc

Los tratamientos a base de acrilatos y zinc han surgido como una alternativa frente a los problemas de fouling producidos en los tratamientos con algunos derivados fosfónicos, sin embargo, estos tratamientos requieren unas aguas de características muy definidas y estables con unos índices de estabilidad neutros dado que los acrilatos carecen de efectos anticorrosivos, al contrario que los fosfonatos y otros compuestos orgánicos como algunos copolímeros y termopolímeros.

Hay que tener en cuenta que en todos los tratamientos con fosfatos es recomendable el empleo conjunto de inhibidores de corrosión para el cobre y sus aleaciones, debido a la tendencia a atacar a dichos metales que manifiestan los fosfatos. Igualmente se debe tener en cuenta la reversión a ortofosfato y la formación de precipitados con el zinc y el calcio en estas condiciones.

1.4.8. Molibdatos – Fosfónicos - Zinc

La incorporación de los molibdatos a las formulaciones de zinc y derivados del fósforo orgánico aumenta sensiblemente el carácter anticorrosivo de la formulación, incluso a dosis tan pequeñas como 4 – 6 ppm.

El pH de trabajo se mantendrá, como en los casos anteriores, entre 7 y 8,3, y la alcalinidad total o TAC, entre 100 y 250 ppm de CaCO₃. En el caso de existir un problema de fouling, puede acoplarse un dispersante sintético al tratamiento.

1.4.9. Molibdatos – Fosfonatos – Silicatos - Dispersantes

Es una alternativa eficaz a los tratamientos en los que no se puede trabajar con zinc a pH superiores a 8,4 hasta 9,5. Lo que hace es sustituir el inhibidor de zinc por los molibdatos, manteniéndolos entre 4 y 6 ppm. Los silicatos en el agua se mantendrán entre 10 y 15 ppm.

1.4.10. Boratos – Nitritos – Silicatos - Azoles

Estos tratamientos se emplean normalmente en sistemas de refrigeración de agua desmineralizada en circuito cerrado. En los últimos tiempos están siendo sustituidos por tratamientos a base de molibdatos dados los problemas que presenta la utilización de los nitritos. Algunos de esos problemas son:

- Son fácilmente oxidables por el oxígeno del agua.
- Pueden constituir nutrientes para determinados microorganismos dando problemas de fouling, corrosión e inactivándose como inhibidores.

En caso de contaminación bacteriana no es posible el tratamiento con biocidas oxidantes a riesgo de perder todo el inhibidor.

El pH de trabajo en estos sistemas suele ser de 9 – 10 para favorecer la estabilidad inhibidora y evitar su oxidación. La cantidad de producto a mantener en el agua se sitúa entre las 150 –500 ppm como NO₂.

1.4.11. Molibdatos – Fosfonatos - Polímeros

Se trata de una variación de los tratamientos convencionales en los casos que ha sustituido totalmente el zinc por molibdatos.

Este tratamiento presenta la ventaja de no ensuciar si el pH sube por encima de 8,3, además no aporta contaminantes ya que los molibdatos, a pesar de ser el molibdeno un metal pesado, es considerado un elemento necesario para la fijación del nitrógeno por las bacterias del suelo, e incluso debe añadirse acompañando a los fertilizantes en determinados suelos de cultivo deficientes.

La dosis de trabajo se sitúa entre 4 y 8 ppm de MoO₄⁻, mientras que el residual de producto se mantiene entre 85 y 125 ppm, lo que ya representa un encarecimiento de los tratamientos.

2. INCRUSTACIONES

2.1. Definición

- “Son depósitos densos y adherentes, de materias predominantemente inorgánicas, que se forman por sobresaturación de sales en el agua”
- “Mecanismo físico motivado por el ensuciamiento del agua asociado con bajas velocidades de flujo”

2.2. Causas

Los principales factores que influyen directamente en la aparición de incrustaciones en los circuitos de refrigeración son:

2.2.1. Temperatura

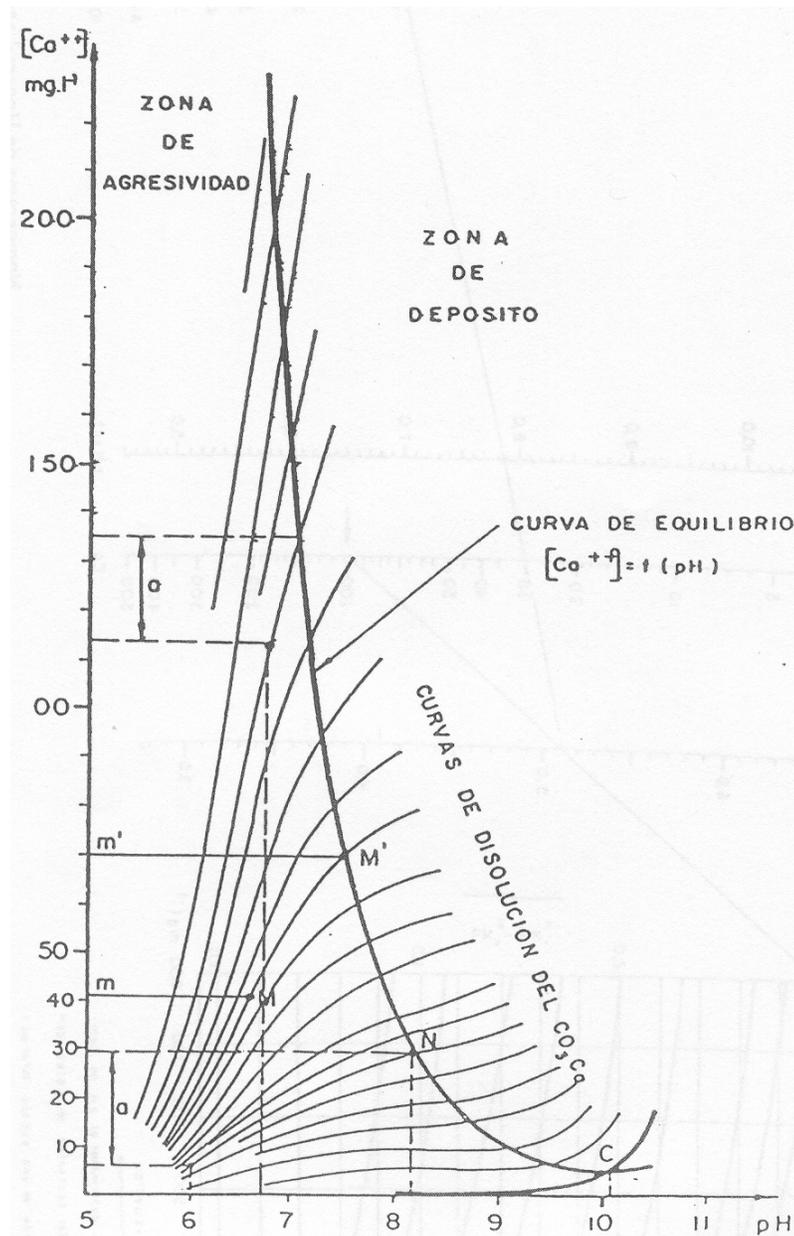
Cuando se eleva la temperatura, la mayoría de las sales presentes en el agua aumentan su solubilidad, sin embargo en otras disminuye (carbonato cálcico). Por tanto, en muchas ocasiones se puede prever el comportamiento futuro que va a tener un agua conociendo las características de la misma y las condiciones de temperatura en las que se va a trabajar.

2.2.2. Alcalinidad

Las variaciones de alcalinidad influyen notablemente en la formación de incrustaciones. Normalmente, al aumentar la alcalinidad disminuye la solubilidad (carbonato cálcico), mientras que en otros casos aumenta (sulfato cálcico)

2.2.3. Concentración de las sales formadoras de incrustación

Cuando la concentración de una sal en el agua sobrepasa el producto de solubilidad de la misma, ésta tiende a precipitar, primero en forma de microcristal, después si las condiciones siguen siendo favorables, este cristal se desarrolla hasta alcanzar el tamaño crítico a partir del cual el proceso continua espontáneamente.



2.2.4. Concentración de sólidos disueltos

Cuanto mayor es el contenido en sólidos disueltos de un agua, mayores son las posibilidades de formación de incrustaciones, debido al efecto salino. En estas condiciones, sales que no han alcanzado la concentración de sobresaturación pueden precipitar y formar incrustaciones.

2.3. Mecanismo

El desarrollo de una incrustación sigue las siguientes etapas:

2.3.1. Sobresaturación

Se dice que una solución está sobresaturada cuando contiene concentraciones del soluto disuelto superiores a las de su concentración de equilibrio.

2.3.2. Nucleación

Esta fase también se denomina de producción de embriones de la incrustación o cristales microscópicos y, que dependiendo de las condiciones del medio, pueden redisolverse en el medio o crecer hasta alcanzar el tamaño crítico. Para que esto se de, un determinado número de moléculas se deben unir y reorientarse entre ellas de forma fija y predeterminada, con vistas al posterior desarrollo del cristal.

2.3.3. Precipitación

El embrión anteriormente formado se hace estable y comienza a crecer.

2.3.4. Crecimiento de cristal

Una vez alcanzado el tamaño crítico, el cristal continúa aumentando de tamaño, estimulando la formación de nuevos gérmenes cristalinos y, por lo tanto, la extensión de la incrustación.

2.4. Tratamientos

El método fundamental para prevenir la aparición de incrustaciones en los sistemas de agua de refrigeración, ha sido controlar las diferentes concentraciones de saturación de las sales formadoras de depósitos en los sistemas de agua.

Las concentraciones de las sales incrustantes pueden ser reducidas a niveles tolerables por medio de tratamientos externos del agua de alimentación: descalcificación, descarbonatación o desmineralización. Evidentemente, tales tratamientos del agua de alimentación, así como la disminución de las concentraciones de las sales precipitantes por el mantenimiento de purgas elevadas, son sistemas que implican un elevado coste que en ocasiones los convierte en irrealizables.

Asimismo, la adición de ácido a los circuitos para reducir la alcalinidad, puede evitar la aparición de depósitos de carbonato, y al mismo tiempo facilitar la aparición de depósitos de sulfato cálcico, más perniciosos y difíciles de eliminar. Incluso un mal control de esta adición pueden originar graves problemas de corrosión.

Los productos que se emplean normalmente como inhibidores de la incrustación, actúan mediante la estabilización de soluciones sobresaturadas de sales incrustantes a concentraciones subestequiométricas del inhibidor. Este mecanismo de inhibición recibe el nombre de efecto "Threshold" o efecto umbral, y aunque es difícil de describir, puede suponerse como un proceso de interferencia en la formación del cristal.

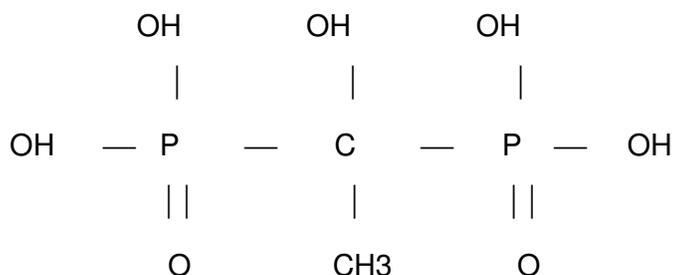
2.4.2. Hidroxi Etiliden Difosfonato (HEDP)

Este compuesto presenta frente a la calcita un rendimiento similar o superior al AMP, mientras que frente al sulfato, su actividad es menor. Presenta una gran actividad en el control de la deposición de óxido férrico hidratado, lo que le confiere propiedades dispersantes evitando la aparición de fouling.

Es muy resistente a la hidrólisis producida por los oxidantes.

Es el fosfonato el que muestra mayor actividad en la prevención de la formación de hidroxiapatita a partir del fosfato tricálcico.

La fórmula del producto es:



2.4.3. Fosfobutano Tricarboxílico (PBTC)

Fosfonato de reciente aparición que presenta mayores ventajas frente a los anteriores, tales como: Mejor estabilidad frente a la hidrólisis, más alta actividad antiprecipitante frente a las sales de calcio y magnesio y que en combinación con el mercaptobenzotiazol o el tolitriazol, presentas unos efectos anticorrosivos, no sólo frente al cobre y sus aleaciones, sino también frente al acero al carbono, por lo que permite su utilización en los sistemas de agua de refrigeración sin control de pH pero siempre a valores de corrosión inferiores a 1,5 MPY para el acero al carbono.

2.4.4. Ésteres de fosfato

Este grupo de compuestos, obtenidos a partir del ácido fosfórico y glicol son buenos inhibidores “Threshold” para el sulfato cálcico, mientras que para el carbonato y el óxido de hierro hidratado, son muy inferiores en efectividad respecto a los mencionados anteriormente.

Su tendencia a hidrolizarse a ortofosfato en presencia de cloro libre es inferior a la del AMP, pero mucho mayor que la del HEDP y PBTC. Temperaturas de 50 a 60 °C producen roturas en la molécula con formación de ortofosfato.

2.4.5. Poliacrilamidas parcialmente hidrolizadas (PHPA)

Son inhibidores efectivos frente al carbonato cálcico, sulfato cálcico y sulfato bórico, además de mostrar un efecto altamente eficaz en la dispersión de los ortofosfatos hidrolizados.

Se trata de productos de peso molecular entre 1000 y 8000, que tienen entre el 50 y el 90 % de los grupos amida hidrolizados, siendo esta hidrólisis parcial la que le confiere las características antiincrustantes y dispersantes.

2.4.6. Polímeros naturales: taninos y lignosulfatos

Estos polímeros naturales, extraídos de la corteza de la madera, tienen carácter aniónico y poseen una estructura no del todo conocida y altamente compleja. Los polímeros empleados como agentes dispersantes y modificadores cristalinos, tienen un peso molecular entre 1000 y 2000. Algunos lignosulfonatos modificados se han empleado como antiincrustantes en tratamiento interno de calderas, sustituyendo un 50 % de los grupos sulfonatos por grupos hidroxilos,

no obstante, la aplicación más frecuente ha sido como acondicionador de los lodos y dispersante.

Comercialmente se emplean mezclas de dos o más de estos productos, en las cuales, unos actúan como dispersantes y otros como antiincrustantes, incorporándose en algunas formulaciones MBT o TT con objeto de mejorar la protección anticorrosiva del cobre y sus aleaciones, así como el acero al carbono.

2.4.7. Otros productos

Siguiendo la línea marcada por los polímeros orgánicos se han desarrollado otros productos derivados del ácido acrílico como los poliácridatos, polimetacrilatos, anhídrido polimaléico, copolímeros del ácido acrílico y el ácido sulfónico, etc.

Dentro de este grupo, cada día se desarrollan productos nuevos a nivel de ensayos, pero la introducción industrial se ve retrasada por la dificultad de la evaluación y el tiempo necesario para la misma.

Normalmente, estos productos se combinan con fosfonatos para alcanzar mejores prestaciones, antiincrustantes – dispersantes.

