ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño y Construcción de un Sistema de Enfriamiento para Activación de Baterías utilizadas en Submarinos de la Armada Nacional del Ecuador"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Luis Gonzalo Laverde Naranjo

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2008

AGRADECIMIENTO

A DIOS porque El es Bueno y Excelso al permitirme tener éxito en mis estudios.

A mi familia, especialmente mis padres, hermanos, mis sobrinos en especial Daniel por su ayuda en todo momento de mi vida.

A mi director de Tesis, Ing. Ernesto Martínez por su mano de apoyo siempre presta e incondicional, dispuesta a brindar su amistad y ayuda como formador de los futuros profesionales.

A la compañía ERMARLO S.A. y todo su personal, empresa en la cual me he forjado y me ha permitido desarrollar este tema de tesis.

A todos mis familiares, amigos y personas que me ayudaron y apoyaron para alcanzar mi objetivo.

ICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

GONZALO E ISABEL

A MI FAMILIA

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

_____

Luis Gonzalo Laverde Naranjo

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S.	Ing. Ernesto Martínez L.
DECANO DE LA FIMCP	DIRECTOR DE TESIS
Ing. Manuel Helguero.	Ing. Jorge Duque R.
VOCAL	VOCAL

RESUMEN

El presente trabajo consiste en dar una solución real a la necesidad actual y futura del enfriamiento de las baterías que se utilizan en los submarinos de la Armada Nacional del Ecuador, en el proceso de activación de éstas en tierra.

En el Capítulo Uno, se plantea las generalidades, detallando las partes constitutivas de los submarinos, características de las baterías que se utilizan en los submarinos, métodos de carga de las baterías y administración de la temperatura en el proceso de activación de éstas.

El Capítulo Dos, trata de la descripción del problema, en esta sección se describe los requerimientos dados por el fabricante de las baterías para que estas puedan entrar en funcionamiento, se plantea varias alternativas de solución que permita solucionar el problema planteado.

El Capítulo Tres,, se realiza el análisis térmico, de acuerdo a datos técnicos dados por los fabricantes de las baterías, que aplicando conocimientos de termodinámica y transferencia de calor se podrá plantear las ecuaciones adecuadas para tener resultados y poder dimensionar los equipos necesarios para lograr el objetivo planteado.

En el Capítulo Cuatro, conocidos los parámetros térmicos actuantes en el sistema, se procede a realizar la selección y diseño mecánico de los componentes involucrados en el funcionamiento del sistema de enfriamiento.

El Capítulo Cinco realiza, una evaluación técnica para la construcción y montaje de los equipos, la evaluación económica del proyecto y actividades de taller.

El Capítulo Seis se da conclusiones y recomendaciones a las que se llega como consecuencia del desarrollo de este trabajo. Además recomendaciones para que se implemente en un proceso de mejora continua.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN…….. I

ÍNDICE GENERAL…… III

ABREVIATURAS……... VII

SÍMBOLOGIA…… XI

ÍNDICE DE FIGURAS……... XII

ÍNDICE DE PLANOS…… XIV

ÍNDICE DE TABLAS…… XV

INTRODUCCIÓN……... 1

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES……. 4

1.1 Descripción del sistema de poder de los submarinos…..…… 4

1.2 Características generales del submarino U - 209…….. 6

1.3 Proceso de activación de las baterías para submarino…….. 7

1.3.1 Análisis del sistema operativo…… 7

1.3.2 Características de las baterías…… 14

1.3.3 Capacidad de las baterías……... 16

1.3.4 Autodescarga…….. 21

1.3.5 Almacenamiento…… 23

1.3.6 Principales métodos de carga…… 24

1.3.7 Control de carga…… 27

1.3.8 Control de la temperatura en las baterías…….. 29

CAPÍTULO 2

2. DESCRIPCION DEL PROBLEMA……. 33

2.1 Requerimientos para el proceso de enfriamiento…… 36

2.2 Consideraciones técnicas para la activación……

2.3 Alternativas de solución…… 37

38

2.3.1 Sistema de enfriamiento directo…… 41

2.3.2 Sistema de enfriamiento con intercambiador enfriado por aire…… 42

2.3.3 Sistema de enfriamiento utilizando chiller…… 43

2.3.4 Sistema de enfriamiento utilizando intercambiador de calor y torre de enfriamiento……... 45

2.4 Selección mejor alternativa……..…… 47

2.5 Torres de enfriamiento y su clasificación…..…… 49

2.6 Selección de la torre a utilizarse..…… 57

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS TÉRMICO…… 60

3.1 Descripción del sistema de enfriamiento…… 60

3.2 Datos de operación del sistema de enfriamiento…….. 64

3.3 Selección del intercambiador de calor……... 66

3.3.1 Método FLMTD…….. 68

3.3.2 Uso de software para selección del intercambiador de calor…….. 77

3.4 Diseño térmico de la torre de enfriamiento……... 86

3.5.1 Fundamento del enfriamiento por evaporación…… 87

3.5.2 Cálculos…… 89

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO……. 105

4.1Componentes de la torre de enfriamiento…… 104

4.2 Determinación de la sección transversal de la torre…… 108

4.3 Selección de la columna de contacto……..... 112

4.3.1 Altura de las bandejas…… 114

4.3.2 Área perforada…….. 115

4.3.3 Dimensiones de las perforaciones……... 116

4.3.4 Espesor de las bandejas…….. 117

4.4 Diseño del depósito de colección de la torre de enfriamiento. 121

4.4.1 Selección del espesor de plancha…….. 123

4.4.2 Carga en las paredes del depósito…… 124

4.4.4 Momento de inercia mínimo requerido…….. 125

4.3.3 Distancia entre soportes del colector…… 125

4.4 Selección del ventilador……. 129

4.5 Selección de diámetro de la tubería…… 135

4.6 Selección de bombas……. 137

CAPITULO 5

5. MONTAJE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO……... 138

5.1 Diagrama de Gantt…… 138

5.1.1 Preparación de documentos, planos de taller y 139

movilización……

5.1.2 Fabricación en el taller…….. 140

5.1.3 Montaje del sistema de enfriamiento…… 145

5.1.4 Preparación de superficie y pintura en sitio……. 148

5.1.5 Pruebas hidrostáticas de tuberías e intercambiador….. 149

5.1.6 Bombas de agua…….. 150

5.1.7 Instalación eléctrica…….. 151

5.2 Materiales y equipos requeridos…….. 155

5.3 Resumen de costos…… 156

CAPITULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES…… 158

6.1 Conclusiones……... 158

6.2 Recomendaciones…….. 160

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

ºC	Grados centígrados
Mg	Magnesio
Si	Silicio
m	Metros
cm	Centímetros
mm	Milímetros
kg	Kilogramos
t	Toneladas métricas
MVA	Mega voltamperios
kwh	Kilovatio hora
kwh/t	Kilovatio hora por tonelada
Nm^3	Metro cúbico normalizado
FeMn	Ferromanganeso
MgO	Óxido de magnesio
μm	Micrómetro
NO_2	Dióxido de nitrógeno
g/Nm^3	Gramos por metro cúbico de aire normalizado
t/h	Toneladas por hora

g/m^3	Gramos por metro cúbico
mg/m^3	Miligramos por metro cúbico
g/pie^3	Gramos por pié cúbico
pie^3/min	Pié cúbico por minuto
gal.	galón
CFM	Pies cúbicos por minuto
$\frac{Kg}{t}$	Kilogramos por tonelada
m^3/h	Metros cúbicos por hora
$\frac{m^3/h}{t}$	Metros cúbicos por hora por tonelada
ρ_s	Densidad del sólido
$\mu g/m^3$	Microgramos por metro cúbico
kg/m^3	Kilogramo por metro cúbico
m/s	Metros por segundo
$mmCol.H_2O$	Milímetros de columna de agua
atm	atmósferas
Pa	Pascales
FPM	Pies cúbicos por minuto
A	Área
V	Velocidad
Q	Caudal

m^3/s	Metros cúbicos por segundo
SP	Presión estática
VP	Presión dinámica
kPa	Kilopascales
MPa	Megapascales
$lb/pulg^2$	Libras por pulgadas cuadradas
$mm/año$	Milímetro por año
m^3/m^2h	Metros cúbicos por metro cuadrado por hora
psi	Libras por pulgada cuadrada
ϕ	diámetro
ppm	Partes por millón
M	Momento
mpy	Milésimas de pulgada por año
Mw	Megavatios
ΔT	Diferencia de temperaturas
J/kg^oC	Joules por kilogramo por grado centígrado
k	Conductividad
h	Coeficiente de transferencia de calor por convección
$\sum R$	Sumatoria de resistencias
f	Factor de fricción
St	Número de stanton
W/m^2K	Vatios por metro cuadrado por grados kelvin

SIMBOLOGÍA

A	Área transversal de la torre de enfriamiento
a	Área de transferencia equivalente por unidad de volumen
C_w	Calor específico del agua
d	Diferencial
f	Coeficiente de fricción de Darcy
ρ	Densidad
D	Diámetro de tubería
ϕ	Diámetro
ºC	Grado Celsius
ºF	Grado Fahrenheit
ºK	Grado Kelvin
e	Rugosidad absoluta dada en milímetros
G	Flujo másico de aire
H	Cabezal hidráulico total
h	Entalpía
h_w	Entalpía de la mezcla gaseosa a la temperatura del agua
h_a	Entalpía de la mezcla gaseosa a la temperatura de bulbo húmedo
h_l	Pérdida de cabezal hidráulico
h_{ia}	Entalpía de mezcla gaseosa que ingresa a la torre a la temperatura de bulbo húmedo
h_{oa}	Entalpía de mezcla gaseosa que sale de la torre a la temperatura de bulbo húmedo
h_f	Pérdida de cabezal hidráulico, por fricción
$h_{red\ \#1}$	Pérdida de cabezal hidráulico, por fricción en la red número1
L	Flujo másico de agua
l	Longitud de tubería, dada en metros
K	Coeficiente total de transferencia de calor, de la torre
P	Potencia
Q	Calor total transferido en la torre de enfriamiento
S	Área de transferencia, característica de la torre de enfriamiento
U	Coeficiente total de transferencia de calor, del intercambiador de calor

$\dot{m}$	Flujo másico
“	Pulgada
q	Flujo de calor
v	Velocidad promedio del agua en la tubería
V	Volumen efectivo, característica de la torre de enfriamiento
Z	Altura de la zona de empaquetadura
t_{hw}	Temperatura de agua caliente que entra a la torre
t_{cw}	Temperatura del agua enfriada
t_{wb}	Temperatura de bulbo húmedo, del aire entrante
t_{w}	Temperatura del agua en contacto con el relleno de la torre
ω	Velocidad de rotación del impulsor
φ	Angulo de fase de la carga eléctrica
η	Rendimiento
μ	Viscosidad absoluta, en centipoises
Δp	Variación de presión
Δt	Variación de temperatura
Δz	Variación de nivel
Σ	Sumatoria de…
	Bomba centrífuga
	Codo roscado estándar

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Partes constitutivas del submarino U -209……	7
Figura 1.2	Estado de descarga de un acumulador……..	12
Figura 1.3	Estado de carga de un acumulador……	14
Figura 1.4	Variación de la capacidad según régimen de descarga……..	17
Figura 1.5	Variación de la capacidad según la temperatura……..	18
Figura 1.6	Variación de la capacidad según número de ciclos…….	19
Figura 1.7	Variación de la vida útil en función de la descarga……..	20
Figura 1.8	Variación de la capacidad por autodescarga	22
Figura 1.9	Reacción exotérmica…….	32
Figura 2.1	Trabajos preliminares……	36
Figura 2.2	Esquema de enfriamiento de batería……..	37
Figura 2.3	Sistema de enfriamiento directo……..	41
Figura 2.4	Enfriamiento utilizando intercambiador enfriado por aire	43
Figura 2.5	Sistema de enfriamiento utilizando un chiller	44
Figura 2.6	Sistema de enfriamiento utilizando torre de enfriamiento e intercambiador de calor…….	46
Figura 2.7	Torre de enfriamiento de tiro forzado…….	53
Figura 2.8	Torre de flujo a contracorriente y tiro inducido……..	55
Figura 2.9	Torre de flujo cruzado y tiro inducido……..	57
Figura 3.1	Disposición de las baterías en el cuarto de activación……	61

Figura 3.2	Disposición de tubería……....	61
Figura 3.3	Sistema de desplazamiento……..	62
Figura 3.4	Baterías en cuarto de activación……..	62
Figura 3.5	Sistema móvil para llevar el fluido de enfriamiento a las baterías……	63
Figura 3.6	Diseño de forma del sistema de enfriamiento……..	66
Figura 3.7	Distribución de temperaturas en un intercambiador de calor de doble tubo en paralelo…….	69
Figura 3.8	Ventana de inicio del programa……...	77
Figura 3.9	Ventana de selección de tipo de intercambiador a utilizarse y definición de fluidos……	78
Figura 3.10	Datos del material del intercambiador……	80
Figura 3.11	Ventana de ingreso de datos de intercambiador de calor…..	81
Figura 3.12	Ventana de resultados en la presión de diseño……	82
Figura 3.13	Ventana de resultados……..	83
Figura 3.14	Ventana de resultados……..	84
Figura 3.15	Disposiciones del haz de tubos……...	86
Figura 3.16	Idealización del fenómeno de transferencia……..	87
Figura 3.17	Flujo Específico……...	91
Figura 3.18	Diagrama del sistema para el diseño……	92
Figura 3.19	Relaciones de agua y aire de una torre a contra flujo…….	93
Figura 3.20	Diagrama de operación de enfriamiento del agua……	101
Figura 4.1	Diseño de Forma de la torre de enfriamiento……	108
Figura 4.2	Diagrama de operación de una bandeja perforada……..	114
Figura 4.3	Disposición de agujeros en las bandejas……...	116
Figura 4.4	Tensión equivalente……..	120
Figura 4.5	Deformación……	120
Figura 4.6	Factor de seguridad……...	120
Figura 4.7	Valores de alfa……	122

Figura 4.8	Dimensionamiento del depósito de colección de agua……	123
Figura 4.9	Cargas hidrostáticas……..	124
Figura 4.10	Distancia entre soportes……...	125
Figura 4.12	Tensión equivalente……..	128
Figura 4.13	Deformación……	128
Figura 4.14	Factor de seguridad……...	128
Figura 4.15	Diagrama para seleccionar modelo de ventilador……	131
Figura 4.16	Ventilador seleccionado……	132
Figura 4.17	Tensión equivalente……..	134
Figura 4.18	Deformación……	134
Figura 4.19	Factor de seguridad……...	134
Figura 5.1	Diagrama de Gantt	138
Figura 5.2	Sistema de deslizamiento…….	171
Figura 5.3	Alineación de piso donde se asentará la torre……..	172
Figura 5.4	Bomba de agua para torre……	175
Figura 5.5	Tubería de succión……	176
Figura 5.6	Tablero de control eléctrico……..	177
Figura 5.7	Intercambiador sumergido en colector de la torre de enfriamiento……	178
Figura 5.8	Bandejas perforadas…….	178
Figura 5.9	Torre de enfriamiento instalada……..	179

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Torre de enfriamiento y sus partes
Plano 2	Bandejas perforadas
Plano 3	Campana de extracción
Plano 4	Tanque colector
Plano 5	Placa soporte
Plano 6	Dimensiones de estructura de torre de enfriamiento

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.1	Características técnicas del submarino U -209……....	6
Tabla 1.2	Parámetros de almacenamiento……	23
Tabla 2.1	Programa de carga eléctrica para la activación de las baterías de los submarinos……	34
Tabla 2.2	Impurezas más comunes en el agua que afectan los sistemas de enfriamiento……	40
Tabla 2.3	Matriz de decisión……..	48
Tabla 2.4	Clasificación de las torres de enfriamiento	49
Tabla 2.5	Matriz de decisión para seleccionar el tipo de torre de enfriamiento……...	58
Tabla 3.1	Escala de presión y valor U para tipos de intercambiadores de calor……..	75
Tabla 3.2	Área transversal de flujo y superficie para intercambiadores de calor……..	76
Tabla 3.3	Valores de entalpía……...	102
Tabla 3.4	Características de humidificación……...	103
Tabla 4.1	Dimensiones de zona sin perforar……..	115
Tabla 4.2	Informe de resultados del análisis de la bandeja perforada…..	119
Tabla 4.3	Informe de resultados del colector de agua……..	127
Tabla 4.4	Informe de resultados de la campana de extracción……..	133
Tabla 4.5	Velocidades y caídas de presión permisibles	135
Tabla 4.6	Densidad del fluido en función de la velocidad……...	136
Tabla 5.1	Lista de equipos y herramientas……	155

NTRODUCCIÓN

La Armada del Ecuador a cargo de la Dirección de Mantenimiento de la institución, con el propósito de brindar mantenimiento al escuadrón de submarinos nacionales SS – 11 “Shyri” y SS – 12 “Huancavilca” tipo U – 209 de fabricación alemana, considera el cambio inmediato de las baterías de propulsión instaladas en dichos submarinos, por haber cumplido su ciclo de vida.

Las unidades submarinas son de propulsión diesel – eléctricas, las baterías son las encargadas de suministrar la energía necesaria para propulsar y alimentar la red abordo.

Las baterías operan desde el año 1997 tiempo de operación hasta la fecha de 11 años, que sobrepasan el tiempo de vida útil que es de 10 años lo que requiere un reemplazo inmediato de las baterías.

Es por eso que las baterías de propulsión fueron adquiridas a través de la Junta de Defensa Nacional a la compañía alemana Hawker GMBH una remesa de 960 baterías, estas son del tipo plomo – ácido, las baterías se someten a un proceso de carga y descarga cuando están montadas en el

submarino, este proceso genera calor y producción de hidrógeno en el ambiente.

Para controlar la generación de calor existe en el submarino un sistema de enfriamiento utilizando agua del mar, las baterías nuevas adquiridas no vienen activadas de fabrica para evitar problemas de danos y eliminar riesgos durante el viaje hasta las instalaciones de la Armada Nacional, es por eso que la institución a dispuesto un lugar estratégico donde se va a proceder a la construcción del sistema de activación de las baterías lo que conlleva a realizar trabajos preliminares para la puesta en marcha de estos equipos.

Como este proceso tiene que ser realizado en tierra, la Armada del Ecuador convoca a diferentes empresas para licitar en el diseño, construcción y montaje de un sistema de enfriamiento de agua que va a ser utilizada en la activación de 120 baterías a la vez.

ERMARLO S.A. empresa en la cual me desenvolvía en el departamento de proyectos, fue adjudicada la licitación, y fue asignado el proyecto de diseño y construcción del sistema de enfriamiento el cual es el objetivo de esta tesis.

Se utilizaran varios programas computacionales como Inventor 10, ESP plus con el fin de utilizarlos en la práctica con mayor destreza para solucionar problemas.

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Descripción del Sistema de Poder de los Submarinos.

A fin de clarificar ciertos aspectos importantes para comprender el sistema de propulsión de los submarinos se realizará una breve descripción generalizada de este tipo de buque.

El submarino tipo U – 209 es un buque diseñado exclusivamente para operar bajo el agua, esta afirmación puede parecer redundante, pero es necesaria para diferenciar los submarinos modernos de los usados durante la primera y segunda guerras mundiales que era propiamente "sumergibles", es decir los buques con capacidad de permanecer periodos relativamente cortos bajo la superficie, esto explica el diseño de estos con cañones en cubierta para la defensa aérea y de superficie.

Hasta la llegada de la propulsión nuclear marina, la mayoría de los submarinos del siglo XX usaron baterías eléctricas para la navegación subacuática y motores de

combustión interna para la superficie y recargar las baterías. Los primeros modelos usaban gasolina como combustible pero pronto se sustituyó por parafina y luego gasóleo gracias a su menor inflamabilidad. La combinación diesel-eléctrico se convertiría en el medio de propulsión estándar. Inicialmente el motor diesel o gasolina y el eléctrico, separados por embragues, estaban en el mismo eje e impulsaban el propulsor. Esto permitía que el primero usase al segundo como generador para recargar las baterías e impulsar también al submarino si era necesario. Cuando el submarino se sumergía, se desembragaba el motor diesel de forma que se usase el eléctrico para girar la hélice. El motor eléctrico puede tener más de un inducido sobre el eje, estando eléctricamente acoplados en serie para velocidades bajas y en paralelo para velocidades altas.

1.2. cterísticas Principales del Submarino U – 209.

Desplazamiento (sumergidos)	1285 Ton
Dimensiones	55.9 *6.3*5.5 m
Propulsión	4 MTU MD 12V992 Tb 90 diesel de 600 CV, un Siemens eléctrico de 5000 CV y 4 generadores eléctricos de 405 Kw
Tipo	Submarino diesel eléctrico de ataque SSK
Astillero de origen	Howaldtswerke, Kiel, Alemania
Desplazamiento	1265 ton (superficie) 1396 ton (inmersión)
Casco	Acero naval reforzado
Celdas	480 de 11500 Amp – h y un peso total de 257 ton
Combustible	108 ton
Profundidad máxima	500 metros
Armamento	553 mm torpedos en tubos (14) misil Sub-Harpoon
Tripulación	33

TABLA 1.1. Características técnicas del submarino U – 209

El submarino posee 4 baterías de 120 celdas cada una.

Cada celda está diseñada para almacenar cargas con voltajes que no exceden los 2.75 voltios de corriente continua. Las 120 celdas están conectadas en serie, esto para cada batería.

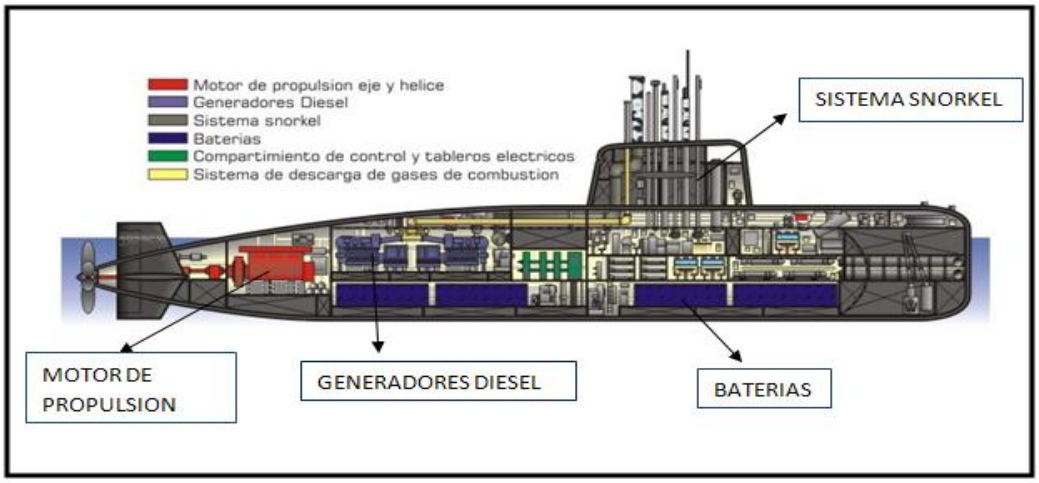


FIGURA 1.1. PARTES CONSTITUTIVAS DEL SUBMARINO U -209

1.3. Proceso de Carga y Descarga de las Baterías en el Submarino.

Para activar las baterías antes de ser puestas en operación se requiere que se cumpla un determinado procedimiento el cual implica periodos de carga y descarga de acuerdo a un plan establecido.

1.3.1. Análisis del Sistema Operativo de las Baterías.

El suministro de energía eléctrica dentro del buque tiene un solo responsable, estas son las celdas del buque.

Primeramente entiéndase por celdas al elemento unitario de energía eléctrica del buque, que básicamente es un acumulador de plomo y ácido o pila secundaria, que puede recargarse invirtiendo la reacción química.

La celda electrolítica que describiremos a continuación el acumulador de plomo.

Estos acumuladores constan de una serie de placas de plomo dispuestas una al lado de la otra y separadas entre sí por medio de los separadores.

Las placas son unas rejillas rectangulares en las que se efectúa una transformación de energía química en eléctrica o viceversa, según se descargue o cargue repetidamente el acumulador.

Existen dos clases de placas: las positivas constituidas a base de peróxido de plomo, cuyo color es negruzco y las negativas constituidas de plomo combinado con materiales inertes que no intervienen en la transformación, generalmente antimonio. Al peróxido de plomo y al plomo que componen las placas se les denomina materia activa del acumulador.

Las placas positivas están conectadas eléctricamente entre sí mediante una barra o lámina metálica, denominada puente de unión. Lo mismo ocurre para las placas negativas. Sobre ambos puentes se hallan los bornes del acumulador, uno positivo y otro negativo.

El conjunto de placas positivas y negativas alternadas, se encuentran sumergidas en agua acidulada, que es una mezcla de acido sulfúrico y agua, que hace las veces de electrolito.

En las condiciones hasta ahora descritas, el acumulador se halla cargado, es decir que si entre sus bornes conectamos un consumidor, por ejemplo una lámpara, por ella circula corriente y por tanto se encenderá; ello es debido a que entre sus placas de peróxido de plomo y de plomo existe una diferencia de potencial capaz de producir corriente eléctrica, cuando circula esta corriente a través de un consumidor, el acumulador se está descargando.

Durante dicha descarga para la corriente desde la placa positiva a la negativa por el por el receptor o consumidor exterior a la batería y por el interior desde la placa negativa a través del electrolito a la placa positiva.

Al pasar la corriente por el electrolito se descompone la molécula del ácido sulfúrico en dos iones (SO_4^-) y ($2H^+$), con cargas negativas y positivas respectivamente, que reaccionan formando en la placa positiva peróxido de plomo (PbO_2), mas agua en el recipiente. Esta agua se genera porque el oxígeno liberado de la placa positiva del peróxido de plomo se combina con el hidrógeno descompuesto del ácido sulfúrico.

De la misma manera se forma sulfato plumboso en la placa negativa y agua en el recipiente. La reacción de la descarga la podríamos resumir así:

Placa positiva (+)	Electrolito	Placa negativa (-)
Peroxido de plomo+ PbO_2 +	Acido sulfúrico+ $2SO_4H_2$+	Plomo → Pb →
Placa positiva (+)	**Al electrolito**	**Placa negativa (-)**
Sulfato plumboso+ SO_4Pb+	Agua + $2H_2O$ +	Sulfato plumboso SO_4Pb

A medida que se va descargando la concentración de ácido sulfúrico en el electrolito va disminuyendo lo que origina que sea menos conductor, provocando este fenómeno un aumento de la resistencia interior en el elemento, lo que produce una caída de tensión tan grande que deja la batería fuera del servicio útil.

Cuando ha sido atacado todo el peróxido de plomo y todo el plomo cesa la transformación y con ella la corriente eléctrica, el acumulador descargado, incapaz de producir más corriente eléctrica.

Si estando el acumulador descargado, aplicamos en sus bornes una diferencia de potencial se producirá la electrólisis del agua contenida en el recipiente y las transformaciones que habrán tenido lugar durante la descarga se invertirán, es decir, en las placas positivas se transformara el sulfato plumboso en peróxido de plomo y ácido sulfúrico, y en las negativas en plomo y ácido sulfúrico, con lo que el acumulador quedara nuevamente cargado y con la facultad de poder suministrar de nuevo corriente eléctrica.

La reacción de carga se habrá efectuado así:

Placa positiva (+)	Electrolito	Placa negativa (-)
Sulfato plumboso+ SO_4Pb+	Agua + $2H_2O$ +	Sulfato plumboso→ SO_4Pb →
Placa positiva (+)	**Al electrolito**	**Placa negativa (-)**
Peroxido de plomo+ PbO_2 +	Acido sulfúrico+ $2SO_4H_2$+	Plomo Pb

Estos fenómenos químicos se llevan a cabo en el interior del acumulador se va intentar representarlos por una serie de figuras.

Por ejemplo en la Figura 1.2. Se tiene una aproximación a un esquema de reacción química durante la descarga del acumulador. La lámpara representa el aparato consumidor que está recibiendo energía eléctrica en este momento. En el interior del acumulador se están descomponiendo del modo que indican las flechas, las moléculas de cada uno de los componentes de las placas conjuntamente y en colaboración con el electrolito y su composición química.

Obsérvese como en la parte baja de las placas se produce la presencia del sulfato de plomo ($PbSO_4$) que es el indicio claro de la descarga. (En este esquema se mantiene el sentido electrónico de la corriente, es decir, el paso del negativo al positivo tal como ocurre en la realidad aunque se ha aceptado convencionalmente la inversa).

La descarga total del acumulador llegaría a producirse cuando ambas placas se hallaran saturadas de sulfato de plomo y el electrolito fuera prácticamente formado por agua destilada. La luz dejara de brillar en señal evidente de la falta de energía eléctrica.

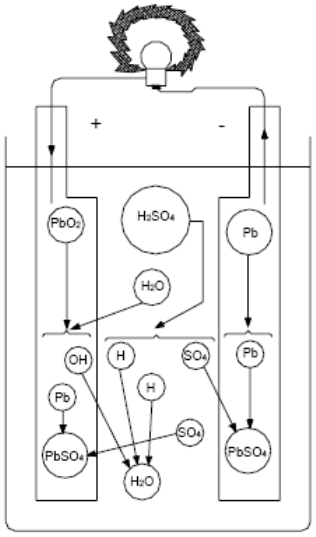


FIGURA 1.2. ESTADO DE DESCARGA DE UN ACUMULADOR

El proceso de carga podemos verlo en la Figura 1.3. La colocación de un generador de corriente continua entre los bornes del acumulador hace que la corriente circule entre placas y electrolito. Tal como puede verse en la parte alta de las placas, la presencia del sulfato plumboso ($PbSO_4$) es general, lo que indica su estado descarga; pero al paso de la corriente eléctrica proveniente del generador activa una reacción química en la que de nuevo acido sulfúrico se recompone. Poco a poco la placa negativa recobra su plomo inicial y la positiva su peróxido de plomo mientras el electrolito aumenta su densidad por encima de los valores casi del agua que tenía en el estado totalmente descargado, debido a su enriquecimiento de acido sulfúrico [13].

Estas son pues, las transformaciones químicas mediante las cuales es posible convertir energía eléctrica en energía química y viceversa.

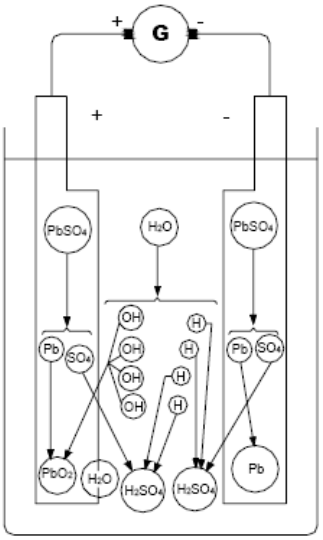


FIGURA 1.3. ESTADO DE CARGA DE UN ACUMULADOR [13]

1.3.2. Características de las Baterías

A pesar de su diversa constitución, todas las baterías pueden ser definidas mediante unas características comunes que se consideran seguidamente:

- **Resistencia interna.-** Formada por la resistencia óhmica de sus componentes (terminales, electrodos, soportes y electrolito) y por una resistencia virtual variable en función

del estado de carga y de las distintas polarizaciones y concentraciones. Aumenta con las bajas temperaturas, con la descarga de la batería y con el envejecimiento.

- **Rendimiento.-** Es la relación entre la energía suministrada durante la descarga y la que se necesita para cargar plenamente la batería. Las pérdidas en una batería se deben sobre todo a una producción de energía calorífica en los procesos químicos que tienen lugar durante la carga y descarga.
- **Velocidad de carga y descarga. -** Las corrientes de carga y descarga a menudo se especifican con unos términos que indican la descarga completa en un período continuo de una hora. Estos términos son los regímenes C y sus múltiples y submúltiplos son un medio muy cómodo para especificar las velocidades de carga y descarga. Por tanto, 10C es la corriente que descarga la batería en seis minutos, mientras que C/10 es la corriente que descarga la batería en diez horas.
- **Vida útil. -** La vida útil de una batería no se mide en años, sino por la cantidad de ciclos de carga - descarga que es capaz de realizar. Así, si se la somete a un régimen de trabajo de muchos ciclos diarios, probablemente sólo

durará unos meses, mientras que si el régimen es de un ciclo al día o incluso más lento (como ocurre en el caso de iluminación de viviendas con energía solar) la batería puede durar al menos diez años.

1.3.3. Capacidad de una Batería

Es la cantidad de electricidad que puede entregar cuando se descarga antes de que su tensión disminuya por debajo de un nivel mínimo. Su símbolo es C y se expresa en A - h. Otro factor que también puede influir en la vida útil de una batería es la temperatura. Si es demasiado alta, la reacción química que tiene lugar en el acumulador se acelera demasiado y la vida se acorta. Si la temperatura es baja, la vida se prolonga, pero si baja demasiado puede correr el riesgo de congelación. En este caso, lo mejor será mantener la batería en un nivel de carga alto, ya que cuanto mayor sea la concentración del electrolito el punto de congelación será más bajo.

La capacidad de una batería varía según el régimen de descarga: aumenta a medida que la descarga es más lenta, y disminuye cuando esta es más rápida.

Por esta razón, el valor de C debe venir referenciado con el tiempo de descarga.

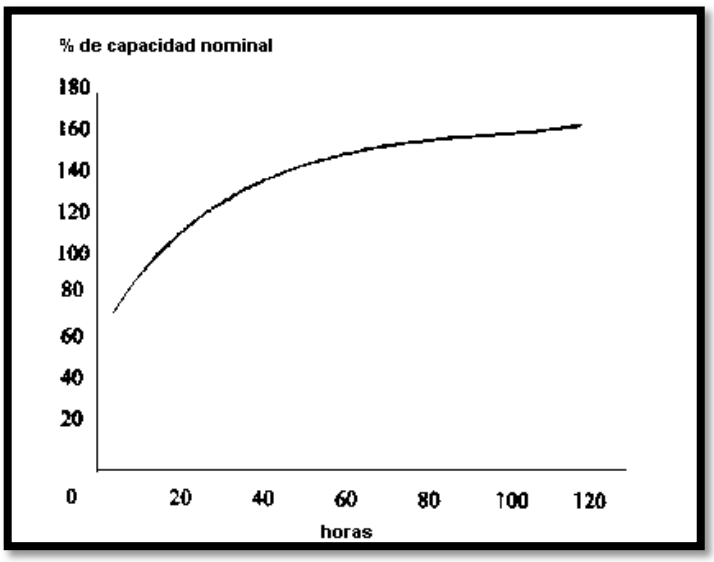


FIGURA 1.4. VARIACION DE LA CAPACIDAD SEGÚN REGIMEN DE DESCARGA [13]

Un incremento de la temperatura, dentro de unos límites, aumenta la actividad de los procesos químicos y, por lo tanto, la capacidad de la batería. Por el contrario, a bajas temperaturas la actividad química es menor y la capacidad disminuye considerablemente.

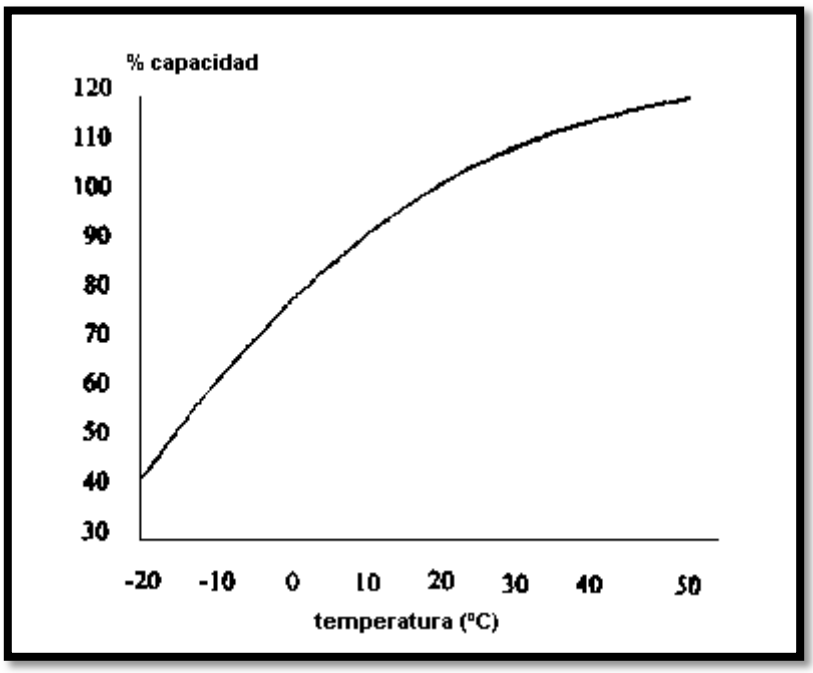


FIGURA 1.5. VARIACION DE LA CAPACIDAD SEGÚN LA TEMPERATURA [13]

La historia de la batería afecta también a la capacidad. Si una batería lleva un largo período sin ser recargada en toda su capacidad se produce un efecto memoria que impide que recupere su capacidad nominal, siendo necesarios varios ciclos de carga y descarga para recuperarla. El envejecimiento de una batería merma su capacidad y va disminuyendo a lo largo de su vida en función del servicio de carga - descarga a que sea sometida. Para el cálculo de la capacidad nominal necesaria hay que tener en cuenta la vida útil que se desea para la batería: si se desea una vida útil de

3 años y el fabricante indica que al final de este período sólo se mantiene el 50% de la capacidad, habrá que utilizar una batería de capacidad doble a la estimada necesaria.

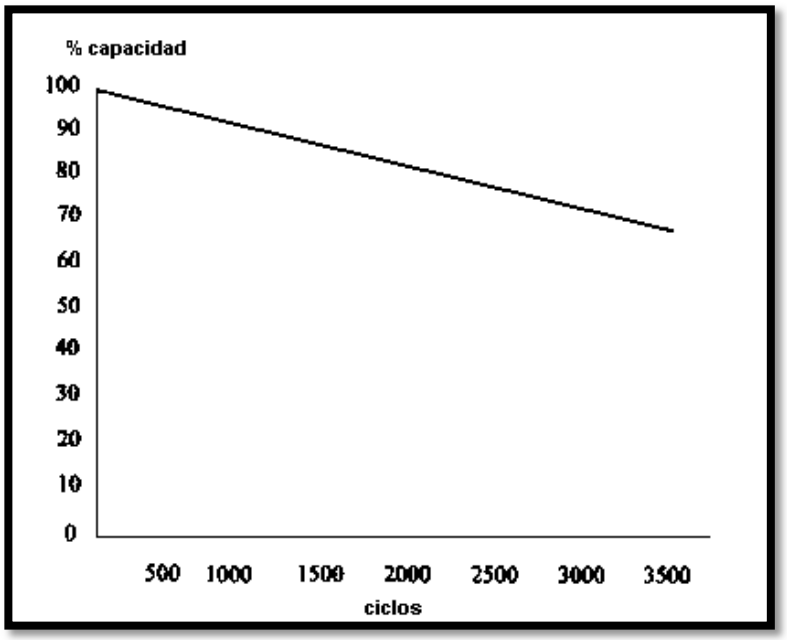


FIGURA 1.6. VARIACION DE LA CAPACIDAD SEGÚN NÚMERO DE CICLOS [13]

Además de los ciclos de carga - descarga, también hay que considerar la profundidad de la descarga media que se produce en cada uno de ellos. Si dicha descarga es moderada, y sólo de vez en cuando se alcanza una profundidad elevada, el número de ciclos que soportará las baterías será elevado. A medida que se la someta a descargas más profundas, el número de ciclos que podrá realizar, y por tanto su vida útil, irá disminuyendo. En

cualquier caso la profundidad de descarga máxima admisible para un acumulador plomo - ácido es del 80%.

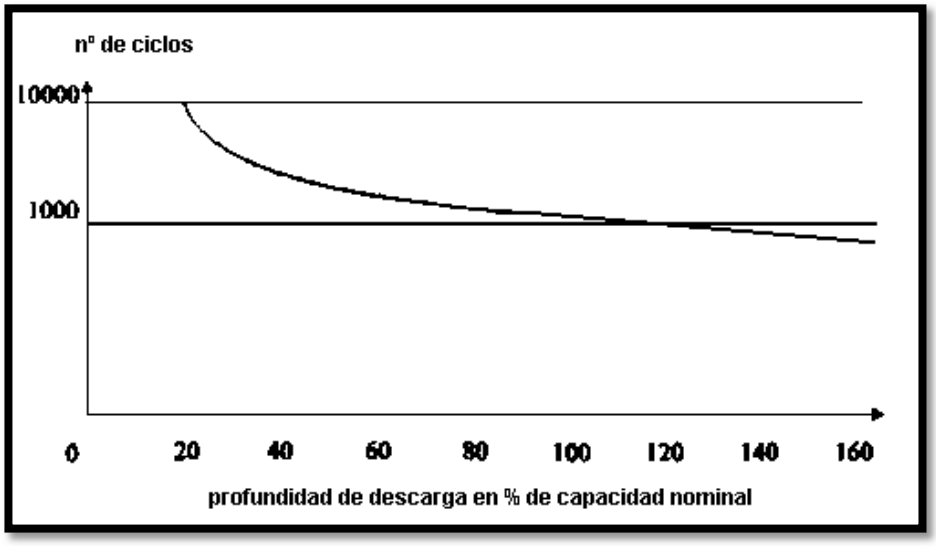


FIGURA 1.7. VARIACION DE LA VIDA UTIL EN FUNCION DE LA DESCARGA [13]

Con un régimen de descarga diaria del 25% de su capacidad, y un 80% de descarga 2 veces al año (condiciones que normalmente se dan en una instalación fotovoltaica), la batería solar puede alcanzar una vida útil de más de 11 años.