3. PROTOCOLO DE TRATAMIENTO ANTI CORROSIVO-INCRUSTANTE

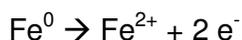
3.1. Fundamento técnico

Los tratamientos químicos anticorrosivos-antiincrustantes que se realizan se basan en la aplicación de inhibidores de corrosión anódicos y catódicos, como los explicados anteriormente, con la presencia de dispersantes y antiincrustantes específicos.

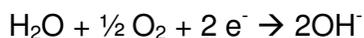
Las bases activas que intervienen en los que se describen a continuación formulados están constituidas por polifosfatos inhibidores de corrosión con comportamiento dual, molibdatos inhibidores de corrosión de tipo anódico, fosfonatos y derivados policarboxílicos. Las formulaciones presentadas contienen mezclas de acción sinérgica de los diferentes principios activos, de forma que en cada una de ellas se cubra con seguridad todo el espectro de protección anódico-catódica.

Los mecanismos de protección de los diferentes principios activos se basan en las reacciones siguientes:

- ***Reacción Anódica de Disolución***



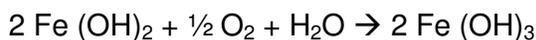
- ***Reacción Catódica Principal***



- ***Reacción de Inhibición por Filmación***

Fosfato + Ca → Fosfato cálcico complejo que se deposita sobre el cátodo

Fosfato + Fe → Fosfato férrico que se deposita sobre el ánodo



- ***Reacción de Inhibición por Pasivación***

Los molibdatos forman amalgama de óxidos pasivantes en su acoplamiento con el hierro mediante diferentes mecanismos: formación de óxidos estables y no permeables, electrodeposición y amalgamado superficial.

- ***Protección Dispersante-Antiincrustante***

El tratamiento incorpora asimismo compuestos policarboxílicos y derivados fosfónicos, los cuales actúan impidiendo la formación de incrustaciones calcáreas al actuar sobre la estructura cristalina de la calcita y distorsionando su red. Su mecanismo de actuación se basa en el denominado “**efecto Threshold**”, que ya ha sido descrito anteriormente. Por su parte los derivados policarboxílicos de bajo peso molecular y carácter aniónico, actúan por fuerzas electrostáticas superficiales interfiriendo con la carga eléctrica superficial de la mayoría de las partículas formadoras de fouling, impidiendo de esta forma su aglomeración.

3.2. Productos utilizados

- RESTIN 18/MP: Inhibidor de corrosión a base de molibdatos y polifosfatos.
- INCUS CTR/40: Formulado a base de compuestos fosfónicos y acrílicos.

3.3. Dosificaciones

- RESTIN 18/MP: Dosis de entre 7 - 9,5 ppm de producto puro sobre agua de aporte a 4,2 ciclos. Es recomendable mantener un residual de entre 1 y 2 ppm en el recirculante como molibdatos.
- INCUS CTR/40: Dosis de 3 a 4 ppm sobre el agua de aporte a 4,2 ciclos.

3.4. Forma y punto de adición

Dada la presentación de nuestros productos en estado líquido, la adición al circuito se efectúa de forma continua, mediante las correspondientes bombas dosificadoras.

La incorporación de los productos al sistema de refrigeración se efectúa sobre la balsa de la torre, permitiendo una rápida distribución y homogeneización de los correspondientes aditivos.

ANEXO IV. MANTENIMIENTO ALGICIDA-BACTERICIDA

1. CRECIMIENTO BIOLÓGICO.BIOFOULING

1.1. Definición

Las altas temperaturas, la humedad relativa, la materia orgánica y algunos compuestos químicos disueltos en el agua, proporcionan las mejores condiciones para el desarrollo de microorganismo.

Este crecimiento biológico reduce la sección de las conducciones y por tanto aumenta la resistencia hidrodinámica de las tuberías. La eficacia de la transferencia de calor se ve claramente disminuida.

El desarrollo microbiano y de los hongos aumenta las tasas de corrosión de muchos de los metales empleados en la fabricación de las torres. Este problema se ve incrementado en aquellas instalaciones de funcionamiento en discontinuo. Una parada en el sistema por un periodo más o menos prolongado, provoca la estanqueidad del agua y favorece el crecimiento biológico

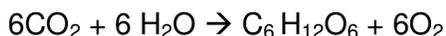
El biofouling es la contaminación de un sistema producido por la actividad microbiana sobre diferentes superficies, que genera corrosión de equipos. El biofouling es una consecuencia de las biopelículas, que son organizaciones microbianas compuestas por microorganismos que se adhieren a las superficies. Estas conformaciones microbianas presentan características como: heterogeneidad, diversidad de microambientes, resistencia a antimicrobianos y capacidad de comunicación intercelular, que las convierten en complejos difíciles de erradicar de los ambientes donde se establecen.

Los problemas del biofouling afectan económicamente a las fábricas que poseen torres de enfriamiento de aguas, donde puede producirse corrosión y donde todo el sistema se puede ver obstruido.

1.2. Tipos

1.2.1. Algas

Para su proliferación necesitan una cierta cantidad de luz, mediante una reacción fotosintética en la que asimilan CO₂ y agua, produciendo oxígeno:



El tipo de alga más común y que más problemas ocasiona en las torres de refrigeración es la Oscillatoria, que es un alga verde-azulada que crece en un intervalo de pH = 6 - 8,9 y de temperatura = 35 - 40 °C.

Las algas al desprenderse producen ensuciamientos y el crecimiento de otros tipos de microorganismos. Además, el oxígeno producido puede producir corrosión tipo pitting (picadura), cuando se encuentran sobre la superficie de un metal.

1.2.2. Bacterias

Dada la gran diversidad de bacterias, las dividiremos en varios grupos dependiendo de los problemas que originan:

1.2.2.1. Formadoras de limos

La función básica de estas bacterias es la formación de una capa gelatinosa, que sirve para atrapar determinados materiales, protegiéndolos además de agentes físicos y químicos.

En la siguiente tabla se indican los problemas que se derivan del número de bacterias totales que tengamos:

CONTAJE (Cél/c.c.)	Correspondencia
0 - 10.000	Sistema casi estéril.
10.000 - 500.000	Sistema bajo control.
500.000 - 1.000.000	Sistema que puede dejar de estar bajo control, intensificar los controles.
1 millón - 10 millones	Sistema completamente fuera de control, rápida adición de biocidas.
> 10 millones	Graves problemas de fouling corrosión bajo depósito, tratamiento biocida intensivo.

1.2.2.2. Causantes de la corrosión

Son las bacterias formadoras de *Thiobacillus*, que aunque no suelen ser muy frecuentes, cuando aparecen son muy dañinas, ya que toman la energía de la oxidación de los iones sulfuro a azufre elemental y, finalmente, a ácido sulfúrico:

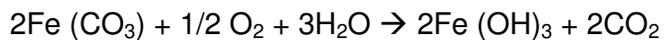


En general, todas las bacterias formadoras de biofilm producen corrosión, pudiendo variar el mecanismo en función de la composición bacteriana de dicho bio-film.

1.2.2.3. Bacterias del hierro

Las bacterias del hierro son aeróbicas, bastando pequeñas cantidades de oxígeno para asegurar su metabolismo.

Toman su energía de la reacción de oxidación del hierro:



Este consumo de oxígeno crea condiciones anaeróbicas, favorables para el desarrollo de bacterias sulfato-reductoras.

1.2.2.4. Bacterias sulfatoreductoras

Estas bacterias son típicas de aguas superficiales estancadas. Son aeróbicas estrictas en cuanto a su reproducción, aunque pueden vivir en presencia de oxígeno.

La zona de pH más favorable está entre 4 – 8 y la temperatura óptima varía en el amplio rango de 10 – 60°C.

1.3. Tratamientos. Biocidas

Para controlar la acción microbiana se emplean agentes microbicidas, clasificados en dos grandes grupos: oxidantes y no oxidantes.

El programa de actuación con biocidas es muy particular para cada instalación y debe estar basado en ensayos de cultivos y de sensibilidad de los agentes biocidas. También deben considerarse su toxicidad potencial para el medio ambiente.

Un paso muy importante, será la elección de los biocida más adecuados a nuestro sistema. Esta elección resultará seguro difícil debido a la gran variedad de biocidas en el mercado y sus distintas acciones sobre los microorganismos de nuestro sistema. Por ello, es importante reseñar una serie de factores a tener en cuenta a la hora de elegir los biocidas que emplearemos contra el crecimiento biológico:

- El tipo de microorganismos presentes.
- El histórico de operación del sistema.
- El esquema hidráulico del sistema.
- La naturaleza del tratamiento antiincrustante y anticorrosivo.
- Las características físico-químicas del agua.
- Las restricciones medioambientales.
- La toxicidad del biocida para los manipuladores del mismo.
- El coste de aplicación del biocida.
- La facilidad de realizar un análisis del residual de biocida de forma fácil y rápida.

Asimismo, con el objeto de determinar cual es el tratamiento más adecuado a las características de cada sistema, es conveniente seguir un programa de análisis:

- *Análisis microbiológico del agua:* mediante recuento de células viables en placas Petri con el medio de cultivo adecuado en cada caso.
- *Aislamiento e identificación de cepas:* que por encontrarse en mayor cantidad o por su metabolismo, pueden causar problemas en el circuito de corrosión y/o formación de biofouling.
- *Determinación de las concentraciones inhibidoras mínimas:* de los diferentes biocidas de uso industrial y selección del más adecuado, en función de su compatibilidad con las condiciones de trabajo en nuestro sistema.
- *Prueba industrial de producto y seguimiento de su actividad:* mediante frecuentes análisis microbiológicos y seguimiento del biofouling biológico.

Con el objeto de abarcar el más amplio espectro posible de actividad con un mínimo coste, en las formulaciones de los productos comerciales se emplean mezclas sinérgicas de dos o más componentes. Además estas formulaciones suelen contener agentes tensioactivos que facilitan la distribución y contacto con los microorganismos, aumentando así su rendimiento.

A la hora de aplicar un tratamiento bactericida se utilizan dos métodos:

- Continuo: manteniendo permanentemente una concentración mínima del producto dentro del circuito.
- Periódico: se introducen fuertes concentraciones a intervalos regulares; estas dosis de choque se realizan, por ejemplo, cada 20-30 días, manteniendo una concentración de 150 a 300 ppm durante varias horas, dependiendo de la capacidad del circuito.

En la práctica, el segundo procedimiento es el más efectivo, puesto que se disminuye el riesgo de que las bacterias acaben por hacerse resistentes a un medio permanente y uniformemente constante, que aun siendo nocivo al principio, llega a resultarles inocuo. Por el contrario, en las adiciones de choque, la periodicidad se refuerza alternando diferentes productos biocidas con espectros de acción complementaria, lo cual impide que aquéllas puedan llegar a habituarse.

El éxito de un tratamiento bactericida no reside en la total eliminación de materia orgánica (lo cual resulta casi imposible), sino en mantener su concentración por debajo de unos niveles aceptables, es decir, que no lleguen a alcanzar unas proporciones fácilmente detectables como son los fangos y lodos visibles a simple vista en las instalaciones muy contaminadas. El control de la proliferación ha de realizarse mediante análisis periódicos, los cuales deben repetirse con mayor frecuencia en los períodos estivales, en los que el calor ambiente facilita considerablemente su actividad multiplicadora.

Veamos ahora los tratamientos microbiocidas más importantes que se emplean en las torres de refrigeración, divididos en dos grandes grupos, y el mecanismo de actuación de cada uno de ellos:

1.3.1. Biocidas oxidantes

Los biocidas oxidantes, tal como indica su nombre, oxidan la materia orgánica (materia celular, enzimas, proteínas, etc), provocando la muerte de los microorganismos. Los más habituales son el cloro y el bromo, y sus derivados, así como el ozono.

La presencia de grandes cantidades de materia orgánica y de amoníaco en el agua puede conllevar problemas a la hora de controlar la contaminación biológica con este tipo de biocidas.

1.3.1.1. Cloro

Es el biocida más ampliamente empleado. Se suministra en estado gaseoso, si bien los peligros inherentes a su manejo, hacen que su utilización pierda adeptos a favor del hipoclorito sódico.

Ambos productos al disolverse en el agua originan ácido hipocloroso, sin embargo, el cloro gas da una reacción ácida, mientras que el hipoclorito la hace alcalina. Actúa frente a todos los microorganismos, siempre y cuando el “cloro libre” permanezca durante un tiempo adecuado en contacto con ellos. Su acción letal es rápida, aunque no persistente.

- *Mecanismo de actuación*

Su capacidad oxidante hace que se oxiden los grupos sulfhídricos de ciertas enzimas, tales como la Triosa fosfato deshidrogenasa. Cuando se alcanza el residual de “break point”, se produce la destrucción completa de la pared celular.

Aunque su actividad biocida se ve muy afectada por el pH del agua, así como por el contenido de materia orgánica, su bajo costo hace que sea un producto muy empleado, dosificándolo a muy bajo residual en continuo o a un residual más elevado en dosis de choque. La frecuencia de las dosificaciones depende en gran medida de la magnitud del problema a tratar y varía con las estaciones climatológicas.

1.3.1.2. Dióxido de cloro

El dióxido de cloro es un biocida oxidante activo, eso lo hace ser el más aplicado y aún más debido al hecho de que este tiene efectos menos perjudiciales para el ambiente y la salud humana que el cloro. No forma ácidos hipoclorosos en agua; existe como

dióxido de cloro disuelto, un compuesto que es un biocida más reactivo en gamas más altas de pH.

El dióxido de cloro es un gas explosivo así que se genera directamente en el punto de aplicación mezclando habitualmente una fuerte solución clorada con clorito sódico e inmediatamente inyectado en el agua a tratar.

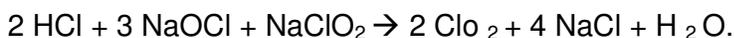
Esta característica es la que ha llevado a limitar su uso a favor de otros biocidas de una manipulación menos peligrosa.

- *Mecanismo de actuación*

Como hemos dicho antes, el dióxido del cloro es un gas explosivo, y por lo tanto tiene que ser producido o ser generado in-situ, por medio de las reacciones siguientes:



Ó



1.3.1.3. Derivados órgano-bromados

Se trata de un bactericida de última generación, que manifiesta una excelente actividad, tanto para bacterias como para levaduras y mohos, incluidas las algas a bajas dosis. Manifiestan además, una rápida degradación en medio acuoso, lo que lo hace especialmente útil en plantas con vertidos controlados.

Al tratarse de productos oxidantes pueden ver afectada su efectividad en medios reductores y con elevados contenidos en sulfuros.

1.3.1.4. Derivados tetraclorados

Al igual que los anteriores, manifiestan una excelente eficacia en el control de las bacterias sulfato reductoras.

1.3.1.5. Compuestos órgano-metálicos

Existen varios productos con actividad biocida, siendo las sales de estaño y mercurio las más utilizadas. Todos ellos presentan una elevada toxicidad, por lo que su empleo se ha restringido a casos especiales de contaminación.

- *Mecanismo de actuación*

Penetran en la pared de la célula, introduciéndose en el citoplasma y destruyendo las proteínas esenciales.