Otro factor que también puede influir en la vida útil de una batería es la temperatura. Si es demasiado alta, la reacción química que tiene lugar en el acumulador se acelera demasiado y la vida se acorta. Si la temperatura es baja, la

vida se prolonga, pero si baja demasiado puede correr el riesgo de congelación. En este caso, lo mejor será mantener la batería en un nivel de carga alto, ya que cuanto mayor sea la concentración del electrolito el punto de congelación será más bajo.

Las mayores formas de acortar la vida útil de un acumulador son:

- someterlos a cargas y descargas violentas y repetidas
- descargarlo hasta el agotamiento
- trabajar a temperaturas extremas

1.3.4. Autodescarga

La autodescarga de una batería consiste en la pérdida de energía por reacción entre los materiales que forman los elementos de la batería en condiciones de circuito abierto, es decir, cuando no hay carga alguna conectada al circuito de la batería. Depende del tipo de batería y muy directamente de la temperatura, aumentando con esta. Por ello, y dado que los valores estándar suelen venir referidos a una temperatura

media (unos 20 ó 25ºC) es preciso tener en cuenta que este factor puede alterarse en algunos casos.

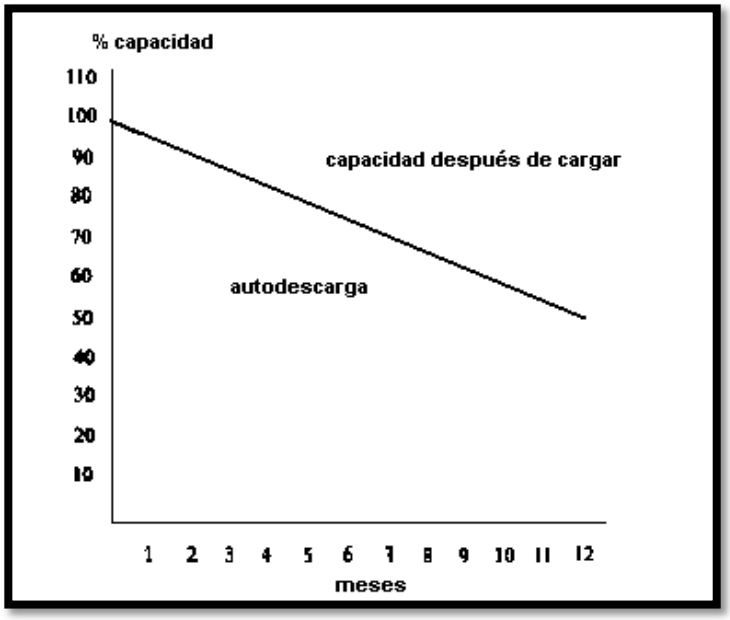


FIGURA 1.8. VARIACION DE LA CAPACIDAD POR AUTODESCARGA [13]

La autodescarga hay que considerarla como un consumo adicional, que demanda un cierto porcentaje de energía almacenada. Su valor es aproximadamente de un 0,5 a un 1% diario en baterías plomo - ácido.

1.3.5. Almacenamiento

Los fabricantes suelen dar recomendaciones para el almacenamiento. Mostramos las condiciones recomendadas para aplicaciones solares en la tabla siguiente:

Tipo de batería	Rango de temperatura	Humedad	Período de almacenamiento con electrólito	Período de almacenamiento sin electrólito
Plomo-ácido	-20 °C a +40 °C	< 95 %	sobre 0,5 año	1 - 2 años (carga seca)
Níquel-Cadmio	-40 °C a +50 °C	< 95 %	sobre 0,5 año	1 - 5 años (vacía)

TABLA 1.2. PARAMETROS DE ALMACENAMIENTO [18]

Las baterías almacenadas llenas y cargadas requieren un periodo de recarga antes de su instalación. El fabricante debe proporcionar las instrucciones acerca de los intervalos y métodos en los que debe efectuarse.

La exposición a alta temperatura y humedad durante el almacenamiento puede ocasionar una pérdida de capacidad. La temperatura de una batería guardada en un recipiente expuesto a la luz directa del sol, puede subir a 60 °C o más durante el día.

1.3.6. Principales Métodos de Carga

La vida útil de una batería y sus prestaciones dependen directamente de los procesos de carga a los que es sometida. Por esta razón hay que seguir en cada caso las recomendaciones que da el fabricante.

Los principales métodos de carga son:

1. Tensión constante
2. Corriente constante
3. Corriente descendente
4. Dos niveles de tensión constante

Tensión constante

El método de carga a tensión constante es el más usado para cargar baterías de plomo - ácido. Consiste en aplicar una tensión constante de 2.3, 2.4 ó 2.5 V/elemento, limitando la corriente inicial de carga a 0.1C ó 0.2 C amperios, siendo C la capacidad de la batería en amperios - hora. El tiempo de carga va de 40 horas a 10 horas y la tensión debe regularse según la temperatura ambiente si la temperatura es alta, la tensión de carga debe ser baja y viceversa.

Algunos fabricantes admiten la utilización de este método sin limitación de corriente, pues sus baterías están dimensionadas para fuertes corrientes. En este caso, si se inicia el proceso con 2.3V/elemento, la corriente inicial después de una descarga profunda será de 3C amperios y de un 0.5C durante un período largo.

Corriente constante

El método de carga a corriente constante es recomendado por algunos fabricantes para las baterías de níquel - cadmio, limitando la corriente entre 0.25C y 0.05C amperios. En el caso de carga profunda se admiten corrientes de 1C amperios, pero vigilando la tensión de la batería o la temperatura.

La carga a corriente constante se utiliza como carga de igualación en baterías plomo - ácido para corregir diferencias de capacidad entre las baterías de un mismo grupo. Para evitar una sobrecarga que destruya la batería es necesario terminar cuando la batería alcance su máxima capacidad.

Corriente descendente

Es el sistema de carga más económico y es utilizado por algunos fabricantes para sus baterías níquel - cadmio. Consiste en una carga sin regulación limitada por una resistencia serie, que en algunos casos es la propia resistencia del devanado del transformador de alimentación. A medida que la batería se va cargando, la corriente de carga va descendiendo gradualmente. Es un método antiguo y muy peligroso porque la tensión y corriente de carga dependen de las fluctuaciones de la corriente de la red, con lo que existe riesgo implícito de sobrecarga.

Dos niveles de tensión constante

Es el método recomendado para cargar una batería de plomo - ácido hermética en un período corto de tiempo y mantener la batería en plena carga en situación de flotación. Inicialmente se carga a un nivel alto de tensión (2.45V/elemento), limitando la corriente. A partir de que esta disminuya por debajo de un nivel, se pasa a tensión constante permanente o de flotación. Este método es el más eficiente pues minimiza el tiempo de carga y la batería queda protegida de sobrecargas.

Después de una descarga profunda es necesario un tiempo de carga más largo de lo normal. Inicialmente la corriente que admite la batería es baja, ya que la resistencia interna tiene un valor elevado y no adquiere su valor normal hasta pasados unos 30 minutos. Por este motivo es necesario inhibir el control durante este período de tiempo, pues el cargador podría suponer que la batería está cargada y dejarla en flotación.

1.3.7. Control de Carga

Para mantener el rendimiento óptimo de una batería es esencial que su carga se controle adecuadamente. Al comienzo del ciclo de carga la corriente debería limitarse para asegurar que no se produzca generación de gases a causa de un voltaje excesivo aplicado al vaso; mientras la capacidad se recupera, la corriente de carga debe limitarse para mantener el voltaje de los vasos en el umbral requerido para la generación de gases o ligeramente inferior; una vez recuperada la plena capacidad se debería aplicar una carga final a corriente constante por un período de tiempo fijo (carga de igualación). Aunque estas condiciones no puedan lograrse prácticamente en los sistemas de energía fotovoltaica, hay ciertas

circunstancias que se necesitan para minimizar el mantenimiento y mantener la vida de la batería. Los parámetros del regulador tendrán en cuenta los efectos del diseño del generador fotovoltaico, la carga, la temperatura y los valores límite recomendados para proteger la batería. Las de plomo-ácido o de níquel-cadmio tendrán el electrolito suficiente para cubrir el período entre, por lo menos, las visitas de mantenimiento planificadas [13].

La sobrecarga excesiva no aumenta la energía almacenada en la batería. En cambio, la sobrecarga afecta al intervalo de servicio debido al consumo de agua destilada en las baterías ácidas como resultado de la generación de gases. Para minimizar este efecto el voltaje de regulación de la carga debe compensarse con los cambios en la temperatura del electrolito, ya que esto afecta directamente al umbral de voltaje de generación de gases. Contrariamente a esto, la estratificación puede ocurrir en baterías de electrolito líquido, particularmente en sistemas fotovoltaicos dónde la insolación es a menudo insuficiente para proporcionar generación de gases durante el funcionamiento normal. La estratificación se produce cuando capas menos densas de electrolito se depositan sobre capas más densas situadas en el fondo de los vasos, lo que produce una reducción de

capacidad. Esto puede corregirse con la agitación que se produce durante el proceso de gasificación. Por consiguiente, el proceso de regulación de carga debe diseñarse para promover la generación de gases a intervalos regulares. Esto puede lograrse elevando el voltaje de control de carga durante un período y restableciéndolo una vez que se ha producido la generación de gases.

1.3.8. Administración de la Temperatura en las Baterías

Limites de temperatura de operación

Todas las baterías dependen para su funcionamiento de un proceso electroquímico ya sea en carga o descarga y sabemos que estas reacciones químicas son en alguna manera dependientes de la temperatura. La capacidad nominal de una batería se especifica usualmente en algún punto dentro del rango de trabajo entre +20ºC hasta +30ºC (+68ºF ~ +86ºF) sin embargo la capacidad real puede desviarse substancialmente del valor nominal, si la batería es forzada a trabajar a mayores o menores temperaturas (Figura 1.8.). La Ley de Arrhenius dice que la velocidad a la cual una reacción química se produce, incrementa exponencialmente según la temperatura aumenta. Esto permite que se extraiga mayor potencia de la batería en un instante a mayores temperaturas que la de trabajo. Al mismo tiempo, las mayores temperaturas aumentan la movilidad de los electrones o iones, reduciendo así la impedancia interna de la celda por consiguiente aumentando su capacidad. Sin embargo, en el extremo superior de la escala, las altas temperaturas pueden también iniciar reacciones químicas no deseadas o irreversibles y/o pérdida de electrolito lo cual puede causar un daño permanente o falla completa de la batería. En el extremo inferior de la escala el electrolito se puede congelar, fijando un límite

para la capacidad a bajas temperaturas. Por debajo del punto de congelamiento del electrolito, la capacidad de la batería comienza a deteriorarse según la velocidad de la reacción química se reduce. Aún cuando una batería esté especificada para trabajar bajo los -20ºC ó -30ºC la capacidad a 0ºC y por debajo de este punto de disminuye considerablemente. Debemos tomar en cuenta que, el límite inferior de temperatura de trabajo de una batería puede depender de su estado de carga. Un sistema real puede por lo tanto necesitar ambos, calentamiento y enfriamiento ambiental forzado, para mantenerlo no sólo dentro de los rangos límite de trabajo especificado por el fabricante, sino dentro de un rango más limitado para alcanzar desempeño óptimo.

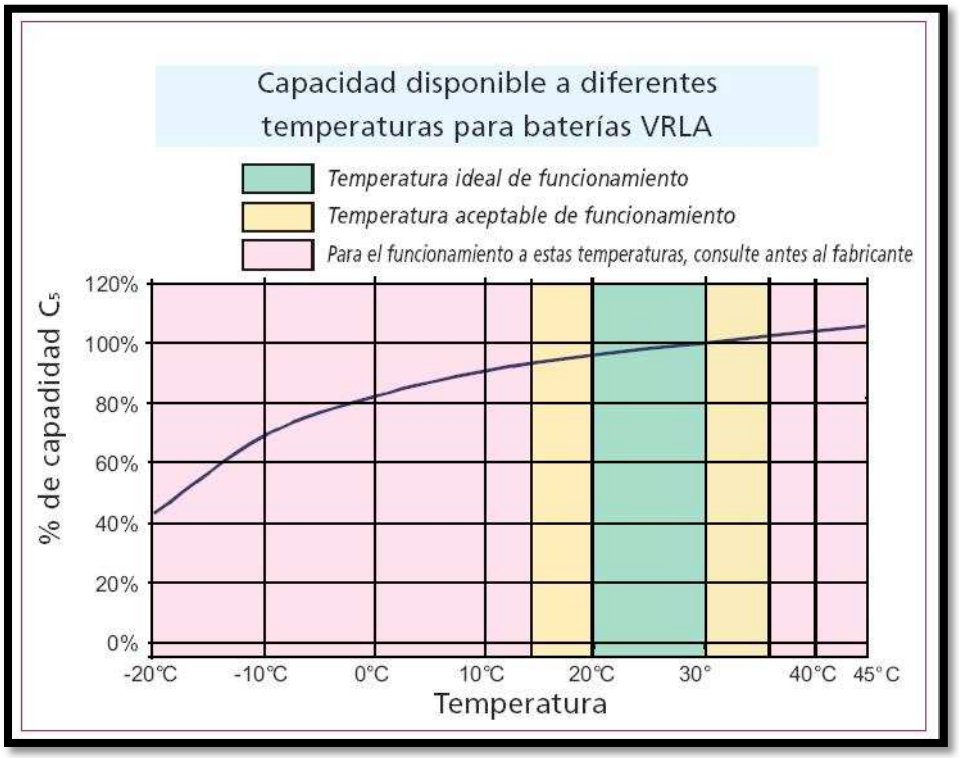


FIGURA 1.8. CAPACIDAD DE CARGA DE BATERIAS PLOMO – ACIDO A DIFERENTES TEMPERATURAS

Efectos térmicos externos

Efectos térmicos externos La condición térmica de la batería es también dependiente de su ambiente. Si su temperatura está sobre la temperatura ambiente, perderá calor por efecto de la conducción, convección y radiación. Si la temperatura ambiente es mayor, la batería absorberá calor de sus alrededores.

Cuando la temperatura ambiente es muy alta, el sistema de manejo de la temperatura debe trabajar muy duro para mantener la temperatura bajo control. Una sola celda puede trabajar muy bien a la temperatura ambiente de una sala por sí sola, pero si es parte de un paquete de baterías rodeada de celdas similares todas generando calor, aún si la carga es la misma para todas, podría exceder sus límites de temperatura.

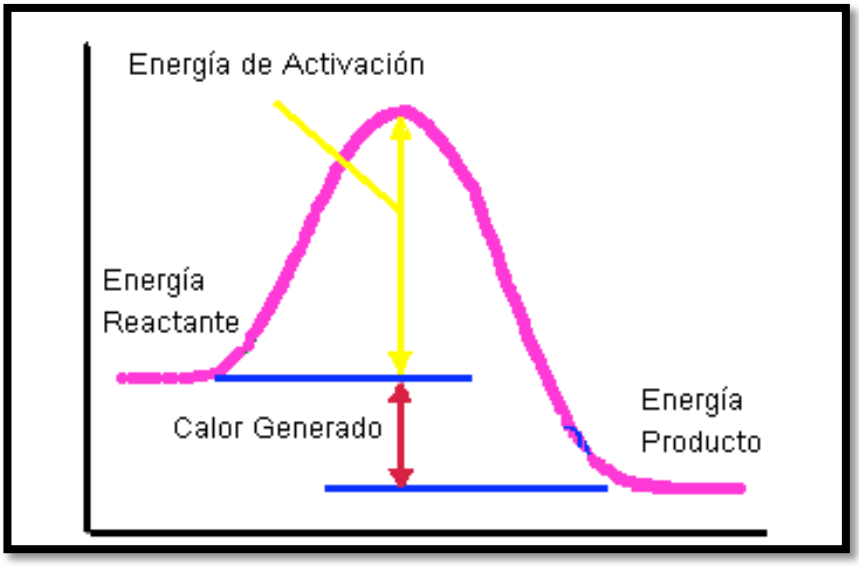


FIGURA 1.9. REACCION EXOTERMICA

CAPITULO 2

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las unidades navales de la Armada del Ecuador dentro de los escenarios en tiempo de paz y conflicto, una de sus principales funciones es de mantener los equipos y sistemas operativos, como parte fundamental en la operatividad, como parte de estas funciones la Dirección de Mantenimiento de la institución es la encargada de realizar el cambio de las baterías del Escuadrón de submarinos de que son las encargadas suministrar energía eléctrica a todo el submarino.

Se adquiere una remesa de 960 baterías nuevas para él los submarinos a la empresa alemana Hawker GMBH ya que es necesario se efectúe la remoción de las baterías por cuanto su tiempo de vida útil fue alcanzado en el año 2006, estos equipos vienen realizados sus pruebas de control de calidad, pero no vienen eléctricamente cargadas, por lo que se requiere realizar la operación de activación en tierra antes de ser puestas en los submarinos.

Para esto se requiere construir un sistema que permita la carga de 120 baterías a la vez. Como se analizó en el Capitulo 1, existen tres parámetros que se debe controlar en el momento de carga o activación de estos elementos que son:

- Voltaje
- Corriente
- Temperatura

El parámetro de voltaje es necesario conocerlo para saber cuando las celdas necesitan recargarse o cuando una de las celdas esta averiada y tomar las acciones necesarias para continuar con el procedimiento de activación de los elementos.

El parámetro de la corriente es necesario conocerlo para saber qué cantidad de energía eléctrica está entregando o recibiendo las celdas, y de esta manera conocer los amperios – hora que está recibiendo las celdas.

El parámetro de temperatura es crítico y es el parámetro que esta tesis está encargada de controlar en este proceso de activación ya que se

desprende hidrogeno y sabiendo que el hidrogeno es un gas inflamable y que al combinarse con el oxigeno en un determinado porcentaje es detonante, por este motivo se debe tener estricto control en la temperatura de las celdas y de la concentración de hidrogeno en el área de activación

El resultado de los efectos termo-eléctricos y termo-químicos, posiblemente aumentados por las condiciones ambientales es generalmente un aumento en la temperatura y como se dijo anteriormente esto provocará un incremento exponencial en la velocidad a la cual la reacción química se da. También sabemos que si el aumento de temperatura es excesivo muchas cosas desagradables pueden suceder:

- Los químicos activos se expanden causando que la celda se "hinche"
- Distorsiones mecánicas en los componentes de la celda pueden provocar corto circuitos o circuitos abiertos.
- Pueden darse reacciones químicas irreversibles las cuales causarán una reducción permanente en los químicos activos y por lo tanto en la capacidad de la celda.
- Operación prolongada a altas temperaturas puede causar roturas en partes plásticas de la celda.
- Se expelerán muchos gases de la celda, debido a lo cual aumenta la presión dentro de esta, lo que puede llevar eventualmente a una ruptura o explosión de la misma.

- Se podrían liberar químicos tóxicos o inflamables.

2.1. Requerimientos para el Proceso de Enfriamiento de las Baterías de los Submarinos

Las baterías son colocadas en un cuarto de activación designado por la Armada del Ecuador, este cuarto debe ser adecuado para colocar 240 baterías colocadas sobre plataformas de carga 4 unidades por plataforma en fila, cada batería debe ser enfriada de acuerdo a los parámetros especificados por el fabricante.

FIGURA 2.1 TRABAJOS PRELIMINARES

El enfriamiento de los elementos de la batería se consigue haciendo pasar el agua destilada a través de los polos negativos y positivos, que son huecos, pasando desde aquí a través de tuberías de salida hacia la t

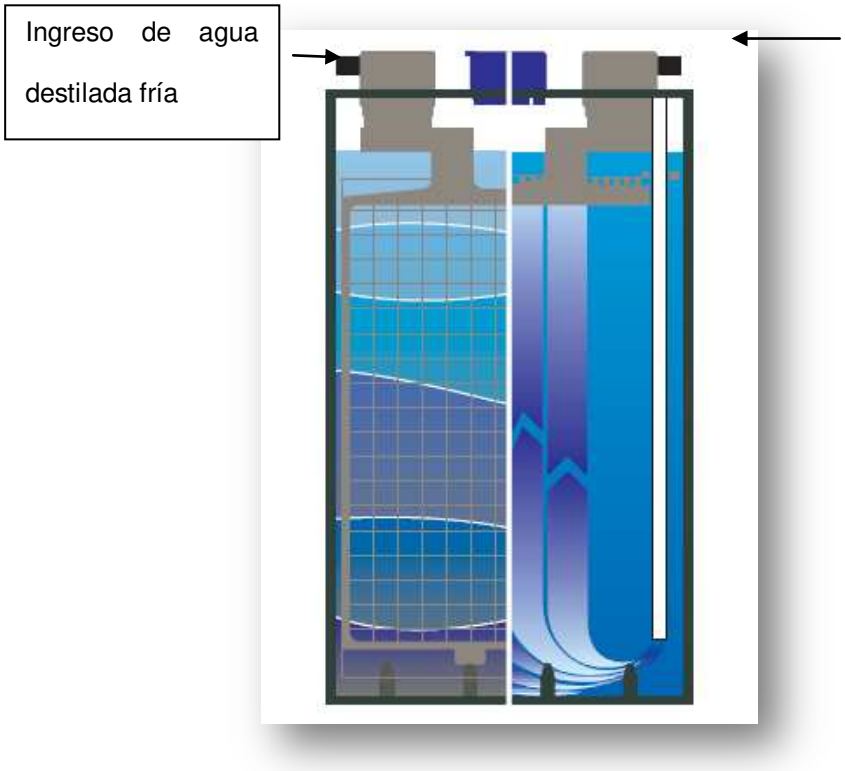


FIGURA 2.2. ESQUEMA DE ENFRIAMIENTO DE BATERIA POR MEDIO DE AGUA DESTILADA

2.2. Condiciones Técnicas para la Activación de las Baterías de Los Submarinos.

Por lo que debe cumplirse con los programas de carga y descarga, siendo la temperatura un parámetro a controlar principalmente en el periodo de carga.

Carga	10 h	590 A	5900 A-h
	40 h	435 A	17400 A-h
	4 h	Pausa	
	18 h	200 A	3600 A-h
Descarga	16 h	564 A	
Carga aprox.	31 h	Carga	Factor carga 1.25
	27	Cargar 2h	200 A/1h pausa
Descarga	20 h	564 A	
Carga aprox.	36 h	Cargar IUI	

TABLA 2.1. PROGRAMA DE CARGA ELECTRICA PARA LA ACTIVACION DE LAS BATERIAS DE LOS SUBMARINOS

2.3. Alternativas de Solución

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

Al enfriar agua es importante tener en cuenta consideraciones que mejoraran al modo de enfriamiento del agua y que pueden significar un mayor rendimiento en el proceso industrial. Por esta razón los métodos de enfriamiento pueden ser mejorados en base a estudios preliminares que cumplen con las normas existentes.

El agua en estado puro no existe y dependiendo de la fuente de donde provenga contiene un sin número de impurezas, a continuación enlistaremos solo las que nos afectan en el tratamiento interno de los sistemas de enfriamiento.

Constituyente	**Formula Química**	**Dificultad de causa**
Dureza	Sales de Ca y Mg	Fuente principal de incrustaciones en tuberías
Acidez mineral	H_2SO_4	
Libre	HCl	Corrosión
Dióxido de carbono	CO_2	Corrosión en las líneas de agua
Sulfatos	SO_4	Aumenta el contenido de sólidos en el agua. Se combina con calcio para formar sales incrustantes de sulfato de calcio
Cloruros	Cl como NaCl	Aumento el contenido de sólidos e incrementa el carácter corrosivo del agua
Sílice	SiO_2	Incrustación en sistemas de agua de enfriamiento
Hierro	Fe +2 ferroso Fe +3 férrico	Fuente de depósitos en las tuberías
Oxigeno	O_2	Oxidación en tuberías
Sulfuro de hidrogeno	H_2S	Corrosión
Sólidos disueltos		Elevadas concentraciones de sólidos son indeseables debido a que originan formación de lodos.
Sólidos suspendidos		Originan depósitos en equipos intercambiadores de calor y tuberías ocasionan formación de lodos o incrustaciones
Microorganismos	Algas, limo y hongos	Formación de adherencia suciedad biológica, corrosión, olores desagradables

TABLA 2.2. IMPUREZAS MAS COMUNES EN EL AGUA QUE AFECTAN LOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO.

De acuerdo a las especificaciones indicadas anteriormente, principalmente se requiere remoción de calor de las baterías mientras estas se encuentran en el proceso de activación en tierra para la cual se plantea algunas alternativas de varios sistemas de enfriamiento para posteriormente escoger la más óptima.

2.3.1. Sistema de enfriamiento directo

Las instalaciones donde se van a colocar las baterías para ser activadas están cerca del estero para lo cual se analizaran ventajas y desventajas de utilizar este sistema.

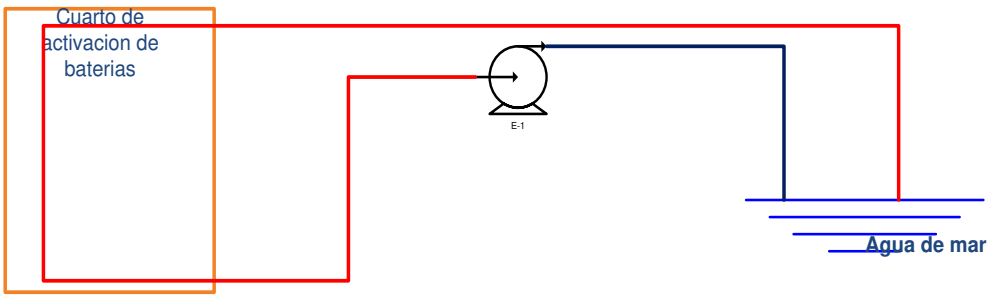


FIGURA 2.3. ESQUEMA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DIRECTO

Ventajas

- Se tiene agua permanente y en gran cantidad tomada desde el estero.
- No se requiere instalaciones hidráulicas complicadas.

Desventajas

- El agua que debe ingresar al sistema de enfriamiento de las baterías debe ser estéril, pero el agua del estero contiene cantidades apreciables de sales disueltas, lo que implica el que se tendría que pensar en una planta de tratamiento de agua.
- El agua caliente que sale como producto de la remoción de calor retorna al estero, se presenta el problema de contaminación térmica que puede ser tan grave como cualquier otra forma de contaminación, ya que el agua tibia estimula el crecimiento anormal de algas, que en cierto modo consume el oxigeno de uso animal.

2.3.2. Sistema de enfriamiento para Baterías de Submarino utilizando Intercambiadores Enfriados por Aire

Consiste en una serie de tubos situados en una corriente de aire, que puede ser forzada con ayuda de un ventilador.

Ventajas

- Los tubos suelen tener aletas para aumentar el área de transferencia de calor.
- Pueden ser de hasta 12 m de largo y 2,5 a 5 m de ancho.
- Un intercambiador de aire, tiene una diferencia de temperatura de unos 12 ºC.

Desventajas

- En un intercambiador de calor enfriado por aire hay que considerar gastos de enfriamiento del agua es relativamente caro.

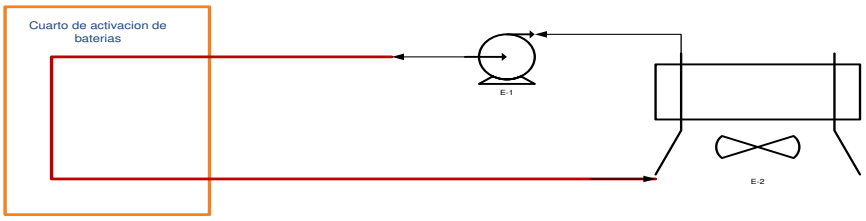


FIGURA 2.4. ESQUEMA DE SISTEMA DE ENFRIAMIENTO UTILIZANDO INTERCAMBIADORES ENFRIADOS POR AIRE

2.3.3. Sistema de Enfriamiento de Baterías de Submarino Utilizando Chiller

Un Chiller (o enfriador de agua) es un aparato industrial que produce agua fría para el enfriamiento de procesos industriales. La idea consiste en extraer el calor generado en un proceso por contacto con agua a una temperatura menor a la que el proceso finalmente debe quedar. Así, el proceso cede calor bajando su temperatura y el agua, durante el paso por el proceso, la eleva.

El agua ahora "caliente" retorna al chiller donde nuevamente se reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso.

Ventajas

- El chiller es un sistema completo de refrigeración.
- Alimentación al sistema con diferentes caudales y presiones y temperaturas de agua.
- Alto rango de enfriamiento, inclusive temperaturas de congelación con adición de anticongelantes.

Desventajas

- Mantenimiento costoso ya que incluye un compresor, un condensador, evaporador, válvula de expansión, refrigerante y tuberías.
- Consumo de energía.

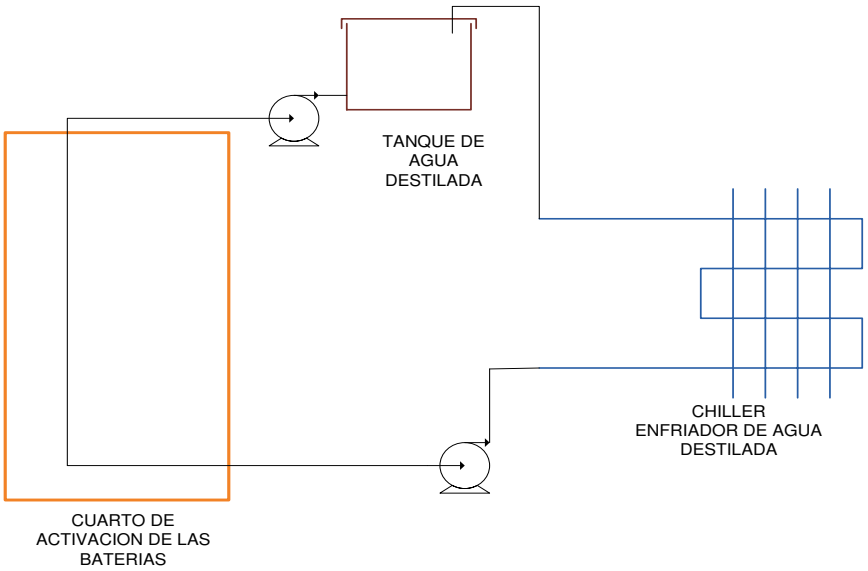


FIGURA 2.5. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE BATERIAS PARA SUBMARINO UTILIZANDO UN CHILLER

2.3.4. Sistema de Enfriamiento Utilizando Intercambiador de Calor y Torre de Enfriamiento.

Ventajas

- Un intercambiador de calor es un equipo utilizado para enfriar un fluido que esta más caliente de lo deseado, transfiriendo este calor a otro fluido que esta frio y necesita ser calentado.
- La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos.

- Las torres para enfriamiento de agua son dispositivos cuya finalidad es extraer calor del agua a través del contacto directo con el aire.
- Las torres tienen múltiples aplicaciones, desde pequeñas instalaciones de aire acondicionado hasta en grandes complejos de generación de energía eléctrica.
- Se puede decir que su uso está justificado en sistemas que utilizan agua como medio refrigerante, donde sea necesario disipar grandes cantidades de calor a bajo costo y el salto de temperatura requerido sea del orden de 10°C.
- La Armada del Ecuador proporcionara el banco de tubos de un Intercambiador de Calor en desuso.

Desventajas

- Sistema ocupa mayor espacio físico.
- Tiempo de montaje relativamente largo.
- Sistemas sujetos a mayor corrosión.
- Alcanza diferenciales de temperatura bajos en relación a los otros sistemas.

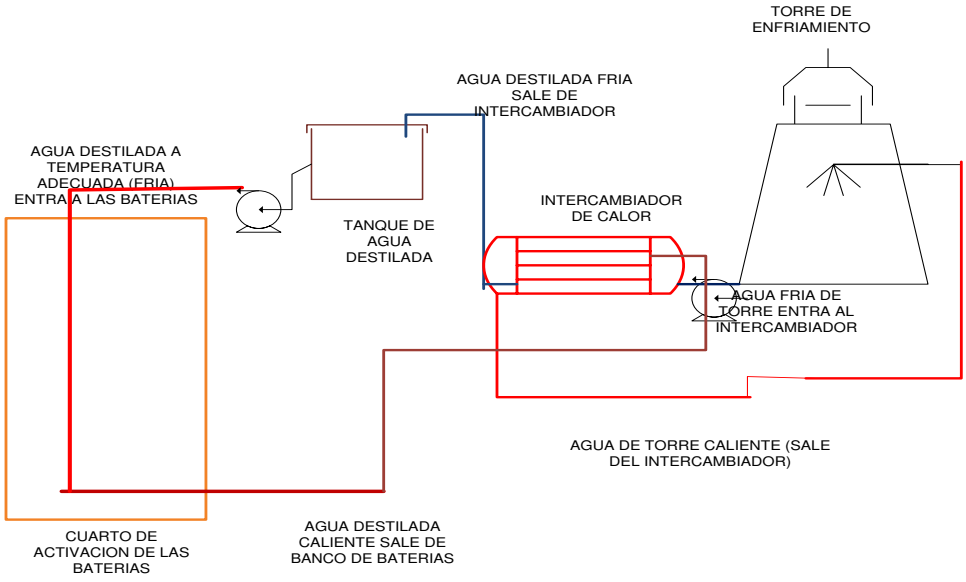


FIGURA 2.6. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO UTILIZANDO INTERCAMBIADOR DE CALOR Y TORRE DE ENFRIAMIENTO

2.4. Selección de la Mejor Alternativa para el Sistema de Enfriamiento de las Baterías.

Para la selección del sistema de enfriamiento para las baterías de los submarinos se utilizará una matriz de decisión de acuerdo a los parámetros descritos anteriormente tomando en cuenta las ventajas y las desventajas de cada sistema, se ha tomado en cuenta para esta operación los parámetros más

significativos en el proceso de la solución del problema, asignando a cada uno un porcentaje de acuerdo a la importancia que este brinda para escoger la solución.

Para ingresar a la matriz a las alternativas se les reconocerá con sus iniciales.

- Sistema de enfriamiento directo: SED
- Sistema de enfriamiento utilizando Intercambiador enfriado por aire:

  SEIEA
- Sistema de enfriamiento utilizando chiller: SECh
- Sistema de enfriamiento utilizando Intercambiador de calor y Torre de enfriamiento:

  SEICTE

Parámetros

1. Costos de los sistemas de enfriamiento: 3
2. Mantenimiento de equipos: 4
3. Cumple con especificaciones y requerimientos de la propuesta: 2

4. Facilidad para adquisición de equipos: 3

5. Durabilidad del sistema 1

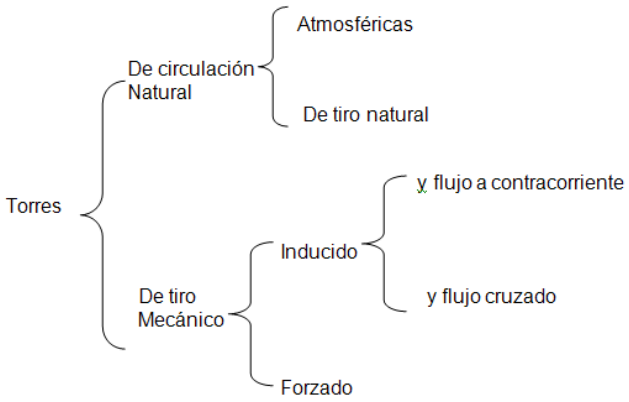
	1 3	2 4	3 2	4 3	5 1	Total
SED	2,5	2	0	1,5	0,5	6,5
SEIEA	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	5,0
SECh	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	4,5
SEICTE	**1,5**	**1,5**	**1,5**	**1,5**	**1,0**	**7,0**

TABLA 2.3. MATRIZ DE DECISION

De acuerdo a la matriz de decisión planteada la solución más adecuada es la propuesta del sistema de enfriamiento con intercambiador de calor y torre de enfriamiento.

Existen varias torres de enfriamiento que se podrían adaptar al sistema, a continuación se mencionaran cada una de estas para seleccionarla de por medio de otra matriz de decisión.

2.5. Torres de Enfriamiento y su Clasificación.



2.5.1. Torres de circulación natural

Estas no hacen uso de ventiladores para la circulación de aire, se clasifican en:

- torres atmosféricas
- torres de tiro natural

Torres atmosféricas

Sus características son las siguientes:

1. Utilizan las corrientes de aire de la atmósfera (son de flujo cruzado).
2. Son abiertas.
3. Deben instalarse en lugares muy despejados, de forma que ningún obstáculo pueda impedir la libre circulación de aire a través de la torre.
4. Tienen un costo inicial alto debido a su gran tamaño, pero el costo de mantenimiento es reducido, al no existir partes mecánicas móviles.
5. Se debe garantizar que funcionará habitualmente expuesta a vientos de velocidades iguales o superiores a los 8 km/h.
6. 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.

Torres de tiro natural

Sus características son las siguientes:

1. El aire es inducido por una gran chimenea situada sobre el relleno.
2. 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.
3. 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.
4. Son altas y deben tener una sección transversal grande para facilitar el movimiento del aire ascendente.
5. Tienen bajos costos de mantenimiento y son muy indicadas para enfriar grandes caudales de agua.
6. Al igual que las torres atmosféricas, no tienen partes mecánicas.
7. La velocidad media del aire a través de la torre suele estar comprendida entre 1 y 2 m/s.
8. No es posible conseguir un valor de acercamiento pequeño y es muy difícil controlar exactamente la temperatura del agua.
9. 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.
10. Estas torres son muy utilizadas en centrales térmicas; muy pocas veces son aplicables a plantas industriales debido a la fuerte inversión inicial necesaria.

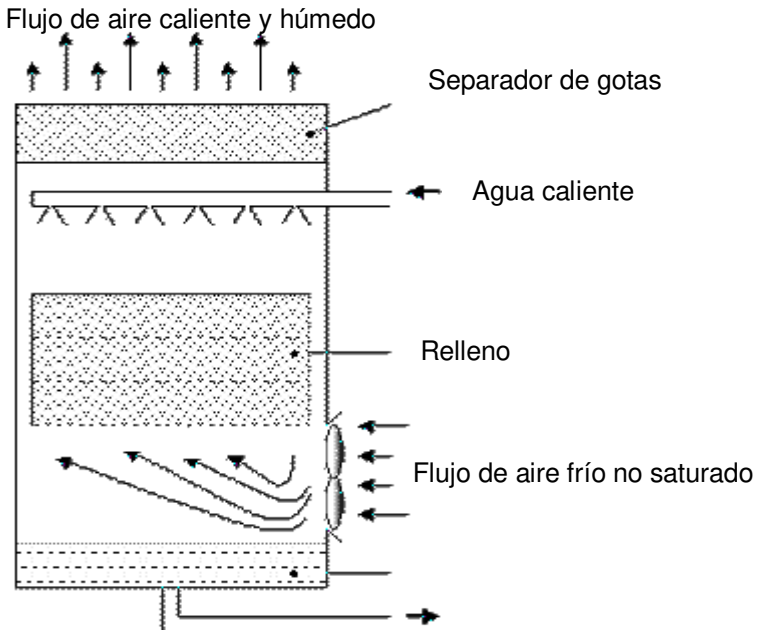
2.5.2. Torres de tiro mecánico

1. Proporcionan un control total sobre el caudal de aire suministrado.
2. Son torres compactas, con una sección transversal y una altura de bombeo pequeñas en comparación con las torres de tiro natural.
3. Valores de acercamiento muy pequeños (hasta de 1 a 2 ºC, aunque en la práctica acostumbra a ser de 3 a 4 ºC).
4. Si el ventilador se encuentra situado en la entrada de aire, el tiro es forzado.
5. Cuando el ventilador se ubica en la zona de descarga del aire, se habla de tiro inducido.

Torres de tiro forzado

Sus características son las siguientes:

1. El aire se descarga a baja velocidad por la parte superior de la torre.
2. Son, casi siempre, de flujo a contracorriente
3. 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.
4. El ventilador trabaja con aire frío y no saturado.
5. El equipo mecánico tendrá una duración mayor que en el caso de tiro inducido.
6. El inconveniente radica en la posibilidad de recirculación del aire de salida hacia la zona de baja presión, creada por el ventilador en la entrada de aire. En la siguiente figura se puede observar la distribución de sus partes constituyentes.



Bandeja colectora

Agua fría

FIGURA 2.7. TORRE DE ENFRIAMIENTO DE TIRO FORZADO

Torres de tiro inducido

Estas torres son de gran importancia a nivel industrial, son solución económica a los requerimientos de enfriamiento; pueden ser de dos tipos:

- De flujo a contracorriente.
- De flujo cruzado.

Torres de tiro inducido y flujo a contracorriente

Sus características son las siguientes:

1. Tanto el agua como el aire van en la misma dirección pero en sentidos opuestos.
2. El agua más fría se pone en contacto con el aire más seco, lográndose un máximo rendimiento.
3. El aire puede entrar a través de una o más paredes de la torre.
4. Altura de entrada de aire reducida en comparación con las de tiro inducido y flujo cruzado. Existe el riesgo de arrastre de suciedad y cuerpos extraños dentro de la torre debido a la velocidad de entrada de aire.
5. La resistencia del aire que asciende contra el agua que cae se traduce en un aumento de la potencia de ventilación en comparación con otras torres. En la siguiente figura se observa la distribución de las partes constituyentes de este tipo de torre.