Las sales de estaño (óxido de tributil estaño) tienen una buena actividad frente a los hongos y bacterias, especialmente las anaeróbicas,. Pero su toxicidad y coste relativo alto son sus principales inconvenientes.

Las sales de mercurio presentan una excelente actividad frente a todo tipo de microorganismos, tienen un gran poder de absorción sobre todas las superficies de madera. Debido a su toxicidad se uso queda restringido a tratamientos externos en las torres de refrigeración.

1.3.1.6. Derivados orgánicos halogenados

Este grupo de compuestos es de relativamente reciente desarrollo, habiéndose extendido rápidamente su empleo debido a

sus buenas propiedades biocidas y su baja toxicidad para organismos pluricelulares.

Estos productos tienen además la propiedad de impedir el crecimiento de los microorganismos que se nutren de hidrocarburos, ya que son solubles en la fase oleosa de los mismos, combatiendo los microorganismos presentes en dicha fase.

Uno de los compuestos más empleados dentro de este grupo de productos es la clorosulfona.

- *Mecanismo de actuación*

Al descomponerse en el agua, dan lugar a productos similares a los metabolitos microbianos, por lo que se trata de un mecanismo de inhibición competitiva. Estos productos dan lugar a la muerte de la célula.

1.3.1.7. Ozono

El ozono es naturalmente inestable. Puede ser utilizado como agente oxidante de gran alcance, cuando se genera en un reactor.

Algunos de los factores que determinan la cantidad de ozono requerida durante la oxidación son pH, temperatura, compuestos orgánicos y solventes, y productos acumulados de la reacción.

El ozono es más respetuoso con el medio ambiente que el cloro, porque no agrega el cloro al sistema del agua. Debido a su descomposición el oxígeno no dañará la vida acuática.

Generalmente 0,5 PPM de ozono se agregan a un sistema de agua, sobre base continua o intermitente.

- *Mecanismo de actuación*

Como biocida, actúa de la misma manera que el cloro, es decir, dificulta la formación del ATP, de modo que la respiración de la célula de los microorganismos se hace difícil. Durante la oxidación con ozono, las bacterias mueren generalmente por pérdida del citoplasma que sostiene la vida.

Mientras que el proceso de la oxidación ocurre, el ozono se divide en oxígeno diatómico y un átomo de oxígeno, que se pierde durante la reacción con los lípidos de la célula de las bacterias:



1.3.2. Biocidas no oxidantes

Los biocidas no oxidantes son aquellos que interfieren en el metabolismo celular y/o en su estructura, provocando de esta manera la muerte de los microorganismos. Existen muchos tipos de biocidas no oxidantes pero en general todos cumplen los siguientes requisitos: son más estables y persistentes que los biocidas oxidantes y su actividad es independiente del pH.

Cada biocida de este tipo tiene su mecanismo de actuación particular, no pudiéndose generalizar un mecanismo de actuación para todo el grupo.

1.3.2.1. Aminas y compuestos de amonio cuaternario

Los antimicrobianos a base de aminas son buenos algicidas y bactericidas, no resultando adecuados como fungicidas.

Los compuestos de amonio cuaternario son igualmente poco activos frente a los hongos (mohos y levaduras). Se emplean normalmente junto con el cloro y dispersantes orgánicos, siendo su principal inconveniente se elevado carácter catiónico que los hace incompatibles con algunos tratamientos.

- *Mecanismo de actuación*

La carga catiónica de estas sales forma enlaces electrostáticos con las cargas negativas de la pared celular interfiriendo su capacidad permeable.

Asimismo desnaturalizan las proteínas al interferir dicha permeabilidad.

1.3.2.2. Derivados órgano-azufrados

Como característica general hay que destacar que manifiestan una buena actividad frente a todo tipo de microorganismos, especialmente sobre bacterias aeróbicas formadoras de limos. También destacan por su baja toxicidad en los vertidos.

- *Mecanismo de actuación*

Actúan mediante un mecanismo de inhibición competitivo, secuestrando el Fe^{+++} e impidiendo el paso a Fe^{++} y deteniendo el metabolismo celular. Actúan también por un mecanismo no competitivo, aportando compuestos azufrados tóxicos.

Existen diversos tipos de órgano-azufrados, siendo los tiocianatos orgánicos los más empleados.

1.3.2.3. Fenoles clorados

Estos compuestos son altamente efectivos contra los hongos y las algas. También su actividad se ve influenciada por el pH del agua, ya que desciende a medida que el pH aumenta. Estos productos manifiestan poca actividad frente a las bacterias aeróbicas formadoras de limos.

- *Mecanismo de actuación*

Actúan por un mecanismo de adsorción en el interior de la pared celular, por reacción de los enlaces de hidrógeno presentes, que inician la reacción con los grupos fenólicos, difundiéndose posteriormente a través del citoplasma una solución coloidal que precipita las proteínas inactivándolas.

Los sólidos en suspensión presentes en el agua reducen su actividad, al absorberse sobre ellos y a pH alcalinos se inactivan.

Debido a estas limitaciones y a su toxicidad elevada, esos productos se han visto desplazados por otros de menor impacto.

1.3.2.4. Acroleína

Este compuesto también es de reciente aparición, siendo su principal ventaja su elevada toxicidad para los microorganismos encontrados habitualmente en los sistemas de refrigeración. Presenta como inconvenientes su alta inflamabilidad y su difícil manipulación.

- *Mecanismo de actuación*

Distorsiona las proteínas e interrumpe las reacciones de síntesis de las enzimas.

1.3.2.5. Isotiazolonas

Se trata de compuestos que tienen un buen carácter bactericida, sobre todo sobre las bacterias formadoras de limos y biofilm, y fungicida, teniendo un comportamiento dispar en cuanto a la protección frente a las algas.

- *Mecanismo de actuación*

Actúan inhibiendo la síntesis de macromoléculas esenciales: ADN, proteínas, etc. Tienen carácter no iónico y son efectivas incluso a valores de pH mayores que ocho.

A continuación se muestran dos tablas, en la primera podemos ver el carácter iónico, el intervalo de pH óptimo y sobre que tipo de microorganismos posee actividad cada uno de los tratamientos antimicrobianos. En la segunda tabla se especifica más la actividad de cada tratamiento antimicrobiano sobre cada microorganismo en particular.

PARAMETROS DE APLICACION DE LOS ANTIMICROBIANOS			
ANTIMICROBIANOS	CARACTER IONICO	PH OPTIMO	ACTIVIDAD
Cloro gas	--	5 - 7,5	A, B
Hipoclorito sódico	--	7 - 8,5	A, B
Bromo (Bromuro)	--	5 - 9	A, B
Dióxido de cloro	--	6 - 10	A,B,H,S,
Clorofenoles	Aniónicos.	5 - 8	A,B,H
Amonio cuaternarios	Catiónicos	7 - 9,5	A, B
Organo azufrados	Aniónicos	5 - 7,5	B, H
Sulfonas y Tionas	--	5 - 8,5	B, H, S
Bisticianatos	No iónicos.	5 - 7	B, H, S
Organo estánnicos	Catiónicos.	5 - 8,5	A,B,H,S,
Organo bromados	No iónicos.	5 - 8	A,B,H,S
TCMTB	--	5 - 7,5	B,H
Isotiazolona	No iónicos	5 - 8,5	A,B,H,S,FB
Glutaraldehido	--	5 - 8,5	A,B,S,Fb

A	=	Algas
B	=	Bacterias
H	=	Hongos
S	=	Bacterias Sulfato reductoras.
FB	=	Bacterias formadoras biofilm.

BACTERIAS ACTIVIDAD DE LOS ANTIMICROBIANOS							
ANTIMICROBIANOS	A	B	C	D	HONGOS	ALGAS	COMENTARIOS
Cloro	Muy bueno	Débil	Muy bueno	No activo	Débil	Muy bueno	Oxidantes pueden ser corrosivos. Pierden efectividad al pH y pueden delignificar la madera
Hipoclorito	Muy bueno	Débil	Muy bueno	No activo	Débil	Muy bueno	Oxidantes pueden ser corrosivos. Pierden efectividad al pH y pueden delignificar la madera
Acroleína	Muy bueno	Bueno	Bueno	Débil	Bueno	Débil	---
Cloro-fenol	Débil	Débil	Débil	Débil	Muy bueno	Bueno	Aniónicos pH 6 - 7,5
Aminas	Bueno	Bueno	Bueno	Débil	Débil	Débil	-- --
Amonios cuaternarios	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Débil	Bueno	Catiónicos, problemas de espuma
Organo azufrados	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	No activo	-- --
Halosulfonas	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Débil	-- --
Bisticianatos	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	Débil	Débil	-- --
Organo estannico	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Muy bueno	-- --
Organo bromado	Bueno	Bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	No iónico
TCMTB	Bueno	---	--	---	Muy bueno	--	-- --
Isotiazolinas	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	no iónico.

A	=	Bacterias no esporuladas formadoras de limos.
B	=	Bacterias esporuladas formadoras de limos.
C	=	Bacterias férrreas
D	=	Bacterias corrosivas

1.4. Protocolo de Tratamiento Bactericida

Una vez vistos los tratamientos bactericidas generales que podríamos aplicar a una torre de refrigeración, vamos a proponer un protocolo de tratamiento bactericida con productos específicos.

1.4.1. Fundamento técnico

La aplicación de los tratamientos algicidas-bactericidas en combinación con los tratamientos biodispersantes, ha demostrado ser un arma eficaz en la lucha contra el “biofouling” y la corrosión bacteriana. La presencia de altas poblaciones bacterianas en general y de bacterias sésiles en particular, son la causa principal de obstrucciones y corrosiones bajo depósito en los sistemas de refrigeración; esta combinación crea además las condiciones de desarrollo adecuadas para que la aparición de bacterias anaeróbicas sean del tipo “clostridium” o “sulfatoredutoras” que son la causa de graves problemas de corrosión en este tipo de instalaciones.

Para prevenir la formación y desarrollo de estas poblaciones bacterianas en proporciones descontroladas, se efectúan tratamientos bactericidas y bacteriostáticos sobre el agua de refrigeración, pues no se debe olvidar que una torre de refrigeración actúa en realidad como un gran reactor biológico, al que no le falta ninguna de las condiciones fundamentales para el desarrollo de la vida bacteriana:

pH – Temperatura – Nutrientes - Oxígeno

El programa de tratamiento biológico que a continuación se detalla, está basado en evitar los “bioensuciamientos” y el crecimiento del número de colonias bacterianas, mediante la adición de distintos aditivos.

1.4.2. Productos Utilizados

- MIRECIDE DA/25: Antimicrobiano formulado a base de sales de aminas cuaternarias, inhibiendo el crecimiento de algas y el desarrollo de bacterias.
- MIRECIDE BR/110: Formulado a base de sales de bromo y tensioactivos de acción dispersante.
- HIPOCLORITO SÓDICO: Se obtiene convenientemente por disolución de cloro elemental en una disolución de sosa acuosa. En disolución acuosa sólo es estable a pH básico. Al acidular en presencia de cloruro libera cloro elemental.

1.4.3. Dosificaciones

- HIPOCLORITO SÓDICO: Se adicionan cantidades suficientes para asegurar un residual de cloro libre en el sistema de 0.1-0.3 ppm. Dependiendo de la calidad del agua de aporte en cada momento, el consumo será variable, pudiendo estimarse que una dosificación de 8 ppm de producto comercial sobre el volumen total del sistema puede ser suficiente para alcanzar los residuales deseados.
- MIRECIDE DA/25: La dosificación será dependiente del estado bacteriológico del circuito, en general se recomienda dosis de 10 a 50 ppm sobre el volumen total del circuito, efectuando las adiciones de forma periódica. Se realiza el tratamiento bimestralmente.
- MIRECIDE BR/110: La cantidad a adicionar estará en función de la cantidad de hipoclorito sódico, teniendo en cuenta que la proporción a aplicar en las dosificaciones conjuntas será de 3:1, es decir, que para la dosis indicada anteriormente, respecto al hipoclorito, la dosis de producto sería de 2,7 ppm sobre el volumen total del sistema.

1.4.4. Forma y puntos de aplicación

Todos los productos se adicionan mediante bombas dosificadoras, eyectores automáticos o por adición manual, efectuándose la adición en forma de choques directamente a la balsa de la torre en un punto de máxima agitación o turbulencia que favorezca la dispersión y rápida homogeneización de los productos.

1.4.5. Tratamiento biodispersante

Como complemento del tratamiento anterior se utiliza la adición de un biodispersante para el control y dispersión de limos biológicos y favorecer la acción oxidante del hipoclorito sódico. El producto que se utiliza es el DISPERSENE-50 a dosis de 5 ppm sobre el volumen total del circuito, adicionado en choques.

1.4.6. Control de tratamiento

Para controlar la calidad físico-química y microbiológica del agua se determinarán los siguientes parámetros:

1.4.6.1. Puntos y toma de muestras

Las tomas de muestras se realizan en la línea de aporte de agua a la torre y en la impulsión al circuito desde la balsa de cada torre.

1.4.6.2. Análisis a realizar

Para controlar la calidad físico-química y microbiológica del agua se determinarán los siguientes parámetros:

- Un análisis diario de cloro libre en cada torre
- Análisis programados según el plan de muestreo y ensayos
- Una vez como mínimo a la semana: pH, Temperatura, Conductividad, Alcalinidad simple, Alcalinidad total, Dureza cálcica, Dureza magnésica, Dureza total, Cloruros, Fosfatos, Hierro, Sulfatos, Molibdatos, Hidróxidos, Carbonatos, Bicarbonatos, Índice de estabilidad, Índice de saturación y Nivel de cloro libre
- Una vez al mes: Turbidez, Sólidos totales en disolución, Sólidos en suspensión, Contaminación microbiológica (aerobios totales)

1.4.7. Métodos de medición

Los métodos utilizados dependerán del parámetro en cuestión, utilizando métodos basados en valorimetrías estándar de análisis (calcio, magnesio, dureza total, alcalinidad simple y total, hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, etc.), métodos espectrofotométricos, utilización de pHmetro, y conductivímetro. Para el control de la contaminación microbiológica, se utilizan métodos de conteo de bacterias, como el easy-cult, utilizado preferente y ocasionalmente con cultivos Agar.

ANEXO V. MANTENIMIENTO ANTI-LEGIONELLA

1. LEGIONELLA

1.1. Definición

La Legionella es una bacteria ambiental capaz de sobrevivir en un amplio intercalo de condiciones físico-químicas, multiplicándose entre 20-45 °C y destruyéndose a 70 °C. Su temperatura óptima de crecimiento es 35-37 °C.