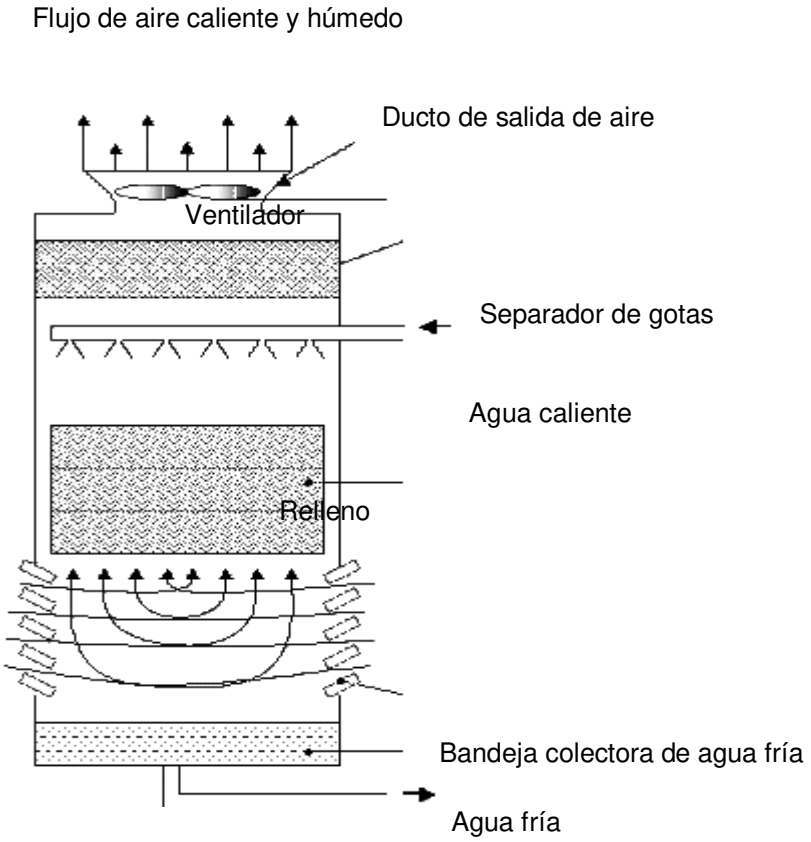


FIGURA 2.8. TORRE DE FLUJO A CONTRACORRIENTE Y TIRO INDUCIDO

Torres de tiro inducido y flujo cruzado.

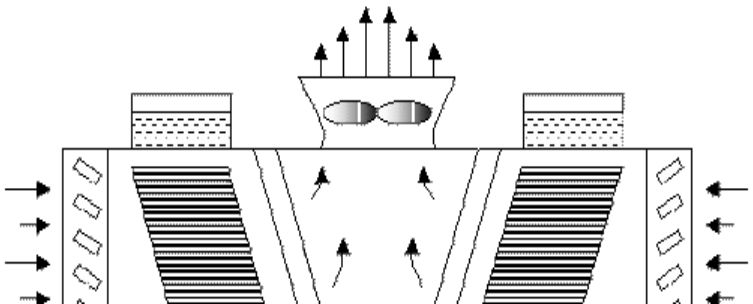
Sus características son las siguientes:

1. El aire circula en dirección perpendicular respecto al agua que desciende.

2. 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. Pero su diámetro o sección transversal es relativamente mayor a las de tiro inducido y flujo a contracorriente.
3. El mantenimiento de estas torres es menos complicado que en el caso de las torres a contracorriente.
4. Facilidad de inspección de los distintos componentes internos de la torre.
5. 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.

En la siguiente figura se observan sus partes:

Flujo de aire caliente y húmedo



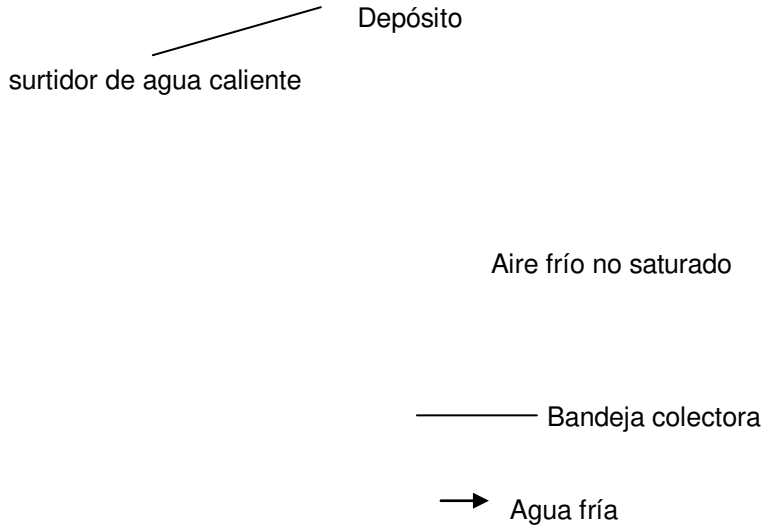


FIGURA 2.9. TORRE DE FLUJO CRUZADO Y TIRO INDUCIDO

2.5.3. Especificación del Tipo de Torre de Enfriamiento a Usarse.

Para seleccionar el tipo de torre de enfriamiento adecuado empleo una matriz de decisión, en la que en la primera fila pondero al costo inicial, costo de operación, tamaño compacto, facilidad de mantenimiento, y sobre todo al espacio requerido para el montaje, como las características requeridas para solucionar el problema.

Las alternativas de solución son las 5 clases de torre de enfriamiento, a las que asigno una jerarquía del 1 al 10, en función de las características dadas en la anterior clasificación de las torres de enfriamiento.

De la sumatoria de los valores resultantes de la multiplicación de ponderación y jerarquía, de cada tipo de torre, se elegirá al tipo que posea mayor resultado.

Torre tipo	Costo inicial	Costo de operación	Tamaño compacto	Facilidad de mantenimiento	Área de montaje	Suma
Factor de Peso	*0.25*	*0.20*	*0.20*	*0.15*	*0.20*	*1.00*
Circulación Natural Atmosférica	1 0.25	8 1.6	1 0.2	6 0.9	1 0.2	3.15
Circulación De tiro Natural	2 0.5	8 1.6	2 0.2	6 0.9	1 0.2	3.4
Tiro mecánico Inducido y flujo a contracorriente	10 **2.5**	9 **1.8**	10 **2**	8 **1.2**	10 **2**	**9.5**
Tiro mecánico Inducido y flujo cruzado	6 1.5	8 1.6	9 1.8	7 1.05	8 1.6	7.55
Tiro mecánico Forzado	9 2.25	10 2	8 1.6	10 1.5	8 1.6	8.95

TABLA 2.5. MATRIZ DE DECISION PARA SELECCIONAR EL TIPO DE TORRE

Es evidente que la mejor opción es el tipo de torre de enfriamiento de tiro mecánico y flujo a contracorriente. Esto debido a que, comparativamente, tiene menor tamaño y área de montaje requerido; aunque no posea los menores costos iniciales y de operación, tal es el caso del tipo de torre de enfriamiento de tiro mecánico forzado. Esta es, relativamente, más difícil de limpiar, y realizar su montaje, razón por la que se descarta.

CAPITULO 3

3. ANALISIS TÉRMICO

3.1. Descripción del Sistema.

A partir de la figura 2.6. implica algunos análisis para el diseño del sistema de enfriamiento y es así que:

Las baterías como se indico en los requerimientos del sistema van a ser cargadas 120 a la vez, esto se lo va a realizar en el galpón asignado por el personal encargado del proyecto por parte de la Armada del Ecuador.

En este sitio tiene capacidad para almacenar 240 baterías, como se vio en los requerimientos eléctricos las baterías tienen periodos de tiempo de carga y descarga por lo que se requiere realizar primeramente un diseño de un sistema que permita enfriar primeramente a 120 baterías por un tiempo y en el periodo de descarga llevar a cargar las 120 baterías que se encuentran a continuación.

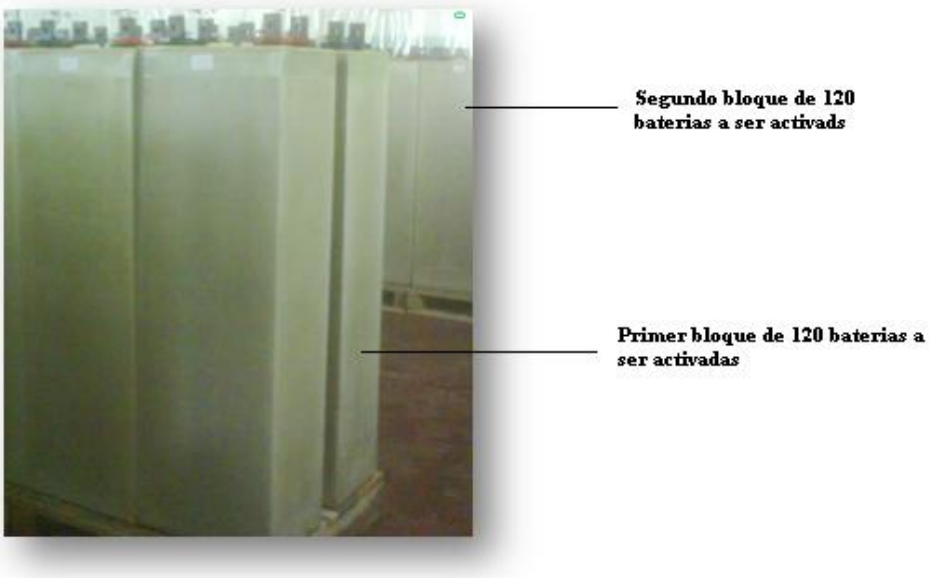


FIGURA 3.1. DISPOCISION DE LAS BATERIAS EN EL CUARTO DE ACTIVACION

Para ello se diseño un sistema móvil que consta de parrillas suspendidas en ruedas, en esta parrilla se colocara las tuberías de circulación de agua destilada fría y saldrá de las baterías agua destilada caliente, se indica esta disposición en el Plano 1, la parte del diseño de la estructura móvil no será parte de esta tesis.

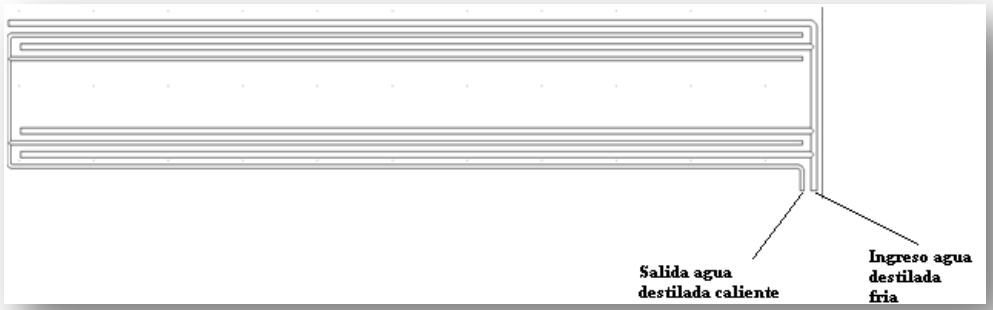


FIGURA 3.2. DISPOSICION DE TUBERIA

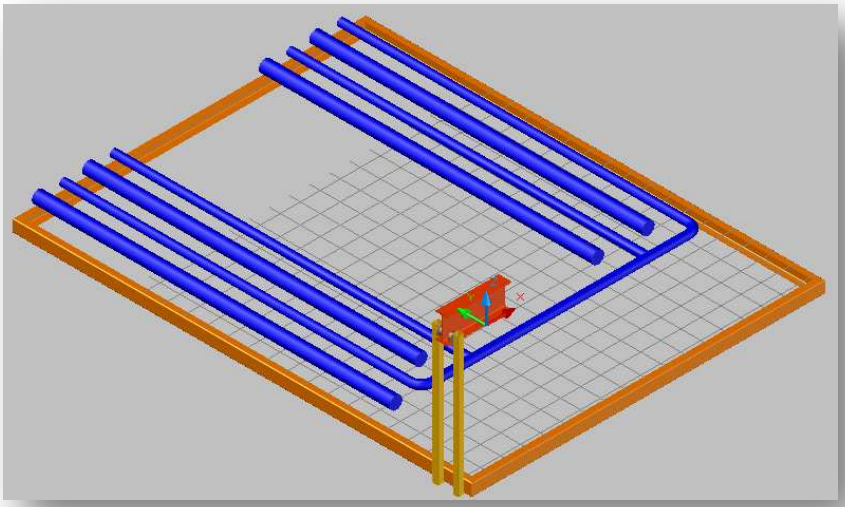


FIGURA 3.3. SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

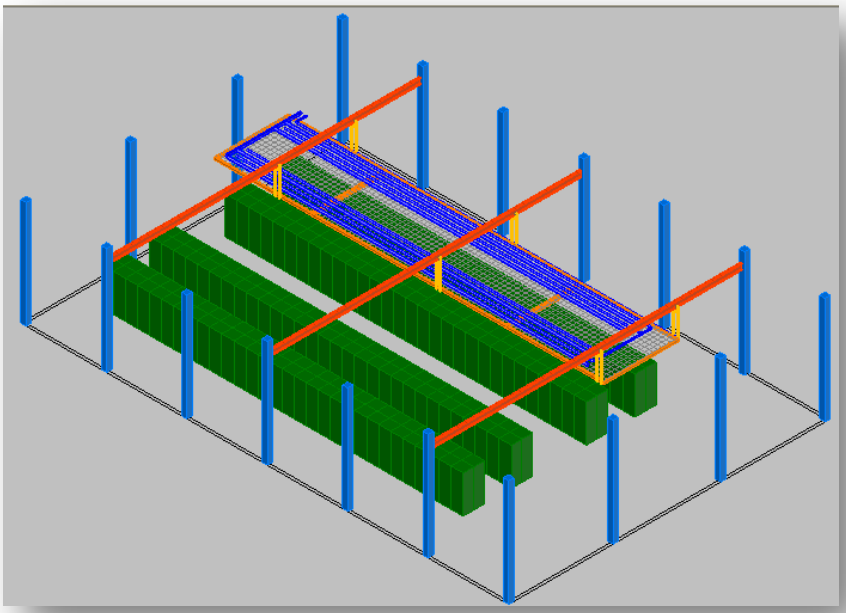


FIGURA 3.4 DISPOSICION DE BATERIAS EN CUARTO DE ACTIVACION CON SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

FIGURA 3.5. SISTEMA MOVIL PARA LLEVAR FLUIDO DE ENFRIAMIENTO A LAS BATERIAS CONSTRUIDO

Una vez que se ha descrito el sistema el cual va a llevar el agua destilada para el enfriamiento de las baterías se tiene que describir el sistema de enfriamiento en si del agua destilada, para ello la Armada del Ecuador doto de un intercambiador de calor que por el interior circulara agua destilada caliente para que por su exterior circule agua fría proveniente de la torre de enfriamiento cerrando de esta manera el circuito, cabe notar que el intercambiador de calor es del tipo tubo coraza pero el intercambiador adquirido no posee su coraza.

Antes de hacer el diseño se hizo un análisis de la factibilidad de construir este sistema en nuestro medio, se consulto en el mercado el costo de una torre de enfriamiento adquirida en una empresa importadora de estos equipos frente al análisis de una torre que se pueda construir en ERMARLO S.A., resultando más conveniente la construcción de la torre y el acondicionamiento en el sistema de enfriamiento, este análisis se demostrara en el capítulo de costos.

3.2. Datos de Operación

A) FLUJO

1)	Agua destilada:	15 m^3/h
2)	Agua de mar	15 m^3/h

B) PRESION

1)	Agua destilada	2,5 kg/cm^2
2)	Agua de mar	de la torre

C) TEMPERATURA DE ENTRADA

1)	Agua destilada	38 ^0C
2)	Agua de mar	28 ^0C

D) TEMPERATURA DE SALIDA

1)	Agua destilada	33,1 ^0C
2)	Agua de mar	32,9 ^0C

E) DATOS DEL AIRE

1)	Temperatura de bulbo seco	32,2 ^{0}C
2)	Temperatura de bulbo húmedo	78,8

3.3. Consideraciones del Sistema

- El sistema se instalara en un patio al aire libre.
- El intercambiador de calor debe permitir facilidades de limpieza y mantenimiento.
- El agua a usarse para la torre será agua potable.
- La velocidad del viento en Guayaquil es variable, así que el diseño de la torre no debe depender de la velocidad del viento.
- El intercambiador de calor dotado por parte de la Armada del Ecuador del tipo de haz de tubos y coraza, este dispositivo no posee la coraza.
- Para lo cual el intercambiador de calor se analizara sumergiendo él en la piscina de la torre de enfriamiento, esta disposición arrancara calor de los tubos del intercambiador para por el método de conducción térmica pasar calor al agua de la torre y hacerla circular.
- El agua destilada y el agua de la torre no deben mezclarse.

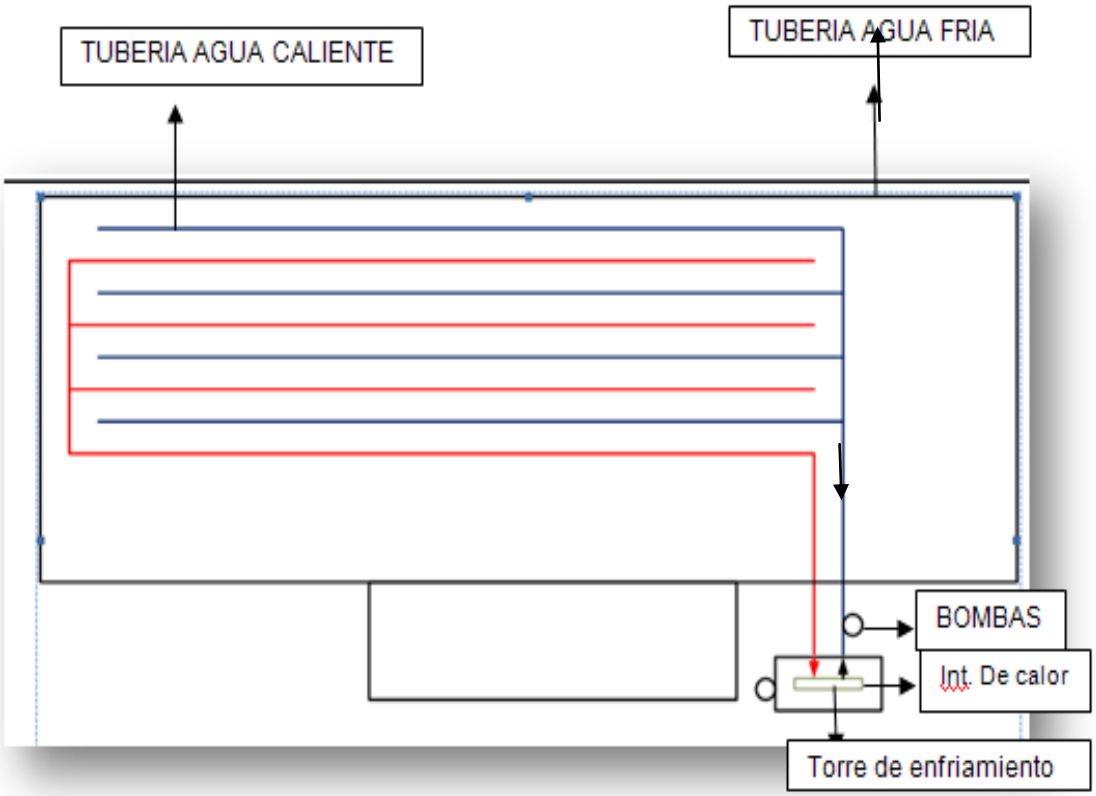
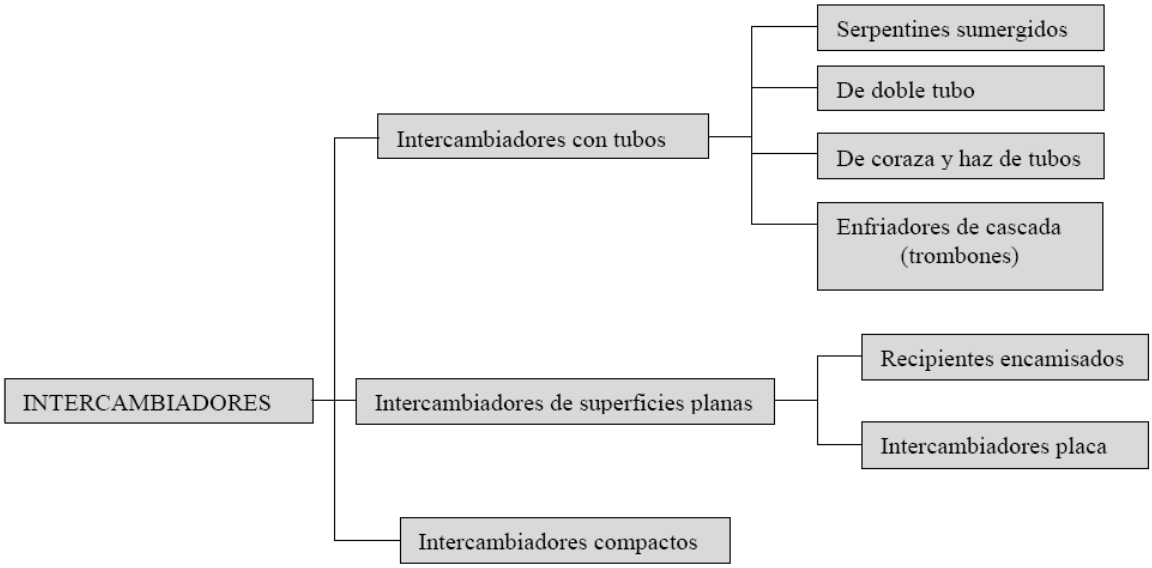


FIGURA 3.6. DISENO DE FORMA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

3.4. Selección del Intercambiador de Calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo que efectúa la transferencia de calor de un fluido a otro que se encuentran a diferentes temperaturas y separados por una frontera solida.

En forma muy general se pueden clasificar los intercambiadores de calor de acuerdo al tipo de superficie:



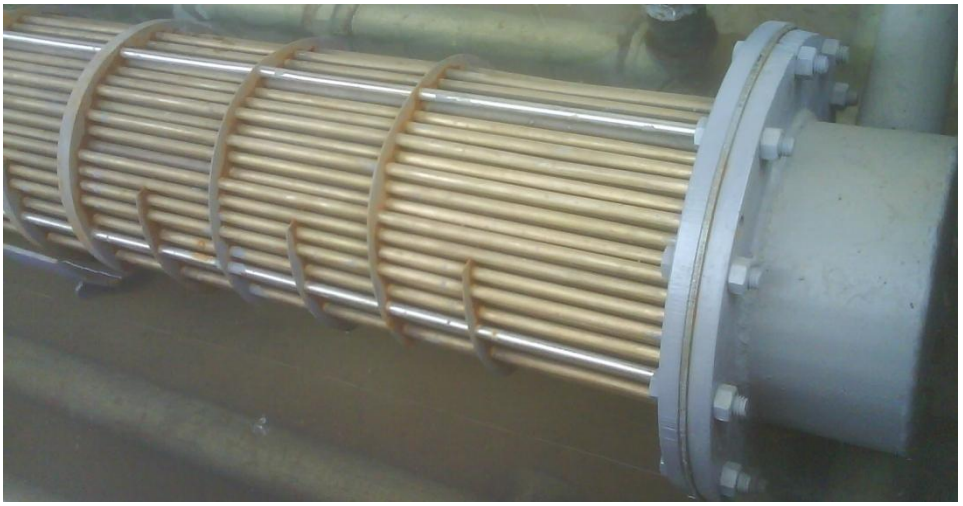


FIGURA 3.6. INTERCAMBIADOR DE HAZ DE TUBOS

En la primera etapa se toman en cuenta consideraciones referidas al tipo de intercambio de calor que se produce. En la segunda etapa se obtienen las propiedades de los fluidos en función de las variables conocidas y se calcula el coeficiente global U y el área de intercambio A. En la tercera etapa se elige un intercambiador adecuado para este servicio, teniendo en cuenta el coeficiente global U, el área de intercambio A y las características de los fluidos y de las corrientes. En la cuarta se vuelve a calcular el coeficiente global U y el área de intercambio A. Si no coinciden con el intercambiador previamente elegido se vuelve al paso tres. Si coinciden se da por terminado el proceso. [2]

3.4.1. Método F – LMTD para Seleccionar el Intercambiador de Calor

El balance de energía da como resultado:

[Energía perdida por el flujo caliente]= [Energía ganada por el flujo frío]

O bien:

$m_h\, c_h(T_{h,i} - T_{h,0}) = m_c\, c_c(T_{c,i} - T_{c,0})$ Ec.1

Donde:

m_h : Flujo másico del fluido caliente

c_h : Calor específico del fluido caliente

$T_{h,i}$: Temperatura de entrada del fluido caliente

$T_{h,0}$:Temperatura de salida del fluido caliente

m_c : Flujo másico del fluido frío

c_c : Calor específico del fluido frío

$T_{c\,i}$: Temperatura de entrada del fluido frío

$T_{c,0}$: Temperatura de salida del fluido frío

El producto $(m\cdot c)$ aparece con frecuencia en el análisis de intercambiadores de calor y es denominado, Capacidad calorífica, C,

$C = (m\cdot c)$.

Existen dos metodologías de análisis térmico de intercambiadores de calor.

1. Método F-LMTD
2. Método ε - NTU

A continuación se presentara el análisis F-LMTD para la selección del intercambiador de calor.

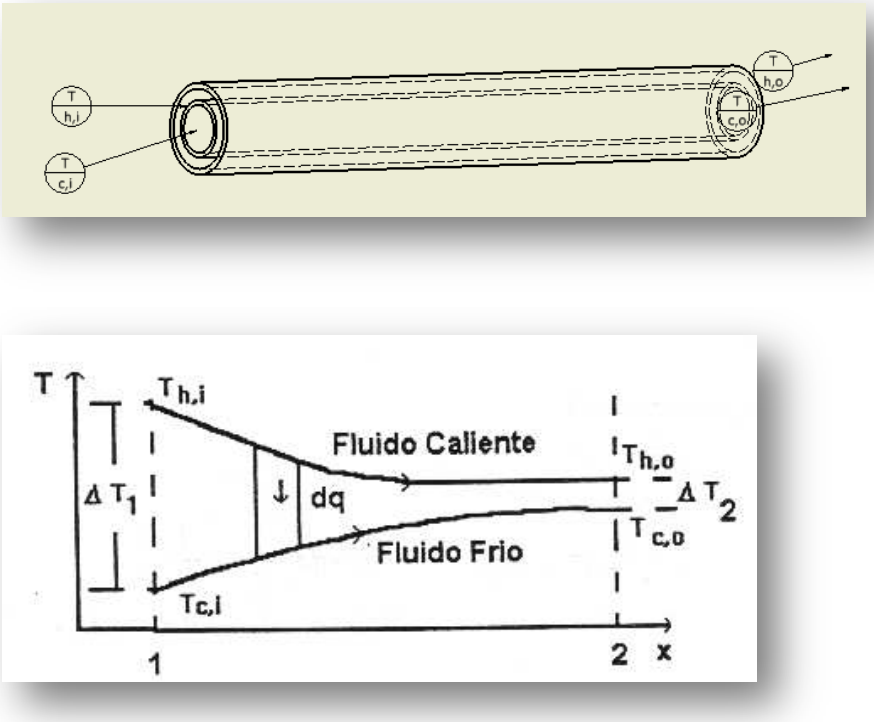


FIGURA 3.7. DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS EN UN INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO EN TUBO PARALELO[1]

Se propone calcular el flujo de calor mediante:

Ec. 2

Donde:

q: Flujo de calor [W]

U: Coeficiente global de transferencia de calor [W/m^2K]

A: Área de transferencia de calor consistente con U

: Diferencia de temperatura media

En la figura 3.7 se muestra la historia de las temperaturas de los fluidos fríos y calientes, de este modo un balance de energía nos da como resultado.

Ec. 3

Incorporando la capacidad calorífica, y arreglando la ecuación tenemos:

= / Ec.4

Ec.5

Restando ambas ecuaciones,

— – Ec.6

Sustituyendo la expresión de calor expresada por:

Ec.7

Se obtiene la siguiente ecuación diferencial:

——— — – Ec.8

Integrando la ecuación anterior entre el punto 1 y el 2, se obtiene:

— — – Ec.9

Si

——— Ec.10

——— Ec. 11

De manera que sustituyendo las ecuaciones anteriores en la ecuación previamente integrada S:

— — Ec.12

Que al despejar de la ecuación anterior, q, se tiene:

——— Ec.13
—

De la última ecuación se reconoce:

———
—

Donde LMTD son las siglas en ingles de Logarithm Mean Temperature Difference (Diferencia de temperatura logarítmica media).

Esta ecuación se aplica la misma expresión para LMTD, tanto en flujo paralelo, como en contra corriente.[1]

Asignación de flujos.

Las reglas aplicables para determinar que fluido va por el casco y cual por los tubos son:

1.- El fluido a mayor presión va en los tubos.

2.- El fluido más corrosivo va en los tubos.

3.- Los fluidos más sucios van en los tubos

4.- El fluido con menor pérdida de presión va en el casco.

5.- El fluido a condensar en el casco.

Diagramas Térmicos

Un diagrama térmico es la representación de la temperatura de las corrientes en función del calor transferido o de la longitud. Si existe cruce de temperaturas será necesario utilizar varios intercambiadores en serie.

Diferencia de temperatura media corregida

La diferencia media de temperaturas MTD en un intercambiador de calor de tubo coraza es la diferencia media logarítmica de temperaturas multiplicada por un factor F

MTD = F * LMTD Ec. 14

De la ecuación 13 tenemos que:

$$\frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad}$$ Ec.15

Siendo: T: temperatura de fluido caliente; t: temperatura de fluido frio.

1: entrada, 2: salida.

El factor F se obtiene de las graficas que se darán en el **apéndice 1**. Un valor de F < 0,8 no es admisible por diseño, hay que calcular P y R según las condiciones:

$$\frac{\quad}{\quad}$$ Ec. 16

$$\frac{\quad}{\quad}$$ Ec.17

SELECCIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

Se tiene que obtener primeramente el calor removido por el intercambiador de calor para lo cual se utilizara la ec.1:

$q=m_h c_h \Delta T$ Ec. 1.1

C_h=1BTU/lb ^{0}F

ΔT=8,8 ^{0}F

$m_h=Q*\rho$ Ec. 1.2

donde

Q=15 m^3/h = 529,7 ft^3/h

ρ=61,99 lb/ft^3 Para 100 ^{o}F (ver anexo 1)

Sustituyendo en la ec.1.2

m_h=529,7 ft^3/h*61,99 lb/ft^3 = 32836,103 lb/h

por lo tanto sustituyendo valores en la ec. 1.2:

q=271825,39 BTU/h

q=79659,9 W

Con los datos suministrados se seleccionara el intercambiador de calor adecuado:

$T_{h,i}$ = 100,4

T h,0 = 91,58

m c = 15 / h = 66,05 GPM

T c i = 82,4

T c,0 = 91,2

q = 271825,39 BTU/h

U = 150 BTU/pie^2 obtenido de la tabla 3.1.

INTERCAMBIADOR	ESCALA TÍPICA	
	Presion (lb/plg^2)	U ($Btu/plg^2{}^oF$)
a. Tubo-Coraza (vapor - liquido)	0-500	20-60
b. Tubos–aire abierto (aire - liquido)	0-100	2-10
c. Tubo-Coraza (liquido - liquido)	0-500	40-150

TABLA 3.1. ESCALA DE PRESION Y VALOR U PARA TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR[16]

De la Ec. 2 obtenemos el área de transferencia del intercambiador

—— Ec. 18

MTD = LMTD * F diferencia de temperaturas medias corregidas

LMTD = 9,18 este valor es obtenido de la Ec. 15

Para encontrar el factor de corrección F utilizamos el Apéndice C Ingresando los valores P y R dadas en las ecuaciones 16 y 17 obtenemos:

P = 0,55

R = 1,17

F = 0,9

Por lo tanto

MTD = 9,18 * 0,9 = 8,2

Por la Ec. 18 el área de transferencia de calor es:

A = 220,9 pie^2 = 20,52 m^2

Para calcular el número de tubos del intercambiador tubo coraza se plantea la siguiente ecuación:

—— Ec. 19

a" es un factor obtenido para el tubo ¾ obtenido del **Apéndice E** y es 0,193 pie/pie^2 por el área de disponibilidad donde se construirá el sistema tiene una longitud de 8 pie.

Por lo tanto el número de tubos requeridos para el intercambiador de calor es:

Nt = 140,72 tubos de ¾"

Área transversal de flujo y Superficie para Tubos Calibre 16 BWG		
Diámetro externo pulgadas	Número de tubos conteniendo 1 pie^2 de área transversal de flujo	Superficie por pie de longitud de haz conteniendo 1 pie^2 de área transversal de flujo
$^1/_2$	1340	175
$^5/_8$	746	122
$^3/_4$	476	94
$^7/_8$	330	76
1	242	63
$1^1/_8$	185	55
$1^1/_4$	146	48
$1^1/_2$	99	39

TABLA 3.2. AREA TRANSVERSAL DE FLUJO Y SUPERFICIE PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR [16]

3.5. Uso de Software para Selección de Intercambiador de Calor

En este punto se pretende realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos mediante el método analítico frente al uso de un software mediante el cual se seleccionara el intercambiador de calor requerido para el sistema de enfriamiento que se trata.

El software que se utilizara es el ESP – PLUS V 2.0 HEAT EXCAHANGER, este software dará como resultados el tipo de intercambiador de calor que existe comercialmente.

FIGURA 3.8. VENTANA DE INICIO DEL PROGRAMA

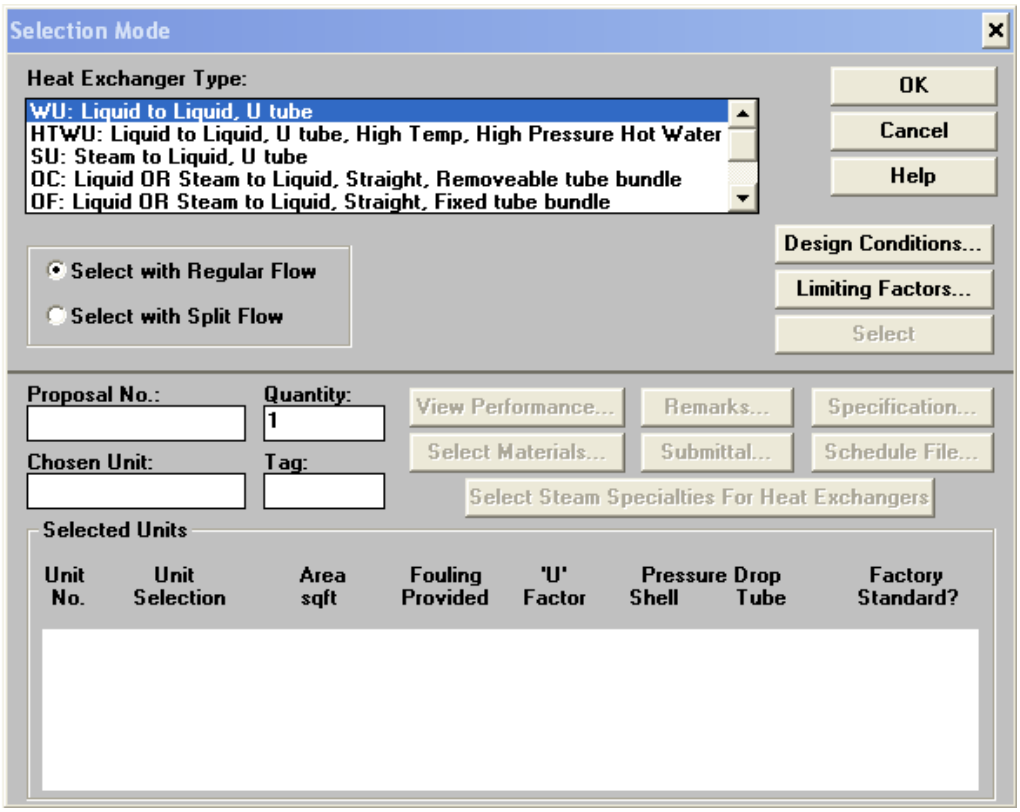


FIGURA 3.8. VENTANA DE SELECCIÓN DE TIPO DE INTERCAMBIADOR A UTILIZARSE Y LOS TIPOS DE FLUIDOS

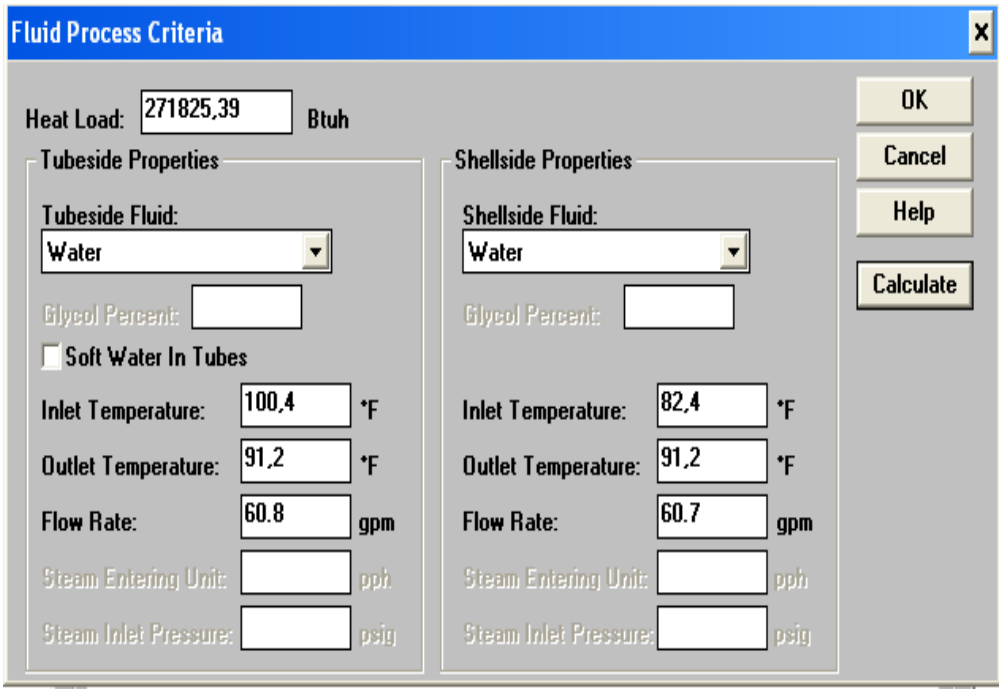


FIGURA 3.9. VENTANA INGRESO DE DATOS TANTO PARA INTERCAMBIADOR COMO PARA EL FLUIDO CIRCUNDANTE, DA COMO RESULTADO LA TAZA DE FLUJO EN GPM

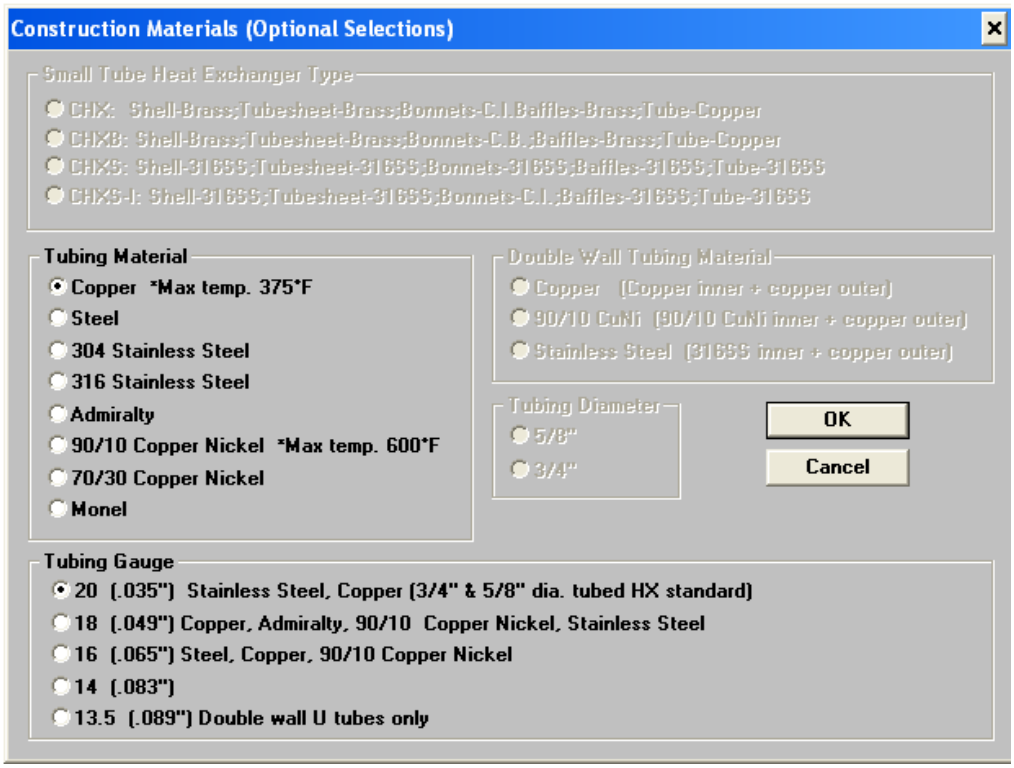


FIGURA 3.10. SE INTRODUCE LOS DATOS DE MATERIALES DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

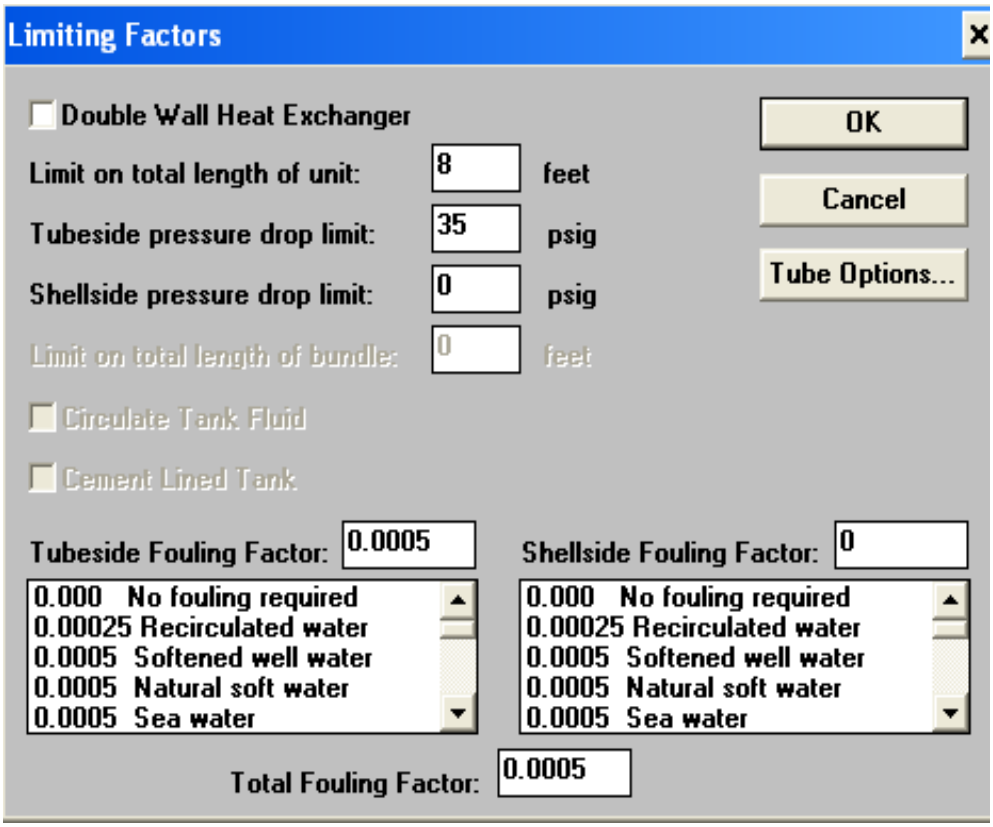


FIGURA 3.11. VENTADA EN LA QUE SE INTRODUCE DATOS DE LONGITUD DEL INTERCAMBIADOR, PRESION INTERNA EN LOS TUBOS Y FACTOR DE FRICCION DENTRO DE LOS TUBOS.