Su nicho ecológico natural son las aguas superficiales como lagos, ríos, estanques, formando parte de su flora bacteriana. Desde estos reservorios naturales la bacteria puede colonizar los sistemas de abastecimiento de las ciudades y, a través de la red de distribución de agua, se incorpora a los sistemas de agua sanitaria (fría o caliente) u otros sistemas que requieren agua para su funcionamiento como las torres de refrigeración. En algunas ocasiones, en estas instalaciones, mal diseñadas, sin mantenimiento o con un mantenimiento inadecuado, se favorece el estancamiento del agua, la acumulación de productos nutrientes de la bacteria, como lodos, materia orgánica, materias de corrosión y amebas, formando una biocapa. La presencia de esta biocapa, junto a una temperatura propicia explica la multiplicación de legionella hasta concentraciones infectantes para el ser humano. Si existe en la instalación un mecanismo productor de aerosoles, la bacteria puede dispersarse en el aire. Las gotas de agua que contienen la bacteria pueden permanecer suspendidas en el aire y penetrar por inhalación en el aparato respiratorio.

La Legionella produce la enfermedad de la legionelosis, que es una enfermedad bacteriana de origen ambiental que suele presentar dos formas clínicas diferenciadas:

- *La infección pulmonar o enfermedad del legionario*: produce neumonía y fiebre alta.
- *Fiebre de pontiac*: es la forma no neumónica, produce síndrome febril agudo, de pronóstico leve.

1.2. Justificación

Aunque la Legionella es una bacteria y, por ello, debía incluirse en el apartado anterior, decidimos que merecía un apartado independiente, debido a la trascendencia social que ha tomado la enfermedad de la legionelosis en los últimos tiempos, sabiendo que las torres de refrigeración se encuentran entre las instalaciones que con mayor frecuencia se encuentran contaminadas por Legionella según la legislación al efecto (REAL DECRETO 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis).

1.3. Protocolo de Limpieza y Desinfección

Para elaborar un plan de limpieza y desinfección de la torre, nos remitiremos al Anexo 4 del REAL DECRETO 865/2003 antes mencionado, donde se dan las pautas que exige la ley para equipos que no pueden cesar en su actividad.

1.3.1. Procedimientos

El procedimiento que se recoge a continuación, está basado en el uso de cloro en forma de hipoclorito sódico y el biodispersante DISPERSENE-50, así como la utilización del inhibidor de corrosión RESTIN 18/MP, para evitar los posibles riesgos de corrosión en las superficies metálicas del sistema.

Así, los pasos a seguir serán:

1. Se ajustará el pH entre 7 y 8, a efectos de mejorar la acción del ácido hipocloroso (HClO).
2. Añadir hipoclorito sódico (NaClO) en cantidad suficiente para mantener en el agua de la balsa una concentración máxima de cloro libre residual de 5 ppm.
3. Se añadirá el biodispersante DISPERSENE-50, a fin de proceder a la dispersión de las biopelículas, además de favorecer la actuación del hipoclorito sódico. La cantidad a adicionar del DISPERSENE-50 es de 50 ppm sobre el volumen total del circuito. También deberá adicionarse el inhibidor de corrosión RESTIN 18/MP, a efectos de evitar la corrosión debida al hipoclorito sódico, la dosis será de 500 ppm de RESTIN 18/MP sobre el volumen total.
4. Manteniendo el circuito en las condiciones indicadas se recirculará el agua por espacio de 4 horas, manteniendo los niveles de cloro libre residual. Las mencionadas

determinaciones se realizarán cada hora, para asegurar el contenido de cloro residual previsto.

5. Transcurridas las cuatro horas se renovará la totalidad del agua de circuito abriendo la purga al máximo posible y manteniendo el nivel de la balsa.
6. Normalización de las condiciones de operación, durante este periodo con el fin de eliminar la biocapa que pudiera permanecer en los intercambiadores y zonas muertas o de baja velocidad del circuito, manteniendo una concentración de cloro libre residual de entre 1 y 2 ppm y de 50 ppm de DISPERSENE-50 durante 24 horas.
7. Transcurridas las 24 horas se añadirá el biocida MIRECIDE-DB/200 a una dosis de 50-100 ppm sobre el volumen total del circuito.

Se mantendrá un residual mínimo de 0.2-0.3 ppm de cloro libre residual junto con la dosificación habitual del RESTIN 18/MP y el INCUS CTR/40.

1.3.2. Productos utilizados

- RESTIN 18/MP: Inhibidor de corrosión a base de molibdatos y polifosfatos.
- DISPERSENE-50: Biodispersante, a base de compuestos orgánicos no iónicos, aplicable para circuitos de refrigeración, tanto en sistemas recirculantes como de un solo paso.
- HIPOCLORITO SÓDICO: Se obtiene convenientemente por disolución de cloro elemental en una disolución de sosa acuosa. En disolución acuosa sólo es estable a pH básico. Al acidular en presencia de cloruro libera cloro elemental.
- MIRECIDE-DB/200: Producto formulado a base de una solución concentrada de 2,2-dibromo-3-nitrilopropionamida (DBNPA) altamente eficaz frente a microorganismos que se desarrollan en el agua de los circuitos de refrigeración,

resultando especialmente activo frente a bacterias formadoras de limos, bacterias anaerobias corrosivas y algas. Además mantienen su actividad en un amplio rango de pH. Lo más destacable es su gran eficacia frente al género *Legionella*, particularmente frente a la especie *Legionella pneumophila*, inhibiendo el crecimiento de este microorganismo patógeno.

1.3.3. Dosificaciones

Las dosificaciones efectuadas son:

- RESTIN 18/MP: 50 ppm sobre el volumen total del circuito a tratar.
- DISPERSENE-50: 50 ppm sobre el volumen total del circuito a tratar.
- HIPOCLORITO SÓDICO: la correspondiente para cumplir el procedimiento de limpieza y desinfección tal como se establece en el Anexo 4 del Real Decreto 865/2003.
- MIRECIDE-DB/200: 50-100 ppm sobre el volumen total del circuito.

1.3.4. Periodicidad

El programa de limpieza y desinfección se realizará dos veces al año tal como se indica en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.

Con **periodicidad semestral** se realizará:

- Limpieza y desinfección del sistema completo en instalaciones de funcionamiento no estacional

Con **periodicidad trimestral** se realizará:

- Análisis de Legionella del agua

Con **periodicidad mensual** se realizará:

- Análisis físico-químico y microbiológico de la calidad del agua. Se determinarán los siguientes parámetros: temperatura, pH, conductividad, turbidez, hierro total y nivel de bacteria totales. Se incluirán otros parámetros que puedan considerarse útiles para el control de la efectividad del programa de mantenimiento, como puede ser el nivel de productos de tratamiento.

Si se detectan cambios en la calidad del agua se procederá a aplicar las medidas correctoras adecuadas en cada caso.

Con **periodicidad diaria** se realizará:

- Análisis del nivel de biocida o cloro.

A continuación, se muestran los parámetros indicadores de la calidad del agua en torres de refrigeración, según el RD 865/2003:

Parámetros físico-químicos	Niveles
Turbidez	< 15 UNF ^(*)
Conductividad	⁽¹⁾
pH	6,5-9,0 ⁽²⁾
Fe total	< 2 mg/l
Nivel de biocida	Según especificaciones del fabricante

(1) Debe estar comprendida entre los límites que permitan la composición química del agua (dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, otros) de tal forma que no se produzcan fenómenos de incrustación y/o corrosión. El sistema de purga se debe automatizar en función a la conductividad máxima permitida en el sistema indicado en el programa de tratamientos del agua.

(2) Se valorará este parámetro a fin de ajustar la dosis de cloro a utilizar (UNE 100030-2001)0 de cualquier otro biocida.

(*) UNF Unidades Nefelométridas de formalina

En función de los análisis microbiológicos de Legionella, se detallan a continuación, las acciones a tomar para torres de refrigeración según el Real Decreto 865/2003:

Recuento de Legionella UFC(*)/l	Acción propuesta
> 100 < 1.000	Revisar el programa de mantenimiento y realizar las correcciones oportunas. Remuestreo a los 15 días.
> 1.000 < 10.000	<p>Se revisará el programa de mantenimiento, a fin de establecer acciones correctoras que disminuyan la concentración de Legionella.</p> <p>Limpieza y desinfección de acuerdo con el anexo 4b.</p> <p>Confirmar el recuento, a los 15 días. Si esta muestra es menor de 100 UFC/l, tomar una nueva muestra al cabo de un mes. Si el resultado de la segunda muestra es < 100 UFC/l continuar con el mantenimiento previsto.</p> <p>Si una de las dos muestras anteriores dan valores > 100 UFC/l, revisar el programa</p>

	de mantenimiento e introducir las reformas estructurales necesarias. Si supera las 1.000 UFC/l, proceder a realizar una limpieza y desinfección de acuerdo con el anexo 4c . Y realizar una nueva toma de muestras a los 15 días.
> 10.000	Parar el funcionamiento de la instalación, vaciar el sistema en su caso. Limpiar y realizar un tratamiento de choque de acuerdo con el anexo 4c , antes de reiniciar el servicio. Y realizar una nueva toma de muestras a los 15 días.

(*) UFC/l: Unidades Formadoras de Colonias por litro de agua analizada.

NOTA: Se anexan las hojas de seguridad de cada uno de los productos mencionados en los tratamientos.

Por último, una vez seguidos los pasos de este protocolo, se rellenará el modelo de certificado de limpieza y desinfección de la torre, según viene recogido en el Anexo 2 del Real Decreto 865/2003.

Certificado de limpieza y desinfección

Datos de la empresa contratada

Nombre:
Número de Registro:
Domicilio:
NIF:
Teléfono:
Fax:

Datos del contratante

Nombre:
Domicilio:
NIF:
Teléfono:
Fax:
Instalación tratada:
Instalación notificada a la Autoridad Competente: Sí No
Fecha de notificación

Productos utilizados

Nombre comercial:
Protocolo seguido:
En el caso de biocidas, número de Registro:
Otros productos, Presenta Ficha de datos de seguridad:
Dosis empleada:
Tiempo de actuación

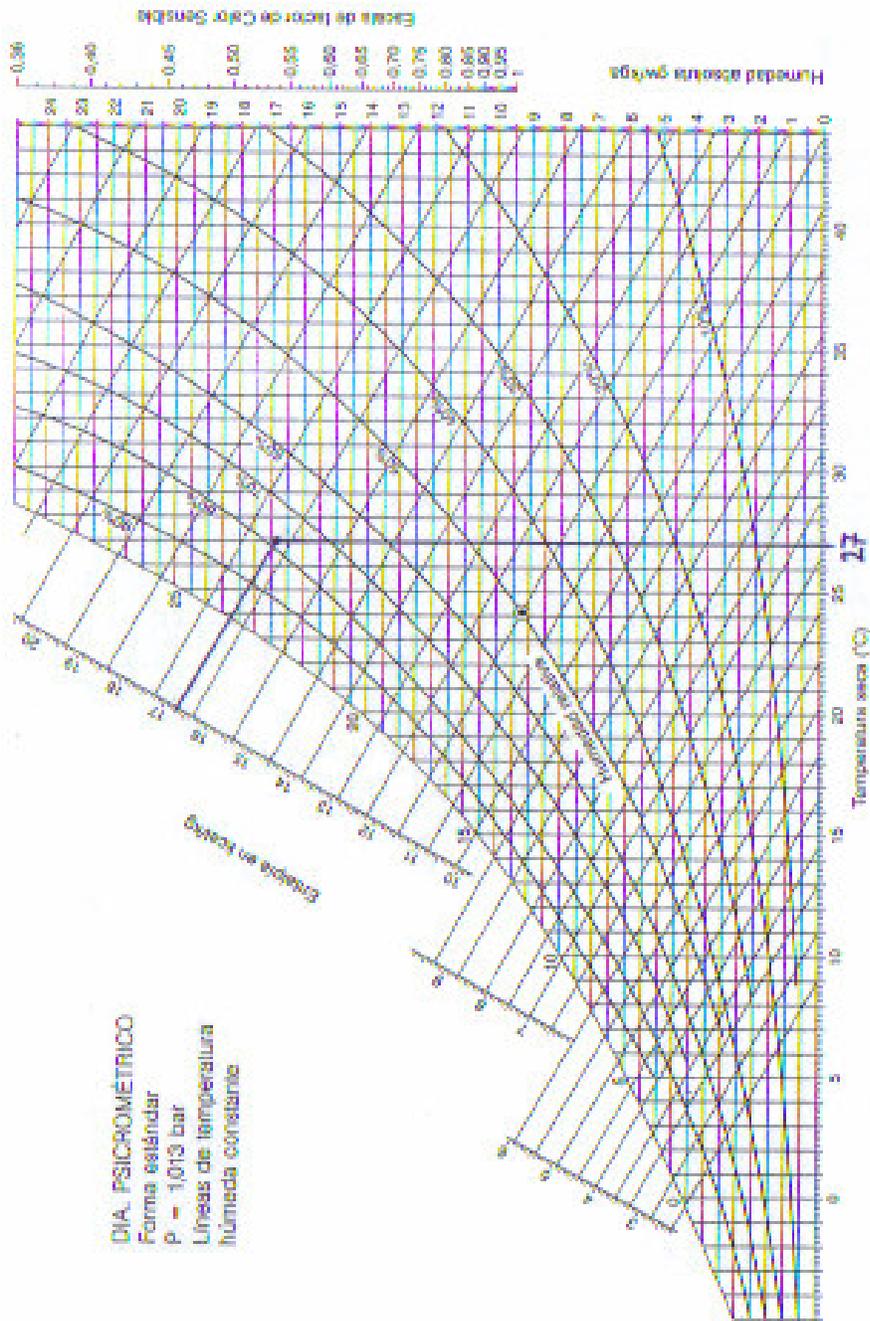
Responsable técnico

Nombre:
DNI:
Lugar y fecha de realización del curso:

Aplicador del tratamiento

Nombre:
DNI:
Lugar y fecha de realización del curso:
Fecha de realización y firma del responsable técnico y de la instalación:

ANEXO VI. CARTA PSICROMÉTRICA



ANEXO VII. ENTALPÍA DEL AIRE SATURADO

Temperatura (°C)	Volumen específico (m ³ /Kg _a)	Entalpía del aire saturado (KJ/Kg _a)
0,00	0,7785	9,480
1,00	0,7818	11,211
2,00	0,7850	12,989
3,00	0,7882	14,819
4,00	0,7915	16,704
5,00	0,7949	18,648
6,00	0,7982	20,653
7,00	0,8016	22,724
8,00	0,8050	24,863
9,00	0,8085	27,075
10,00	0,8120	29,365
11,00	0,8156	31,736
12,00	0,8192	34,194
13,00	0,8228	36,742
14,00	0,8266	39,386
15,00	0,8303	42,132
16,00	0,8341	44,984
17,00	0,8380	47,949
18,00	0,8420	51,033
19,00	0,8460	54,242
20,00	0,8501	57,584
21,00	0,8543	61,065
22,00	0,8586	64,693
23,00	0,8629	68,476
24,00	0,8674	72,422
25,00	0,8719	76,541
26,00	0,8766	80,841
27,00	0,8815	85,332
28,00	0,8863	90,025
29,00	0,8913	94,931
30,00	0,8964	100,061
31,00	0,9017	105,428
32,00	0,9071	111,044
33,00		

34,00	0,9127	116,923
35,00	0,9184	123,080
36,00	0,9243	129,529
37,00	0,9304	136,288
38,00	0,9367	143,374
39,00	0,9432	150,804
40,00	0,9500	158,599
41,00	0,9569	166,779
42,00	0,9641	175,366
43,00	0,9715	184,385
44,00	0,9793	193,860
45,00	0,9873	203,819
46,00	0,9956	214,290
47,00	1,0042	225,304
48,00	1,0132	236,896
49,00	1,0226	249,100
50,00	1,0324	261,955
	1,0426	275,492

ANEXO VIII. HOJAS DE SEGURIDAD

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

DISPERSENE-50

Fecha de emisión 05/09/03

1. IDENTIFICACION DE LA SUSTANCIA/PREPARADO Y DE LA EMPRESA

Denominación comercial del producto : DISPERSENE-50
Código del producto : 0066
Descripción : Preparado de acción dispersante.
Fabricante/Representante : LAMIRSA, Laboratorios Miret, S.A.
 C/ Hércules, 18
 Polígono Ind. Can Parellada
 08228 Terrassa
 Barcelona ESPAÑA
 Telf.93/7311261 93/7369660
 Fax. 93/7314280

Teléfonos de emergencia : 93/7361966, 93/7361972 LAMIRSA-Fábrica
 91/5620420 Servicio de Información Toxicológica

* 2. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

Materia activa : Copolímero de óxidos de alquileno.
Denominación química :
Nº CAS : 9003-11-6 Nº EINECS: --
Clasificación : Sin clasificación de peligrosidad.
Otros componentes :

* 3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

Este producto no está clasificado como peligroso para la salud. No obstante, deben tomarse las medidas habituales de higiene industrial para la manipulación de productos químicos. Puede ocasionar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Por inhalación : Trasladar al afectado al aire libre hasta recuperación. Mantenerlo en reposo y a temperatura cálida. Requerir atención médica si no se manifiesta mejora inmediata.