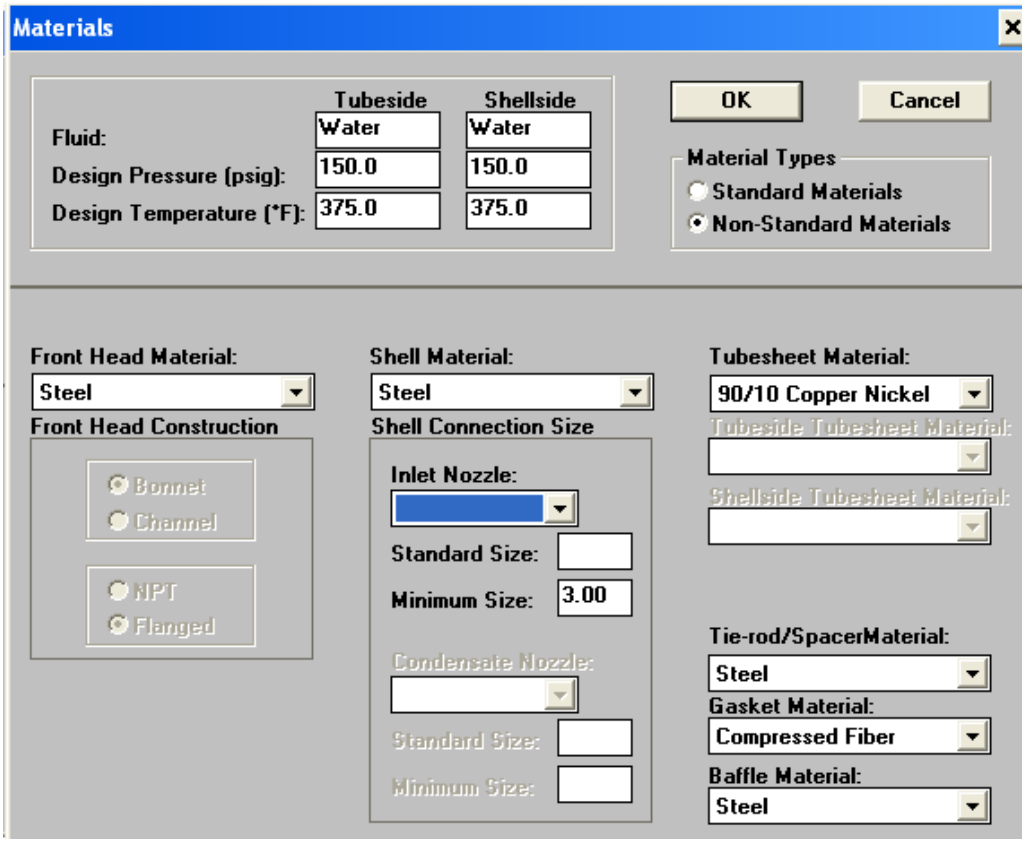


FIGURA 3.12. VENTANA RESULTADOS EN LA PRESION DE DISENO, MATERIAL DE TAPAS DEL INTERCAMBIADOR, MATERIAL DE LOS TUBOS Y TUBERIA DE INGRESO AL MATERIAL

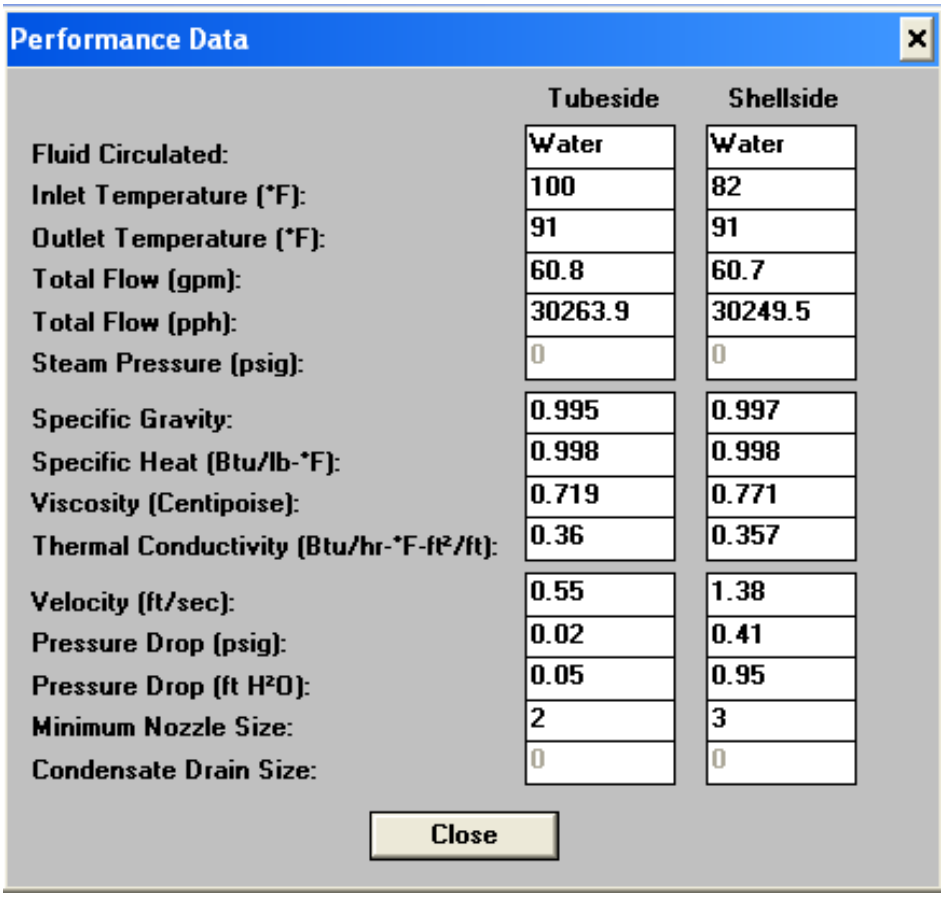


FIGURA 3.13. VENTANA DE RESULTADOS

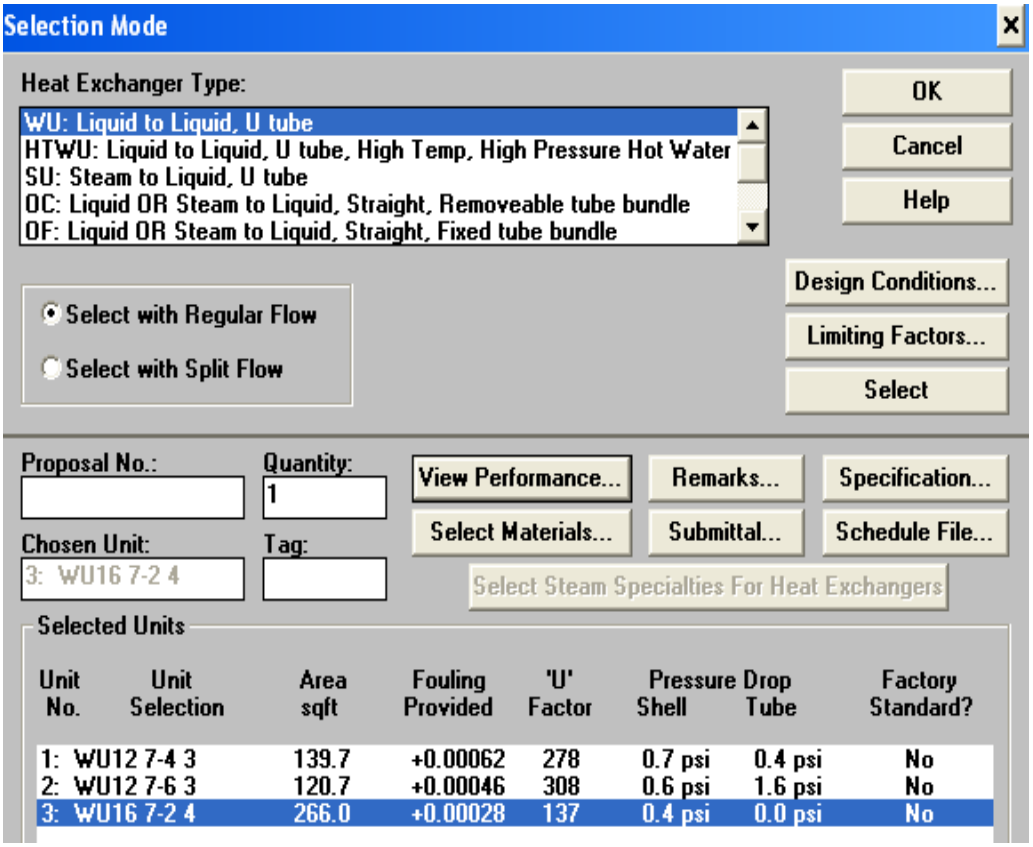


FIGURA 3.14. VENTANA DE RESULTADOS

De acuerdo a este software el intercambiador que se va a seleccionar es el WU16 7 – 2 4 que es la denominación comercial del constructor ITT Bell & Gosset creador de este software.

La denominación WU 16 7 – 2 4, cada letra y número tiene su significado técnico que a continuación se detalla:

WU: Serie de intercambiador de calor

16: Diámetro de la coraza del intercambiador en unidades inglesas

7: Longitud de tubo

2: Numero de pasos del intercambiador de calor

4: Espaciamiento de bafles

Al realizar el análisis comparativo con los métodos de selección se tiene que por el método analítico se tiene un área de 221 ft^2, frente al software que nos arroja un área de 274 ft^2, este valor diferencia notoriamente a que la selección del factor U en el método analítico se lo selecciono *150 BTU/pie*^{2} , el software utiliza y factor de 137 *BTU/pie*^{2} , notando este parámetro relativamente la diferencia de área de los dos análisis serian casi indiferentes, con lo que estaríamos en capacidad de decidir si el intercambiador dotado por la Armada Nacional esta dentro de los parámetros requeridos dado que este consta de 160 tubos en disposición triangular dando un área de transferencia de calor de 247,07 ft^2, certificando de esta manera que el intercambiador que se posee entra en el rango requerido para el sistema por lo tanto se lo utilizara para el proceso requerido de enfriamiento del fluido caliente extraído del banco de baterías que están en el proceso de activación.

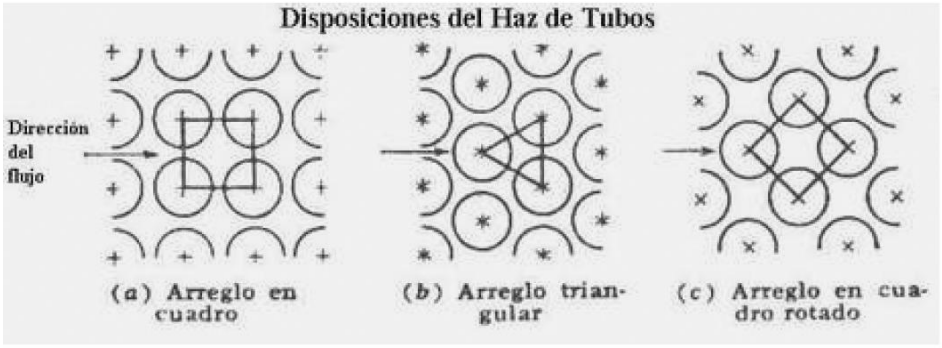


FIGURA 3.15. DISPOSICIONES DEL HAZ DE TUBOS [9]

Los resultados obtenidos del software se presentaran en el Anexo 3.

3.6. Diseño de la Torre de Enfriamiento

El proceso de termotransferencia que se produce en una torre para enfriamiento de agua, cualquiera fuese su tipo, es el resultado de la interacción entre el medio gaseoso refrigerante (aire) y el fluido a enfriar (agua).

En las torres el agua se encuentra en contacto directo con el aire que la enfría y el proceso de transferencia de calor se realiza en parte por intercambio de calor sensible entre la fase líquida y la gaseosa, pero en mayor medida por la formación de vapor de agua en la interfase líquido/gas y su posterior difusión en el aire que la circunda.

El proceso de transferencia de masa entre el líquido y el aire, está íntimamente conectado con el de transferencia de calor. En efecto, con el cambio de fase desde líquido a vapor se absorbe calor lo cual da lugar a gradientes de temperatura en el aire adyacente a la superficie líquida. En muchos casos prácticos, las condiciones en que se desarrollan ambos procesos son tales que puede suponerse que la difusividad térmica y el coeficiente de difusión másico son iguales.

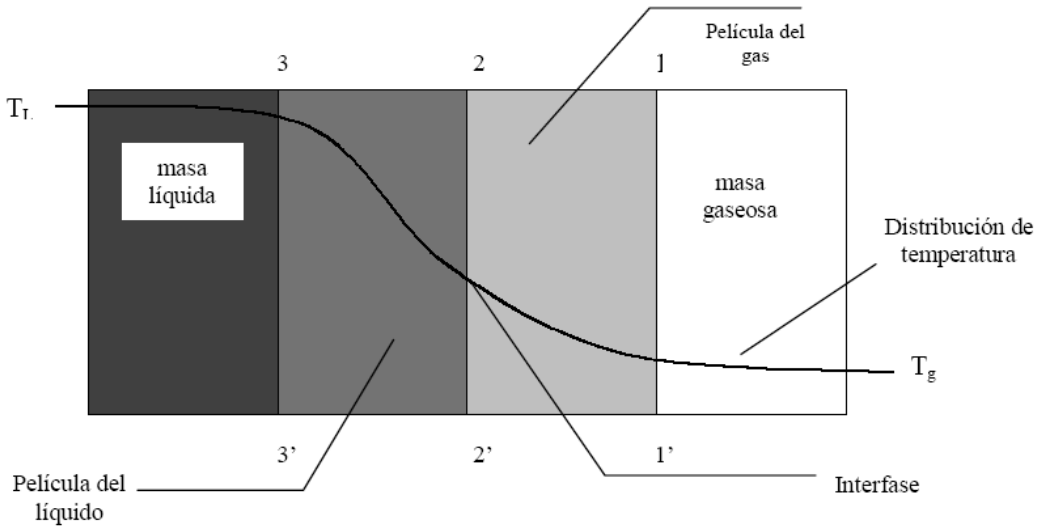


FIGURA 3.16. IDEALIZACION DEL FENOMENO DE TRANSFERENCIA [10]

3.6.1. Fundamento del Enfriamiento por Evaporación

El principio fundamental en que se basa el enfriamiento del agua por evaporación, es en el que, el agua para transformarse en vapor necesita calor (calor latente de vaporización), cuyo valor el alrededor de 1000 BTU/ lb de agua evaporada, valor que pone en manifiesto que pequeñas cantidades de agua evaporada, producen altos efectos de enfriamiento.

Este calor es tomado principalmente del líquido remanente, lo que produce un descenso de su temperatura.

La evaporación se produce poniendo en contacto directo agua caliente con aire atmosférico ambiente de humedad relativa baja, en dispositivos especiales que varían en complejidad desde piscinas o lagunas abiertas hasta las torres de enfriamiento de tiro mecánico.

Cuando se requiere enfriar rápidamente y continuamente grandes cantidades de agua, las torres de enfriamiento son las técnicas más ventajosas y su función principal es la de reducir

la temperatura del agua circulante a los valores más adecuados, según el tipo de operación que tenga.

Básicamente, el funcionamiento de una torre de enfriamiento convencional, es el siguiente:

El agua caliente llega por tuberías a un distribuidor situado en la parte superior de la unidad a una temperatura $T_{h,o}$, luego es distribuida en forma de pequeñas gotas a través de una instalación compleja de material de relleno de diferentes tipos y calidades, variando desde madera incorruptible, materiales de fribrocemento, PVC, cerámica, etc., los cuales son ubicados en forma de mallas o enrejados que dispersan la corriente descendente del liquido y de esta forma obtener una área máxima de transferencia con el aire atmosférico, el cual entra por parte inferior de la torre con una temperatura $T_{c,i,}$ de bulbo seco y una humedad absoluta Y'_1 expresada en lb de vapor de agua/ lb de aire seco.

3.6.2. Cálculos

Datos para realizar el cálculo de la torre de enfriamiento.

- Flujo a ser enfriado L 66 GPM
- Calor removido por el intercambiador q 271825,39 BTU/h

- Temperatura que sale del intercambiador de calor para entrar en la torre $t_{L,2}$ 91,20 ^{0}F
- Temperatura del agua requerida luego del enfriamiento en la torre de enfriamiento $t_{L,1}$ 82,40 ^{0}F
- Temperatura de bulbo húmedo $t_{b,h}$ 78,80 ^{0}F
- Temperatura de bulbo seco del aire que entra $t_{G,1}$ 79,00 ^{0}F
- Temperatura del agua de la tubería de alimentación a la torre de enfriamiento t_m 85,00 ^{0}F

Con los datos suministrados se desea obtener los siguientes valores:

a. Valor teórico del coeficiente total de transferencia de masa Kya.
b. Calculo de la sección transversal de la torre A.
c. Calculo del flujo de aire que circula por la torre Gs.
d. Calculo de la zona empaquetada Z.
e. Calculo de agua de compensación M.

Para realizar el diseño de la torre de enfriamiento se debe seguir ciertos pasos que darán la pauta para diseñar una torre de enfriamiento para cualquier necesidad o requerimiento.

1. Capacidad de la Torre de Enfriamiento

q=271825,39 BTU/h

Este es el calor que remueve el intercambiador de calor y que es transmitido al agua de la torre.

La capacidad de la torre se mide en Toneladas de Refrigeración TR que es una unidad de potencia.

Es así que se tiene las siguientes relaciones para poder saber en términos de TR la capacidad de diseño para la torre de enfriamiento:

1TR=3517 W = 3024 Kcal/h = 3024 Frig/h Ec. 20

De donde:

271825,39 BTU/h * 1 TR/12000 BTU/h = capacidad de la torre

Capacidad de la torre = 22,62 TR.

Flujo especifico L'

L es flujo de agua y L' es el flujo especifico de agua que se en encuentra en la figura 3.18. este valor se encuentra en función del rango de enfriamiento del agua ($T_{h,o} - T_{h,i}$) y la temperatura de bulbo húmedo $T_{b,h.}$

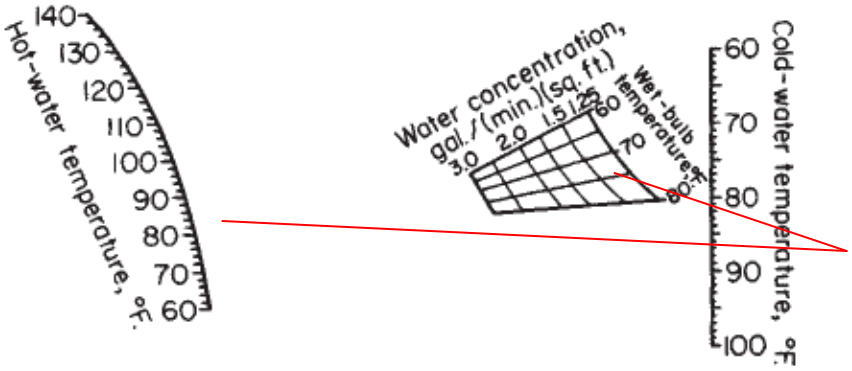


FIGURA 3.17. FLUJO ESPECIFICO L' [7]

El valor de flujo especifico de agua que nos da la figura 3.17 es **L'=2.0 gal/min ft^2**

L= 66 GPM

Datos para las condiciones de diseño de la torre de enfriamiento

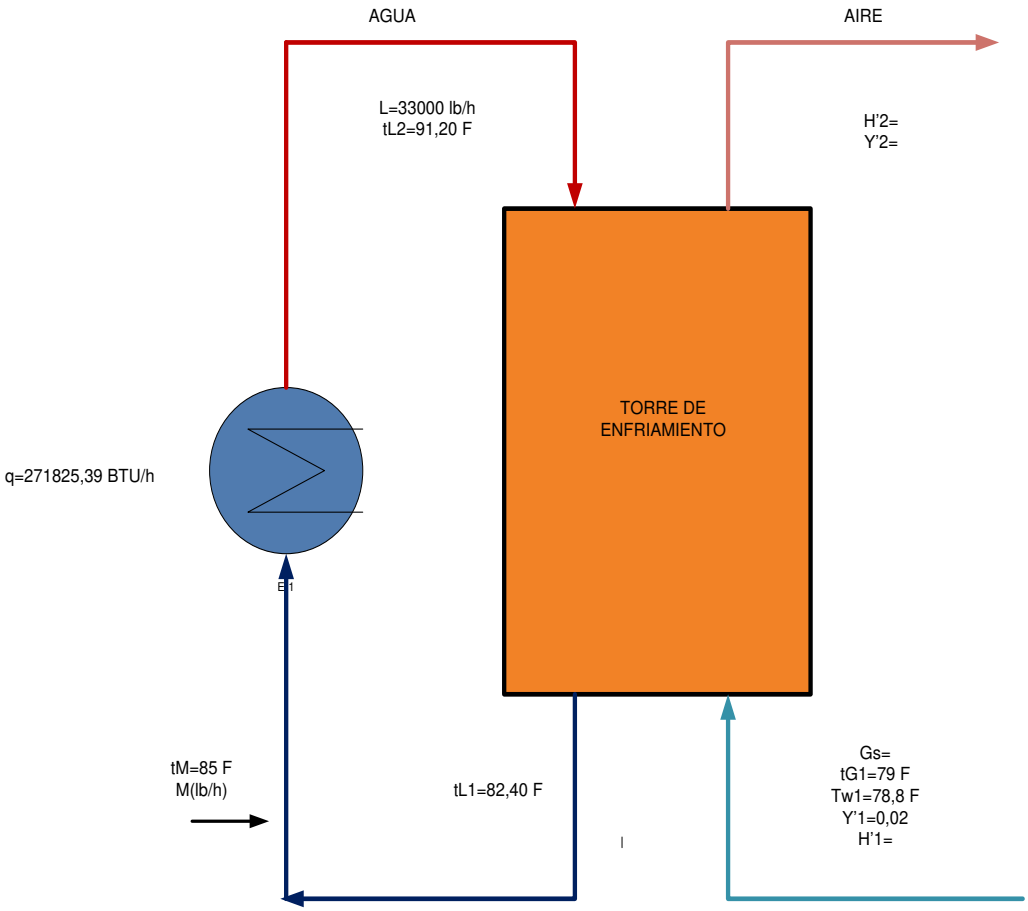


FIGURA 3.18. DIAGRAMA DEL SISTEMA PARA EL DISEÑO

Análisis de la curva de equilibrio

La teoría del proceso de transferencia de calor en una torre de enfriamiento, es la que desarrolló el Dr. Merkel. Se basa en la diferencia del potencial de entalpía, entonces, se supone que cada partícula de agua está rodeada por una película de aire y que la diferencia de entalpía entre la misma y el aire circundante proporciona la fuerza impulsora para el proceso de enfriamiento.

A continuación, se ilustran las relaciones del agua, aire y el potencial impulsor que existe en una torre de contra flujo.

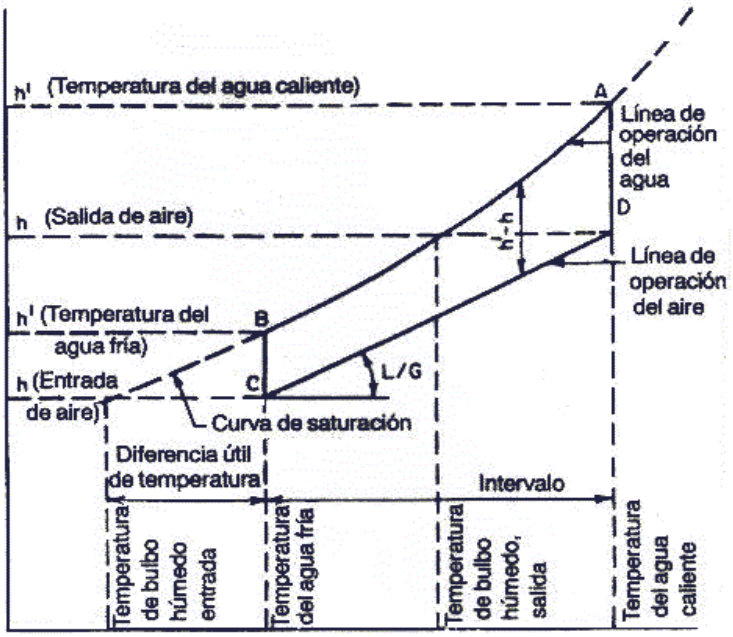


FIGURA 3.19. RELACIONES DE AGUA Y AIRE DE UNA TORRE A CONTRA FLUJO [25]

De la figura anterior: la operación del agua está representada por la línea AB y se especifica por medio de las temperaturas del agua de la torre en la entrada y salida. La línea de operación del aire inicia en C, verticalmente por debajo de B, y en un punto que tiene una entalpía correspondiente a la temperatura de entrada de bulbo húmedo. La línea BC, representa la fuerza impulsora inicial (h'- h). El aire que sale de la torre se representa por medio del punto D y la gama de enfriamiento es la longitud proyectada de la línea CD sobre la escala de temperaturas.

Resumiendo, la teoría del Dr. Merkel, como se observa en la figura 3.19, considera el flujo de masa y energía del agua a la interfase y de la interfase a la masa gaseosa. Cuando el flujo cruza estas dos fronteras, cada una ofrece una

resistencia a la transferencia de materia y energía, que resulta en gradientes de temperatura, entalpía y de humedades.

El Dr. Merkel demostró que:

$$Q = K*S*(h_w - h_a) \quad \text{Ec.21}$$

$$S = a*V \quad \text{Ec.22}$$

Donde:

Q: Calor total transferido en Btu/h ó kJ/h

K: Coeficiente total de transferencia en lb/h pie^2 ó kg/h m^2

S: Área de transferencia en pie^2 ó m^2, característica física.

a: Área de transferencia equivalente por unidad de volumen, 1/pie ó 1/m

V: Volumen efectivo de la torre, pie^3 ó m^3.

h_w: Entalpía de mezcla gaseosa a la temperatura del agua, Btu/lb ó kJ/kg.

h_a: Entalpía de mezcla gaseosa a la temperatura de bulbo húmedo, Btu/lb ó kJ/kg.

Existen parámetros citados en la Ec.21 que no son constantes, tanto entalpías como temperaturas cambian a lo largo de la torre, luego derivándola:

$$dQ = d[K*S*(h_w-h_a)] = K*(h_w-h_a)*dS \quad \text{Ec.23}$$

Para la transferencia de calor del lado del agua:

$$Q = C_w*L*(t_{hw} - t_{cw}) \quad \text{Ec.24}$$

$$dQ = C_w*L*dt_w \quad \text{Ec.25}$$

donde:

C_w: Calor específico del agua, kJ/(kg ºK), BTU/lb F

L: Flujo másico del agua que ingresa a la torre, kg/s, lb/h

t_w: Temperatura del agua en contacto con el relleno, ºK, ^{0}F

t_{hw}: Temperatura del agua caliente que ingresa a la torre, ºK, ^{0}F

t_{cw}: Temperatura del agua fría que sale de la torre, ºK, ^{0}F

Para la transferencia de calor del lado del aire:

$$Q = G^*(h_{oa} - h_{ia}) \quad \text{Ec.26}$$

$$dQ = G^*dh_a \quad \text{Ec.27}$$

Donde:

G: Flujo másico del aire que ingresa a la torre, lb/h ó kg/s.

h_{ia}: Entalpía de mezcla gaseosa que ingresa a la torre a la temperatura de bulbo húmedo, kJ/kg, BTU/lb.

h_{oa}: Entalpía de mezcla gaseosa que sale de la torre a la temperatura de bulbo húmedo, kJ/kg, BTU/lb.

Haciendo uso de las ecuaciones 23, 25 y 27, se puede obtener el calor total por medio de las siguientes ecuaciones:

$$K^*(h_w-h_a)^*dS = C_w^*L^*dt_w \quad \text{Ec.28}$$

$$K^*(h_w-h_a)^*dS = G^*dh_a \quad \text{Ec.29}$$

Que se puede rescribir de la siguiente manera:

$$K * dS = G * \frac{dh_a}{h_w - h_a} \quad \text{Ec.30}$$

$$\frac{K * dS}{L} = \frac{C_w dt_w}{h_w - h_a} \quad \text{Ec.31}$$

Integrando las Ecuaciones 30 y 31, se tiene:

$$\frac{KS}{L} = \frac{KaV}{L} = \frac{G}{L} \int_{hia}^{hoa} \frac{dh}{h_w - h_a} \quad \text{Ec.32}$$

$$\frac{KS}{L} = \frac{KaV}{L} = C_w \int_{tcw}^{thw} \frac{dt_w}{h_w - h_a} \quad \text{Ec.33}$$

“Al término KaV/L se lo denomina la característica de la torre”

La curva característica es utilizada para determinar el buen funcionamiento de la torre. KaV/L es una medida del grado de dificultad para los requerimientos de enfriamiento del liquido. Esta curva también puede llamarse "Curva de Requerimientos de Diseño" puesto que es una medida del grado de dificultad para alcanzar los requerimientos de diseño.

2. **Calculo de la humedad absoluta Y'1y entalpia del aire entrando H'1 para la temperatura t_{bh}.**

   De la carta psicométrica que se encuentra en el Apéndice H**,** se puede construir la siguiente tabla mostrada en la tabla 3.3, esta tabla nos indica valores de entalpias y humedades para mezclas de aire – agua a 14,7 lb/plg^2.

   Interpolando se obtiene valores para:

   Y'_1=0,022 lb de vapor de agua/lb de aire seco

   De las relaciones psicométricas para el sistema aire – agua se obtiene que:

   $H'_1 = (0{,}24+0{,}45Y'_1)(t_{G1} - 32) + 1075{,}8\ Y'_1$ Ec. 34

   H'_1= 24,9 BTU/lb de aire seco

   Con los datos de las temperaturas, entalpias encontradas se puede construir el diagrama de operación para esta torre de enfriamiento representada en la figura 3.20, con los valores

de entalpia de la mezcla aire – vapor de agua como ordenadas y los valores de temperatura como abscisas, aquí se representa la curva de entalpia para el aire saturado dado en la carta psicométrica H la cual es construida con los datos de la tabla ubicada en el Apéndice H**.**

Para obtener la línea de operación sobre este diagrama, se ubica el punto N que representa las condiciones de entrada de la torre, esto es, $t_{L,1}$=82,40 ^{0}F y H'_1= 24,9 BTU/lb de aire seco.

La línea de operación pasara por el punto N y terminara en algún punto sobre la ordenada trazada por el punto $t_{L,2}$ = 91,20^{0}F. Para el mínimo valor de G_s, la línea de operación tendrá la mayor pendiente y tocara tangencialmente a la curva de equilibrio, por lo tanto pasara a través del punto O', en donde H'_2= 52 BTU por lb de aire seco

Según lo anterior, la pendiente de la línea O'N será por lo tanto:

$$L\,C/G_{s\,min} = H'_2 - H'_1 / t_{L,2} - t_{L,1} \qquad \text{Ec.35}$$

$$\frac{\quad}{\quad} = \frac{\quad}{\quad}$$

$G_{s\ min}$ = 10715,86 lb de aire seco / h

Para que la torre no sea muy alta se considera 1,5 veces $G_{s\ min}$.

$G_{s\ real}$ = 1,5 * 10715,86 lb de aire seco / h

$G_{s\ real}$ = 16073,80 lb de aire seco / h

Una vez determinado el valor $G_{s\ real}$, se puede hallar el valor de la relación de flujos líquido – aire.

L / $G_{s\ real}$ = 33000 lb/h / 16073,80 lb/h

L / $G_{s\ real}$ = 2,05

Como ya se tiene el valor de la pendiente de la línea de operación L/G que se va a utilizar para el diseño, faltaría determinar el valor de la ordenada del punto de intersección entre la línea de operación y la vertical trazada por el punto $t_{L,2}$=91,2 ^{0}F.

Calculo de la entalpia del aire que sale H'_2.

De la ec.22 tenemos que:

L C/$G_{s\ real}$ = $H'_2 - H'_1 / t_{L,2} - t_{L,1}$

Despejando el valor H'_2 se tiene:

$H'_2 = (L\ C/G_{s\ real} * (t_{L,2} - t_{L,1})) + H'_1$

H'_2 = 42,94 BTU/lb de aire seco

Con los valores obtenidos se puede representar el punto O y finalmente la línea de operación será la línea ON representada en la figura 3.20.

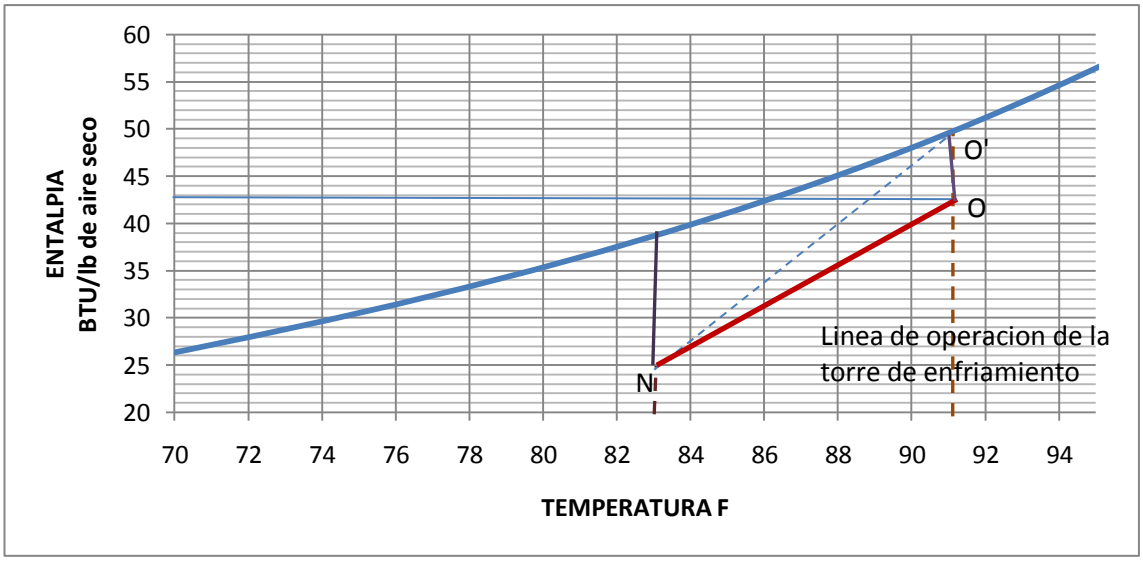


FIGURA 3.20. DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA

3. Calculo de la altura de la zona empaquetada Z

Utilizando el término KaV/L que nos representa la "Curva de Requerimientos de Diseño" dado en al ec. 33 se procede a calcular la altura de la zona empaquetada.

— = ——

Para determinar el valor del integral de la ecuación propuesta, el cual puede ser calculado por tres formas:

a. Analíticamente si se conoce la relación f(t) = H – H'
b. Integración grafica
c. Integración numérica

Como se tiene la relación f(t) = H – H' dado en la figura 3.20 se usara el método de integración numérica a intervalos de 2 ^{0}F.

t	H	H'	H – H'	(H – H')/2	At/(H –H')/2
80	25,1	18,5	6,6		
82	27,2	22,17	5,03	5,8	0,34
84	32,3	27,03	5,27	5,15	0,38
86	37,5	31,09	6,41	5,84	0,34
88	41,5	34,80	6,7	6,55	0,30
90	48,7	41,20	7,5	7,10	0,28
92	54,2	44,80	9,4	8,45	0,23
				– = ——	**1,87**

TABLA 3.3 VALORES DE ENTALPIA

– = 1,87

El valor de kya se obtiene de la tabla 3.4 interpolando entre los valores de L 500 – 1000 y G 250 por lo tanto tenemos un Kya=347.

L'=2GPM =`1000 lb de agua/h ft^2

Por lo tanto el valor de Z es:

Z = 5,38 ft = 1,63 m

Empaque plg	Altura plg	L	G	$k_a y$
1Raschig	24	500 1000 1500	250 250 250	226 468 635
1½ Raschig	20.6	500 1000 1500	250 250 250	226 468 635
2 Raschig	19.1	500 1000 1500	250 250 250	226 468 635
½ Berl	15.5	500 1000 1500	250 250 250	226 468 635
1 Berl	20.3	500 1000 1500	250 250 250	226 468 635
1% Berl	22	500 1000 1500	250 250 250	226 468 635

TABLA 3.4. CARACTERISTICAS DE HUMIDIFICACION [4]

4. Calculo de la Cantidad de Agua de Compensación M.

Realizando un balance de entalpias de acuerdo a la figura 3.18 se tiene:

$$q + M\,C_w\,(t_M - t_0) = G_s\,(H'_2 - H'_1) \qquad \text{Ec.3.36}$$

donde:

$q = 271825,39$ BTU/h

$C_w = 1$ BTU/lb ^{0}F

$t_M = 85\ ^0$F

$t_0 = 32\ ^0$F

$H'_2 = 42,94$ BTU/ lb de aire seco

$H'_1 = 24,90$ BTU/lb de aire seco

Reemplazando valores se tiene:

$$271825,39 + M\ (53) = Gs\ (18,04)$$

De donde

$$M = Gs(18,04) - 271825,39 / 53 \qquad \text{Ec. 3.36-1}$$

Haciendo un balance de liquido de acuerdo a la figura 3.18 se tiene:

$$M = Gs(Y'_2 - Y'_1) \qquad \text{Ec.3.37}$$

Y'_2 no es conocido para determinarlo es necesario asumir que el aire que sale de la torre está saturado y su humedad Y'_2 deberá ser la del aire saturado para $H'_2 = 42,94$ BTU/ lb de aire seco.

Entrando a la curva psicométrica dada en el Apéndice H se tiene que:

$Y'_2 = 0,024$ lb de vapor de agua/lb de aire seco

$$M = Gs(0,024 - 0,02) = 0,004\ Gs$$

Sustituyendo la ec. 3.37 en la ec. 3.36 – 1 se tiene que:

$$0{,}004\ Gs * 53 = Gs(18{,}04) - 271825{,}39$$

$$18{,}04\ Gs - 0{,}004\ Gs = 271825{,}39$$

$$Gs = 15071{,}26 \text{ lb de aire/h}$$

Reemplazando en la ec. 3.37 el valor Gs:

M = 60,28 lb de agua/h = 27,4 lt/h

CAPITULO 4

4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

4.1. Partes Componentes de las Torres de Enfriamiento

Ya se ha definido que el mejor diseño para el sistema de enfriamiento requerido de acuerdo a los parámetros de evaluación es una Torre de Enfriamiento de Tiro Inducido Flujo en Contracorriente.

Este tipo de elementos, además del cuerpo vertical consta de los siguientes elementos:

Empaquetaduras, sistemas de distribución, deposito de colección, eliminadores de arrastre, ventilador, motor y estructura.

Empaquetaduras

Su función es generar una mayor área de contacto entre el aire y el agua como sea posible, con una mínima presión de aire.

Existe variedad de empaquetaduras, que van desde sólidos muy fáciles de adquirir como piedras, botellas rotas, trozos de porcelana, hasta formas geométricas complejas y de alto costo económico.

Sistemas de Distribución

Tiene como función principal distribuir el agua caliente en la parte alta de la torre, se recomienda atomizarla para facilitar el contacto con el aire.

La importancia de adecuado sistema de distribución sobre las empaquetaduras de una torre, es indispensable para una buena eficiencia en el enfriamiento.

Depósito de Colección

Se trata de un recipiente donde es colectada el agua fría que sale de la torre.

Su construcción deberá ser tal que elimine el peligro de que la bomba absorba aire cuando opera con un mínimo de agua; y accesible, para remover la suciedad acumulada en el fondo.

Estructura

Es el soporte de la torre de enfriamiento.

Su forma y solidez dependen de las características de diseño de la torre, que tiene que ser con normas especificas que dependen de su capacidad de enfriamiento.

Ventilador

Tiene como objetivo mantener el flujo constante de aire atreves de la torre. Para la torre seleccionada este aditamento se encontrara en la parte superior.

Motor

Es el que impulsara el ventilador. La transmisión se efectuara en forma directa.

Los elementos anteriores forman parte de la construcción interna de la torre de enfriamiento.

Sin embargo existen otros componentes externos a la torre, que juntos constituyen el sistema de enfriamiento deseado. Estos son:

Bomba de Agua

Es el equipo que adicionara energía al agua, para hacerla re circular a través de todo el sistema.

Su capacidad dependerá del sistema de operación en el que va a utilizar.

Tuberías y Válvulas

Son los conductos – reguladores por los cuales fluirá el agua.

El material de la tubería y los tipos específicos de válvulas, estarán sujetos al aspecto técnico, económico y estético del sistema en cuestión.

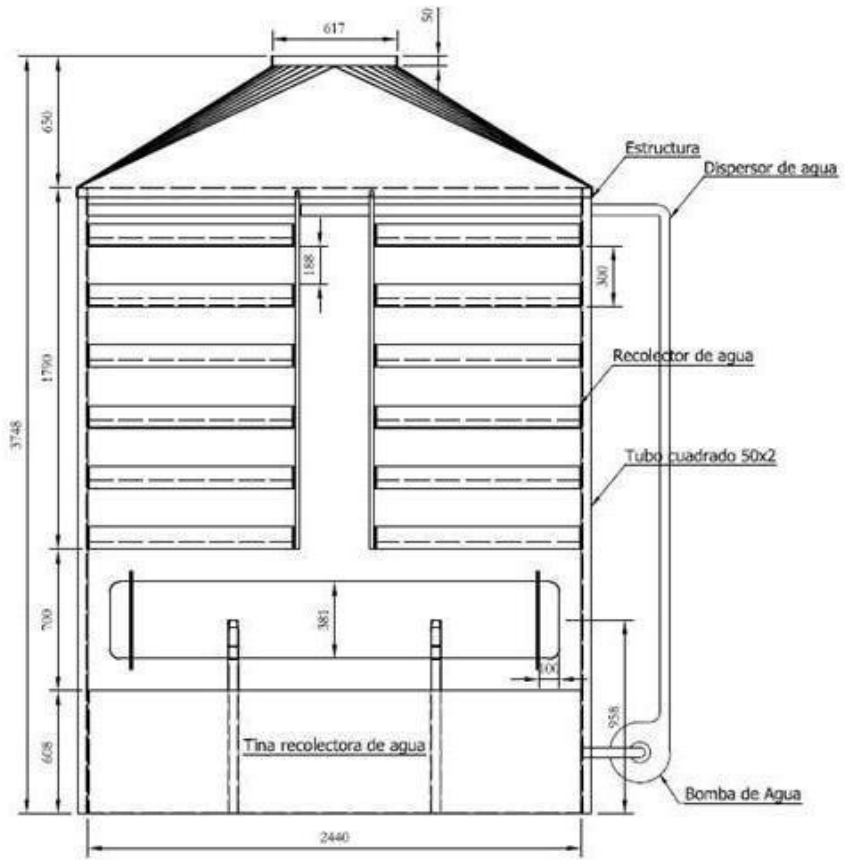


FIGURA 4.1. DISENO DE FORMA DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

4.2. Determinación de la Sección Transversal de la Torre de Enfriamiento

Datos

Densidad del agua ρ_L	62,22 lb/ft^3 = 1010 Kg/m^3
Densidad del aire ρ_a	0,077 lb/ft^3 = 1,25 Kg/m^3
Relación de flujos L/G	2,05
Flujo de aire G_{real}	4,46 lb/s = 2,027 Kg/s
Tensión superficial del agua σ	2 dina/cm
Factor liquido - vapor F_{LV}	

Cálculos

Una aproximación para estimar las velocidades máximas permisibles ha sido presentada por Fair, la cual se basa en datos obtenidos con platos perforados y otros tipos de contactores de etapas finitas y toma en cuenta el efecto de la tensión superficial del liquido en la columna, la razón de flujo de liquido a flujo de gas, las densidades del; aire y el liquido, y dimensiones y arreglo del contactor. En este método, la ecuación básica para velocidad del vapor máxima permisible, equivalente a la Ec. (4.1), es:

$$V'_m = K'_v \left(\frac{\sigma}{20}\right)^{0,2} \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}} \qquad \text{Ec. 4.1}$$

donde

V'_m = velocidad de vapor máxima permisible basada en área neta para el flujo de vapor, la cual usualmente es el área de sección transversal activa en ft/s.

K'_v = constante empírica, ft/s

σ = tensión superficial del liquido en la torre, dinas/cm.

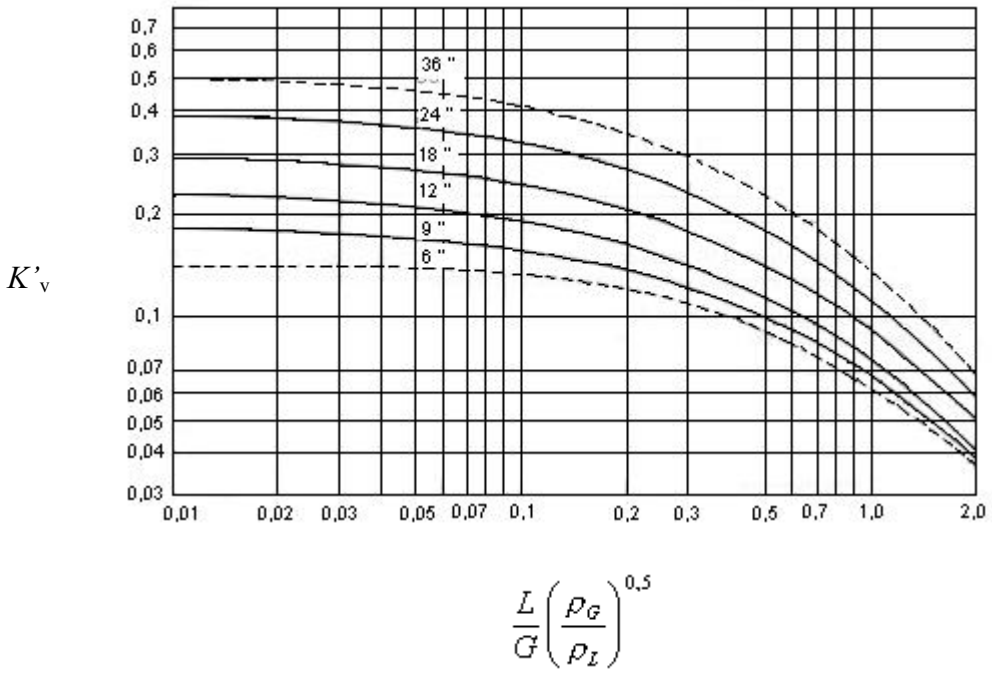


FIGURA 4.1 VALORES DE Kv EN FUNCION DEL ESPACIADO

— —] Ec.4.2

Sustituyendo valores en la ec. 4.2 se tiene que:

F_{LV} = 0,090

Se asume un espaciado entre platos de **7,40 plg = 188 mm.**

A partir de la fig. 4.1 ***K_v*** **= 0,17 ft/s**

De la ec. 4.1

V'_m = 3,047 ft/s

Velocidad másica del vapor G_m:

$G_m = V'_m \rho_a = (3,047)(0,077) = 0,23$ lb/s pie^2 Ec.4.3

Área de sección transversal de la torre A:

$A = G_{real} / G_m$ Ec. 4.4

Sustituyendo valores en la ec 4.4 se tiene que el área de la sección transversal de la torre de enfriamiento es:

A = 19,2 ft^2

A = 8ft * 2,4ft = **2430 mm * 731 mm**

4.3. Selección de la Columna de Contacto de la Torre de Enfriamiento

En esta sección se tratara de decidir el tipo de columna a utilizar ya sea de bandejas perforadas o de relleno en función de las características de la operación deseada y de los componentes en contacto en este caso liquido - aire, tomando para la decisión algunos aspectos.

La selección entre una columna de bandejas perforadas o una de relleno depende de conceptos económicos. Sin embargo en un estudio preliminar podemos basar su selección en las siguientes ventajas e inconvenientes de cada una de ellas

1.- La eficiencia de una torre de relleno se basa en datos experimentales para cada tipo de relleno. La eficiencia varía no solo por el tipo y tamaño del relleno sino también por las propiedades del fluido, caudales, diámetro de columna etc.

2.- Si el flujo de líquido es pequeño comparado con el del aire es preferible utilizar columnas de platos pues necesitan menores factores de seguridad en el diseño por causa de la dispersión del líquido

3.- Las columnas de bandejas perforadas pueden manejar un rango más amplio de caudales sin inundación.

4.- Si los líquidos tienen sólidos en suspensión se prefieren torres de bandejas perforadas por la facilidad de limpieza.

5.- Si se necesita enfriamiento intermedio de la columna es preferible que sean de bandejas perforadas por la facilidad de la instalación del sistema de enfriamiento.

6.- El peso total de una columna de bandejas perforadas es menor que en una de relleno si están vacías, en cambio llenas tienen un peso similar.

7.- La información de diseño de una columna de bandejas perforadas es más accesible que en una de relleno.

8.- Si hay grandes cambios de temperatura son preferibles las columnas de bandejas perforadas pues el incremento de temperatura puede romper el relleno.

10.-Las columnas de rellenos son más fáciles de construir y mas baratas si se trabaja con fluidos corrosivos.

11.-Si se tiene líquidos con gran tendencia a formar espuma se deben utilizar torres empaquetadas

12.-El almacenamiento de líquido en la columna es muy inferior para las torres de relleno

13.-Las torres de relleno tienen menos pérdida de carga que las bandejas perforadas y el relleno previene contra el colapso, por lo que se utilizan en operaciones a vacío.

Por lo expuesto anteriormente se utilizara en el diseño de la empaquetadura de la torre de enfriamiento el sistema de bandejas perforadas.

FIGURA 4.2 DIAGRAMA DE OPERACIÓN DE UNA BANDEJA PERFORADA

4.3.1 Altura de la las Paredes de la Bandeja

La altura de la bandeja determina el volumen de líquido sobre la bandeja y es un importante factor para determinar la eficiencia de la bandeja con orificios. Una mayor altura incrementará la eficiencia de la bandeja pero a expensas de un alta caída de presión en la bandeja. Para columnas operando alrededor de la presión atmosférica, la altura de las paredes de la bandeja varía entre 40 a 90 mm (1,5 a 3,5 pulg) [7].

Para el diseño de estos elementos se tomara una altura de 90 mm para obtener una buena eficiencia de la bandeja ya que el

volumen de agua colocada en la bandeja por mayor tiempo tendrá mayor tiempo de contacto con el aire.

Área Perforada

El área disponible para perforación se deducirá por la obstrucción causada por las partes estructurales (tales como soportes, anillos y vigas), y por el uso de zonas libres. Las zonas libres son espacios no perforados de la bandeja en los lados de salida y entrada. El ancho de cada zona es usualmente la misma; valores recomendados son:

Ancho de la columna	Ancho de la zona sin perforar
< 1,5 m	75 mm
>1,5 m	100 mm

TABLA 4.1 DIMENSIONES DE ZONA SIN PERFORAR [17]

De acuerdo a la tabla 4.1 se tomara una franja sin perforar de 75m

Dimensiones de las perforaciones

Los platos perforados, tienen perforaciones de 2,5 mm a 12 mm (1/8 a 1/2 pulg.) de diámetro, siendo el tamaño común de 5 mm (3/16 pulg.) las perforaciones se hacen siguiendo un arreglo

triangular o cuadrado con una distancia entre centros entre 2 a 5 veces el diámetro de las perforaciones (el óptimo es 3,8) [17].

Se toma el valor recomendado del agujero de 3/16” por lo tanto el espaciamiento entre centros de los agujeros seria:

D= 90 mm

Se escogerá un arreglo triangular para los orificios.

De acuerdo al área de la sección transversal de la torre 2430 mm*731 mm y la disposición del diseño de forma se tiene unas dimensiones en las bandejas de:

Bandeja = 2000 mm * 731 mm

Al dejar una franja por los cuatro lados sin perforar de 75 mm

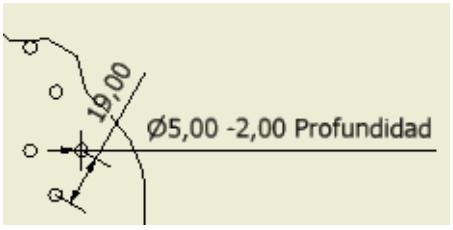


FIGURA 4.3. DISPOSICION DE AGUJEROS EN LAS BANDEJAS

Por lo planteado en el capítulo 3 se obtuvo que la altura de la zona empaquetada es de:

Z = 5,38 ft = 2044 mm

Para hallar el área de la sección transversal en el inciso 4.2 de este capítulo se asumió un espaciamiento entre bandejas de:

e = 7,40 plg = 188 mm

Por lo tanto se necesitaría 5 bandejas perforadas en la disposición dada en el diseño de forma de la fig. 4.1.

Para calcular el número de agujeros en la bandeja se recurre a la ecuación siguiente:

$Nh = 4Ah/\pi d^2h$

Nh = 112 orificios en la bandeja

Espesor de las Bandejas

Se considera un espesor del material para la bandeja de 1,4 mm.

Se considerara la presión que ejercería el agua, asumiendo la bandeja llena al 100%, la carga que ejerce el agua en el volumen de la bandeja es de 424,53 N.

Se utilizara el software INVENTOR 10 para su análisis de esfuerzos y hallar el factor de seguridad.

Análisis de Resistencia mediante el Método de Elementos Finitos.

ANSYS en *INVENTOR 10* analiza: concentradores de esfuerzos, mecánicas de fracturas bajo cargas estáticas y dinámicas, así como frecuencias naturales y estabilidad. El programa ofrece distintos materiales a seleccionar para el análisis, con asunciones sobre su comportamiento: *Lineal* (la tensión es directamente proporcional a la presión); *Constante* (la temperatura de todas las propiedades es independiente); *Homogénea* (las propiedades no cambian en todo el volumen de la pieza); *Isotrópica* (las propiedades de los materiales son idénticas en todas las direcciones). El factor de seguridad se calcula utilizando el equivalente máximo de la teoría de falla de tensión para materiales dúctiles. A continuación se muestran los informes de los análisis practicados a las bandejas perforadas, las figuras indican en su parte superior izquierda la escala colorida con sus respectivos valores de Tensión Equivalente y Factores de seguridad mayores a **1.3**, *Aceptables* [19].

INFORME DE ANALISIS DE BANDEJA		
PROPIEDADES		
MATERIAL	ACERO	
Masa de la pieza	19,35 Kg	
Volumen de la pieza	2.465+006 mm^3	
Valor de relevancia de malla	0	
Nodos	12079	
Elementos	6011	
Módulo de Young	2.1e+005 MPa	
Coeficiente de Poisson	0.3	
Densidad de masa	7.85e-006 Kg/mm^3	
Límite de elasticidad	207. MPa	
Resistencia máxima a tracción	345. MPa	
CARGAS APLICADAS		
Presión	9,34e-4 MPa	
Gravedad terrestre estándar	9807 mm/s^2	
REACCION DE RESTRICCIÓN		
Restricción fija 1	868,8 N	
RESULTADOS ESTRUCTURALES	**Mínimo**	**Máximo**
Tensión equivalente	1,042e-003 MPa	5,816 MPa
Deformación	0, mm	0,2868 mm
Factor de seguridad	**15**	N/A

TABLA 4.2. INFORME DE RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA BANDEJA PERFORADA

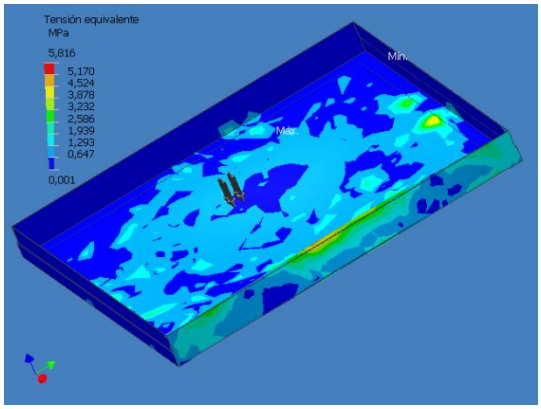


FIGURA 4.4 TENSION EQUIVALENTE

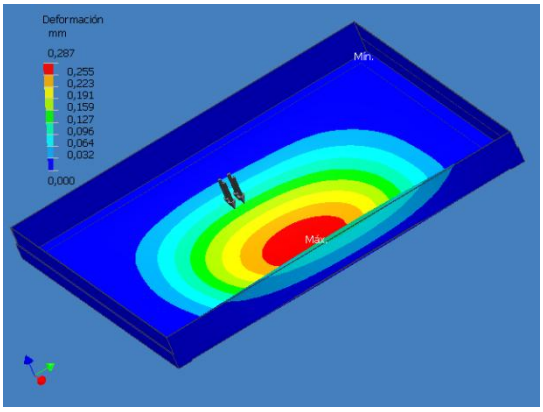


FIGURA 4.5. DEFORMACION

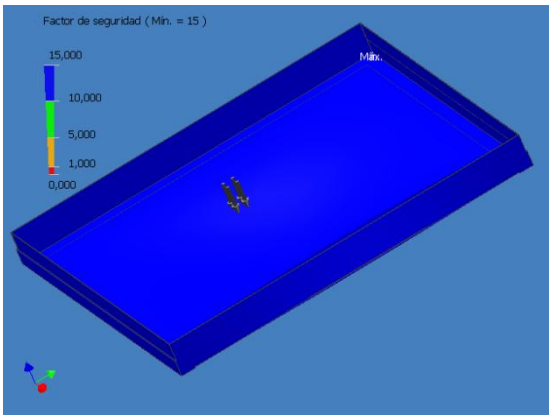


FIGURA 4.6 FACTOR DE SEGURIDAD

El diseño de la bandeja se lo presenta en el Plano N^0 2 con las condiciones de la sección transversal de la torre.

Diseño del Depósito de Colección de la Torre de Enfriamiento

Para determinar las dimensiones del depósito de colección de agua para la torre de enfriamiento, se debe conocer el tiempo que demora el agua en circular a través del sistema.

Se asume que el ciclo demora un minuto y se parte del dato que el depósito debería tener una capacidad mayor a la cantidad de agua que debe fluir por el sistema en un minuto y asi evitar que esta se quede sin liquido además el mismo colector debe soportar el peso de la torre con sus accesorios.

Entonces el problema consiste en seleccionar dimensiones para la piscina que provean mayor economía y aseguren un buen funcionamiento. Por lo general se establece el área transversal del depósito un poco mas grande que el área transversal de la torre de enfriamiento que permita el montaje de la tubería de succión o algún otro accesorio necesario.

Para el diseño de la piscina, se basara en el código ASME para recipientes a presión sección Div. 1, para tanques rectangulares que trabajan bajo presión atmosférica [15].

Notación

α: Factor que depende del largo y ancho del tanque H/L fig.4.7.

E: Modulo de elasticidad, 30000000 psi para aceros al carbono.

G: Gravedad especifica del líquido. Agua=1.

I: Momento de Inercia, plg^4.

l: Máxima distancia entre soportes, plg.

L: Largo del tanque, plg.

R: Reacción con subíndices indicando el lugar de aplicación, lb/plg.

S: Esfuerzo del material.

t: Espesor requerido de la plancha, plg.

w: Carga por unidad de longitud, lb/plg

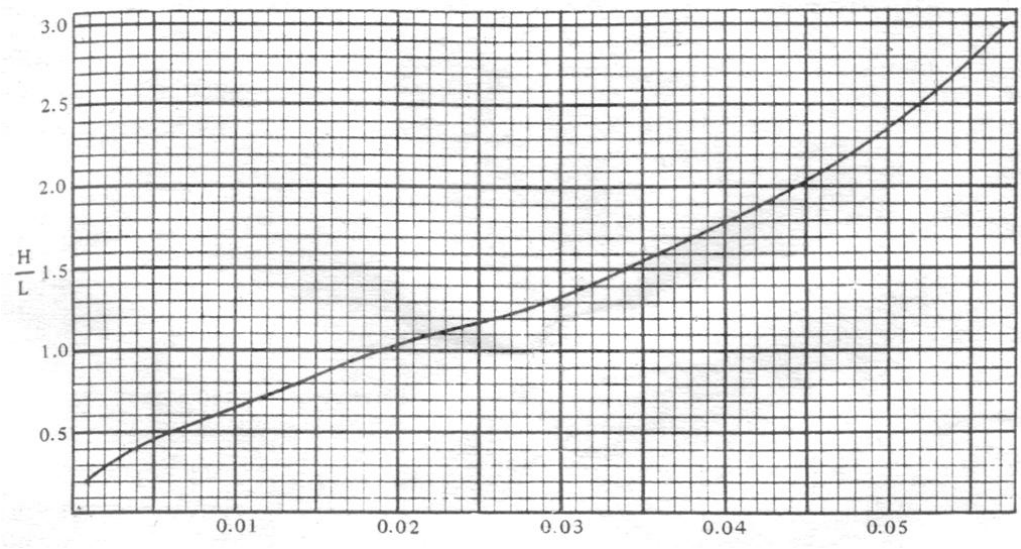


FIGURA 4.7. VALORES DE α

Selección del espesor de plancha

$$t = 2.45L\sqrt{\frac{\alpha * H * 0.036G}{S}}$$ Ec. 4.5

El espesor se incrementara con el factor de corrosión para este caso se le aumentara 0,0645 plg o 1,63 mm.

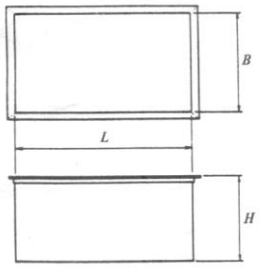


FIGURA 4.8 DIMENSIONES DEL DEPOSITO DE COLECCIÓN DE AGUA

L=8 ft

H=2 ft

B=4 ft

Relación H/L = 0,25

De la figura 4.7 se obtiene el valor α = 0,0010

S=23200 lb/plg^2 para el acero estructural A – 36.

G=1 para el agua

Sustituyendo valores en la ec. 4.5 se tiene un espesor de plancha:

t=0,00109 plg.

A este valor se le suma el factor de corrosión 0,0626 plg.

Por lo tanto:

t=0,063 plg o **t=1,61mm** se utilizara plancha de **2mm** de espesor

Carga en las paredes del depósito

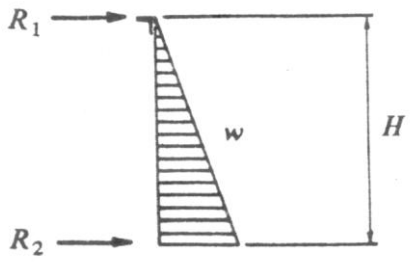


FIGURA 4.9 CARGAS HIDROSTATICAS

$$W = \frac{0.036GH2}{2}$$ Ec. 4.6

Sustituyendo valores se tiene que:

w=16,2 lb/plg

R1=0,3w Ec. 4.7

R1=0,3*16,2=4,86

R2=0,7w Ec. 4.8

R2=0,7*16,2=11,34

4.4.2. Momento de Inercia mínimo requerido

$$Imin = 1.25\frac{R1L^3}{E}$$ Ec. 4.9

Sustituyendo valores:

Imin=0,003 plg^4 = **1248,6 mm^4**

4.4.3. Distancia entre soportes de la piscina

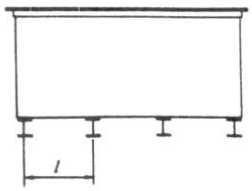


FIGURA 4.10 DISTANCIA ENTRE SOPORTES

$$t = \frac{l}{1{,}254\sqrt{\frac{S}{0{,}036GH}}}$$ Ec. 4.10

Si el numero de soportes es 4 entonces = 26 plg = 660,4mm.

Sustituyendo en la ecuación 4.10:

t=0,141 plg

Despejando el valor de la ecuación 4.10 se tiene:

$$l = 1.254t\sqrt{\frac{S}{0.036GH}}$$

Sustituyendo valores:

Por lo tanto:

119,68 plg / 25,83 plg = Numero de soportes = N

N=4,63 es decir se físicamente se necesitan 5 soportes con un espaciamiento de 25,83 plg.

E=656 mm

El diseño del depósito de colección de agua se encuentra en el Plano N 3.

Se utilizará el software INVENTOR 10 para su análisis de esfuerzos y hallar el factor de seguridad del colector sometido a toda la carga de la torre con su peso propio y la carga de agua contenida en las bandejas.

INFORME DE ANALISIS DEL COLECTOR DE AGUA		
PROPIEDADES		
MATERIAL	ACERO	
Masa de la pieza	197,6Kg	
Volumen de la pieza	2.517+007 mm³	
Valor de relevancia de malla	0	
Nodos	47950	
Elementos	26630	
Módulo de Young	2.1e+005 MPa	
Coeficiente de Poisson	0.3	
Densidad de masa	7.85e-006 Kg/mm³	
Límite de elasticidad	207. MPa	
Resistencia máxima a tracción	345. MPa	
CARGAS APLICADAS		
Fuerza	1481 N	
Gravedad terrestre estándar	9807 mm/s²	
REACCION DE RESTRICCIÓN		
Restricción fija 1	0 N	
RESULTADOS ESTRUCTURALES	**Mínimo**	**Máximo**
Tensión equivalente	5,455e-005 MPa	2,437 MPa

Deformación	0, mm	0,102 mm
Factor de seguridad	**15**	N/A

TABLA 4.3. INFORME DE RESULTADOS DEL COLECTOR DE AGUA

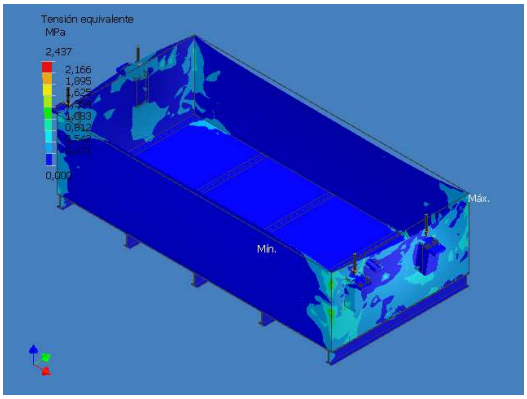


FIGURA 4.12 TENSION EQUIVALENTE

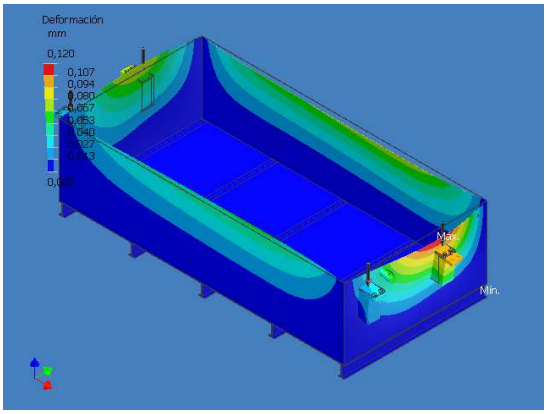


FIGURA 4.13. DEFORMACION

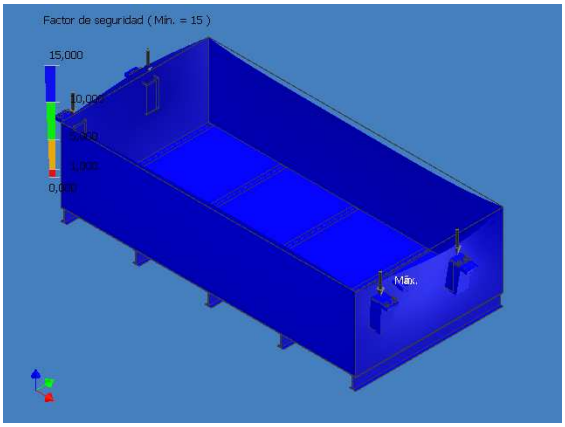


FIGURA 4.14. FACTOR DE SEGURIDAD

El diseño de la bandeja se lo presenta en el Plano N^0 3 con las condiciones de la sección transversal de la torre.

4.4. Selección del Ventilador

Para la seleccionar el ventilador para la torre de enfriamiento es necesario conocer los siguientes datos:

1. Flujo de aire que circulara por la torre, en ft^3/min

2. La presión estática o presión de resistencia contra la que debe operar el ventilador, expresada en plg. de agua.

Flujo de aire que circula por la torre Gs = 16056 lb/h.

Gs=267,6 lb/min

Para determinar los pies cúbicos por minuto (pcm) de aire que salen a través del extractor, se divide las libras de aire seco por minuto, para la densidad del aire a la temperatura de operación.

pcm = Gs (lb/min) / densidad de la temperatura de operación

Ec.4.11

Para determinar la densidad del aire a la temperatura de operación, es necesario calcular la temperatura a la que sale el aire de la torre.

Para esto, conociendo el valor de la humedad absoluta Y'2 lb de vapor de agua por lb de aire seco, con que sale el aire, y asumiendo que el aire se encuentra cercanamente saturado 95%, se puede entrar en la carta psicométrica Apéndice H y determinar dicha temperatura.

Y'2= 0,024

Con una temperatura de salida de la torre:

T=84 ^{0}F

Con este valor dado en la figura se encuentra que la relación de densidad del aire (RDA) a 84 ^{0}F y a nivel del mar es:

RDA= densidad del aire en condiciones estándar/ densidad del aire en condiciones de operación Ec. 4.12.

RDA=1,05

De la ec.4.11

1,05=0,077lb/ft^3 / densidad del aire que opera a 84 ^{0}F

$\rho_{84\ F}$= 0,075 lb/ft^3

De la ec. 4.12 se tiene:

pcm=3544,83 ft^3/min = 11670,7 m^3/h

Con respecto a la caída de presión estática, contra la que debe operar el ventilador, se vio que en torres de este tipo era ordinariamente menor que una pulgada de agua, por lo tanto, tomando en consideración la resistencia ofrecida al paso del aire por la zona empaquetada y los separadores de gotas, se considera suficiente utilizar el valor de 0,5 pulH20 o 12,7 mmH2O valores que están dentro del rango de caída de presiones para este tipo de ventiladores.

Se ha escogido la curva del fabricante de la marca Ventiladores Casals y sus características se indican en el **Apéndice K**

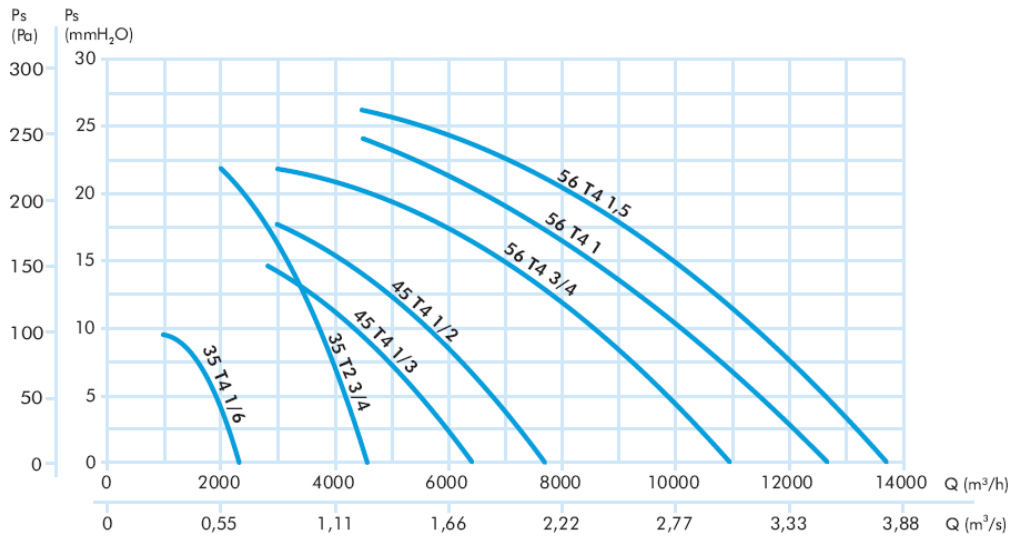


FIGURA 4.15. DIAGRAMA PARA SELELCCIONAR MODELO DE VENTILADOR

Ingresando en el diagrama de la fig 4.15 con los datos planteados se selecciona el ventilador modelo 56 T4 1 con las siguientes características:

Diámetro = 650 mm

m^3/h = 12700

Peso = 36 Kg

RPM max = 1525

Potencia = 0,75 Kw

Ruido = 73 db

FIGURA 4.16. VENTILADOR SELECCIONADO

Con el peso del ventilador se diseñará la campana de extracción de vapor de agua se asumirá un espesor de 1,4 mm. Se utilizara el programa computacional INVENTOR 10 para analizar su deformación y el factor de seguridad de la campana.

INFORME DE ANALISIS DE LA CAMPANA DE EXTRACCION	
PROPIEDADES	
MATERIAL	ACERO
Masa de la pieza	19,35Kg
Volumen de la pieza	2,465+006 mm^3
Valor de relevancia de malla	0
Nodos	12079
Elementos	6011
Módulo de Young	2.1e+005 MPa
Coeficiente de Poisson	0.3
Densidad de masa	7.85e-006 Kg/mm^3
Límite de elasticidad	207. MPa
Resistencia máxima a tracción	345. MPa
CARGAS APLICADAS	
Presión	9,348+-5 MPa
Gravedad terrestre estándar	9807 mm/s^2
REACCION DE RESTRICCIÓN	

Restricción fija 1	0 N	
RESULTADOS ESTRUCTURALES	**Mínimo**	**Máximo**
Tensión equivalente	1,042e-003 MPa	5,816 MPa
Deformación	0, mm	0,2868 mm
Factor de seguridad	**15**	N/A

TABLA 4.4. INFORME DE RESULTADOS DE LA CAMPANA DE EXTRACCION

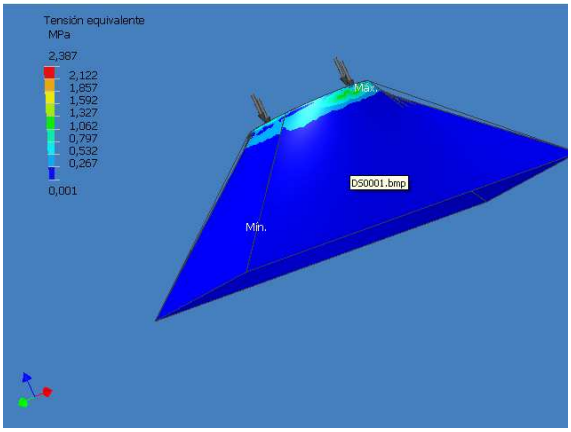


FIGURA 4.17 TENSION EQUIVALENTE

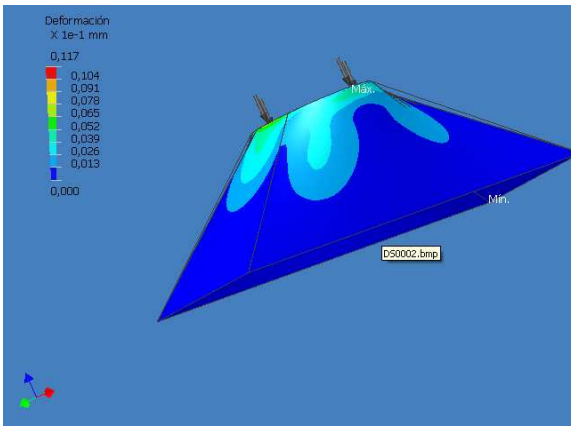


FIGURA 4.18. DEFORMACION

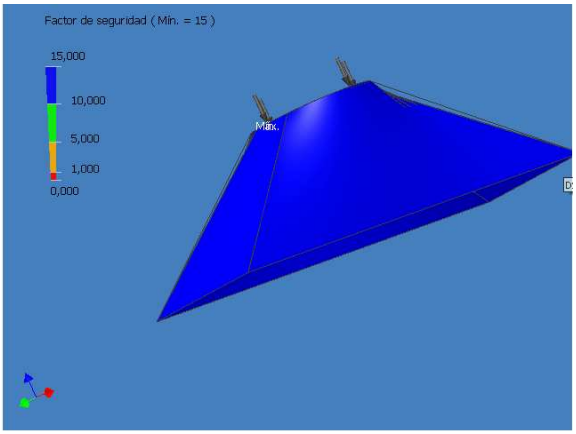


FIGURA 4.19. FACTOR DE SEGURIDAD

4.5. Selección de Diámetro de la Tubería

Los criterios a utilizar para el cálculo del diámetro de la tubería son:

1. Si la energía necesaria para el movimiento del fluido es gratis, utilizar el diámetro mínimo que permita el caudal deseado.
2. Si el fluido ha de ser bombeado, hay que calcular el tamaño que permita tener los menores costes anuales (cálculo del diámetro económico)

Velocidades típicas y caídas de presión permisibles que pueden utilizarse para estimar el diámetro de la tubería son:

	Velocidad (m/s)	**∆P(kPa/m)**
Líquidos bombeados (no viscosos)	1 – 3	0.5

Líquidos flujo por gravedad	-	0.005
Gases y vapores	15 – 30	0.02% presión de línea
Flujos a alta presión	30 - 60	

TABLA 4.5 VELOCIDADES Y CAIDAS DE PRESION PERMISIBLES [4]

Si se considera la densidad del fluido la velocidad óptima es:

Densidad del fluido (Kg/m^3)	Velocidad del fluido (m/s)
1600	2,4
800	3,0
160	4,9
16	9,4
0,16	18,0
0,016	34,0

TABLA 4.6 DENSIDAD DEL FLUIDO EN FUNCION DE LA VELOCIDAD [4]

En la selección de las tuberías se tiene que considerar el caudal máximo no el nominal (aumentar 20 a 50%).

De acuerdo a la tablas 4.5 y 4.6 se tiene que:

Flujo de agua = 15 m^3/h

Por lo tanto se escoge una velocidad:

V = 2,475 m/s este valor es interpolado de la tabla 4.3 para líquidos bombeados.

Conocido el caudal y la velocidad se puede encontrar el diámetro.

$Q = A * V$ Ec.4.13

$A = \pi/4\ D = Q/V$

Donde D diámetro de la tubería, despejando D, se tiene:

D = 0,0508 m o tubería de 2".

4.6. Selección de la Bomba para la Torre de Enfriamiento

Se tiene los siguientes datos para la torre:

Q = 15 m^3/h

Altura de la torre se la torre 12m

Considerando las tablas del Apéndice J del manual del fabricante Golds Pumps, se selecciona la siguiente bomba:

Modelo 3196

STX 1x 1 ½ - 6

Capacidad 70 GPM, 3 ½ ", 1 ½ HP

Frecuencia: 60 Hz.

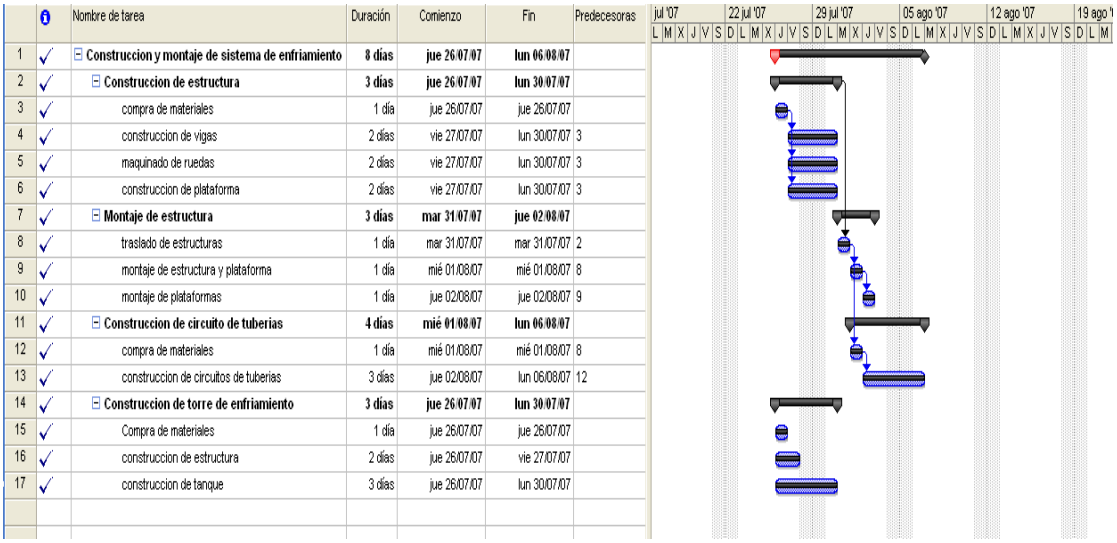
CAPITULO 5

5. MONTAJE DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA BATERIAS DE LOS SUBMARINOS

5.1. Diagrama de Gantt para la Ejecución del Proyecto

Diagrama de Gantt.- Para la planificación de la construcción montaje se contara con la ayuda del software Microsoft Project.