Por contacto con la piel : Despojarse de las ropas contaminadas. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón. De persistir síntomas de irritación acudir a un dermatólogo.

Por contacto con los ojos : Irrigar con abundante agua al menos durante 15 minutos manteniendo los párpados separados. Si las molestias remiten acudir a un oftalmólogo.

Por ingestión : Si el afectado no está inconsciente dar de beber 2-3 vasos de agua. No inducir al vómito. Requerir asistencia hospitalaria urgente.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

<u>Medios de extinción adecuados</u>	: El producto tiene muy bajo riesgo de inflamabilidad. En caso de declararse un accidente por fuego, utilizar agua pulverizada, polvo extintor, espuma o CO ₂ .
<u>Medios de extinción que no deben utilizarse</u>	: Chorro de agua a presión.
<u>Equipo de protección especial</u>	: Traje resistente al fuego o equipo apropiado a la emergencia declarada y equipo de respiración autónomo.
<u>Información adicional</u>	: Retirar los envases de la zona de peligro y mantenerlos fríos rociándolos con agua pulverizada si quedan expuestos al fuego. No inhalar los gases y vapores procedentes de la combustión o calentamiento de producto.

6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

<u>Protección para las personas</u>	: Guantes de PVC, gafas de seguridad y botas impermeables y antideslizantes. Los derrames pueden producir efectos resbaladizos.
<u>Protección para el medio ambiente</u>	: Evitar que el producto pueda alcanzar cauces de agua (superficiales o subterráneas).
<u>Limpieza / recogida</u>	: Evitar la expansión del derrame con barreras mecánicas. Recoger el producto con material absorbente inerte y envasarlo en recipientes herméticos para su posterior destrucción. Eliminar los posibles restos con abundante agua. No es necesario recoger estas aguas.

*** 7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO**

<u>Manipulación</u>	: Manipular el producto con gafas de seguridad y guantes protectores. Utilizar para el trasiego del producto equipos mecánicos o sistemas antideflagrantes en zonas con buena ventilación. Alejar cualquier foco de ignición o calor. Eliminar las cargas electrostáticas.
<u>Almacenamiento</u>	: Almacenar en lugares frescos, secos, ventilados, al abrigo del sol y lejos de fuentes de calor o ignición. Mantener el producto en los envases de origen, bien cerrados y alejados de materias incompatibles. Evitar temperaturas superiores a 40°C e inferiores a 0°C.

8. CONTROLES DE EXPOSICION/PROTECCION PERSONAL

<u>Protección vías respiratorias</u>	: No se requieren medidas específicas.
<u>Protección de las manos</u>	: Guantes de PVC.
<u>Protección de los ojos</u>	: Gafas de seguridad.
<u>Protección cutánea</u>	: Equipo apropiado contra las proyecciones o salpicaduras fortuitas del producto sobre la piel.
<u>Medidas generales de protección y de higiene</u>	: No comer, beber ni fumar durante la manipulación del producto. Conviene que los locales de trabajo dispongan de sistemas eficaces y antideflagrantes de ventilación, duchas de emergencia y fuentes lava-ojos.

*** 9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

<u>Aspecto</u>	: Líquido a 25°C.
<u>Color</u>	: < 100 (APHA).
<u>Olor</u>	: Característico.
<u>Punto de congelación</u>	: Inferior a -5°C.
<u>Punto de ebullición</u>	: ND
<u>Punto de inflamación</u>	: Aprox. 217°C (copa abierta).
<u>Límites de explosión</u>	
- inferior	: ND
- superior	: ND
<u>Temperatura de autoignición</u>	: 405°C
<u>Presión de vapor</u>	: < 10 (Pascals)
<u>Densidad (a 25°C)</u>	: Aprox. 1,00 g/mL
<u>Solubilidad en agua (a 25°C)</u>	: Dispersable.
<u>Solubilidad en otros disolventes</u>	: Soluble en etanol y tolueno.
<u>Valor de pH (a 25°C)</u>	: 5 - 8 (sol. acuosa 2,5%).
<u>Viscosidad (a 25°C)</u>	: Aprox. 350 cPs.

*** 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

<u>Estabilidad</u>	: El producto es estable en condiciones normales de presión y temperatura, no siendo previsible reacciones peligrosas.
<u>Condiciones a evitar</u>	: Chispas, llamas, focos de ignición o calor. Temperaturas inferiores a 0°C y superiores a 40°C.
<u>Materias a evitar</u>	: Ácidos y bases fuertes. Agentes oxidantes enérgicos.
<u>Productos de descomposición peligrosos</u>	: No son previsible productos peligrosos de descomposición.

*** 11. INFORMACION TOXICOLOGICA**

<u>Toxicidad aguda</u>	: LD ₅₀ (oral ratas): 3.800 mg/Kg
<u>Sensibilización</u>	: Los datos asequibles permiten no asociar al producto con efectos de sensibilización por contacto.
<u>Otra información e indicaciones adicionales</u>	: Ligeramente irritante para los ojos. Altas concentraciones de niebla pueden ser irritantes para las vías respiratorias altas.

12. INFORMACIONES ECOLOGICAS

<u>Comportamiento en el medio ambiente</u>	: El producto no es biodegradable, según el test de la OECD.
<u>Efectos ecotóxicos</u>	: CE ₅₀ <i>Salmo gairdneri</i> (96 h): 203 mg/L (estático) CL ₅₀ <i>Brachydanio rerio</i> (96 h): > 1.000 mg/L (estático) CE ₅₀ Bacterias aeróbicas : > 100 mg/L
<u>Indicaciones ecológicas adicionales</u>	: Se puede adelantar que el producto se elimina en pequeñas proporciones en los procesos de tratamiento biológico. DQO: 2.370 mg O ₂ /g. No bioacumulable

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

<u>Con relación al producto</u>	: Destruir en locales autorizados de acuerdo a las disposiciones reglamentarias vigentes.
<u>Con relación a los envases / embalajes</u>	: Igual tratamiento que para los residuos de producto.

Además, el usuario debe tener en cuenta la existencia de posibles reglamentaciones nacionales / locales al respecto.

14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

Producto no clasificado peligroso para el transporte terrestre, marítimo o aéreo.

*** 15. INFORMACION REGLAMENTARIA**

<u>Señalización según las directivas de la C.E.</u>	
Pictograma	: --
Frases R	: --
Frases S	: 24/25 Evítese el contacto con los ojos y la piel. : 37/39 Úsense guantes adecuados y protección para los ojos / la cara.
<u>Reglamentaciones nacionales</u>	

16. OTRAS INFORMACIONES

La información contenida en esta hoja de datos de seguridad es, a esta fecha, considerada como cierta y correcta. No obstante, los datos suministrados y las recomendaciones que se hacen no implican garantía. Puesto que las condiciones de uso están fuera del control de nuestra compañía, es responsabilidad del utilizador determinar las condiciones para un uso seguro de este producto. La información contenida en esta hoja de datos de seguridad no representa las especificaciones técnicas, para lo cual les rogamos se atengan a nuestra hoja de datos técnicos.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

RESTIN-18/MP

Fecha de emisión 25/08/03

1. IDENTIFICACION DE LA SUBSTANCIA/PREPARADO Y DE LA EMPRESA

Denominación comercial del producto : RESTIN-18/MP
Código del producto : 1484
Descripción : Preparado inhibidor de corrosión.
Fabricante/Representante : LAMIRSA, Laboratorios Miret, S.A.
C/ Hércules, 18
Polígono Ind. Can Parellada
08228 Terrassa
Barcelona ESPAÑA
Telf.93/7311261 93/7369660
Fax. 93/7314280

Teléfonos de emergencia : 93/7361966, 93/7361972 LAMIRSA - Fábrica
91/5620420 Servicio de Información Toxicológica

* 2. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

Componente peligroso : Acido clorhídrico (<5%, p/p)

Denominación química : Cloruro de hidrógeno
Identificación : N° CAS 7647-01-0 N°EINECS 231-595-7
Clasificación de peligrosidad : C: R34 Xi: R37N: R50/53
Otros componentes : Derivados inorgánicos de fósforo, molibdato sódico, agua.

3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

El producto no está clasificado como peligroso. No obstante, deben tomarse las medidas habituales de higiene industrial para la manipulación de productos químicos.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Por inhalación : Trasladar al afectado al aire libre hasta recuperación. De no remitir las molestias o presentarse dificultad respiratoria, requerir asistencia hospitalaria inmediata.

Por contacto con la piel : Despojarse de las ropas contaminadas. Lavar con abundante agua y jabón. De persistir irritación cutánea acudir a un dermatólogo.

Por contacto con los ojos : Lavar con abundante agua al menos durante 15 minutos. De persistir las molestias, acudir a un oftalmólogo.

Por ingestión : Si el afectado no está inconsciente, dar de beber agua abundante.. no inducir al vómito. Requerir atención médica urgente.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

<u>Medios de extinción adecuados</u>	: El producto no es inflamable. En caso de declararse un accidente por fuego, utilizar agua pulverizada, polvo extintor, espuma o CO ₂ .
<u>Medios de extinción que no deben utilizarse</u>	: Sin restricción.
<u>Equipo de protección especial</u>	: Traje completo resistente al fuego o equipo apropiado a la situación de emergencia declarada y equipo de respiración autónomo.
<u>Información adicional</u>	: Retirar los recipientes de contención de la zona de peligro, y mantenerlos fríos rociándolos con agua pulverizada, si quedan expuestos al fuego. No inhalar los vapores y gases procedentes del calentamiento o combustión del producto.

6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

<u>Protección para las personas</u>	: Utilizar guantes de PVC, mandil protector y gafas de seguridad.
<u>Protección para el medio ambiente</u>	: Evitar los derrames a alcantarillado público o conducciones de agua.
<u>Limpieza / recogida</u>	: Evitar la expansión del derrame con barreras mecánicas. Recoger con material absorbente y envasar en contenedores rotulados para eliminación posterior. Los posibles restos eliminarlos con abundante agua. No es necesario recoger esta agua.

7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

<u>Manipulación</u>	: Manejar con precaución y utilizar los equipos de trabajo habituales para el manejo de productos químicos. Utilizar guantes y gafas de seguridad.
<u>Almacenamiento</u>	: Almacenar en lugar seco, fresco, al abrigo del sol y lejos de fuentes de calor o ignición. Mantener el producto en los envases de origen bien cerrados y alejados de materias incompatibles.

8. CONTROLES DE EXPOSICION/PROTECCION PERSONAL

<u>Protección vías respiratorias</u>	: En condiciones normales de utilización no se requieren medidas
<u>Protección de las manos</u>	: Guantes de PVC
<u>Protección de los ojos</u>	: Gafas de seguridad.
<u>Protección cutánea</u>	: Protegerse adecuadamente contra posibles proyecciones o salpicaduras fortuitas del producto.
<u>Medidas generales de protección y de higiene</u>	: No comer, beber ni fumar durante la manipulación. Conviene que los locales de trabajo dispongan de sistemas eficaces de ventilación, duchas de seguridad y fuentes lava-ojos.

*** 9. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS**

<u>Aspecto</u>	: Líquido transparente o ligeramente opalescente.
<u>Color</u>	: Incoloro.

<u>Olor</u>	: ND
<u>Punto de fusión</u>	: Aprox. -2°C
<u>Punto de ebullición</u>	: ND
<u>Punto de inflamación</u>	: No inflamable
<u>Límites de explosión</u>	
- inferior	: NA
- superior	: NA
<u>Temperatura de ignición</u>	: NA
<u>Presión de vapor</u>	: ND
<u>Densidad (a 20°C)</u>	: 1,37 ± 0,05 gr/cm ³
<u>Solubilidad en agua (a 20°C)</u>	: Miscible en agua en todas proporciones.
<u>Solubilidad en otros disolventes</u>	: ND
<u>Valor pH (a 20°C)</u>	: 6,3-6,7
<u>Viscosidad (a 20°C)</u>	: <100 cps

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

<u>Reacciones peligrosas</u>	: El producto es estable en condiciones normales de presión y temperatura, no siendo previsibles reacciones peligrosas.
<u>Condiciones a evitar</u>	: Temperaturas inferiores a 0°C.
<u>Materias a evitar</u>	: Hierro, acero. Metales.
<u>Productos de descomposición peligrosos</u>	: Óxidos de fósforo.

11. INFORMACION TOXICOLOGICA

<u>Toxicidad aguda</u>	: LD ₅₀ > 2000 mg/Kg. (oral ratas)
<u>Sensibilización</u>	: Los datos asechables de los componentes no permiten asociar al producto con efectos de sensibilización por contacto.
<u>Otra información e indicaciones adicionales</u>	: Ligeramente irritante a los ojos.

* 12. INFORMACIONES ECOLOGICAS

<u>Comportamiento en el medio ambiente</u>	: Producto biodegradable.
<u>Efectos ecotóxicos</u> (Datos obtenidos por cálculo a partir de los componentes)	: CL ₅₀ peces: > 100 mg/L IC ₅₀ algas: > 100 mg/L CE ₅₀ <i>Daphnia magna</i> : > 100 mg/L
<u>Indicaciones ecológicas adicionales</u>	: No se espera que se bioacumule. Evitar que el producto alcance las corrientes de agua, tanto superficiales como subterráneas.