Que se lo muestra a continuación:



	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	**Construccion y montaje de sistema de enfriamiento**	**8 días**	**jue 26/07/07**	**lun 06/08/07**	
2	**Construccion de estructura**	**3 días**	**jue 26/07/07**	**lun 30/07/07**	
3	compra de materiales	1 día	jue 26/07/07	jue 26/07/07	
4	construccion de vigas	2 días	vie 27/07/07	lun 30/07/07	3
5	maquinado de ruedas	2 días	vie 27/07/07	lun 30/07/07	3
6	construccion de plataforma	2 días	vie 27/07/07	lun 30/07/07	3
7	**Montaje de estructura**	**3 días**	**mar 31/07/07**	**jue 02/08/07**	
8	traslado de estructuras	1 día	mar 31/07/07	mar 31/07/07	2
9	montaje de estructura y plataforma	1 día	mié 01/08/07	mié 01/08/07	8
10	montaje de plataformas	1 día	jue 02/08/07	jue 02/08/07	9
11	**Construccion de circuito de tuberias**	**4 días**	**mié 01/08/07**	**lun 06/08/07**	
12	compra de materiales	1 día	mié 01/08/07	mié 01/08/07	8
13	construccion de circuitos de tuberias	3 días	jue 02/08/07	lun 06/08/07	12
14	**Construccion de torre de enfriamiento**	**3 días**	**jue 26/07/07**	**lun 30/07/07**	
15	Compra de materiales	1 día	jue 26/07/07	jue 26/07/07	
16	construccion de estructura	2 días	jue 26/07/07	vie 27/07/07	
17	construccion de tanque	3 días	jue 26/07/07	lun 30/07/07	

FIGURA 5.1. DIAGRAMA DE GANTT

El diagrama de la figura anterior, da los pasos que se siguieron, describiendo todo el proceso que se llevo a cabo en el proyecto utilizando óptimamente el recurso humano existente y el tiempo requerido para realizarlo.

Levantamiento de planos del diseño de forma del sistema de enfriamiento.- Este procedimiento se hizo para obtener una referencia del espacio disponible y con ello ver las posibles soluciones a implementar. Este proceso no consta en el diagrama de Gantt ya que lo hizo previo a la licitación ya que seria acreedora del contrato la empresa participante que presente su mejor propuesta y cotización, sin embargo se tomo 5 días para realizar este proceso.

5.1.1. Preparación de Documentos, Planos de Taller y Movilización

Elaboración de planos de taller.- Se procederá al diseño del sistema mas optimo en este caso, torre de enfriamiento, certificación de intercambiador de calor, diseño de estructura móvil y de su estructura de soporte, a ser ejecutado para la alternativa seleccionada. Asimismo se procederá al diseño eléctrico bajo la responsabilidad ERMARLO S.A. Los planos serán sometidos a la aprobación del

departamento encargado por parte de la Armada del Ecuador para iniciar los trabajos de construcción de acuerdo al cronograma presentado.

Ningún data sheet mostrado en la oferta podrá ser utilizado como base para la construcción del sistema en mención por parte de la Armada del Ecuador o terceros si la obra no se adjudica a ERMARLO S.A., con amparo a la ley de derechos de autor.

Movilización.- Durante el período de elaboración de planos, se procederá con la movilización de equipos, herramientas, material a las instalaciones de la Armada Nacional del Ecuador ubicada en la Base Sur. Se utilizarán baños portátiles con mantenimiento periódico. Además la logística del proyecto será reforzada con el apoyo de las oficinas e instalaciones de ERMARLO S.A. Ubicadas en la vía a Daule Parque industrial Inmaconsa.

5.1.2. Fabricación en el Taller.

El diseño, suministro de los materiales, prefabricación y pre pintura interior y exterior de las estructuras serán ejecutados por ERMARLO S.A. En el taller se construirá:

- Rieles de movilización para los soportes que llevaran la tubería de agua destilada fría y caliente con sus respectivos acoples.
- Construcción de la Torre de Enfriamiento y sus accesorios

Se ha contemplado la supervisión de un técnico de la Armada Nacional en los talleres de ERMARLO S.A., asi mismo la supervisión en campo de un técnico durante la etapa de montaje. Para el efecto se ha considerado cubrir con todos los gastos relacionados con esta visita, salvo los honorarios de este técnico, los cuales correrán por cuenta de la institución contratante.

1. **Materiales.-** De conformidad con los planos de fabricación y especificaciones técnicas para la construcción de las rieles de deslizamiento y torre de enfriamiento, se selecciona el material a utilizar verificando calidad, espesores y dimensiones generales de láminas y tuberías.

   Principalmente para láminas de acero se verifican las marcas estampadas en cada plancha contra los certificados emitidos por el fabricante, de estar todo conforme se libera el material para fabricación.

2.- Fabricación

2.1.-Corte.- Se posiciona la lámina seleccionada en la mesa de corte, procediendo al trazo y verificación conforme a medidas de plano de fabricación. Se transfieren las marcas originales de la lámina a cada parte y pieza a ser cortada para mantener su identificación durante el proceso de fabricación y en la torre de enfriamiento terminada. Se regulan los flujos de gases y velocidad de avance de la máquina de conformidad con el procedimiento específico de cada máquina y se procede a cortar el material. En esta etapa se define dentro del proceso de corte el tipo de bisel que se deja en el filo de las planchas para el posterior proceso de soldadura, todos los biseles tienen que estar detallados en los planos de fabricación. Una vez cortadas las piezas se realiza una limpieza mecánica de los bordes de la lámina, especialmente los biseles de soldadura, se inspecciona y libera el material para el siguiente proceso.

2.2.-Conformado.- Dependiendo de la parte de la torre que esté en proceso, las bandejas perforadas se las fabricara con este procedimiento. Adicionalmente todas las partes conformadas serán pre-ensambladas en

taller para verificar su correcto dimensionamiento y agilizar el proceso de ensamble final en campo.

2.3.-Soldadura.- Se realizará soldadura en fábrica par elementos como patas, soportes de la cuba colectora de agua, tuberías de carga y descarga, conexiones para instrumentación de acuerdo con el requerimiento del cliente. Todas las soldaduras de fábrica deben estar definidas en los planos de fabricación indicando el proceso de soldadura y parámetros generales que serán ejecutados. Todas las soldaduras se realizarán con procedimientos y soldadores calificados de conformidad con código ASME última edición. Los principales procesos a ser utilizados son SAW, GMAW, SMAW. Toda soldadura deberá ser inspeccionada y verificada cumpliendo los requerimientos del código ASME y condiciones particulares del Cliente si existieran.

2.4.-Tratamiento de Superficies.- Tanto las láminas de cuerpo como tuberías, soportes, plataformas serán preparadas y recubiertas de acuerdo con las especificaciones del cliente. En taller se realizará aplicará la primera capa de revestimiento y en campo se completara el sistema luego del montaje
y pruebas del tanque. El procedimiento a seguir es el siguiente:

Se preparará la superficie utilizando chorro de granalla metálica hasta obtener un acabado SSPC - SP 10, metal casi blanco con un perfil de anclaje de 2 a 3 mils que garantice la adherencia y resistencia mecánica del sistema de pintura a aplicar. Se dispone con los equipos y condiciones adecuadas para garantizar una buena limpieza.

La pintura será aplicada conforme las recomendaciones y especificaciones de la hoja técnica del fabricante de pintura. Durante el proceso de aplicación

se controla y registran los parámetros externos y condiciones de aplicación como temperatura ambiente, temperatura de la pieza, humedad relativa, punto de rocío, espesor húmedo y espesor seco.

2.5. Factibilidad de construcción.- Se quiere resaltar las ventajas de la fabricación de la torre de enfriamiento en Ecuador, ya que además del arancel que tendrá que pagarse sobre el tanque importado, cuando se trata de proyectos de interés público, de acuerdo a la Ley la Armada del Ecuador puede requerir la aprobación de la importación de bienes de capital. El Ministerio encargado certificará si hay manufactura local o no para los bienes a ser importados. El producto local debe ser similar al importado, debe tener la misma función, precio competitivo, igual calidad y tiempo de entrega. Si los productos locales cumplen con los estándares de los productos importados, deben entonces ser comprados localmente, caso contrario el Ministerio no autorizará su importación.

5.1.3. Montaje del Sistema de Enfriamiento.

El Supervisor de montaje será responsable de la eficiente coordinación del Proyecto, la Armada del Ecuador será informado continuamente de todas las acciones a tomar.

ERMARLO S.A. dispondrá de todos los equipos y herramientas necesarios para enfrentar adecuadamente los trabajos, incluyendo grúas, compresores, generadores, soldadoras, equipo para prueba hidrostática, etc.

El montaje del sistema de enfriamiento obedece a una secuencia establecida en los procedimientos y normas aplicables para este tipo de trabajos.

En resumen, las actividades principales que es necesario cumplir son las siguientes:

Revisión de la fundación de las estructuras deslizantes y la torre de enfriamiento.

Antes del montaje del sistema de guías para la estructura deslizante y para la torre de enfriamiento se verificarán cuidadosamente la topografía e integridad estructural de las fundaciones. También se comprobará que el terreno esté adecuado para los diferentes movimientos de los equipos de montaje.

FIGURA 5.3 ALINEACION DE PISO DONDE SE ASENTARA LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Montaje de la estructura de soporte del sistema deslizante

Una vez revisada y aprobada las estructuras donde se va a montar el sistema deslizante, la cual llevara las tuberías de agua destilada a las baterías, por parte de ERMARLO S.A., se procederá a la instalación de cada una de las vigas transversales donde se delizara el sistema de tuberías.

FIGURA 5.2 SISTEMA DE DESLIZAMIENTO

Soldadura en obra

Las vigas del sistema de deslizamiento, la torre y sus estructuras serán soldados por cualquiera de los procesos SMAW y SAW, utilizando los equipos adecuados. La soldadura puede ser manual, semi-automática o automática, de conformidad a lo que establezca del procedimiento de soldadura correspondiente.

Se tendrá una revisión estricta de las condiciones de los biseles, eliminación de escoria antes de efectuar el siguiente cordón, inspecciones visuales de la soldadura, inspecciones radiográficas de acuerdo al Código se es necesario.

Las láminas del cuerpo, en juntas de tope, serán alineadas en su posición antes de soldar las mismas.

5.1.4. Preparación de Superficie y Pintura en Sitio

Con el fin de asegurar la culminación del proyecto dentro del tiempo especificado, así como para minimizar los daños ambientales y proteger los materiales prefabricados durante su transporte, se ha considerado realizar la preparación y pre pintura de superficies exterior e interior de las estructuras en taller.

Las capas finales de pintura serán aplicadas en el campo, de acuerdo a las especificaciones establecidas propuestas por ERMARLO S.A.. Las áreas de pintura que deban reparase o terminarse en se las reparará en obra.

5.1.5. Prueba Hidrostática del Sistema de Tuberías e Intercambiador de Calor.

Una vez instalado y pintado la torre de enfriamiento con el intercambiador de calor sumergido en la piscina recolectora de la torre se procederá a realizar la prueba hidrostática y la posterior desinfección del mismo de acuerdo a lo especificaciones en las bases de licitación entregada por la Armada del Ecuador.

5.1.6. Bombas de agua.

Existen dos bombas a ser montadas, véase la figura 5.3. La bomba 1, para el sistema de agua destilada de circulación por las baterías y al intercambiador de calor, la bomba 2 figura 5.4., para la recirculación del agua en la torre de enfriamiento. Las características de todas ellas han sido ya establecidas, en capítulos anteriores.

FIGURA 5.3. BOMBA PARA AGUA DESTILADA QUE ENTRA EN LAS BATERIA

FIGURA 5.4. BOMBA DE AGUA PARA TORRE DE ENFRIAMIENTO

Para el montaje se deben respetar las especificaciones dadas, ya sea por las normas respectivas o, seguir recomendaciones técnicas. En este caso se hará lo posible por cumplir las recomendaciones dadas[12]. Para el caso de la tubería de succión, se da la figura 5.5.

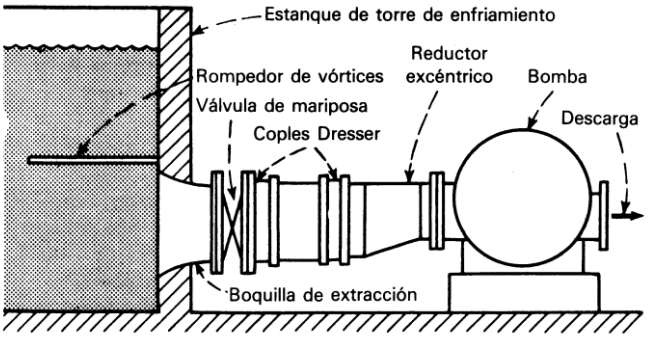


FIGURA 5.5. TUBERIA DE SUCCION [12]

Otra recomendación dada radica en que se debe evitar, para el transporte, el uso de tuberías de igual diámetro al de ingreso o salida del agua de la bomba; deben ser las inmediatas superiores. Esto se cumple, con los cálculos, solo cuando la bomba está bien dimensionada; pero no en el caso de la bomba 2, debido a que esta se encuentra sobredimensionada. Por ello, el diámetro de la tubería de salida es igual diámetro de la tubería de transporte de agua; en el ingreso, caso igual, se usa una tubería de 2".

5.1.6. Instalación Eléctrica.

Se ha contemplado el diseño, instalación, suministro y pruebas de un sistema eléctrico el mismo que tendrá los controles y mandos para activar ventilador de la torre, activación de las bombas de agua, control de ventiladores del cuarto de activación.

FIGURA 5.6.TABLERO DE CONTROL ELECTRICO

Toda tubería eléctrica se asegurará con abrazaderas o soportes de acero a la estructura de la torre o a las paredes por donde crucen los cables.

5.1.7. Graficas Representativas del Montaje de la Torre de Enfriamiento

FIGURA 5.7. INTERCAMBIADOR SUMERGIDO EN COLECTOR DE LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

FIGURA 5.8. BANDEJAS PERFORADAS INSTALADAS EN LA TORRE DE ENFRIAMIENTO

FIGURA 5.9. TORRE DE ENFRIAMIENTO INSTALADA

5.2. Lista de materiales y equipos requeridos para el montaje.

En las siguientes tablas se listan los materiales y equipos requeridos para el montaje realizado, adicionalmente se indica si se empleó algo usado o nuevo, así como su cantidad.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
	Equipo/herramienta	**Tamaño/especificación**	**Condición**	
01	Arco para sierra	Estándar de 12”	En bodega	
02	Broca para acero	HSS, Ø ⅜” x 4”	En bodega	
03	Broca para cemento	Percusión, Ø ⅜” x 4”	En bodega	
04	Broca para cemento	Percusión, Ø ½ ” x 6”	En bodega	
06	Cepillo de acero	6 hileras.	En bodega	
07	Destornillador plano	5 mm. x 150 mm.	En bodega	
08	Emulsión lubricante	Proporción 1/20	En bodega	
09	Flexómetro	8 m. x 25 mm.	En bodega	
10	Guantes de cuero	Par / manga corta (10”)	En bodega	
11	Hoja de sierra	12” x ½” x 1/32”	Comprada	
12	Hoja de sierra	24” x 1¼” x 1/16”	Comprada	
13	Llave mixta	⅜”	En bodega	
14	Llave mixta	9/16”	En bodega	
15	Llave mixta	5/8”	En bodega	
16	Llave para tubo	Largo 12”, abre hasta 2”	En bodega	
17	Llave para tubo	Largo 24” , abre hasta 3½”	En bodega	
18	Llave para tubo	Largo 36” , abre hasta 5”	En bodega	
19	Nivel	Aluminio, largo 24”	En bodega	
20	Pie de amigo	De 24” de ángulo de ¾”	Construido	

21	Piola de algodón	Rollo de 50 gramos.	Comprado	
22	Prensa para tubo	De tornillo, para Ø 4”	En bodega	
23	Sierra alternativa	Para aserrar acero	En taller	
24	Taladro de mano	Capacidad ½” ≈ 13 mm.	En bodega	
25	Taco Fisher	F10	Comprado	
26	Tarraja para tubo	Manual, para Ø ½” a 2”	En bodega	
27	Teflón	Rollo, 19mmx15mx0.2mm	Comprado	
29	EPP		Comprado	
30	Material de aporte	E6011, E6013, etc	Comprado	
31	Equipo de oxicorte	Acetileno, oxigeno, manom	En bodega	
32	extintores	Polvo químico seco	En taller	
33	tecle	2 Ton	En bodega	
34	**Maq. De soldar**		**En bodega**	

TABLA 5.1. LISTA DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

5.3. RESUMEN DE COSTOS

ITEM	MATERIALES	Cantidad	unid	mater	peso	V Unitario	V Venta
	Soportaría fija y estructura móvil						
	Correa G 125 x 50 x 15 x 3	6	unid		33.24	32.91	197.45
	plancha 4	1	unid		93.34	92.41	92.41
	ángulo laminado 40 x 3	9	unid		11.00	10.89	98.01

ángulo laminado 50 x 4	3	unid		23.55	23.31	69.94
Correa G 80 x 50 x 15 x 3	9	unid		24.06	23.82	214.37
malla electro ARMEX R- 131 (5.15)	52	mc		1.00	2.00	104.00
perno expansión 5/8" x 3"	24	unid		0.12	0.60	14.40
Pintura	4	galón		1.00	15.00	60.00
ruedas para correas	12	unid		1.00	25.00	300.00
ángulo laminado 25 x 3	6	unid		7.06	6.99	41.94
Materiales estructura					1,192.52	
Mano de obra estructura					715.51	
Total estructura					**1,908.03**	

Sistema de tuberías y accesorios

tubo PVC 2"	20	unid		1.00	14.00	280.00
accesorio T 2"	2	unid		0.30	2.40	4.80
tapón 2"	4	unid		0.20	1.60	6.40
unión 2"	10	unid		0.20	1.60	16.00
bushing 2" x 1/4"	4	unid		0.20	1.60	6.40
manguera 2"	6	m		1.00	35.00	210.00
acople para manguera 2" x 2"	4	unid		2.00	16.00	64.00
abrazaderas 2"	8	unid		1.00	6.00	48.00
manguera 1/4"	300	m		1.00	2.50	750.00
abrazadera 1/4"	480	unid		1.00	0.30	144.00
tubo galvanizado 1 1/4"	7	unid		1.00	33.60	235.20
codo pvc 2"	4	unid		0.20	1.60	6.40
codo galvanizado 1 1/4"	4	Unid		0.20	1.80	7.20
nudo 2"	4	unid		0.30	2.40	9.60

acoples para manguera 1/4"	240	unid			1.00	240.00
Materiales sistema distribución agua enfriamiento / aire					2,028.00	
Mano de obra sistema distribución agua enfriamiento					811.20	
Total sistema distribución					**2,839.20**	

Torre de enfriamiento

tubo cuadrado 80 x 3	4	unid		45.21	44.76	179.03
ángulo laminado 50 x 3	8	unid		14.30	14.16	113.26
ventilador axial para torre enfriamiento	1	unid			1,200.00	1,200.00
plancha 3 para deposito de agua torre	2	unid		70.40	69.70	139.39
control nivel de agua torre	1	global			15.00	15.00
plancha galvanizada para bandejas	8	unid		42.24	59.14	473.09
plancha galvanizada para paredes	8	unid		32.85	45.99	367.92
bomba de circulación 80 gpm – 30 psi	1	unid			1,200.00	1,200.00
arrancador para bomba de circulación y ventilador	1	global			320.00	320.00
difusores y encausadores de torre	1	global			350.00	350.00
tubería y válvulas de control de circulación	1	global			235.00	235.00
Material torre					4,592.69	
Mano de obra torre					1,561.51	
Total torre					**6,154.20**	

EQUIPOS SUMINISTRADOS POR ARMADA DEL ECUADOR

Intercambiador de calor de haz tubular	0.00
Bomba PN 50 – 32 – 145 para agua des-ionizada	0.00

NOTA no se encuentra agregado el valor del IVA.

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. El método usado por el texto de Procesos de transferencia de calor de Kern, y al comparar con el programa computacional para la selección del intercambiador de calor son similares, concluyendo que el programa funciona correctamente y este caso el intercambiador disponible cumple con los requerimientos para reducir la temperatura requerida para el sistema.

2. El equipo diseñado cumple con lo establecido en el análisis del problema y las restricciones.

3. El método de construcción utilizado, especialmente los procesos de soldadura garantizan el buen funcionamiento del equipo.

4. Se ha adquirido mas conocimientos sobre las torres de enfriamiento y sobre su valor característico KaV/L. A mayor valor, mayor dificultad para lograr el enfriamiento deseado. Adicionalmente se ratifico los conocimientos adquiridos.

5. Se ha utilizado varios sistemas computacionales para comprobar los resultados adquiridos e implementar estos programas en el trabajo diario dentro del departamento de proyectos de ERMARLO S.A.

6. Se ha utilizado tablas, normas y códigos de selección y diseño, de esta manera logrando un método de selección más rápida para la ejecución de un proyecto.

7. El control de calidad dentro del proceso de construcción y montaje es muy importante en la entrega final del trabajo, para la satisfacción del cliente y realzar el nombre de la empresa constructora.

8. Una gran experiencia de trabajo en equipo tanto con el personal encargado de la construcción como la interacción con el personal de la Armada del Ecuador.

6.2. Recomendaciones

1. Cuando se desee realizar la evaluación de un intercambiador de calor o una torre de enfriamiento, se debe seguir un sin número de especificaciones, para tenerlas a mano. Personalmente me pareció muy buena la guía del texto Procesos de Transferencia de Calor.

2. Se requiere implementar un estudio detallado, para el manejo de todos los desechos generados.

3. Se tendría que hacer un plan de mantenimiento para los equipos constitutivos del sistema de enfriamiento.

4. Revisar permanentemente las instalaciones eléctricas ya que se tiene un ambiente explosivo por las emanaciones de hidrogeno de las baterías al estar activándose.

5. La pintura de la torre de enfriamiento debería estar en control para evitar corrosión en la estructura.

6. En la construcción y el montaje se recomienda el correcto uso del Equipo de Protección Personal, así como los implementos para realizar trabajos en altura, trabajos en caliente o lugares confinados, para evitar lesiones por parte de los integrantes del proyecto.

7. Tener en consideración todas las normas de seguridad que tiene la institución (Armada del Ecuador) para evitar sanciones al personal que está ejecutando el proyecto.

8. Implementar un mejor sistema de ventilación en el cuarto de activación de baterías ya que este tiene demasiados contaminantes en el ambiente.

APENDICE

APENDICE A

Factores de Conversion y Constantes

Energía y potencia:

Btu = 0.252 kg-cal
Btu = 0.293 watt-h
Btu = 0.555 pcu (Unidad libra centígrado)
Btu = 778 pie-lb
Btu/min = 0.236 hp
Hp = 42.4 Btu/min
Hp = 33 000 pie-lb/min
Hp = 0.7457 kw
Hp-h = 2 543 Btu
Kw = 1.3415 hp
Watt-h = 3.415 Btu

Flujo de fluidos ;

Bbl/h = 0.0936 cfm
Bbl/h = 0.700 gpm
Bbl/día = 0.0292 gpm
Bbl/día = 0.0039 cfm
Cfm = 10.686 bbl/h
Gpm = 1.429 bbl/h
Gpm = 34.3 bbl/día
Gpm × s (gravedad especifica) = 500 × s lb/h

Coeficientes de transferencia de calor:

Btu/(h)(pie²)(°F) = 1.0 pcu/(h)(pie²)(°C)
Btu/(h)(pie²)(°F) = 4.88 kg-cal/(h)(m²)(°C)
Btu/(h)(pie²)(°F) = 0.00204 watts/(plg²)(°F)

Longitud, área y volumen:

Bbl = 42 gal
Bbl = 5.615 pie^3
Cm = 0.3937 plg
Pie^3 = 0.1781 bbl
Pie3 = 7.48 gal
Pie3 = 0.0283 m^3
M^3 = 6.290 bbl
M^3 = 35.314 pie^3
Pies = 30.48 cm
Pies = 0.3048 m
Gal = 0.02381 bbl
Gal = 0.1337 pie^3
Gal = 3.785 lt
Gal = 0.8327 gal (Imperial)
Plg = 2.54 cm
Litro = 0.2642 gal
Litro = 1.0567 qt

M = 3.281 pie
Pie² = 0.0929 m²
M² = 10.76 pie2

Presión

Atm = 33.93 pies de agua a 60°F
Atm = 29.92 plg Hg a 32°F
Atm = *760* mm Hg a 32°F
Atm = 14.696 lb/plg²
Atm = 2 116.8 lb/pie²
Atm = 1.033 kg/cm²
Pies de agua a 60°F = 0.4331 lb/plg²
Plg de agua a 60°F = 0.361 lb/plg²)
Kg/cm² = 14.223 lb/plg².
Psi = 2.309 Pies de agua a 60°F

Temperatura :

Temperatura °C = 5/9(°F − 32)
Temperatura °F = 9/5(°C + 32)
Temperatura °F absoluta (°R) = °F + 460
Temperatura °C absoluta (°K) = °C + 273

Conductividad térmica:

Btu/(h)(pie²)(°F/pie) = 12 Btu/(h)(pie²)(°F/plg)
Btu/(h)(pie²)(°F/pie) = 1.49 kg-cal/(h)(m²)(°C/m)
Btu/(h)(pie²)(°F/pie) = 0.0173 watts/(cm²)(°C/cm)

Viscosidad (factores adicionales están contenidos en la Fig. 13).

Poise = 1 g/(cm)(seg)
Centipoise = 0.01 poise
Centipoise = 2.42 lb/(pie)(h)

Yeso ▪

Lb = 0.4536 kg
Lb = 7 000 granos
Tonelada (corta o neta) = 2 000 lb
Tonelada (larga) = 2 240 lb
Tonelada (métrica) = 2 205 lb
Tonelada (métrica) = 1000 kg

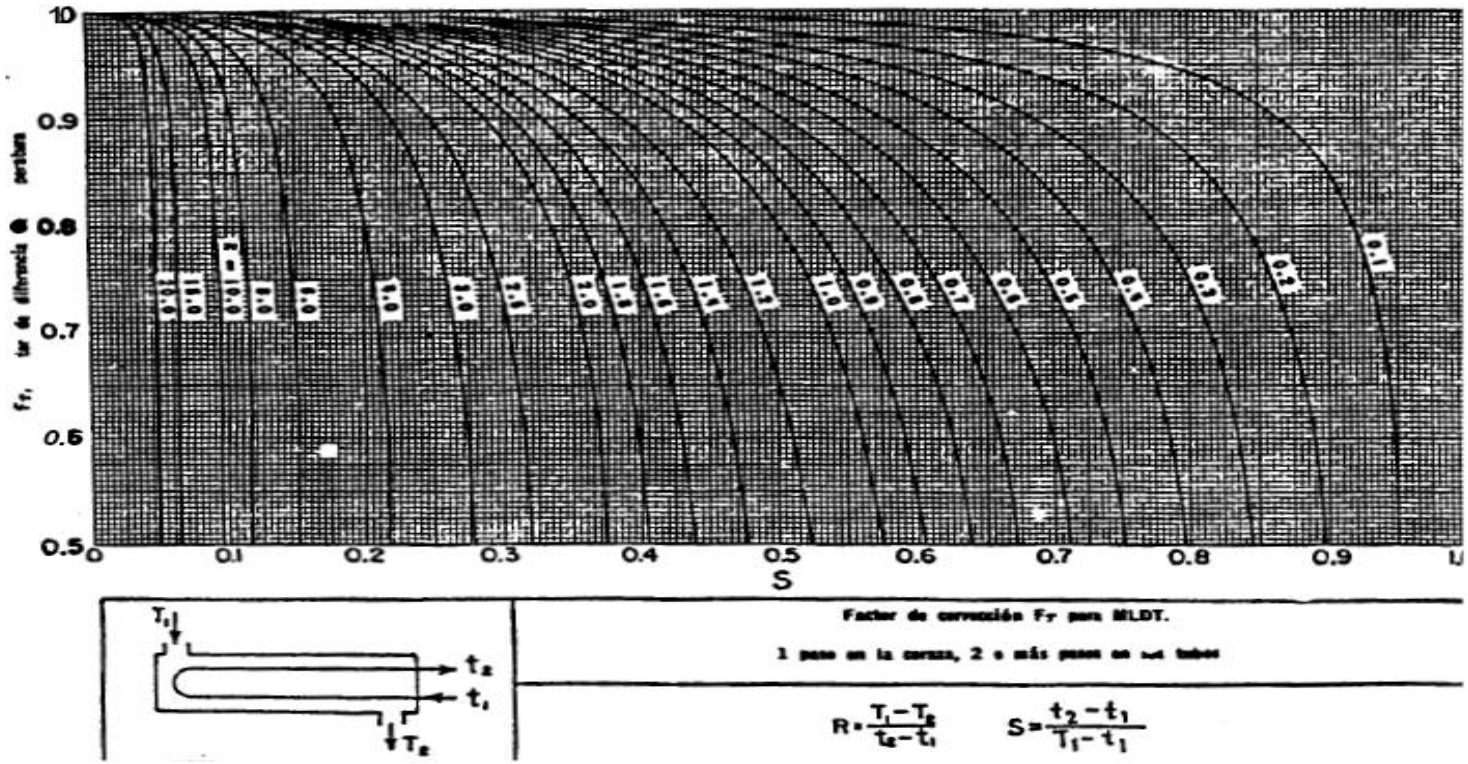
Constantes:

Aceleración de la gravedad = 32.2 pies/seg²
Aceleración de la gravedad = 4.18 × 10⁸ pies/h²
Densidad del agua = 62.5 lb/pie³

APENDICE B

Propiedades Fisicas del Agua

Temperatura de agua t grados Fahrenheit	Presión de saturación P lb/pulg² abs.	Volumen específico v pie³/lb	Densidad ρ lb/pie³	Peso libras/galón
32	0.08859	0.016022	62.414	8.3436
40	0.12163	0.016019	62.426	8.3451
50	0.1774	0.016023	62.410	8.3430
60	0.25611	0.016033	62.371	8.3378
70	0.36292	0.016050	62.305	8.3290
80	0.50683	0.016072	62.220	8.3176
90	0.69813	0.016099	62.116	8.3037
100	0.94924	0.016130	61.996	8.2877
110	1.2750	0.016165	61.862	8.2698
120	1.6927	0.016204	61.7132	8.2498
130	2.2230	0.016247	61.550	8.2280
140	2.8892	0.016293	61.376	8.2048
150	3.7184	0.016343	61.188	8.1797
160	4.7414	0.016395	60.994	8.1537
170	5.9926	0.016451	60.787	8.1260
180	7.5110	0.016510	60.569	8.0969
190	9.340	0.016572	60.343	8.0667
200	11.526	0.016637	60.107	8.0351
210	14.123	0.016705	59.862	8.0024
212	14.696	0.016719	59.812	7.9957
220	17.186	0.016775	59.613	7.9690
240	24.968	0.016926	59.081	7.8979
260	35.427	0.017089	58.517	7.8226
280	49.200	0.017264	57.924	7.7433
300	67.005	0.01745	57.307	7.6608
350	134.604	0.01799	55.586	7.4308
400	247.259	0.01864	53.648	7.1717
450	422.55	0.01943	51.467	6.8801
500	680.86	0.02043	48.948	6.5433
550	1045.43	0.02176	45.956	6.1434
600	1543.2	0.02364	42.301	5.6548
650	2208.4	0.02674	37.397	4.9993
700	3094.3	0.03662	27.307	3.6505

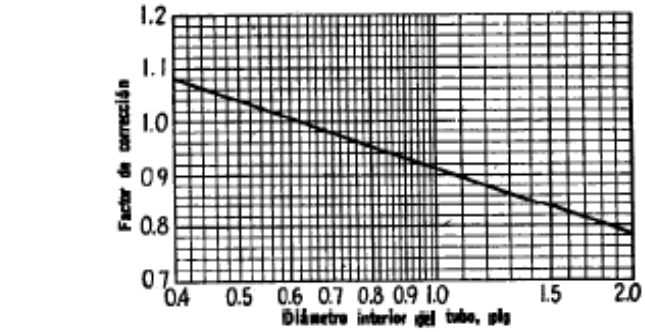


APENDICE C

Factores de Correccion MLDT para Intercambiadores de Calor Tubo Coraza

APENDICE D

Curva de Transferencia de Calor



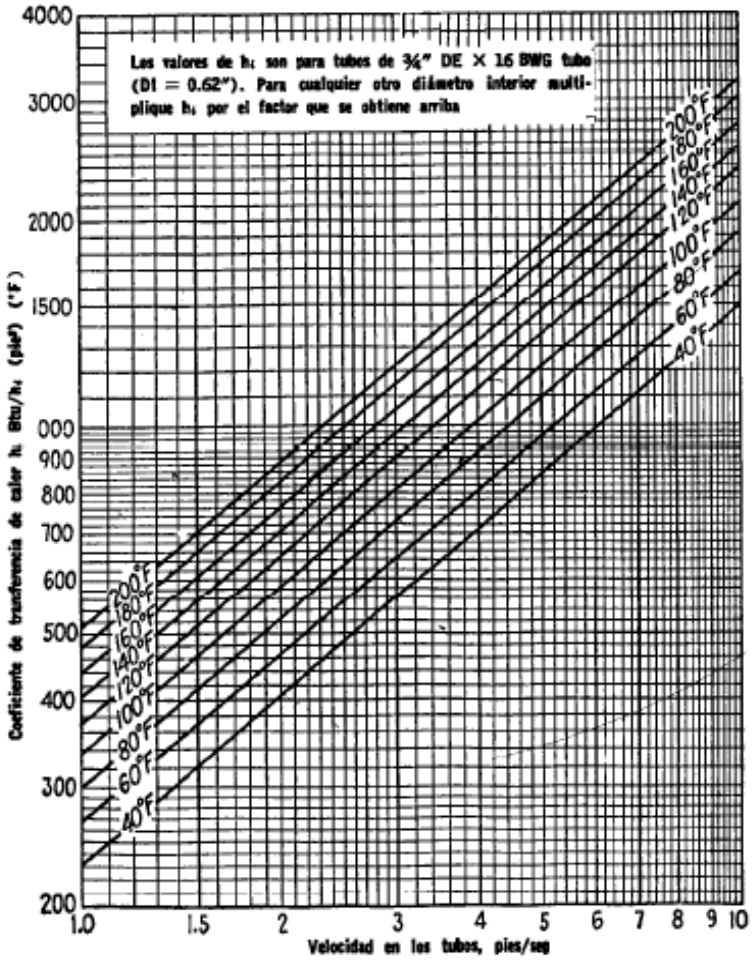


FIG. 25. Curva de transferencia de *calor*, agua en los *tubos*. [*Adaptada* de *Eagle y Ferguson, Proc Roy., Soc. A127, 540* (1930)]

APENDICE E

Datos de Tubos para Intercambiadores de Calor

Tubo DE, plg	BWG	Espesor de la pared, plg	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg²	Superficie por pie lin. pies²		Peso por pie lineal, lb, de acero
					Exterior	Interior	
½	12	0.109	0.282	0.0625	0.1309	0.0748	0.493
	14	0.083	0.334	0.0876		0.0874	0.403
	16	0.065	0.370	0.1076		0.0969	0.329
	18	0.049	0.402	0.127		0.1052	0.258
	20	0.035	0.430	0.145		0.1125	0.190
¾	10	0.134	0.482	0.182	0.1963	0.1263	0.965
	11	0.120	0.510	0.204		0.1335	0.884
	12	0.109	0.532	0.223		0.1393	0.817
	13	0.095	0.560	0.247		0.1466	0.727
	14	0.083	0.584	0.268		0.1529	0.647
	15	0.072	0.606	0.289		0.1587	0.571
	16	0.065	0.620	0.302		0.1623	0.520
	17	0.058	0.634	0.314		0.1660	0.469
	18	0.049	0.652	0.334		0.1707	0.401
1	8	0.165	0.670	0.355	0.2618	0.1754	1.61
	9	0.148	0.704	0.389		0.1843	1.47
	10	0.134	0.732	0.421		0.1916	1.36
	11	0.120	0.760	0.455		0.1990	1.23
	12	0.109	0.782	0.479		0.2048	1.14
	13	0.095	0.810	0.515		0.2121	1.00
	14	0.083	0.834	0.546		0.2183	0.890
	15	0.072	0.856	0.576		0.2241	0.781
	16	0.065	0.870	0.594		0.2277	0.710
	17	0.058	0.884	0.613		0.2314	0.639
	18	0.049	0.902	0.639		0.2361	0.545
1¼	8	0.165	0.920	0.665	0.3271	0.2409	2.09
	9	0.148	0.954	0.714		0.2498	1.91
	10	0.134	0.982	0.757		0.2572	1.75
	11	0.120	1.01	0.800		0.2644	1.58
	12	0.109	1.03	0.836		0.2701	1.45
	13	0.095	1.06	0.884		0.2775	1.28
	14	0.083	1.08	0.923		0.2839	1.13
	15	0.072	1.11	0.960		0.2896	0.991
	16	0.065	1.12	0.985		0.2932	0.900
	17	0.058	1.13	1.01		0.2969	0.808
	18	0.049	1.15	1.04		0.3015	0.688
1½	8	0.165	1.17	1.075	0.3925	0.3063	2.57
	9	0.148	1.20	1.14		0.3152	2.34
	10	0.134	1.23	1.19		0.3225	2.14
	11	0.120	1.26	1.25		0.3299	1.98
	12	0.109	1.28	1.29		0.3356	1.77
	13	0.095	1.31	1.35		0.3430	1.56
	14	0.083	1.33	1.40		0.3492	1.37
	15	0.072	1.36	1.44		0.3555	1.20
	16	0.065	1.37	1.47		0.3587	1.09
	17	0.058	1.38	1.50		0.3623	0.978
	18	0.049	1.40	1.54		0.3670	0.831

APENDICE F

Dimensiones de Tuberia de Acero

Tamaño nominal del tubo, IPS plg	DE, plg	Cédula No.	DI, plg	Area de flujo por tubo, plg²	Superficie por pie lineal, pies²/pie		Peso por pie lineal, lb de acero
					Exterior	Interior	
⅛	0.405	40*	0.269	0.058	0.106	0.070	0.25
		80†	0.215	0.036		0.056	0.32
¼	0.540	40*	0.364	0.104	0.141	0.095	0.43
		80†	0.302	0.072		0.079	0.54
⅜	0.675	40*	0.493	0.192	0.177	0.129	0.57
		80†	0.423	0.141		0.111	0.74
½	0.840	40*	0.622	0.304	0.220	0.163	0.85
		80†	0.546	0.235		0.143	1.09
¾	1.05	40*	0.824	0.534	0.275	0.216	1.13
		80†	0.742	0.432		0.194	1.48
1	1.32	40*	1.049	0.864	0.344	0.274	1.68
		80†	0.957	0.718		0.250	2.17
1¼	1.66	40*	1.380	1.50	0.435	0.362	2.28
		80†	1.278	1.28		0.335	3.00
1½	1.90	40*	1.610	2.04	0.498	0.422	2.72
		80†	1.500	1.76		0.393	3.64
2	2.38	40*	2.067	3.35	0.622	0.542	3.66
		80†	1.939	2.95		0.508	5.03
2½	2.38	40*	2.469	4.79	0.753	0.647	5.80
		80†	2.323	4.23		0.609	7.67
3	3.50	40*	3.068	7.38	0.917	0.804	7.58
		80†	2.900	6.61		0.760	10.3
4	4.50	40*	4.026	12.7	1.178	1.055	10.8
		80†	3.826	11.5		1.002	15.0
6	6.625	40*	6.065	28.9	1.734	1.590	19.0
		80†	5.761	26.1		1.510	28.6
8	8.625	40*	7.981	50.0	2.258	2.090	28.6
		80†	7.625	45.7		2.000	43.4
10	-0.75	40*	10.02	78.8	2.814	2.62	40.5
		60	9.75	74.6		2.55	54.8
12	2.75	30	12.00	115	3.338	3.17	43.8
14	4.0	30	13.25	138	3.665	3.47	54.6
16	6.0	30	15.25	183	4.189	4.00	62.6
18	8.0	20‡	17.25	234	4.712	4.52	72.7
20	ro.0	20	19.25	291	5.236	5.05	78.6
22	r2.0	20‡	211.25	355	5.747	5.56	84.0
24	14.0	20	23.25	425	6.283	6.09	94.7