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

<u>Con relación al producto</u>	: Incinerar en locales autorizados y según las disposiciones reglamentarias vigentes.
<u>Con relación a los envases/embalajes</u>	: Incinerar en locales autorizados. Su reutilización es posible si se lavan convenientemente.

Además, el usuario debe tener en cuenta la existencia de posibles reglamentaciones nacionales/locales al respecto.

14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

No clasificado como peligroso para el transporte terrestre, marítimo o aéreo.

15. INFORMACION REGLAMENTARIA

Señalización según las directivas de la C.E.

Pictograma : --

Frases R : --

Frases S : 24/25 Evítese el contacto con los ojos y la piel
: 37/39 Úsense guantes adecuados y protección para los ojos / la cara.

Reglamentaciones nacionales

*** 16. OTRAS INFORMACIONES**

Textos de los Símbolos y Frases R:

C: Corrosivo
R-34: Provoca quemaduras.

La información contenida en esta hoja de datos de seguridad es, a esta fecha, considerada como cierta y correcta. No obstante, los datos suministrados y las recomendaciones que se hacen no implican garantía. Puesto que las condiciones de uso están fuera del control de nuestra compañía, es responsabilidad del utilizador determinar las condiciones para un uso seguro de este producto. La información contenida en esta hoja de datos de seguridad no representa las especificaciones técnicas, para lo cual les rogamos se atengan a nuestra hoja de datos técnicos.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

INCUS-CTR/40

Fecha de emisión: 09/09/03

1. IDENTIFICACION DE LA SUBSTANCIA/PREPARADO Y DE LA EMPRESA

Denominación comercial del producto : INCUS-CTR/40
Código del producto : 0285
Descripción : Inhibidor de incrustación para circuitos de refrigeración.
Fabricante/Representante : LAMIRSA, Laboratorios Miret, S.A.
C/ Hércules, 18
Polígono Ind. Can Parellada
08228 Terrassa
Barcelona ESPAÑA
Telf.93/7311261 93/7369660
Fax. 93/7314280

Teléfonos de emergencia : 93/7361966, 93/7361972 LAMIRSA-Fábrica
91/5620420 Servicio de Información Toxicológica

* 2. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

Componente peligroso : Poliacrilato sódico (15-20%,p/p).
Identificación: Polímero
Clasificación : Xi: R36/38, R53
Otros componentes : Derivados órgano fosfónicos, agua.

* 3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

Producto irritante para ojos y piel.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Por inhalación : Trasladar al afectado al aire libre manteniéndolo en reposo y a temperatura cálida hasta recuperación. De persistir dificultad respiratoria requerir atención hospitalaria inmediata.

Por contacto con la piel : Lavar la zona afectada con abundante agua clara y a continuación con agua y jabón. De persistir síntomas de irritación acudir a un dermatólogo.

Por contacto con los ojos : Irrigar con abundante agua al menos durante 15 minutos manteniendo los párpados separados. De persistir las molestias acudir a un oftalmólogo.

Por ingestión : Enjuagar la boca con abundante agua. No inducir al vómito. Requerir atención hospitalaria urgente.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

INCUS-CTR/40

Fecha de emisión: 09/09/03

1. IDENTIFICACION DE LA SUBSTANCIA/PREPARADO Y DE LA EMPRESA

Denominación comercial del producto : INCUS-CTR/40
Código del producto : 0285
Descripción : Inhibidor de incrustación para circuitos de refrigeración.
Fabricante/Representante : LAMIRSA, Laboratorios Miret, S.A.
C/ Hércules, 18
Polígono Ind. Can Parellada
08228 Terrassa
Barcelona ESPAÑA
Telf.93/7311261 93/7369660
Fax. 93/7314280

Teléfonos de emergencia : 93/7361966, 93/7361972 LAMIRSA-Fábrica
91/5620420 Servicio de Información Toxicológica

* 2. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

Componente peligroso : Poliacrilato sódico (15-20%,p/p).
Identificación: Polímero
Clasificación : Xi: R36/38, R53
Otros componentes : Derivados órgano fosfónicos, agua.

* 3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

Producto irritante para ojos y piel.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Por inhalación : Trasladar al afectado al aire libre manteniéndolo en reposo y a temperatura cálida hasta recuperación. De persistir dificultad respiratoria requerir atención hospitalaria inmediata.

Por contacto con la piel : Lavar la zona afectada con abundante agua clara y a continuación con agua y jabón. De persistir síntomas de irritación acudir a un dermatólogo.

Por contacto con los ojos : Irrigar con abundante agua al menos durante 15 minutos manteniendo los párpados separados. De persistir las molestias acudir a un oftalmólogo.

Por ingestión : Enjuagar la boca con abundante agua. No inducir al vómito. Requerir atención hospitalaria urgente.

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

<u>Medios de extinción adecuados</u>	: El producto no es inflamable. No obstante, en caso de declararse un accidente por fuego utilizar agua pulverizada, espuma, polvo extintor o CO ₂ .
<u>Medios de extinción que no deben utilizarse</u>	: Sin restricción.
<u>Equipo de protección especial</u>	: Traje completo resistente al fuego o equipo adecuado a la situación circundante creada y equipo de respiración autónomo.
<u>Información adicional</u>	: Retirar los recipientes de contención de la zona de peligro y mantenerlos fríos, rociándolos con agua pulverizada si quedan expuestos al fuego. Evitar la exposición a los humos y vapores procedentes del calentamiento o combustión del producto.

6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

<u>Protección para las personas</u>	: Delimitar la zona. Caso de contacto con el producto, despojarse de las ropas contaminadas y cambiarlas después de lavar la zona afectada con abundante agua. Utilizar gafas de seguridad, guantes de PVC y botas impermeables.
<u>Protección para el medio ambiente</u>	: No canalizar los derrames a colectores, alcantarillado público, fosas y conducciones de agua, superficiales o subterráneas.
<u>Limpieza/recogida</u>	: Recoger el producto mecánicamente con material absorbente inerte y envasarlo en contenedores apropiados para eliminación posterior. Lavar los posibles restos en la zona del derrame con agua abundante. No es necesario recoger estas aguas.

***7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO**

<u>Manipulación</u>	: Manejar con precaución y utilizar gafas de seguridad, guantes de PVC o nitrilo y botas impermeables.
<u>Almacenamiento</u>	: Almacenar en lugar seco, fresco, al abrigo del sol y lejos de fuentes de ignición o calor. Mantener el producto en los envases de origen bien cerrados y alejados de materias incompatibles. Evitar temperaturas inferiores a 0°C y superiores a 30°C.

8. CONTROLES DE EXPOSICION/PROTECCION PERSONAL

<u>Protección vías respiratorias</u>	: En condiciones normales de uso, no se requieren elementos específicos de protección.
<u>Protección de las manos</u>	: Guantes de PVC.
<u>Protección de los ojos</u>	: Gafas de seguridad o pantalla facial.
<u>Protección cutánea</u>	: Equipo adecuado en prevención a posibles salpicaduras o proyecciones fortuitas del producto sobre la piel.
<u>Medidas generales de protección y de higiene</u>	: No comer, beber ni fumar durante su manipulación. Conviene que los locales de trabajo dispongan de duchas de emergencia y fuentes lava-ojos.

*** 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

<u>Aspecto</u>	: Líquido.
<u>Color</u>	: Incoloro o ligeramente amarillento.
<u>Olor</u>	: Característico.
<u>Punto de fusión</u>	: Aprox. -5°C.
<u>Punto de ebullición</u>	: N.D.
<u>Punto de inflamación</u>	: N.A.
<u>Límites de explosión</u>	
- inferior	: N.A.
- superior	: N.A.
<u>Temperatura de ignición</u>	: N.A.
<u>Presión de vapor</u>	: N.D.
<u>Densidad (a 20°C)</u>	: Aprox. 1,13 g/cm ³
<u>Solubilidad en agua (a 20°C)</u>	: Miscible en agua en todas proporciones.
<u>Solubilidad en otros disolventes</u>	: N.D.
<u>Valor de pH (a 20°C)</u>	: 2,1-3,1 (sol. acuosa 10%).
<u>Viscosidad (a 20°C)</u>	: Inf. a 100 cPs
<u>Otros datos</u>	:

*** 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

<u>Estabilidad</u>	: El producto es estable en condiciones normales de presión y temperatura no siendo previsible reacciones peligrosas.
<u>Condiciones a evitar</u>	: Temperaturas inferiores a 0°C y superiores a 30°C.
<u>Materias a evitar</u>	: Alcalis concentrados. Oxidantes energéticos.
<u>Productos de descomposición peligrosos</u>	: Oxidos de carbono y de fósforo.

*** 11. INFORMACION TOXICOLÓGICA**

<u>Toxicidad aguda</u>	: LD ₅₀ (oral ratas): > 2.000 mg/Kg
<u>Sensibilización</u>	: Los datos asequibles de los componentes del preparado, permiten no asociar al producto con riesgos potenciales de sensibilización de la piel por contacto.
<u>Otra información e indicaciones adicionales</u>	: Irritante para ojos y piel.

*** 12. INFORMACIONES ECOLÓGICAS**

<u>Comportamiento en el medio ambiente</u>	: El polímero acrílico no es biodegradable.
<u>Efectos ecotóxicos</u> (Datos obtenidos por cálculo a partir de los componentes)	: LC ₅₀ peces: > 100 mg/Kg EC ₅₀ daphnias: > 100 mg/Kg IC ₅₀ algas: > 100 mg/Kg
<u>Indicaciones ecológicas adicionales</u>	: Los vertidos accidentales incontrolados y masivos pueden afectar negativamente al ecosistema a causa de su pH.

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

Con relación al producto : Debe eliminarse o tratarse adecuadamente según las disposiciones reglamentarias vigentes.

Con relación a los envases/embalajes : Convenientemente lavados, pueden ser reutilizados.

Además, el usuario debe tener en cuenta la existencia de posibles reglamentaciones nacionales/locales al respecto.

*** 14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE**

Nº ONU : 1760 (Líquido corrosivo, n.e.p.) Contiene poliacrilato sódico

Terrestre (ADR)Marítimo (IMDG)Aéreo (IATA)

Nº identificación de peligro : 80
Etiquetas : 8
Clase : 8
Código de clasificación : C 9
Grupo de embalaje : III

No clasificado

Clase: 8
Riesgo secundario: --
Etiquetas: Corrosivo
Grupo de embalaje: III
Instrucciones:
Aeronaves pasajeros:
818(5L), Y818 (1L)
Aeronaves carga:
820 (60L)
CRE: 8L

*** 15. INFORMACION REGLAMENTARIA**

Señalización según las directivas de la C.E.

Pictograma : Xi: Irritante Contiene poliacrilato sódico

Frases R : 36/38: Irrita los ojos y la piel.

Frases S : 20/21 No comer, ni beber, ni fumar durante su utilización.
: 24/25 Evítense el contacto con los ojos y la piel.
: 36/37/39 Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos / la cara.

Reglamentaciones nacionales

*** 16. OTRAS INFORMACIONES**

Texto Frases R:

R-53: Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

La información contenida en esta hoja de datos de seguridad es, a esta fecha, considerada como cierta y correcta. No obstante, los datos suministrados y las recomendaciones que se hacen no implican garantía. Puesto que las condiciones de uso están fuera del control de nuestra compañía, es responsabilidad del utilizador determinar las condiciones para un uso seguro de este producto. La información contenida en esta hoja de datos de seguridad no representa las especificaciones técnicas, para lo cual les rogamos se atengan a nuestra hoja de datos técnicos.

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

MIRECIDE-DB/200

Fecha de emisión: 22/05/2002

1. IDENTIFICACION DE LA SUBSTANCIA/PREPARADO Y DE LA EMPRESA

Denominación comercial del producto : MIRECIDE-DB/200
Código del producto : 1882
Descripción : Preparado biocida.
Nº Registro MISACO : 02-100-02608
Fabricante/Representante : LAMIRSA, Laboratorios Miret, S.A.
 C/ Hércules, 18
 Polígono Ind. Can Parellada
 08228 Les Fonts de Terrassa
 Barcelona ESPAÑA
 Telf.93/7311261 93/7369660
 Fax. 93/7314280

Teléfonos de emergencia : 93/7361966 93/7361972 LAMIRSA-Fábrica
 91/5620420 Servicio de Información Toxicológica

2. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

Materia activa : Dibromonitripropionamida.

Denominación química : 2,2-dibromo-3-nitripropionamida, 2,2-dibromo-2-cianoacetamida.
Sinónimos : DBNPA.
Concentración (% p/p) : 20
Identificación : Nº CAS 10222-01-2 Nº EINECS 233-539-7
Clasificación : T: R23 Xn: R22 Xi: R38-41 R43 N: R50/53

Otros componentes : Dietilenglicol (80 %, p/p; Xn: R22).

3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

El preparado es nocivo por ingestión e inhalación. Irrita la piel. Riesgo de lesiones oculares graves. Posibilidad de sensibilización por contacto con la piel. Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Síntomas de intoxicación: Irritación de ojos, piel, mucosas, tracto respiratorio y gastrointestinal con náuseas, vómitos, diarrea. Hipotensión, colapso, convulsiones, coma, edema pulmonar, acidosis metabólica, sabor metálico. Depresión del SNC.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Por inhalación : Retirar al afectado de la zona de exposición y trasladarlo al aire libre hasta recuperación. Mantenerla en reposo. Mantener la temperatura corporal. Controle la respiración. Si fuera necesario, aplicar respiración artificial. De persistir dificultad respiratoria requerir asistencia médica.

<u>Por contacto con la piel</u>	: Quitar las ropas manchadas o salpicadas, incluyendo el calzado. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, sin frotar. Si parecen síntomas de irritación acudir a un dermatólogo.
<u>Por contacto con los ojos</u>	: Irrigar con abundante agua al menos durante 15 minutos manteniendo los párpados separados. De persistir las molestias acudir a un oftalmólogo.
<u>Por ingestión</u>	: Si la persona está inconsciente, acuéstela de lado con la cabeza más baja que el resto del cuerpo y las rodillas semiflexionadas. Conservar la temperatura corporal. No administrar nada por vía oral. No inducir al vómito y requerir asistencia hospitalaria urgente. Mostrar al médico si es posible la etiqueta o el envase.
<u>Recomendaciones para el médico</u>	: Tratamiento sintomático. En caso de ingestión, valorar la realización de endoscopia. En ausencia de lesiones, se puede administrar carbón activo y catártico salino. En caso de convulsiones, administrar Diazepam

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

<u>Medios de extinción adecuados</u>	: El producto tiene un bajo riesgo de inflamabilidad. En caso de declararse un accidente por fuego, utilizar agua pulverizada, polvo extintor, espuma, CO ₂ o cualquier otro medio asequible extintor.
<u>Medios de extinción que no deben utilizarse</u>	: Chorro de agua.
<u>Equipo de protección especial</u>	: Traje completo resistente al fuego o equipo apropiado por la situación circundante declarada y equipo de respiración autónomo.
<u>Información adicional</u>	: Alejar el producto de la zona de riesgo y mantener fríos los envases pulverizándolos con agua si quedan expuestos al fuego. Evitar la inhalación de los gases y vapores procedentes del calentamiento o combustión del producto.

6. MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

<u>Protección para las personas</u>	: Evitar el contacto con piel, ojos y ropas. Utilizar gafas de seguridad, guantes protectores y botas impermeables. En prevención a concentraciones ambientales elevadas del producto, utilizar máscara facial con filtro específico para vapor orgánico.
<u>Protección para el medio ambiente</u>	: Evitar derrames en colectores, fosas y conducciones de agua superficiales o subterráneas. El producto es perjudicial para la fauna acuática.
<u>Limpieza/recogida</u>	: Sobre el producto derramado, verter solución de bicarbonato sódico al 10% aprox., esperar 30 min. y recoger con material absorbente inerte envasando en recipientes apropiados para su posterior eliminación controlada. Eliminar los posibles restos en la zona del derrame con abundante agua.

7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

<u>Manipulación</u>	: Llevar equipo de protección adecuado. Utilizar gafas de seguridad y guantes protectores. Evitese todo contacto del producto con ojos y piel. Lavarse abundantemente con agua y jabón al terminar la manipulación. Conviene que los locales de trabajo estén dotados de sistemas de ventilación eficaces y antideflagrantes, duchas de emergencia y fuentes lava-ojos.
<u>Almacenamiento</u>	: Almacenar en lugar seco, ventilado, al abrigo del sol y lejos de fuentes de ignición o calor. Mantener el producto en los envases de origen bien cerrados alejados de materias incompatibles. Evitar temperaturas superiores a 40°C.

8. CONTROLES DE EXPOSICION/PROTECCION PERSONAL

<u>Protección vías respiratorias</u>	: En condiciones normales de uso y a temperatura ambiente no se requieren medidas específicas. Si las condiciones de trabajo lo requieren o en prevención, utilizar máscara facial con cartucho para vapor orgánico, especialmente en los casos de falta de ventilación (TLV dietilenglicol = 100 mg/m ³ , OEL).
<u>Protección de las manos</u>	: Guantes de PVC.
<u>Protección de los ojos</u>	: Gafas de seguridad.
<u>Protección cutánea</u>	: Equipo apropiado que garantice el aislamiento del individuo a posibles salpicaduras o proyecciones fortuitas del producto.
<u>Medidas generales de protección y de higiene</u>	: No beber, ni comer ni fumar durante su manipulación. Cambiar la indumentaria de trabajo después de la manipulación.

9. PROPIEDADES FISICAS Y QUÍMICAS

<u>Aspecto</u>	: Líquido.
<u>Color</u>	: Incoloro o ligeramente amarillo.
<u>Olor</u>	: A desinfectante
<u>Punto de congelación</u>	: Inferior a -15°C
<u>Punto de ebullición</u>	: 148-149°C (Inicia descomposición a 70°C)
<u>Punto de inflamación</u>	: 145°C (ASTM D93/94)
<u>Límites de explosión</u>	
- inferior	: ND
- superior	: ND
<u>Temperatura de ignición</u>	: ND
<u>Presión de vapor</u>	: ND
<u>Densidad (a 20°C)</u>	: Aprox. 1,25 gr/cm ³
<u>Solubilidad en agua (a 20°C)</u>	: Soluble
<u>Solubilidad en otros disolventes</u>	: ND
<u>Valor de pH (a 20°C)</u>	: 4-6 (solución acuosa 1% p/p)
<u>Viscosidad (20°C)</u>	: Inferior a 200 cPs (RV 2.100)
<u>Otros datos</u>	:

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

<u>Estabilidad</u>	: El producto es estable en condiciones normales de presión y temperatura, no siendo previsibles reacciones peligrosas.
<u>Condiciones a evitar</u>	: Calor, llamas, chispas y cualquier fuente posible de ignición.
<u>Materias a evitar</u>	: Ácidos y bases fuertes. Agentes oxidantes y reductores energéticos.
<u>Productos de descomposición peligrosos</u>	: Se forman gases a partir de 120°C. La descomposición térmica del producto puede originar ácido bromhídrico, bromuros de metilo y etilo, ácido cianhídrico, óxidos de carbono y óxidos de nitrógeno.

11. INFORMACION TOXICOLOGICA

<u>Toxicidad aguda</u>	: LD ₅₀ oral en ratas: 1.100 mg/Kg (calculado).
<u>Sensibilización</u>	: Los datos asequibles de los componentes y su contribución en el preparado, permiten asociar al producto con efectos de sensibilización por contacto con la piel.
<u>Otra información e indicaciones adicionales</u>	: No mutagénico según el test de AMES (componente activo) No clasificado como cancerígeno, según el IARC

12. INFORMACIONES ECOLÓGICAS

<u>Comportamiento en el medio ambiente (ingrediente activo)</u>	: Peligroso para la vida acuática a concentraciones mayores de 0,1 mg/L
<u>Efectos ecotóxicos (ingrediente activo)</u>	: CL ₅₀ <i>Salmo gairdneri</i> (96 h): 2,3 mg/L CE ₅₀ <i>Daphnia magna</i> (48 h): 0,86 mg/L
<u>Indicaciones ecológicas adicionales (ingrediente activo)</u>	: Log pow = 0,8 a pH 7

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

<u>Con relación al producto</u>	: El producto debe ser previamente desactivado (Ver apartado 6) y diluido antes de verterlo al alcantarillado o estación depuradora. Alternativamente incineración en locales autorizados de acuerdo a la reglamentación en vigor.
<u>Con relación a los envases/embalajes</u>	: Pueden ser reutilizados si se lavan convenientemente después de desactivados los residuos contenidos.

Además, el usuario debe tener en cuenta la existencia de posibles reglamentaciones nacionales/locales al respecto.

14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

Producto considerado como no peligroso para el transporte terrestre, marítimo o aéreo.

15. INFORMACION REGLAMENTARIASeñalización según las directivas de la C.E.

Pictograma	: Xn	Contiene 2,2-dibromo-3-nitropropionamida
Frases R	: 20/22:	Nocivo por inhalación y por ingestión
	38:	Irrita la piel
	41:	Riesgo de lesiones oculares graves
	43:	Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.
Frases S	: 2:	Manténgase fuera del alcance de los niños.
	13:	Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.
	26:	En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua.
	36/37/39:	Úsese indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara.
	45:	En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstrele la etiqueta)

Reglamentaciones nacionales**16. OTRAS INFORMACIONES**

La información contenida en esta hoja de datos de seguridad es, a esta fecha, considerada como cierta y correcta. No obstante, los datos suministrados y las recomendaciones que se hacen no implican garantía. Puesto que las condiciones de uso están fuera del control de nuestra compañía, es responsabilidad del utilizador determinar las condiciones para un uso seguro de este producto. La información contenida en esta hoja de datos de seguridad no representa las especificaciones técnicas, para lo cual les rogamos se atengan a nuestra hoja de datos técnicos.

p-XILENO	HOJA DE SEGURIDAD	ICSC: 0086	Nº 76
-----------------	--------------------------	-----------------------	------------------

<p>p-XILENO</p> <p>1,4-Dimetilbenceno p-Xilol $C_6H_4(CH_3)_2/C_8H_{10}$</p> <p>Masa Molecular: 106.2 Nº CAS: 106-42-3 Nº RTECS: ZE2625000 Nº UN: 1307 Nº ICSC: 0086 Nº CE: 601-022-00-9</p>	
--	---

TIPOS DE PELIGRO/EXPOSICION	PELIGROS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Por encima de 27°C: pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 27°C: sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡HIGIENE ESTRICTA! EVITAR LA EXPOSICION DE MUJERES (EMBARAZADAS)!	
● INHALACION	Vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicada y proporcionar asistencia médica.
● PIEL	Piel seca, enrojecimiento.	Guantes protectores	Quitar las ropas contaminadas, aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
● OJOS	Enrojecimiento, dolor.	Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si

			puede hacerse con facilidad), y proporcionar asistencia médica.
● INGESTION	Sensación de quemazón, dolor abdominal (para mayor información véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca, dar a beber una papilla de carbón activado y agua, NO provocar el vómito y proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes precintables, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.	A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	símbolo Xn R: 10-20/21-38 S: (2-)25 Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II/III CE: 	

HOJA DE SEGURIDAD

p-XILENO

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO: ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.	RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUÍMICOS Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, tales como el ácido nítrico.	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita los ojos. La exposición por encima del LEL puede producir depresión del sistema nervioso central, pérdida del conocimiento y muerte.
	LIMITES DE EXPOSICIÓN TLV (como TWA): 100 ppm; 434 mg/m ³ (ACGIH 1995-1996). TLV (como STEL): 150 ppm; 651 mg/m ³ (ACGIH 1995-1996). MAK: 100 ppm; 440 mg/m ³ (1996).	EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a dificultades para mantener la atención. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 138°C Punto de fusión: 13°C Densidad relativa (agua = 1): 0.86 Solubilidad en agua: Ninguna Presión de vapor, kPa a 20°C: 0.9 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.7	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.02 Punto de inflamación: 27°C (c.c.) Temperatura de autoignición: 528°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 1.1-7.0 Coeficiente de reparto como log Pow: 3.15
DATOS AMBIENTALES	Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención a los peces y crustáceos.	



NOTAS

Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Aplicar también las recomendaciones de esta ficha a xileno de grado técnico. Consultar también la ficha del m-xileno y del o-xileno.

FISQ: 4-199 p-XILENO

ACIDO TEREFTALICO

ICSC: 0330

			
ACIDO TEREFTALICO $C_8H_6O_4/C_6H_4(COOH)_2$ Masa molecular: 166.1			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar las llamas.	Polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las partículas finamente dispersas forman mezclas explosivas en el aire.	Evitar el depósito del polvo: sistema cerrado, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión del polvo.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICION			
• INHALACION	Tos.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
• PIEL	Enrojecimiento.	Guantes protectores.	Quitar las ropas contaminadas y aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
• OJOS	Enrojecimiento.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto, si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.
• INGESTION		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente, recoger cuidadosamente el residuo y trasladarlo a continuación a un lugar seguro. (partículas nocivas).	Separado de oxidantes fuertes.		

ACIDO TEREFTALICO**ICSC: 0330**

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO; ASPECTO Polvo cristalino, blanco.</p> <p>PELIGROS FISICOS Es posible la explosión del polvo si se encuentra mezclado con el aire en forma pulverulenta o granular.</p> <p>PELIGROS QUIMICOS Reacciona violentamente con oxidantes fuertes.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION TLV no establecido.</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración molesta de partículas en el aire cuando se dispersa.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia irrita los ojos y la piel.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</p>
PROPIEDADES FISICAS	<p>Punto de sublimación: 402°C Densidad relativa (agua = 1): 1.51 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0.28 Presión de vapor, Pa a 20°C: <1</p>	<p>Punto de inflamación: 260°C Temperatura de autoignición: 496°C Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.96</p>

ANEXO IX. DESINFECCIÓN TRAS LA APARICIÓN DE CASOS

Para la realización de las tareas que se detallan a continuación, es necesario tomar las siguientes precauciones previas:

- ↔ Se deberán desconectar los ventiladores durante la circulación del agua y, si es posible, se cerrarán las aberturas de la torre para evitar salida de aerosoles.
- ↔ Los operarios observarán las medidas de seguridad adecuadas, como utilización de mascarillas protectoras, prendas impermeables y protecciones adecuadas al riesgo biológico y químico.

La desinfección se realizará de la forma siguiente:

- ↔ Cloración del agua del sistema, al menos 50 ppm de cloro libre residual y adición de biodispersantes capaces de actuar sobre las biopelículas y de anticorrosivos compatibles con el cloro y el biodispersante, en cantidad adecuada. Este nivel de cloro se deberá mantener durante 3 horas mientras se está recirculando agua a través del sistema. Cada hora se analizará el cloro y se repondrán las cantidades perdidas.
- ↔ Pasadas las 3 horas, adicionar tiosulfato sódico en cantidad suficiente para neutralizar el cloro y proceder a su recirculación de igual forma que en el punto anterior. La cantidad de tiosulfato a añadir, expresada en kg se calcula multiplicando $0,005 \times m_3$ de agua a neutralizar \times número de ppm de cloro que tiene en ese momento el agua a neutralizar.
- ↔ Vaciar el sistema y aclarar.
- ↔ Proceder a realizar el mantenimiento del dispositivo y a reparar todas las averías detectadas.
- ↔ Las piezas desmontables serán limpiadas y desinfectadas. La desinfección, si se puede se hará por inmersión en agua clorada a 20 ppm al menos durante 20 minutos.
- ↔ Las piezas no desmontables se limpiarán y desinfectarán pulverizándolas con agua clorada a 20 ppm al menos durante 20 minutos.
- ↔ Los puntos de difícil acceso se limpiarán y desinfectarán con agua clorada a 20 ppm mediante pulverizador manual de boquilla larga a una presión de 3 atmósferas.
- ↔ En caso de que el equipo, por sus dimensiones o diseño no admita la pulverización, la limpieza y desinfección se realizará mediante nebulización

eléctrica, utilizando un desinfectante adecuado para este fin (la nebulización eléctrica no se puede realizar con cloro).

Mientras se realizan las operaciones a que se refieren los tres últimos apartados se taparán con material impermeable las salidas de los equipos para evitar las salidas de aerosoles.

↔ Una vez que haya procedido al mantenimiento mecánico del equipo se procederá a su

limpieza final. Se utilizará para ello agua a presión con detergentes, permaneciendo selladas las aberturas de la torre para evitar los aerosoles.

↔ Tras un buen aclarado, se introduce en el flujo de agua cantidad de cloro suficiente para alcanzar las 20 ppm, añadiendo anticorrosivos compatibles con el cloro, en cantidad adecuada. Con los ventiladores apagados se pondrá en funcionamiento el sistema de recirculación, controlándose cada 30 minutos los niveles de cloro y reponiendo la cantidad perdida. Esta recirculación se hará durante 2 horas.

↔ Pasadas las 2 horas, adicionar tiosulfato sódico en cantidad suficiente (el cálculo se realiza de la forma anteriormente señalada) para neutralizar el cloro y se procederá a su recirculación de igual forma que en el punto anterior.

↔ Vaciar el sistema, aclarar y añadir el desinfectante de mantenimiento. Cuando este desinfectante sea cloro, se mantendrán unos niveles de cloro residual libre de 2 ppm mediante un dispositivo en continuo, añadiendo el anticorrosivo, compatible con el cloro, en cantidad adecuada.

Los desinfectantes a usar serán aquellos que registre el Ministerio de Sanidad y Consumo en cumplimiento de la Directiva por la que se aprueban los Biocidas.

Protocolo de inspección de torres de refrigeración

(Este formulario será cumplimentado por los inspectores sanitarios de acuerdo con las indicaciones que se contienen en la guía de cumplimentación, al final del Anexo)

(Se cumplimentará un protocolo por cada circuito (1))

Identificación:

Tipo de establecimiento:

Nombre del establecimiento:

Dirección:

Municipio:

Teléfono: Fax:

Tipo instalación (2): Torre de refrigeración nº

Condensador evaporativo nº

Humectador nº

Datos técnicos (3): Marca : Modelo:

Potencia del ventilador (Kw, CV):

Año instalación :

Captación agua (4): Red

Pozo

Aguas superficiales

Existe depósito de agua previo a la instalación (5): SI NO

Existe depósito intermedio en el circuito de recirculación de agua (6): SI
 NO

Régimen (7) (opciones excluyentes): Continuo (8) (todas las semanas, al menos, un día)

Estacional (9) (exclusivamente aire acondicionado)

Intermitente (10) (periódico, con paradas de más de una semana)

Irregular (11)

Descríbase el régimen (12):

Ubicación (13)

Núcleo urbano (14): SI NO

Salida aerosoles (15) (respuestas no excluyentes):

A vía pública o zona de paso (16)

A menos de 2 m. de altura sobre elementos a proteger (personas, ventanas o tomas de aire) situadas en un radio de 10 metros en horizontal

↔ Torre utilizada en un centro sanitario, residencia geriátrica, centro de inmunodeprimidos, o ubicada en su proximidad (a menos de 100 m. en horizontal)

↔ Sin riesgo aparente

Se encuentra en un lugar accesible (17): SI NO

Requisitos estructurales

Materiales adecuados (18): SI NO

Interior accesible (19): SI NO

Drenaje en bandeja (20): SI NO

Tomas de aire protegidas (21): SI NO NP

Dispositivo de toma de muestras (22): SI NO

Separador de gotas (23): SI NO NP

Estado general de conservación de la instalación aceptable (24): SI NO

Mantenimiento

Materiales en buen estado (25) (sin corrosión, incrustaciones^{1/4}) SI NO

Agua en buen estado (26) (sin algas, lodos^{1/4}) SI NO

Cumplimenta Registro de Mantenimiento y Desinfección (27) SI NO

Fecha de la última limpieza (28):

Realizada por: Propia empresa

Empresa contratada. Nombre:

Desinfección continua de la instalación (29):

Empresa responsable: Propia empresa

Empresa contratada. Nombre:

Desinfectantes: Nombre y periodicidad de uso:

Sistema de dosificación: Manual Semiautomático: Bomba dosificadora sin sonda

Pastillas Automático: Bomba dosificadora con sonda

En caso de desinfectante registrado ¿está registrada la empresa que lo aplica? SI NO

NO

Para el desinfectante, ¿existe documento con las especificaciones del fabricante?:

(dosis y frecuencia) SI NO

Otros productos (30): nombre, acción y periodicidad de uso:

Etiquetado correcto de todos los productos químicos (31): SI NO

Especificar deficiencias:

Tienen fichas de seguridad de todos los productos (32): ~~SI~~ ~~NO~~

Detallar:

Parámetros Analíticos

Temperatura (33) pH(34)

En caso de desinfección con cloro, cloro residual libre: ppm (35).

Nombre del inspector, fecha y firma:

Guía de cumplimentación del protocolo de torres de refrigeración

(Técnicamente denominados aparatos de transferencia de masa de agua en corriente de aire y aparatos de humectación).

(1) Se cumplimentará un protocolo por cada circuito, denominándose como tal:

~~En~~ torres de refrigeración al conjunto de éstas que enfrían el agua de un solo circuito de refrigeración.

~~En~~ aparatos de enfriamiento evaporativo, al conjunto de éstos conectados a una toma de entrada de agua común, aunque la recirculación en cada aparato sea independiente.

Por lo general, los dispositivos del mismo circuito son iguales entre sí. En caso contrario se reseñarán en el protocolo sus distintas características.

(2) **Tipo de instalación:** Se registrará el número de aparatos por circuito.

(3) **Datos técnicos:** Se consignará toda la información de que se pueda disponer.

(4) **Captación agua: Aguas superficiales** se refiere a la de ríos, embalses, etc. En caso de que se utilice agua de distintas procedencias, se señalará más de una opción.

(5) **Existe depósito de agua previo a la instalación:** Se refiere a un depósito anterior a la instalación que reciba el agua directamente de la red o de la captación.

(6) **Existe depósito intermedio en el circuito de recirculación de agua:** Se refiere a un depósito integrado en el circuito, distinto de la bandeja de la torre o del dispositivo.

- (7) **Régimen:** sólo se señalará una de las opciones siguientes:
- (8) **Continuo:** Si la instalación funciona todas las semanas del año, al menos un día a la semana, excepto vacaciones.
- (9) **Estacional:** Si la instalación funciona para refrigeración ambiental, por lo que funciona preferentemente durante los meses de verano y sólo esporádicamente en el invierno.
- (10) **Intermitente:** Si la instalación funciona con periodicidad pero tiene paradas de más de una semana de duración, excepto vacaciones.
- (11) **Irregular:** No hay ninguna periodicidad en el funcionamiento de la instalación.
- (12) **Describase el régimen:** Aquí se reflejará toda la información de que se disponga sobre los periodos de funcionamiento de la instalación.
- (13) **Ubicación:** En ningún caso podrán realizar descargas directas de aerosoles a zonas públicas.
- (14) **Núcleo urbano:** Se considera que la instalación está en núcleo urbano cuando haya a menos de 100 metros zonas habitadas: edificios, zonas de recreo, etc. Las industrias comprendidas en este radio no se consideran zona habitada.
- (15) **Salida aerosoles:** Las instalaciones se ubicarán preferentemente en la cubierta del edificio siempre que esta sea de fácil acceso y alejadas de elementos de riesgo como ventanas y tomas de aire de sistemas de acondicionamiento de éste.
- (16) **Zona de paso:** Se considera como tal el lugar por el que deambulan personas frecuentemente, independientemente de que sea de propiedad pública o privada. Se considera que la torre emite aerosoles a esta zona si estando a menos de 10 m. en distancia horizontal, los nebuliza a menos de 2 m. de altura sobre personas o a más altura pero con poca dispersión por las condiciones meteorológicas o de ubicación (soportal, etc.).
- (17) **Se encuentra en un lugar accesible:** Significa que se puede llegar con facilidad y sin riesgo al dispositivo (no hay que pasar por viviendas particulares ajenas a la actividad, no está situado en tejados de difícil acceso o con riesgo de caída, etc), para realizar las operaciones de limpieza y mantenimiento.

Requisitos estructurales:

- (18) **Materiales adecuados:** Materiales resistentes a la acción mecánica y a los productos químicos empleados en su limpieza. Se evitará en lo posible el

empleo de materiales orgánicos, especialmente aquellos a base de celulosa (entramado de madera como relleno de la torre, serrín, etc.). Serán además de fácil limpieza, por lo que

no se aconsejan el hormigón y la uralita que, en su caso, se recubrirán con pintura plástica.

En aparatos de enfriamiento evaporativo y humidificadores no son infrecuentes paneles a base de celulosa. En estos casos se recomendará que dichos paneles sean desechables.

(19) **Interior accesible:** Se refiere a que se pueda abrir la instalación fácilmente para su limpieza, quitando rejillas, ojos de buey o algún elemento similar.

(20) **Drenaje en bandeja:** En el punto más bajo de las bandejas o depósitos habrá un desagüe de diámetro adecuado al volumen de agua a evacuar.

(21) **Tomas de aire protegidas:** Con el fin de reducir la entrada de suciedad al interior del equipo. Se considerará que están protegidas cuando:

↔ No falten elementos, ni estén rotos: lamas, rejillas. etc.

↔ En el agua del interior no haya presencia de elementos extraños, hojas, pájaros, etc.

Se marcará No Procede (NP) en caso de aparatos de enfriamiento evaporativo y humectadores.

(22) **Dispositivo de toma de muestras:** Puede ser cualquier grifo, ojo de buey u orificio colocado en lugar accesible y de fácil apertura y cierre manual sin necesidad del empleo de herramientas, para la recogida de la muestra de agua en circulación con el tomamuestras.

(23) **Separador de gotas:** Cuando éste no exista, en las proximidades de la torre cae una fina lluvia continua. Se puede observar su estado desde arriba o con espejo extensible.

Se marcará No Procede (NP) en caso de aparatos de enfriamiento evaporativo y humectadores.

(24) **Estado general de conservación de la instalación aceptable:** El NO supone que el estado es de alto deterioro por corrosión, piezas rotas o ausentes, fugas, etc.

Mantenimiento:

(25) **Materiales en buen estado:** Sin desperfectos y sin signos de corrosión, incrustaciones calcáreas, corrosiones, lodos, suciedad en general y cualquier otra circunstancia que altere o pueda alterar el buen funcionamiento del equipo. Para ello, se podrá tener en cuenta el

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE) aprobadas por el Real Decreto 1751/1998, de 31 de julio.

(26) **Agua en buen estado:** No se aprecian sedimentos en general: algas, lodos, hojas, insectos, aves muertas, etc.

(27) **Cumplimenta Registro de Mantenimiento y Desinfección:** El responsable de las instalaciones anotará:

↔ Fecha de limpieza y desinfección general, empresa que la realizó y protocolo seguido.

↔ Fecha y resultado de análisis realizados.

↔ Cualquier otra incidencia.

(28) **Fecha de la última limpieza:** Todas las instalaciones se someterán a una limpieza y desinfección general, dos veces al año como mínimo, al comienzo de la primavera y el otoño. En cualquier caso se someterán a esta limpieza en las siguientes ocasiones:

↔ Previa a la puesta en funcionamiento inicial de la instalación para eliminar la contaminación que pudiera haber adquirido durante la construcción, transporte, etc.

↔ Antes de volver a poner en marcha la instalación cuando hubiera estado parada un mes o más tiempo.

↔ Antes de volver a poner en funcionamiento la instalación si hubiera sido manipulada en operaciones de mantenimiento o modificada su estructura original por cualquier motivo, de manera que pudiera haber sido contaminada.

La limpieza, sea por la propia empresa o una empresa contratada, debe realizarse según el protocolo de desinfección preventiva o de tratamiento.

(29) **Desinfección:** El agua del circuito debe desinfectarse, de forma regular, de manera que se garantice la inocuidad microbiológica de la misma en todo momento.

Los desinfectantes a usar serán aquellos registrados por el Ministerio de Sanidad y Consumo para uso ambiental. Serán de probada eficacia frente a *Legionella* y su uso se ajustará, en todo momento, a las especificaciones técnicas y régimen de dosificación establecidos por el fabricante. Cuando los desinfectantes utilizados estén registrados como de uso ambiental en el Registro Oficial de Plaguicidas de la Dirección General de Salud Pública del ministerio de Sanidad y Consumo, deberán ser aplicados por las empresas Registradas en el Registro Oficial de establecimientos y Servicios Plaguicidas de la Comunidad Autónoma.

(30) **Otros productos:** Se especificará el producto utilizado, su acción (antiincrustante, anticorrosivo, algicida, corrector de pH, etc.) y la dosificación.

(31) **Etiquetado correcto de todos los productos químicos:** Los desinfectantes, antiincrustantes, antioxidantes, dispersantes y cualquier otro aditivo cumplirán los requisitos de clasificación, envasado, etiquetado y provisión de fichas de seguridad según la legislación de sustancias y preparados peligrosos recogidos en el Real Decreto 363/95 y Real Decreto 1078/93 y en la Reglamentación Técnico Sanitaria para fabricación, comercialización y utilización de plaguicidas (BOE 24/1/1984 y sus modificaciones posteriores).

(32) **Tienen fichas de seguridad de todos los productos:** En caso de que sólo tengan ficha de algunos productos detallar cuales carecen de ficha.

Parámetros analíticos:

(33) **Temperatura:** Es muy importante medir este parámetro, pues en aguas frías la legionella prolifera más difícilmente.

(34) **pH:** La mayoría de los productos químicos tienen un rango de pH en que su acción es óptima. Por otro lado, un agua básica siempre favorece las incrustaciones calcáreas, mientras un agua ácida es agresiva para las conducciones.

(35): **Cloro residual libre:** Se medirá en caso de desinfección con cloro. Los niveles serán entre 1 y 2 ppm y pH entre 7 y 8 unidades. Concentraciones altas de cloro son corrosivas para las conducciones y, al mismo tiempo, producen un aumento del pH que disminuye el efecto desinfectante del cloro.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Libros consultados para la elaboración del proyecto:

- NICHOLAS P. CHEREMISINOFF; PAUL N. CHEREMISINOFF. "Cooling Towers: Selections, Design and practice". Ed. Ann Arbor Science, 1981 257 p.
- R. H. PERRY. "Manual del Ingeniero Químico". Ed. McGraw-Hill, 1984.
- ÁNGEL LUIS MIRANDA BARRERAS, PEDRO RUFES MARTÍNEZ: "Torres de Refrigeración". Ediciones CEAC, 1997.
- ÁNGEL LUIS MIRANDA BARRERAS. "La Psicrometría". Ediciones CEAC, 1996.
- HOUGEN WATSON RAGATZ. "Principios de los Procesos Químicos. (tomo I). Balances de materia y energía". Ed. Reverté, 1982.
- A. VIAN. "El Pronóstico Económico en Química Industrial". Ed. Alambra, 1979.
- MAX S. PETERS; KLAUS D. TIMMERHAUS. "Plant Design and Economics for Qhemical Engineers". Ed. McGraw-Hill, 1980.
- J. HAPPEL; D. G. JORDAN. "Economía de los Procesos Químicos". Ed. Reverté s.a., 1981.

 **Páginas web consultadas para la elaboración del proyecto**

- Lenntech contaminación de torres de refrigeración [Online]
<http://www.lenntech.com/espanol/Desinfeccion-del-agua/Contaminacion-torres-enfriamiento.htm>.
- Dto. de Máquinas y Motores Térmicos [Online]
<http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/Torre.htm>
- Equipamiento tecnológico [Online]
<http://www.tecnoedu.com/Armfield/UOP6.php>
- Enciclopedia virtual [Online]
http://es.wikipedia.org/wiki/Torre_de_refrigeraci%C3%B3n
- Tratamiento y análisis de aguas [Online]
<http://www.stenco.es/Art1.htm>
- Diseño y operación en torres de refrigeración [Online]
<http://www.cheresources.com/ctowerszz.shtml>
- Bombas [Online]
<http://www.sulzer.com/en/DesktopDefault.aspx>
- Centro de información de torres de refrigeración [Online]
<http://www.teva.es/>
- European operations. Refrigeration [Online]
<http://www.energuia.com/es/marco.aspx?URL=http%3a%2f%2fwww.in-dumec.com>

 **Otros documentos de consulta**

- Artículo “Diseño de Torres de Refrigeración. Aplicaciones Informáticas de la ecuación de Merkel”. Revista Ingeniería Química nº 406, pág. 97-103, octubre2003.
- Artículo “Empleo de cloro y cloraminas en la desinfección del agua. Cloración y subproductos”. Revista Química e Industria, pág. 12-24, enero 2004.
- Artículo “Sistema de Enfriamiento de Agua”. Revista Q2000 nº 74, pág. 58-62, septiembre 1992.
- Artículo “Cooling Water Pays Off. Operation and Maintenance”. Revista Quematic Engineering, pág. 177-181, marzo 1991.