*Comúnmente conocido como **estándar.**
†**Comúnmente** conocido como **extragrueso.**
‡**Aproximadamente.**

APENDICE G

Nomograma de Caracteristicas de la Torre de Enfriamiento

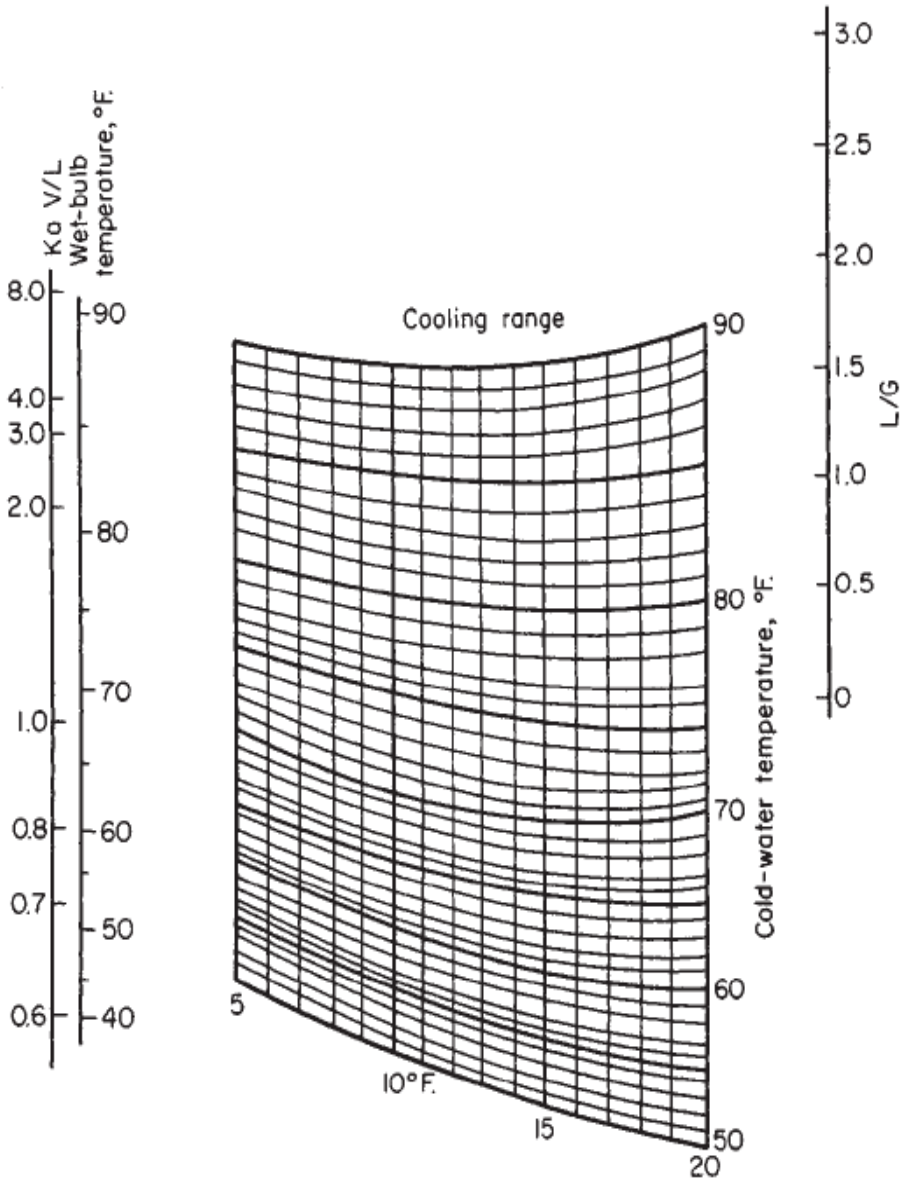
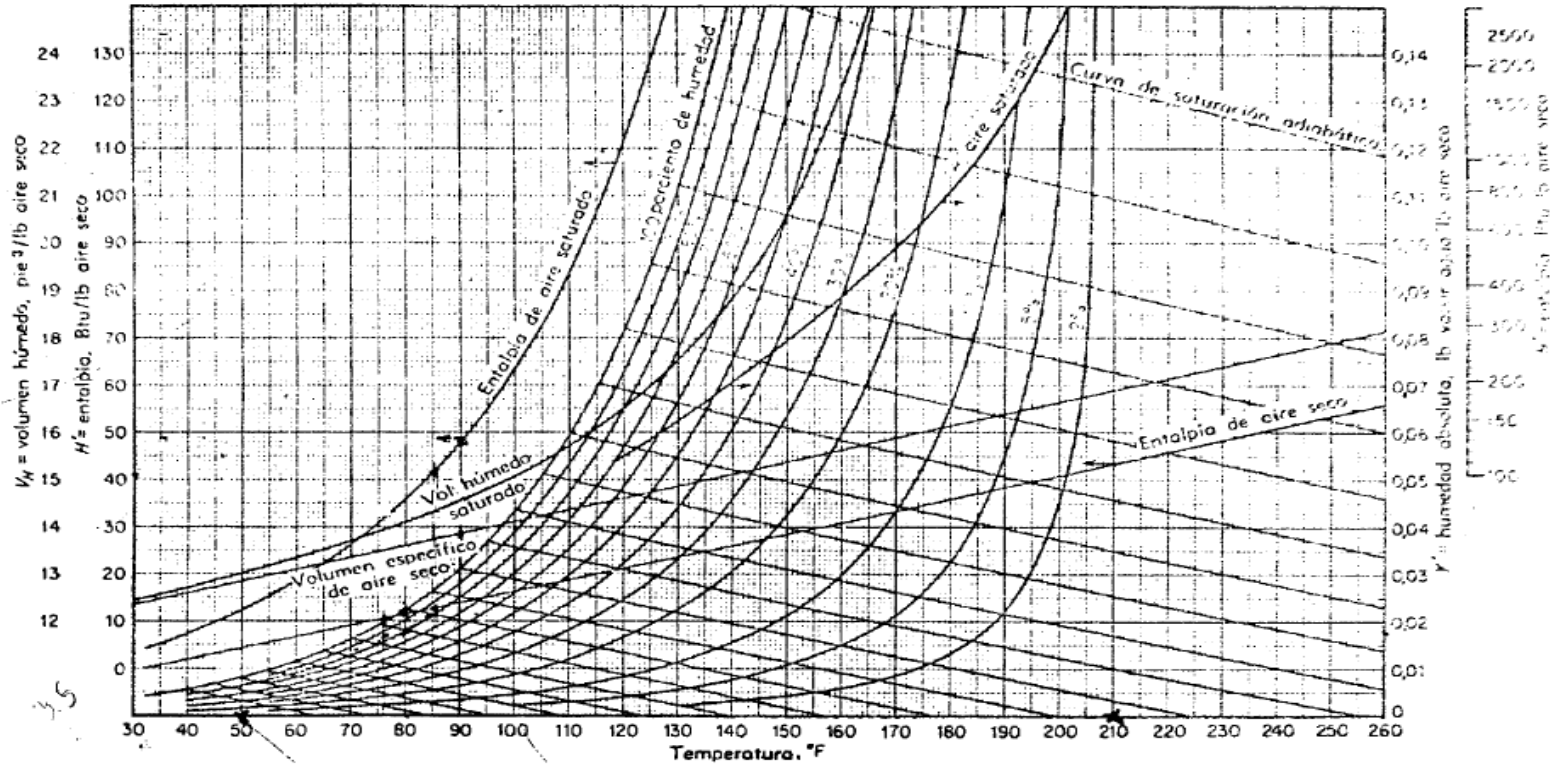
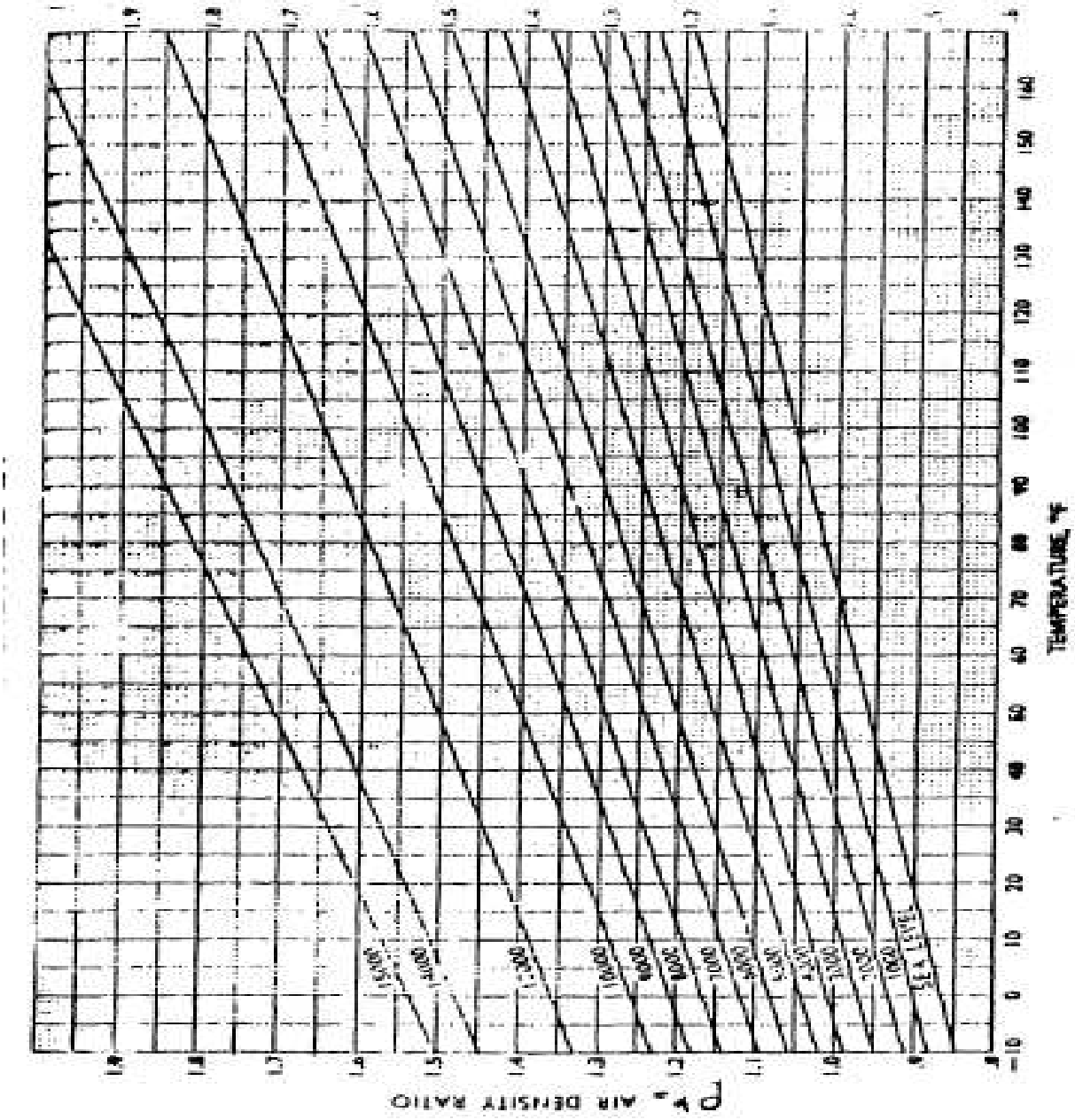


FIG. 12-13 Nomograph of cooling-tower characteristics. [*Wood and Betts*, Engineer, *189*(*4912*), *337* (*1950*).]



APENDICE H

Carta Psicométrica para Aire – Vapor de Agua



APENDICE I

Relación entre Aire RDA y la Temperatura

APENDICE J

Catalogo de Bombas Centrifugas

A Full Range of Product Features
Una Gama Total de Características del Producto

The 3656LH and 3756LH pumps from Goulds Pumps have been designed with technical benefits to meet the needs of both manufacturers and users in a variety of refrigeration and cooling applications as well as irrigation applications.

- Performance testing of every pump we manufacture assures trouble free operation.
- Back pull-out to reduce maintenance down time.
- Standard John Crane Type 21 mechanical seal for both reliability and availability.
- Available in all iron or bronze fitted construction for application versatility.
- Replaceable wearing components include stainless steel shaft sleeve and casing wear ring to maintain peak efficiency.
- Enclosed impeller design, dynamic balancing and renewable wear ring reduce losses affecting performance and pump life.
- Suction and discharge connections are NPT threaded except for the 4 x 4-5 and 5 x 5-6 sizes which have ANSI class 125 flat faced flanges.
- Casing mounting is standard with a vertical discharge however can be rotated in 90 degree increments for side discharge arrangements.

Las bombas 3656LH y 3756LH de Goulds Pumps han sido diseñadas con beneficios técnicos para cumplir con las necesidades de fabricantes y usuarios en una variedad de aplicaciones para refrigeración y enfriamiento, además de aplicaciones de irrigación.

- *Pruebas de funcionamiento de cada bomba que fabricamos, aseguran un funcionamiento sin problemas.*
- *Extracción trasera para reducir el tiempo de mantenimiento.*
- *Sello mecánico estándar John Crane Tipo 21 para funcionalidad y disponibilidad.*
- *Disponibles en todas las construcciones de hierro o recubiertas de bronce para variedad de aplicaciones.*
- *Componentes reemplazables sujetos a desgaste incluyen camisas de eje de acero inoxidable y anillos de desgaste de la carcasa para mantener un rendimiento óptimo.*
- *Las conexiones de succión y descarga son NPT roscadas, excepto por los tamaños de 4 x 4-5 y 5 x 5-6 que tienen bridas de cara plana ANSI Clase 125.*
- *El montaje de la carcasa es estándar con una descarga vertical; sin embargo, se puede rotar en incrementos de 90 grados para disposiciones de descarga lateral.*

3656LH, 3756LH Numbering System
3656LH, 3756LH Sistema de Numeración

The various versions of the 3656LH and 3756LH are identified by a product code number on the pump label. This number is also the catalog number for the pump. The meaning of each digit in the product code number is shown below.

Las diferentes versiones de las 3656LH y 3756LH se identifican con un número de código del producto en la etiqueta de la bomba. Este número es también el número de catálogo para la bomba. El significado de cada dígito en el número de código del producto se muestra abajo.

Example Product Code,
Ejemplo Código del Producto

51 BF 1 F 2 B 0

Mechanical Seal and O-ring,
Sello Mecánico y Anillo 'O'

Seal Code, *Código del Sello*	Rotary, *Rotativo*	Stationary, *Estacionario*	Elastomers, *Elastómeros*	Metal Parts, *Partes Metálicas*	Part No., *Plaza Número*
0	Carbon	Ceram, Cerámica	BUNA	Type 316 SS, *Tipo 316 SS*	10K13
1		Sil-Carb., Cabero de silicone	EPR		10K19
3			Viton		10K27
5	Sil-Carb.				10K64

Nota: 10K27 replaces obsolete 10K25,
Note: *La 10K27 reemplaza la obsoleta 10K25.*

Impeller Option Code,
Código del Impulsor Opcional

Impeller Code, *Código del Impelsor*	Pump Size, *Tamaño de la Bomba*				
	2 x 2 – 5	2½ x 2½ – 5	3 x 3 – 5	4 x 4 – 5	5 x 5 – 6
	Dia.	Dia.	Dia.	Dia.	Dia.
A	4"	4 7/16"	4 9/16"	4 13/16"	5 1/16 x 4 1/16"
B	3 3/16	3 15/16	4 1/16	4 5/16	5 5/16 x 4 1/16
C	3 1/16	3 3/16	4	4 1/16	5 x 3 7/16
D	3 1/16	3 9/16	3 13/16	4 1/16	5 x 3 9/16
E	3	3 1/16	3 1/16	4	5 x 3 1/32

Driver, *Conductor*
1 = 1 PH, ODP
2 = 3 PH, ODP
3 = 575 V, ODP
4 = 1 PH, TEFC
5 = 3 PH, TEFC
6 = 575 V, TEFC
7 = 3 PH, XP
8 = 575 V, XP
9 = 3 PH, TEFC, PREFF.
0 = 1 PH, XP

HP Rating, *HP Potencia*
C = ½ E = 1 G = 2 J = 5 L = 10
D = ¾ F = 1½ H = 3 K = 7½ M = 15

Replace with "FRM" for 3756LH

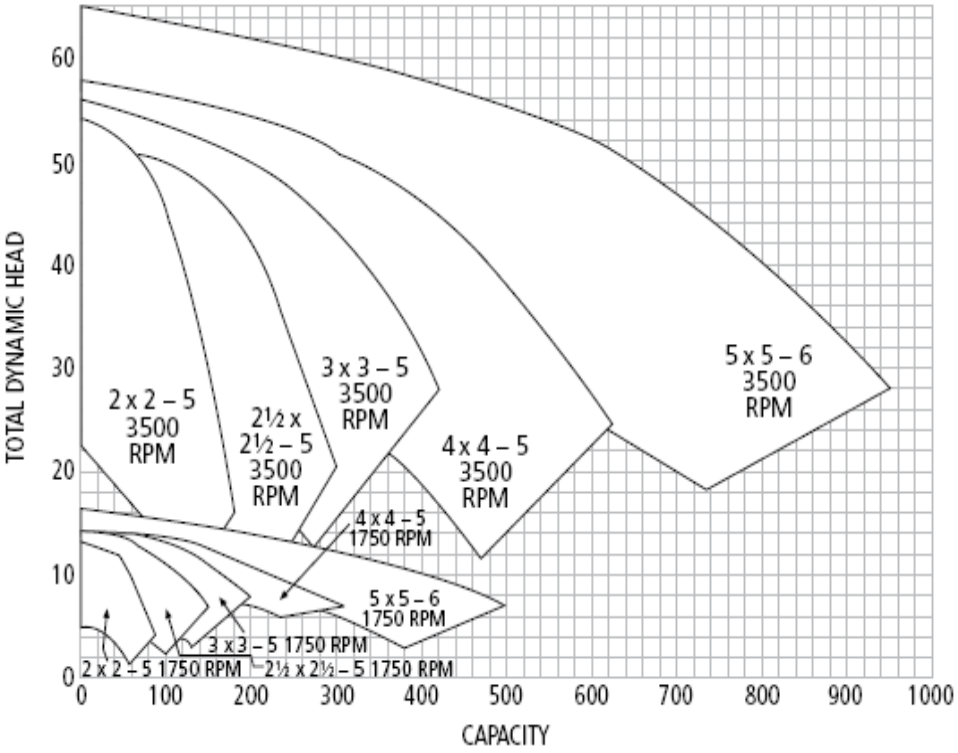
Reemplace con "FRM" para 3756LH

Driver: Hertz/Pole/RPM,
Conductor: Hercios/Polo/RPM
1 = 60 Hz, 2 pole, 3500 RPM
2 = 60 Hz, 4 pole, 1750 RPM
3 = 60 Hz, 6 pole, 1150 RPM
4 = 50 Hz, 2 pole, 2900 RPM
5 = 50 Hz, 4 pole, 1450 RPM

Material
AI = All iron, *Todo hierro*
BF = Bronze fitted, *Recubiertas de bronce*

Pump Size, *Tamaño de la Bomba*
51 = 2 x 2 – 5
52 = 2½ x 2½ – 5
53 = 3 x 3 – 5
54 = 4 x 4 – 5
55 = 5 x 5 – 6

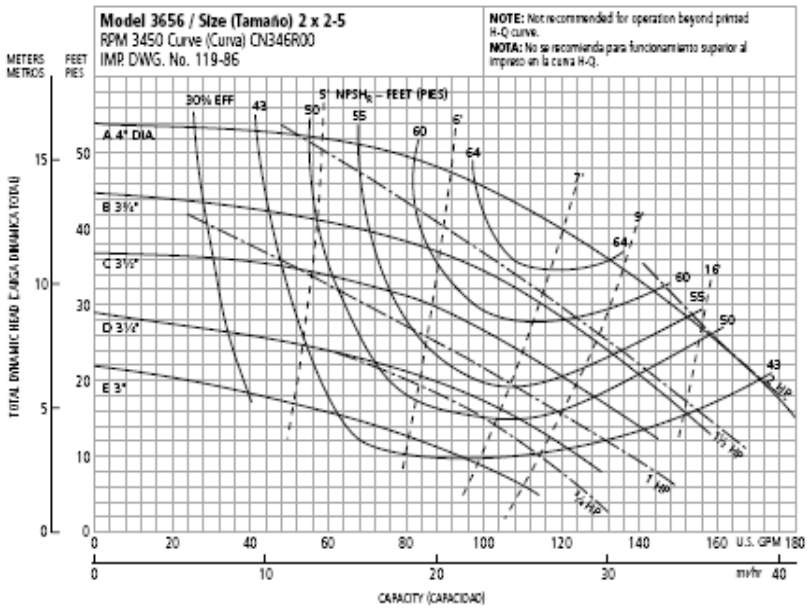
Performance Coverage
Alcance de Funcionamiento



Performance Curves
Curvas de Funcionamiento

These curves show the performance of the three sizes of the 3656LH and 3756LH at 3500 RPM and 1750 RPM, 60 Hz, and 2900 RPM, 50 Hz. Standard impeller trims are shown.

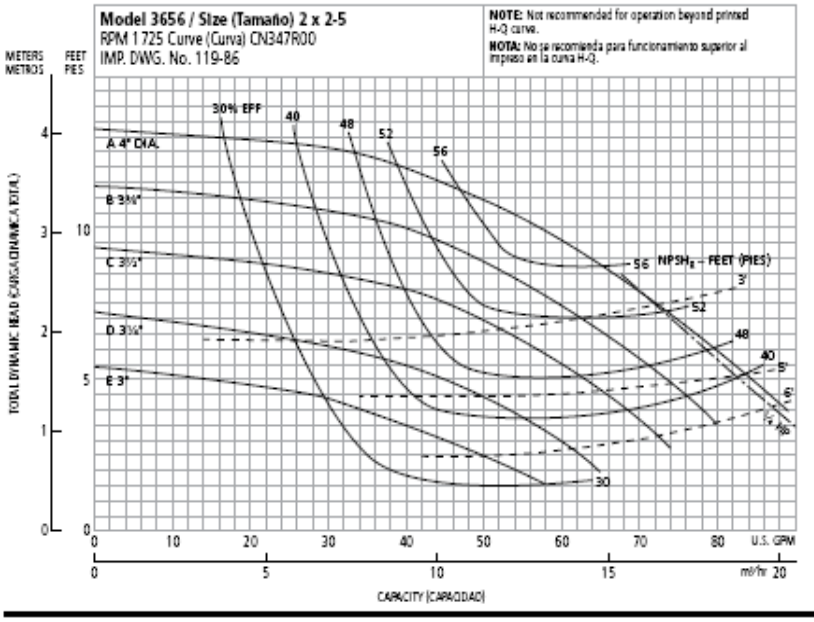
Estas curvas muestran el rendimiento de los tres tamaños de la 3656LH y 3756LH a 3500 RPM y 1750 RPM, 60 Hz, y 2900 RPM, 50 Hz. Se muestran recortes estándar de impulsor.



Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4"
B	3¼
C	3½
D	3¾
E	3¼

NOTE: Pump will pass a sphere to ½₂" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta ½₂ de pulgada de diámetro.

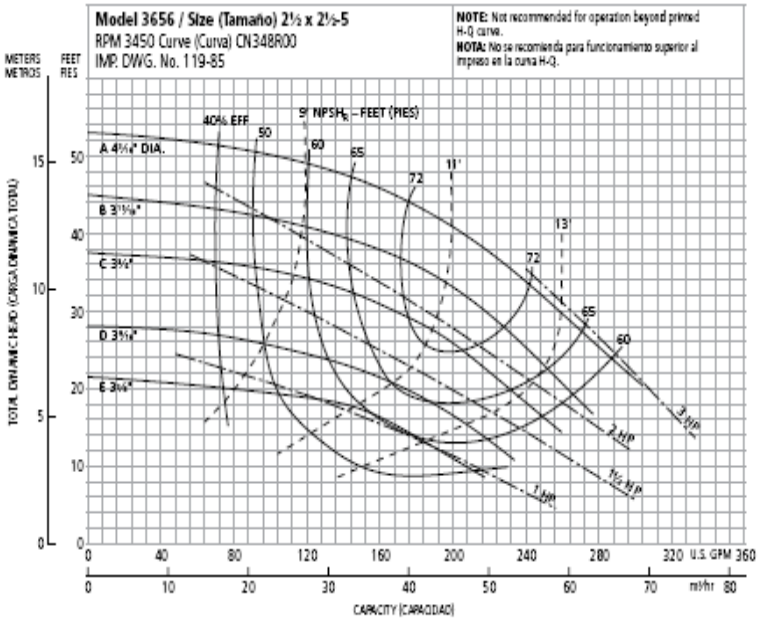


Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4"
B	3¼
C	3½
D	3¼
E	3¼

NOTE: Pump will pass a sphere to ½₂" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta ½₂ de pulgada de diámetro.

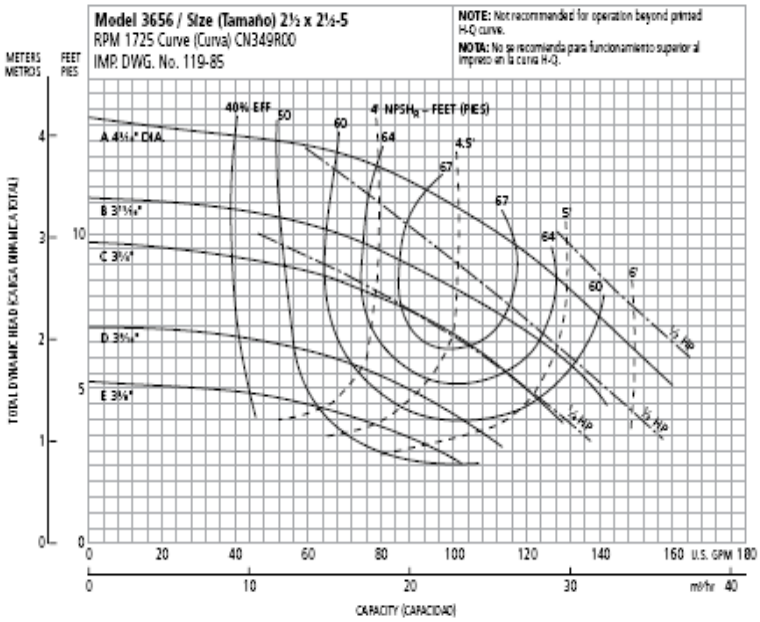
Performance Curves
Curvas de Funcionamiento



Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4¹⁵⁄₁₆"
B	3¹⁵⁄₁₆
C	3¾
D	3⁹⁄₁₆
E	3⅜

NOTE: Pump will pass a sphere to 1½" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta 1½ de pulgada de diámetro.

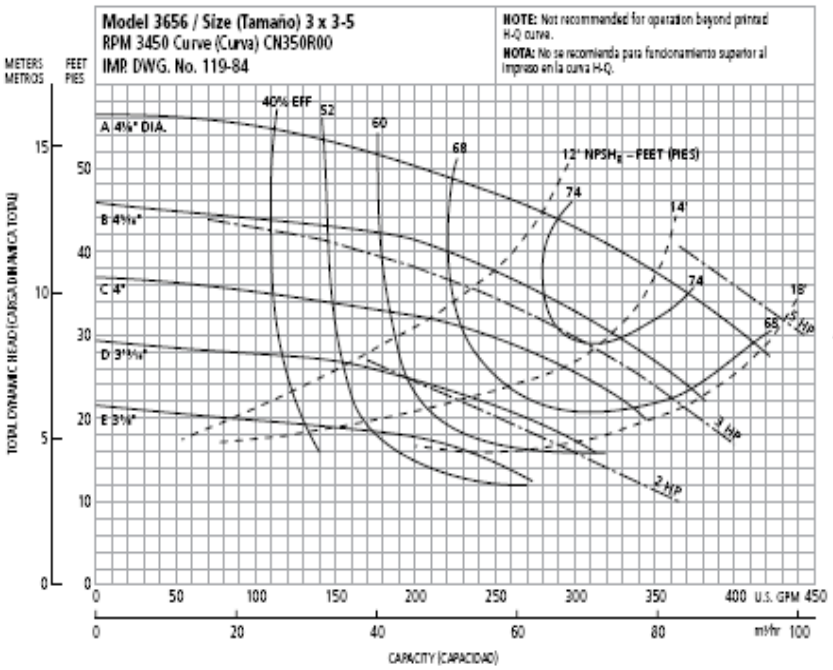


Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4¹⁵⁄₁₆"
B	3¹⁵⁄₁₆
C	3¾
D	3⁹⁄₁₆
E	3⅜

NOTE: Pump will pass a sphere to 1½" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta 1½ de pulgada de diámetro.

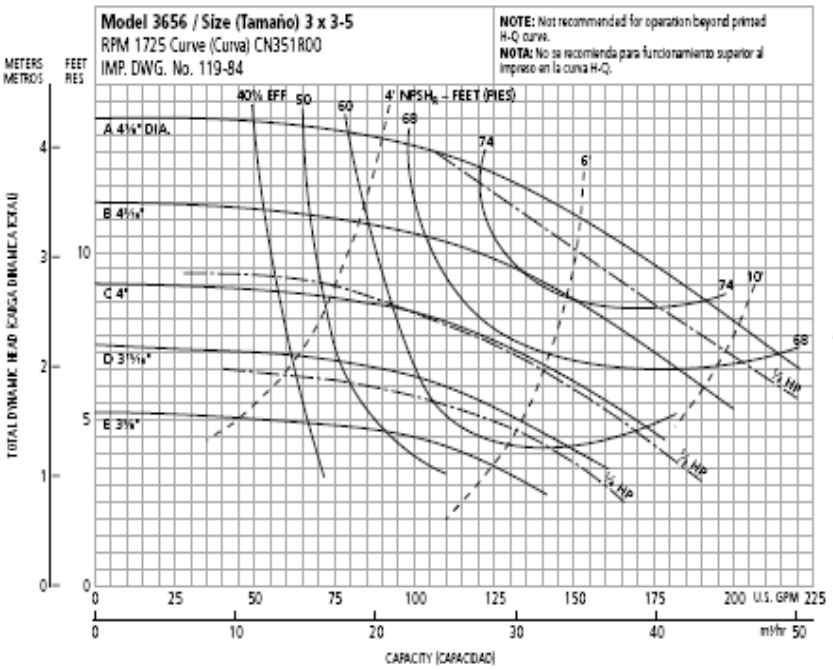
Performance Curves
Curvas de Funcionamiento



Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4⅛"
B	4⅛"
C	4
D	3¹³⁄₁₆
E	3⅛

NOTE: Pump will pass a sphere to 1/32" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta 1/32 de pulgada de diámetro.

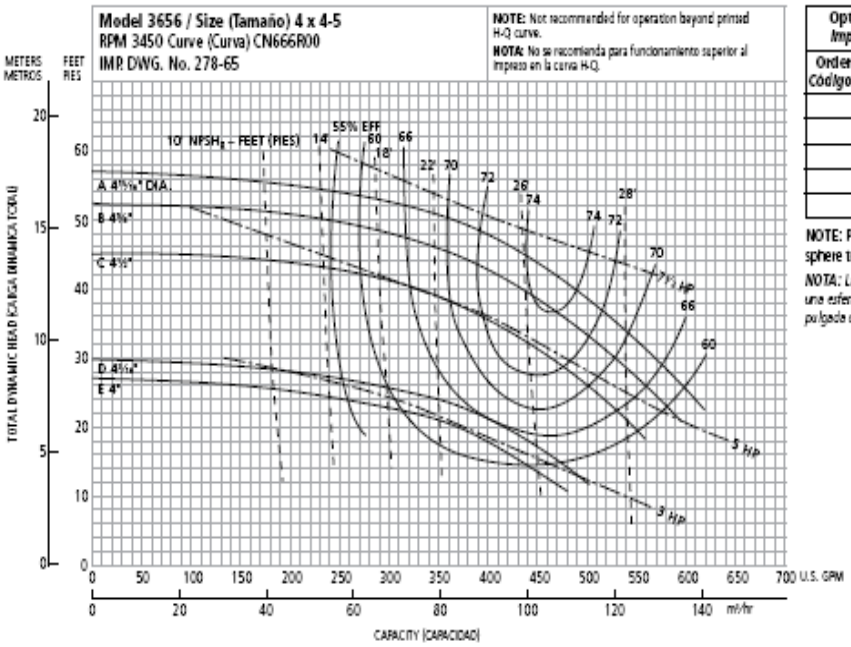


Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4⅛"
B	4⅛"
C	4
D	3¹³⁄₁₆
E	3⅛

NOTE: Pump will pass a sphere to 1/32" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta 1/32 de pulgada de diámetro.

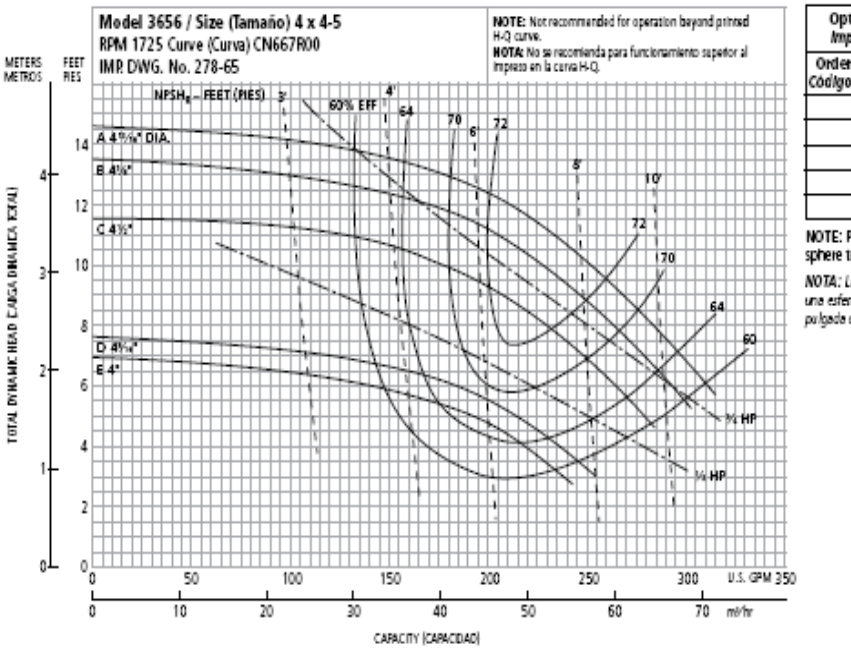
Performance Curves
Curvas de Funcionamiento



Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4 19/32"
B	4 1/8
C	4 1/32
D	4 1/16
E	4

NOTE: Pump will pass a sphere to 1/32" diameter.

NOTA: *La bomba dejará pasar una esfera de hasta 1/32 de pulgada de diámetro.*

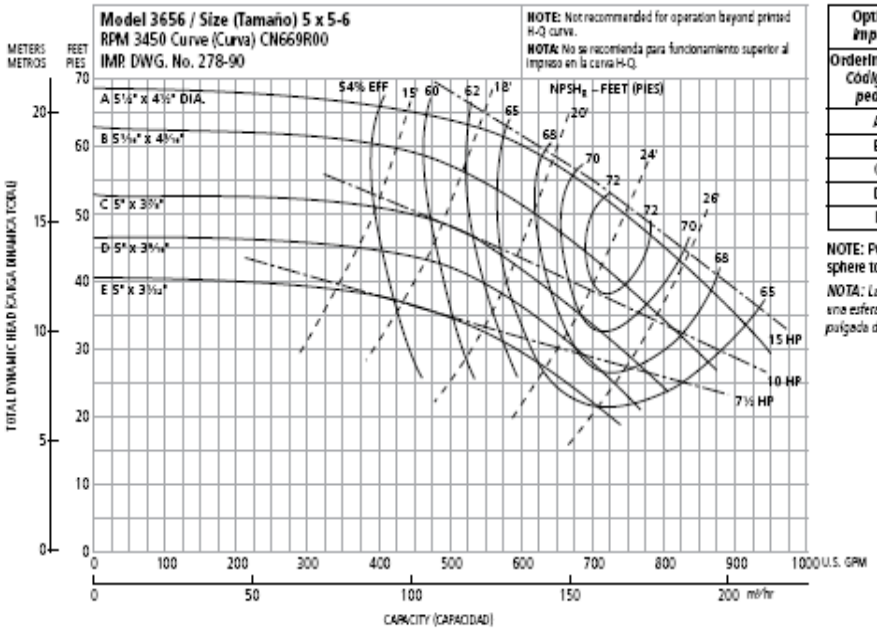


Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4 19/32"
B	4 1/8
C	4 1/32
D	4 1/16
E	4

NOTE: Pump will pass a sphere to 1/32" diameter.

NOTA: *La bomba dejará pasar una esfera de hasta 1/32 de pulgada de diámetro.*

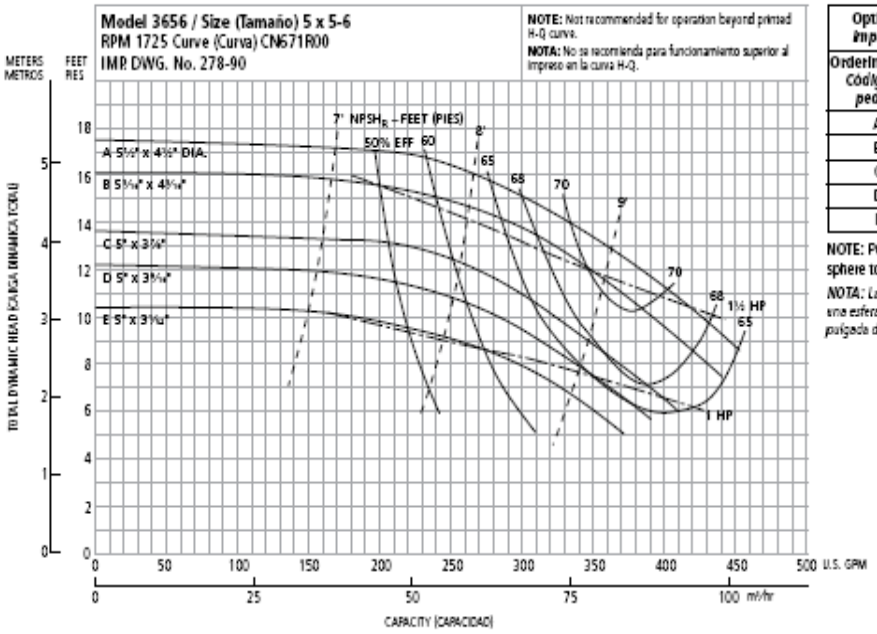
Performance Curves
Curvas de Funcionamiento



Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	5⅛ x 4½
B	5⅜ x 4⅝
C	5 x 3⅞
D	5 x 3¾
E	5 x 3½

NOTE: Pump will pass a sphere to ½" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta ½ de pulgada de diámetro.

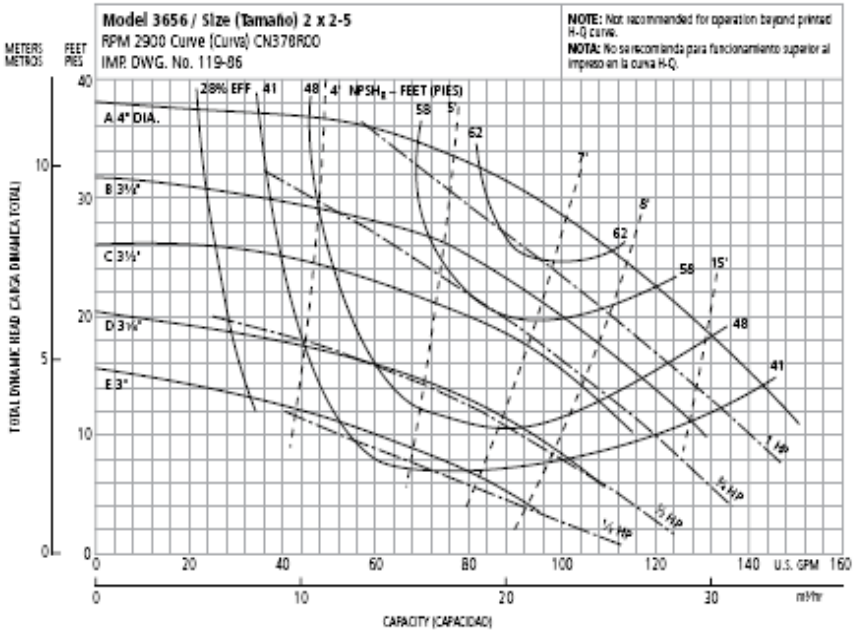


Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	5⅛ x 4½
B	5⅜ x 4⅝
C	5 x 3⅞
D	5 x 3¾
E	5 x 3½

NOTE: Pump will pass a sphere to ½" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta ½ de pulgada de diámetro.

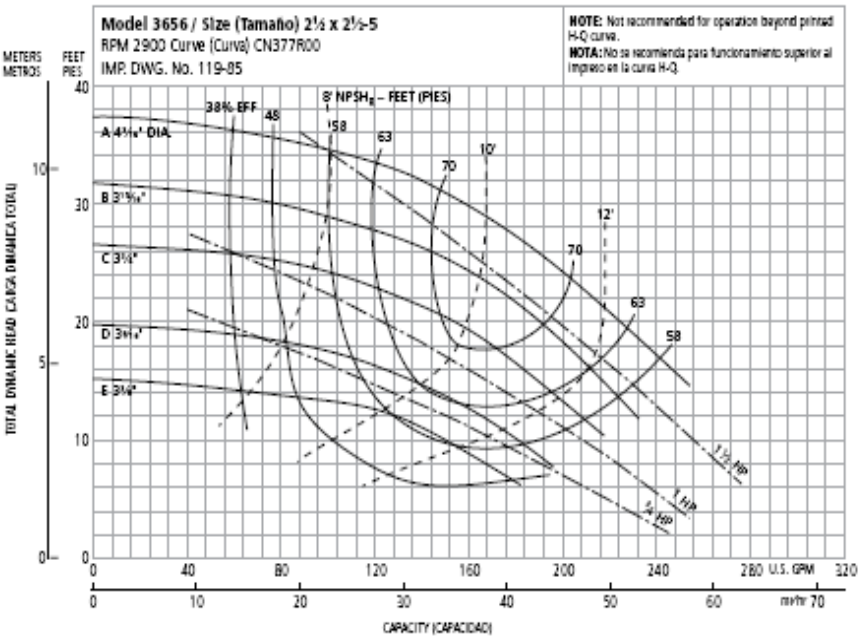
Performance Curves
Curvas de Funcionamiento



Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4"
B	3¾
C	3½
D	3⅛
E	3

NOTE: Pump will pass a sphere to ½₂" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta ½₂ de pulgada de diámetro.

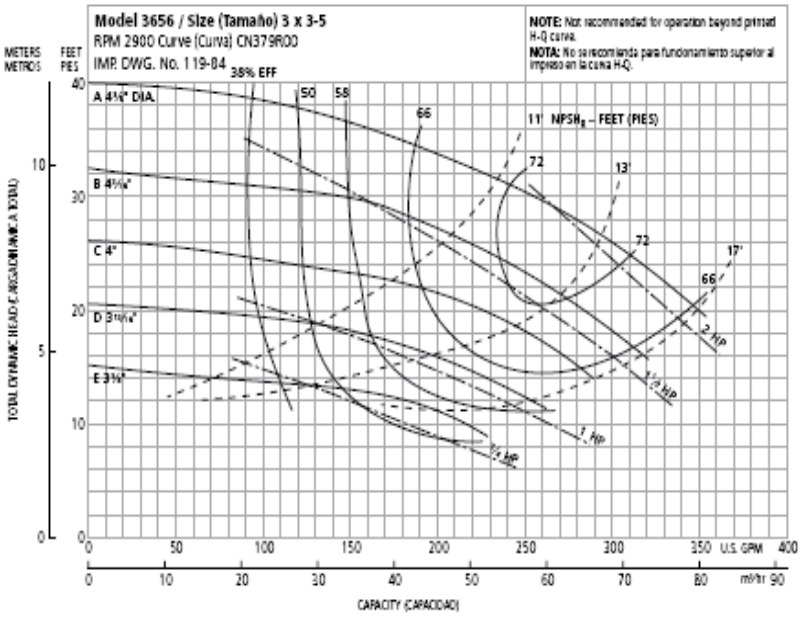


Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Diá.*
A	4¹⁵⁄₁₆"
B	3¹⁵⁄₁₆
C	3¾
D	3⅝
E	3½

NOTE: Pump will pass a sphere to ½₂" diameter.

NOTA: La bomba dejará pasar una esfera de hasta ½₂ de pulgada de diámetro.

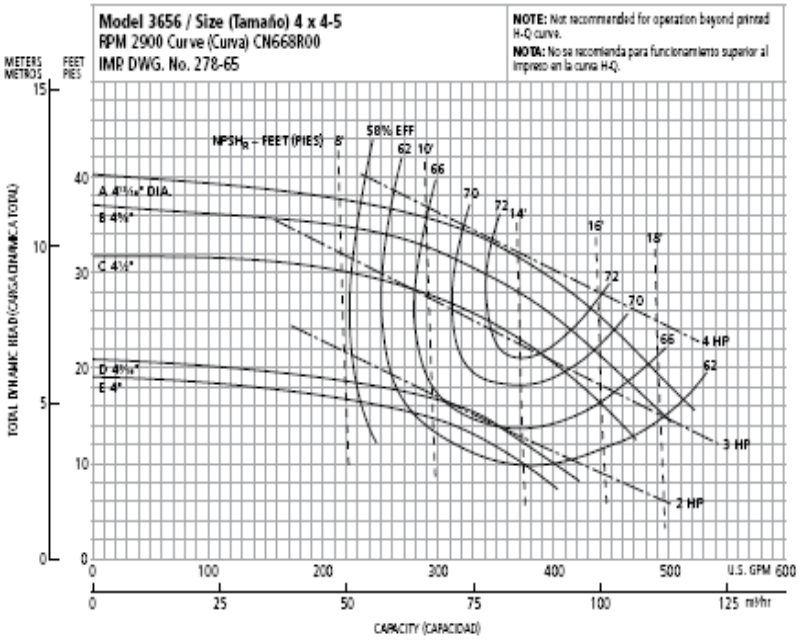
Performance Curves
Curvas de Funcionamiento



Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Dia.*
A	4⅛"
B	4⅛"
C	4"
D	3¹⁵⁄₁₆"
E	3⅞"

NOTE: Pump will pass a sphere to ½₂" diameter.

NOTA: *La bomba dejará pasar una esfera de hasta ½₂ de pulgada de diámetro.*

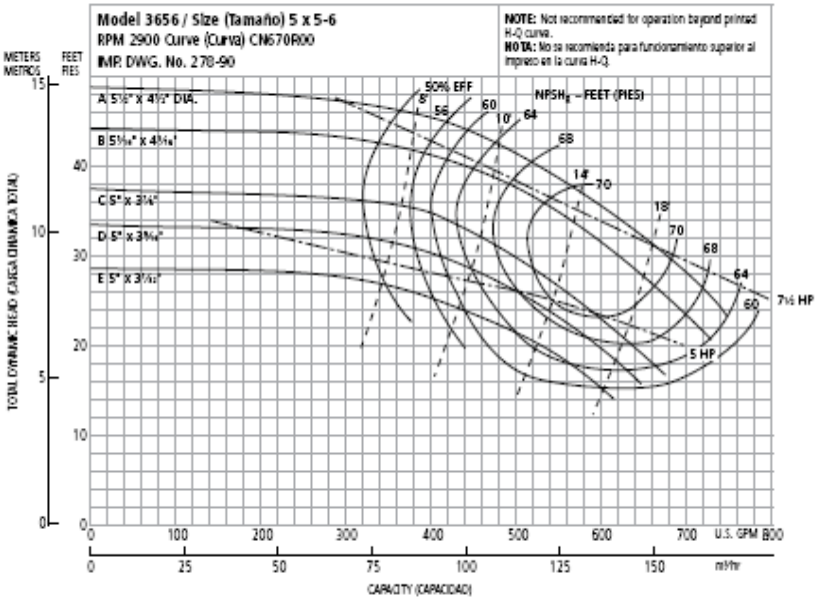


Optional Impeller *Impulsor optativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Dia.*
A	4¹³⁄₁₆"
B	4⅝"
C	4½"
D	4⅛"
E	4"

NOTE: Pump will pass a sphere to ½₂" diameter.

NOTA: *La bomba dejará pasar una esfera de hasta ½₂ de pulgada de diámetro.*

Performance Curves
Curvas de Funcionamiento

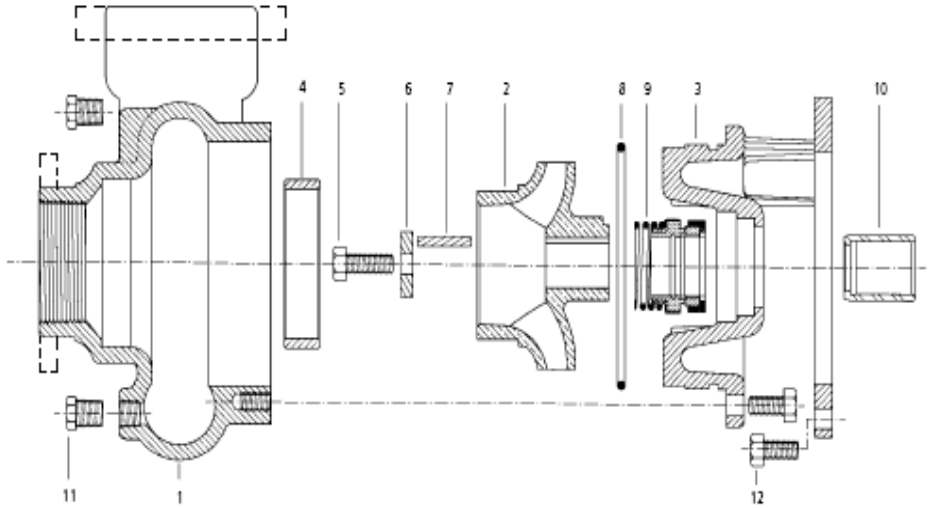


Optional Impeller *Impulsor opcativo*	
Ordering Code *Código de pedido*	Dia. *Dia.*
A	5½ x 4½
B	5⁹/₁₆ x 4⁹/₁₆
C	5 x 3⅜
D	5 x 3⅛
E	5 x 3⅛

NOTE: Pump will pass a sphere to $^{1}/_{32}$" diameter.

NOTA: *La bomba dejará pasar una esfera de hasta $^{1}/_{32}$ de pulgada de diámetro.*

Materials of Construction
Materiales de Construcción



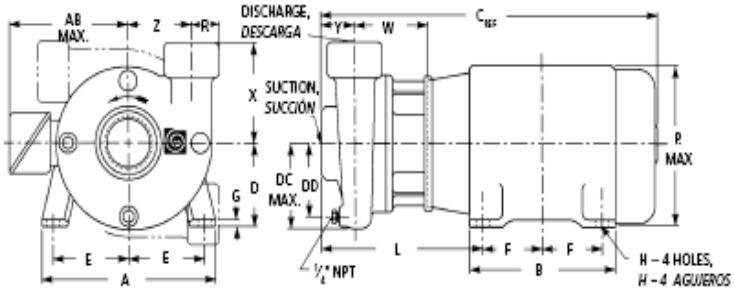
Item No., *Parte No.*	Description, *Descripción*	Material, *Materiales*
1	Casing, *Carcasa*	Cast Iron, *Hierro fundido*
2	Impeller, *Impulsor*	Cast Iron/Sil-bras, *Hierro fundido/Bronce*
3	Motor adapter, *Adaptador del motor*	Cast Iron, *Hierro fundido*
4	Casing wearing ring, *Anillo de desgaste de la carcasa*	Cast Iron/Sil-bras, *Hierro fundido/Bronce*
5	Impeller bolt, *Tornillo del impulsor*	304 SS, *304 Acero inoxidable*
6	Impeller washer, *Arandela del impulsor*	
7	Square key way, *Chavetero cuadrado*	
8	O-ring, *Anillo 'O'*	BUNA/EPR/Viton

9 Seal Code, *Código del Sello*	Rotary, *Rotativo*	Stationary, *Estacionario*	Elastomers, *Elastómeros*	Metal Parts, *Partes Metálicas*	Part No., *Pieza Número*
0	Carbon	Ceramic	BUNA	Type 316 SS, *Tipo 316 SS*	10K13
1	Carbon	Sil-Carb.	EPR		10K19
3	Carbon	Sil-Carb.	Viton		10K27
5	Sil-Carb.	Sil-Carb.	Viton		10K64

10	Shaft sleeve, *Camisa del eje*	304 SS, *304 Acero inoxidable*
11	¼" pipe plug, *Tapón macho roscado de ¼"*	Steel, Zinc plated *Acero, cincplateado*
12	Hex head screw, *Tornillo de cabeza hexagonal*	Steel, zinc plated *Acero, cincplateado*

Material, *Materiales*	Engineering Standard, *Estándar Aprobado*
Cast Iron, *Hierro fundido*	ASTM A48CL30
Silicon brass (lead free), *Bronce del silicio (sin plomo)*	ASTM B584 C87500 (modified, *modificado*)

3656LH Dimensions and Weights
3656LH Dimensiones y Pesos



Close Coupled Dimensions Determined by Pump, *Dimensiones del Acople Cerrado Determinadas por la Bomba*

Pump Size, *Tamaño de la Bomba*	Suction, *Succión*	Discharge, *Descarga*	DC Max., *DC Máx.*	DD	R	W	X	Y	Z	Wt. (lbs.), *Peso (libras)*	Dimension "L" Motor Frame Size, *Tamaño del bastidor del motor de dimensión "L"*	
											140	180
2 x 2 – 5	2	2	3 15/16	2 15/16	1⅞	4⅛	5	3	3 5/16	26	10	10⅝
2½ x 2½ – 5	2½	2½	4⅜	3⅜	3⅜	4⅛	6		3½	31	10⅞	10⅝
3 x 3 – 5	3	3	5 5/16	4 5/16	2⅜	4½		3½	3⅞	37	10⅞	11½

Dimensions Determined by Motor, *Dimensiones Determinadas por el Motor*

Motor Frame, *Armazón del Motor*	A	AB Max., *AB Máx.*	B	C_{RP}	D	E	F	G	H	P Max., *P Máx.*
143JM	6½	5¼	6	11¼	3½	2¾	2	⅛	11/32	6⅝
145JM							2½			
182JM	8½	5⅞	6½	15	4½	3¾	2¼	3/16	13/32	7⅛
184JM							2¾			
213TCZ	10½	7⅝	8	18½	5½	4¼	2¾	¼	13/32	9⅛

Horsepowers, *Fuerzas*

Motor Frame, *Armazón del Motor*	HP @ 3500 RPM				HP @ 1750 RPM				Wt. (lbs.), *Peso (libras)*
	1 Phase, *Monofásicos*		3 Phase, *Trifásicos*		1 Phase, *Monofásicos*		3 Phase, *Trifásicos*		
	ODP	TEFC	ODP	TEFC	ODP	TEFC	ODP	TEFC	
143JM	½, 1, 1½	¾, 1, 1½	½, 1, 1½	¾, 1, 1½	½, ¾	½, ¾	½, ¾, 1	½, ¾, 1	41
145JM	2	2	2,3	2,3	1	1	1½, 2	1¼, 2	57
182JM	3	3	5	3	3	–	3	3	77
184JM	5	3, 5	7½	5, 7½	3	–	5	5	97
213TCZ	–	–	10	10	–	–	–	–	133

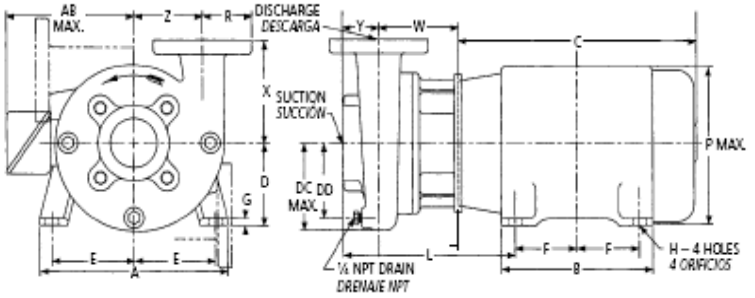
NOTES:

1. Pumps will be shipped with top vertical discharge as standard. For other orientations, remove casing bolts, rotate to desired position, replace and tighten bolts to 37 lb. – ft.
2. Dimensions are in inches.
3. Motor dimensions may vary with motor manufacturer.
4. Not to be used for construction purposes.

NOTAS:

1. *Las bombas se transportarán con la descarga vertical superior como estándar. Para otras orientaciones, retirar los tornillos de la carcasa, rotar a la posición deseada, reemplazar y apretar los tornillos 37 libras – pies.*
2. *Las dimensiones son en pulgadas.*
3. *Las dimensiones del motor pueden que varíen con los fabricantes.*
4. *No debe usarse para propósitos de construcción.*

3656LH Dimensions and Weights
3656LH Dimensiones y Pesos



Close Coupled Dimensions Determined by Pump, *Dimensiones del Acople Cerrado Determinadas por la Bomba*

Pump Size, *Tamaño de la Bomba*	Suction*, *Succión*	Discharge*, *Descarga*	DC Max., *DC Max.*	DD	R	W	X	Y	Z	Wt. (lbs.), *Peso (libras)*	Dimension "L" Motor Frame Size, *Tamaño del bastidor del motor de dimensión "L"*		
											140	180	210
4 x 4 – 5	4		6½	5¼	4½	4¼	7	4	4½	110	11⅜	12	12⅛
5 x 5 – 6	5		8	6¼	5		8		5½	125			

* ANSI Class 125 flanges, *Bridas ANSI Clase 125*

Dimensions Determined by Motor, *Dimensiones Determinadas por el Motor*

Motor Frame, *Armazón del Motor*	A	AB Max., *AB Máx.*	B	C	D	E	F	G	H	P Max., *P Máx.*
143JM	6½	5¼	6	11¼	3½	2¼	2	⅛	11/32	6⅝
145JM							2½			
182JM	8½	5⅝	6½	15	4½	3¼	2¼	3/16	13/32	7⅝
184JM							2¾			
213JM	10½	7⅝	8	18½	5¼	4¼	2¾	¼	13/32	9⅝
213TCZ										
215JM				20			3½			

Horsepowers, *Fuerzas*

Motor Frame, *Armazón del Motor*	HP @ 3500 RPM				HP @ 1750 RPM				Wt. (lbs.), *Peso (libras)*
	1 Phase, *Monofásicos*		3 Phase, *Trifásicos*		1 Phase, *Monofásicos*		3 Phase, *Trifásicos*		
	ODP	TEFC	ODP	TEFC	ODP	TEFC	ODP	TEFC	
143JM	¾, 1, 1½	¾, 1, 1½	¾, 1, 1½	¾, 1, 1½	½, ¾	½, ¾	½, ¾, 1	½, ¾, 1	41
145JM	2	2	2,3	2,3	1	1	1½, 2	1½, 2	57
182JM	3	3	5	3	3	–	3	3	77
184JM	5	3, 5	7½	5, 7½	3	–	5	5	97
213JM	7½	–	7½, 10	7½	–	–	–	–	133
213TCZ	–	7½	–	7½	–	–	–	–	133
215JM	10	7½, 10	7½, 10, 15	7½, 10, 15	–	–	–	–	154

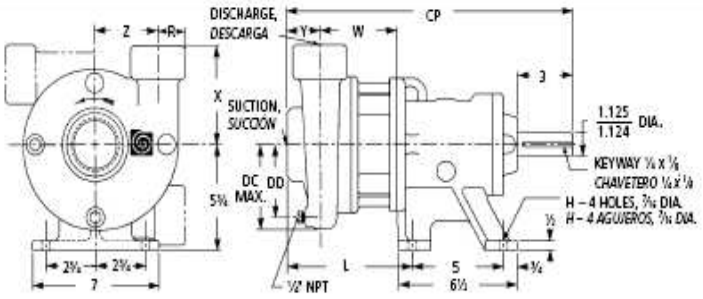
NOTES:

1. Pumps will be shipped with top vertical discharge as standard. For other orientations, remove casing bolts, rotate to desired position, replace and tighten bolts to 37 lb. – ft.
2. Dimensions are in inches.
3. Motor dimensions may vary with motor manufacturer.
4. Not to be used for construction purposes.

NOTAS:

1. *Las bombas se transportarán con la descarga vertical superior como estándar. Para otras orientaciones, retirar los tornillos de la carcasa, rotar a la posición deseada, reemplazar y apretar los tornillos a 37 libras – pies.*
2. *Las dimensiones son en pulgadas.*
3. *Las dimensiones del motor pueden que varíen con los fabricantes.*
4. *No debe usarse para propósitos de construcción.*

3756LH Dimensions and Weights
3756LH Dimensiones y Pesos



Frame Mounted Dimensions Determined by Pump.
Dimensiones del Armazón Montado Determinadas por la Bomba

Pump Size, *Tamaño de la Bomba*	Suction*, *Succión*	Discharge*, *Descarga*	CP	DC Max., *DC Máx.*	DD	L	R	W	X	Y	Z	Wt. (lbs.), *Peso (libras)*	HL Motor Frame, *Armazón del Motor HL*
2 x 2 – 5	2	2	16 3/4	3 15/16	2 15/16	9 1/2	1 5/8	4 1/8	5	3	3 5/16	26	9 1/2
2 1/2 x 2 1/2 – 5	2 1/2	2 1/2	17 1/8	4 3/8	3 3/8	9 5/8	3 5/8	4 3/4	6		3 1/2	31	9 5/8
3 x 3 – 5	3	3	17 5/8	5 5/16	4 5/16	10 5/8	2 5/16	4 1/2		3 1/2	3 5/8	37	10 5/8

* NPT connections, *Conexiones NPT*

Dimensions Determined by Bedplate, *Dimensiones Determinadas por la Fundación*

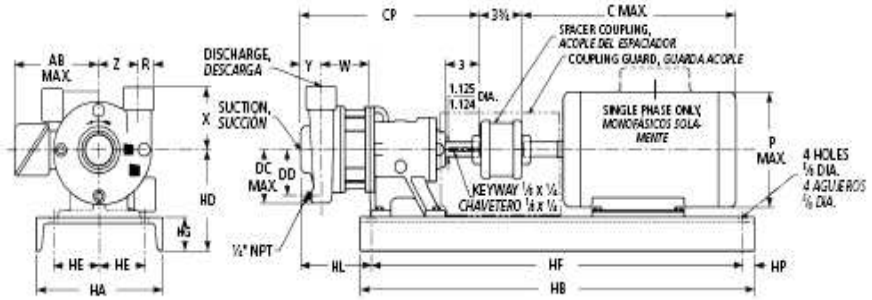
Motor Frame, *Armazón del Motor*	HA	HB	HD	HE	HF	HG	HL	HP	Wt. (lbs.), *Peso (libras)*	Motor Shim, *Deflector del Motor*	Bearing Frame Shim, *Armazón de Baliheras*
143T	10	28	8	3 1/4	24	2 1/4	10 5/8	1/4	47	1 1/4	–
145T											
182T										1/4	–
184T											

Horsepowers, *Fuerzas*

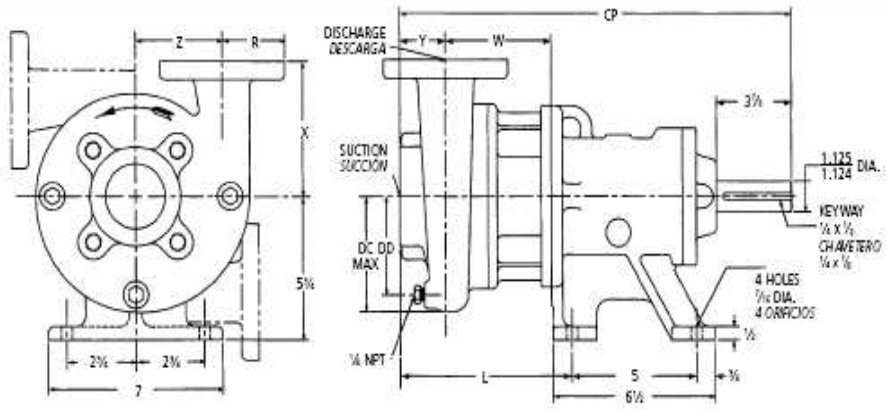
Motor Frame, *Armazón del Motor*	HP @ 3500 RPM				HP @ 1750 RPM				AB Max., *AB Máx.*	C Max., *C Máx.*	P Max., *P Máx.*	Wt. (lbs.), *Peso (libras)*
	1 PH, *Monofásicos*		3 PH, *Trifásicos*		1 PH, *Monofásicos*		3 PH, *Trifásicos*					
	ODP	TEFC	ODP	TEFC	ODP	TEFC	ODP	TEFC				
143T	1/3, 1, 1 1/2	1/3, 1, 1 1/2	3/4, 1, 1 1/2	3/4, 1, 1 1/2	1/2, 3/4	1/2, 3/4	1/2, 3/4, 1	1/2, 3/4, 1	5 1/4	13 1/8	6 1/8	45
145T	2	2	2,3	2,3	1	1	–	–		14 1/8		53
182T	3	–	5	3	–	–	–	–	5 7/8	16 1/8	7 1/8	74
184T	5	3	–	5	–	–	–	–		18 1/8		95

NOTES:
1. Pumps will be shipped with top vertical discharge as standard. For other orientations, remove casing bolts, rotate to desired position, replace and tighten bolts to 37 lb. – ft.
2. Dimensions are in inches.
3. Motor dimensions may vary with motor manufacturer.
4. Not to be used for construction purposes.

NOTAS:
1. *Las bombas se transportarán con la descarga vertical superior como estándar. Para otras orientaciones, retirar los tornillos de la carcasa, rotar a la posición deseada, reemplazar y apretar los tornillos a 37 libras – pies.*
2. *Las dimensiones son en pulgadas.*
3. *Las dimensiones del motor pueden que varíen con los fabricantes.*
4. *No debe usarse para propósitos de construcción.*



3756LH Dimensions and Weights
3756LH Dimensiones y Pesos



Frame Mounted Dimensions Determined by Pump,
Dimensiones del Armazón Montado Determinadas por la Bomba

Pump Size, *Tamaño de la Bomba*	Suction*, *Succión*	Discharge*, *Descarga*	CP	DC Max., *DC Máx.*	DD	L	R	W	X	Y	Z	HL Motor Frame *Armazón del Motor HL*		Wt. (lbs.), *Peso (libras)*
												140-180	210	
4 x 4 – 5	4		17⅞	6½	5⅛	8¾	4½	4¼	7	4	4½	10⅛	8¾	142
5 x 5 – 6	5			8	6⅛	9¹⁵⁄₃₂	5		8		5½	11⅝	9¹⁵⁄₃₂	157

* ANSI Class 125 Flanges, *Bridas ANSI Clase 125*

Dimensions Determined by Bedplate, *Dimensiones Determinadas por la Fundación*

Motor Frame, *Armazón del Motor*	HA	HB	HD	HE	HF	HG	HP	Wt. (lbs.), *Peso (libras)*	Motor Shim, *Deflector del Motor*	Bearing Frame Shim, *Armazón de Balineras*
143T	10	28	8	3½	24	2¾	½	47	1⅛	–
145T										
182T									¾	–
184T										
213T/215T	12	31	8¼	4¼	29	3	1	65	–	–

Horsepowers, *Fuerzas*

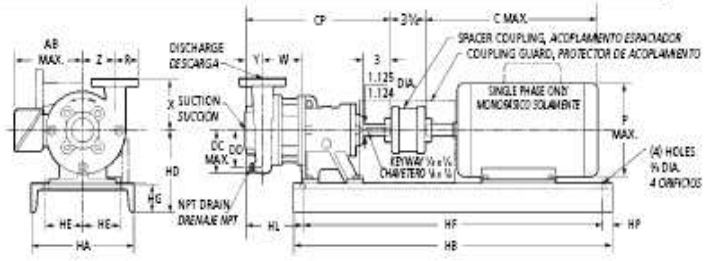
Motor Frame, *Armazón del Motor*	HP @ 3500 RPM				HP @ 1750 RPM				AB Max., *AB Máx.*	C Max., *C Máx.*	P Max., *P Máx.*	Wt. (lbs.), *Peso (libras)*
	1 PH, *Monofásicos*		3 PH, *Trifásicos*		1 PH, *Monofásicos*		3 PH, *Trifásicos*					
	ODP	TEFC	ODP	TEFC	ODP	TEFC	ODP	TEFC				
143T	¾, 1, 1½	¾, 1, 1½	¾, 1, 1½	¾, 1, 1½	½, ¾	½, ¾	½, ¾, 1	½, ¾, 1	5⅛	14	6⅝	45
145T	2	2	2,3	2,3	1	1	2	2		14⅛		53
182T	3	3	5	3	2	2, 3	3	3	6⅝	16⅛	7⅞	74
184T	5	3, 5	7½	5	3	–	5	5		18⅛		95
213T	7½	–	10	7½	5	–	7½	7½	8⅛	20	9⅝	116
215T	10	–	15	10, 15	–	–	10	10				136

NOTES:

1. Pumps will be shipped with top vertical discharge as standard. For other orientations, remove casing bolts, rotate to desired position, replace and tighten bolts to 37 lb. – ft.
2. Dimensions are in inches.
3. Motor dimensions may vary with motor manufacturer.
4. Not to be used for construction purposes.

NOTAS:

1. *Las bombas se transportarán con la descarga vertical superior como estándar. Para otras orientaciones, retirar los tornillos de la carcasa, rotar a la posición deseada, reemplazar y apretar los tornillos a 37 libras – pies.*
2. *Las dimensiones son en pulgadas.*
3. *Las dimensiones del motor pueden que varíen con los fabricantes.*
4. *No debe usarse para propósitos de construcción.*



GOULDS PUMPS

Specifications
Especificaciones

Capacities to:
900 GPM (204 m³/hr) at 3500 RPM

Heads to:
65 feet THD (19.8 m) at 3500 RPM

Working pressure to:
175 PSIG (12 bars)

Maximum suction pressure to: 100 PSIG (9 bars)

Maximum temperature to:
212°F (100°C) with standard seal or 250°F (121°C) with optional seal.

Motor:
NEMA standard JM frame for 3656LH or T-frame for 3756LH. Open dripproof, totally enclosed fan cooled and explosion proof enclosures available. Single phase (115/230 V) and Three phase (208 – 230/460 V) versions are available. Horsepowers are ½ at 1750 RPM and ¾ – 5 HP at 3500 RPM.

Capacidades:
900 GPM (204 m³/hr) a 3500 RPM

Cargas:
65 pies THD (19.8 m) a 3500 RPM

Presión de trabajo a:
175 PSIG (12 baras)

Presión máxima de succión a:
100 PSIG (9 baras)

Temperatura máxima:
212°F (100°C) con sello estándar o 250°F (121°C) con sello opcional.

Motor:
Armazón JM estándar NEMA para 3656LH o armazón T para 3756LH. A prueba de goteo, ventilador totalmente encerrado y recintos a prueba de explosión disponibles. Las versiones para Monofásicos (115/230 V) y Trifásicos (208-230/460 V) están disponibles. Las fuerzas son ½ HP a 1750 RPM y ¾ – 5HP a 3500 RPM.

Typical Applications
Aplicaciones Tipicas

- Evaporative condensers
- Industrial fluid coolers
- Refrigeration and air conditioning systems
- Water circulation
- Liquid transfer
- Irrigation

- *Condensadores de goteo*
- *Enfriadores industriales de líquidos*
- *Sistemas de refrigeración y aire acondicionado*
- *Circulación de agua*
- *Transferencia de líquidos*
- *Irrigación*

Goulds Pumps is a brand of ITT Water Technology, Inc. - a subsidiary of ITT Industries, Inc.

Goulds Pumps and the ITT Engineered Blocks Symbol are registered trademarks and tradenames of ITT Industries.

Goulds Pumps son una marca de fábrica de ITT Water Technology, Inc. - un subsidiario de ITT Industries, Inc.

Goulds Pumps y el símbolo ITT Engineered Blocks son marcas registradas y marcas comerciales de ITT Industries.

Printed on recycled paper.

© 2005 ITT Water Technology, Inc.
September, 2005 (*Septiembre de 2005*)
Printed in U.S.A.
GL3656LH

Specifications subject to change without notice.
Las especificaciones están sujetas a cambio sin previo aviso.
240 Fall Street, Seneca Falls, NY 13148

Goulds Pumps
ITT Industries

APENDICE K

Catalogo para Seleccionar el Ventilador

VENTILADORES HELICODALES TUBULARES
LONG CASED AXIAL FANS
VENTILATEURS HÉLICOÏDES VIROLE LONGUE
AXIAL-ROHRVENTILATOREN

casals
WE CONTROL AIR

HH

ACCESORIOS
ANCILLARIES
ACCESOIRES
ZUBEHÖR

ES

CARACTERÍSTICAS GENERALES:
Serie compuesta por 6 tamaños desde Ø 350 hasta Ø 900, provista de motores de 4 polos trifásicos. Caudales desde 2.300 m³/h hasta 50.500 m³/h. Temperatura máxima de trabajo 110ºC en continuo.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS:
- Conjunto de rodamientos de la transmisión y poleas protegidos en alojamiento estanco construido en chapa de acero o fundición de aluminio. Rodamientos a bolas con engrase permanente.
- Hélice en fundición de aluminio de ángulo variable en origen.
- Protegidos contra la corrosión mediante recubrimiento en polvo de resina epoxy.
- Motor asíncrono normalizado de jaula de ardilla con protección IP-55 y aislamiento clase F. Voltajes Standard 230V 50Hz para motores monofásicos, 230/400V 50Hz para motores trifásicos hasta 5,5CV y 400/690V 50Hz para potencias superiores.
- Trampilla de inspección de acceso a hélice y rodamientos de la transmisión situada en la parte inferior del envolvente.

APLICACIONES:
Diseñados para montaje en tubería están indicados básicamente para:
- Cabinas de pintura.
- Extracción de gases calientes hasta una temperatura máxima de 110ºC.
- Extracción de gases que presentan características especiales tales como vapores, aire sucio o con partículas en suspensión.

BAJO DEMANDA:
- Hélice impelente (sentido de aire hélice-motor), hélice reversible 100%.
- Hélice en poliamida.
- Ventiladores para trabajar a 60Hz, voltajes especiales.
- Motor 2 velocidades.
- Ventilador antiexplosivo o antideflagrante con motor certificado ATEX.
- Envolvente en chapa galvanizada en caliente o acero inoxidable.

EN

GENERAL FEATURES:
Range with 6 sizes from Ø 350 until Ø 900, provided with three phase 4 pole motors. Air-flow from 2.300 m³/h until 50.500 m³/h. Maximum air working temperature 110ºC in continuous.

MANUFACTURING FEATURES:
- Transmission ball bearings set inside a sealed box manufactured of steel or cast aluminium. Ball bearings greased for life.
- Cast aluminium impeller variable pitch angle.
- Epoxy powder coat finishing.
- Squirrel cage asincronous standard motor, IP-55 protection and rated class F insulation. Standard voltages 230V 50Hz for single phase motors, 230/400V 50Hz for three phase, motors up to 5,5HP and 400/690V 50Hz for higher powers.
- Inspection door for accessing to motor and transmission set located on the housing lower part.

APPLICATIONS:
Specially designed for duct assembly are suitable for:
- Painting shops.
- Hot gases exhausting up to 110ºC.
- Special gases exhausting as steam or air with flooding particles.

UNDER REQUEST:
- "Impelente" ("S Form") impeller (air sense from impeller to motor), 100% reversible impeller.
- Polyamide impeller.
- 60Hz fans and special voltages.
- 2 speed motors.
- Flameproof or explosionproof fans with ATEX certificated motors.
- Hot dip galvanised housing or manufactured of stainless steel.

FR

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES:
Série composée par 6 diamètres du Ø 350 au Ø 900. Moteurs de 4 pôles triphasés. Débits de 2.300 m³/h à 50.500 m³/h. Température maximale de l'air 110ºC.

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION:
- Ensemble de roulements de la transmission et poulies protégés en logement étanche fabriqué en tôle d'acier ou en fonte d'aluminium. Roulements à transmission protégés à graissage permanent.
- Hélice en aluminium.
- Virole protégée contre la corrosion par revêtement en peinture de résine EPOXY.
- Moteur asynchrone à cage d'écureuil et isolation électrique de classe F et degré de protection IP-55. Tensions Standard 230V 50Hz pour moteurs monophasés. 230/400V 50Hz pour moteurs triphasées jusqu'à 5,5CV et 400/690V pour puissances supérieures.
- Porte d'inspection d'accès à l'hélice et roulements de la transmission.

APPLICATIONS:
Conçus pour installation en gaine, ils sont indiqués pour :
- Cabines de peinture.
- Extraction de gaz chauds, maximum 110ºC.
- Extraction d'air sale, avec particules ou vapeurs.

OPTIONS DISPONIBLES:
- Hélice pour impulsion (sens de l'air hélice à moteur), hélice 100% réversible.
- Hélice en polyamide.
- Ventilateurs pour travailler à 60Hz, tensions spéciales.
- Moteur 2 vitesses.
- Ventilateur anti-explosif ou antidéflagrant avec moteur certifié ATEX.
- Virole en tôle galvanisé ou acier inoxydable.

DE

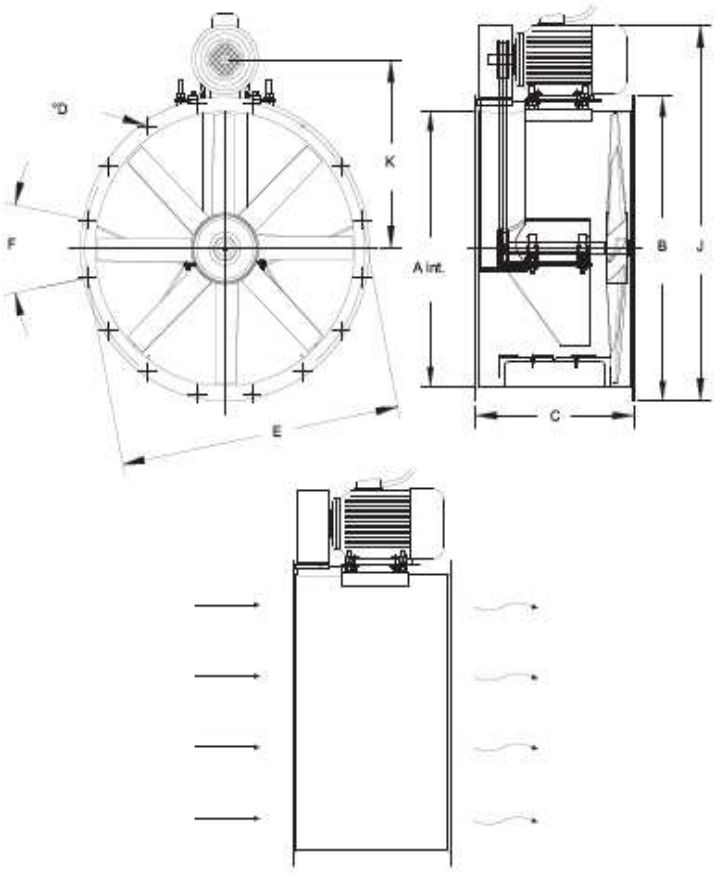
ALLGEMEINE MERKMALE:
Baureihe bestehend aus 6 Größen, von Ø 350 bis Ø 900, ausgerüstet mit 4-poligen Drehstrommotoren. Luftfördermengen von 2.300 m³/h bis 50.500 m³/h. Maximale Arbeitstemperatur von 110 °C im Dauerbetrieb.

BAULICHE MERKMALE:
- Baugruppe mit den Lagern zur Kraftübertragung und den Keilriemscheiben in einem hermetischen Gehäuse geschützt untergebracht. Hergestellt aus Stahlblech oder Aluminiumguss. Dauergeschmierte Kugellager.
- Laufrad aus Aluminiumguss mit verkleidig eingestellem variablem Winkel.
- Dank Pulverbeschichtung mit Epoxidharz vor Korrosion geschützt.
- Standardisierter Asynchron-Käfigläufermotor mit Schutzart IP-55 und Isolierklasse F. Standardspannungen von 230 V, 50 Hz, für Einphasenmotoren, 230/400 V, 50 Hz, für Dreiphasenmotoren bis 5,5 PS und 400/690 V, 50 Hz, für höhere Leistungsbereiche.
- Kontrollklappe im unteren Teil des Mantels mit Zugang zum Laufrad und zu den Lagern der Kraftübertragung.

ANWENDUNGEN:
Grundlegende Anwendungsbereiche dieser für den Rohrenbau gedachten Lüfter sind:
- Farbspritzkabinen.
- Absaugung heißer Gase mit einer Höchsttemperatur von 110 °C.
- Absaugung von Gasen mit besonderen Eigenschaften, so zum Beispiel Dämpfe, verschmutzte oder mit Schwebepartikeln belastete Luft.

AUF ANFRAGE:
- Druckförderergebläse (Luftdurchflussanrichtung Gebläse-Motor), Gebläse 100 % umkehrbar.
- Polyamid-Laufrad.
- Lüfter, die mit 60 Hz, besonderen Spannungen usw. arbeiten.
- Motor mit 2 Geschwindigkeitsstufen.
- Explosionsgeschützter oder flammensicherer Lüfter mit Motor mit ATEX-Zertifikat.
- Mantel aus feuerverzinktem Blech oder rostfreiem Edelstahl.

HH



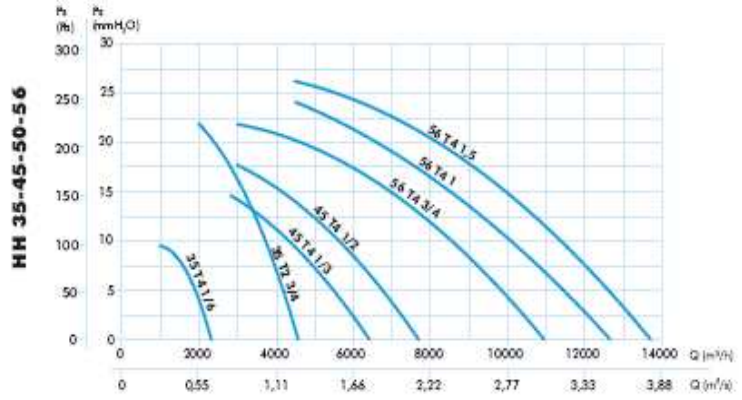
DIMENSIONES / DIMENSIONS / ENCOMBREMENT / ABMESSUNGEN (mm)

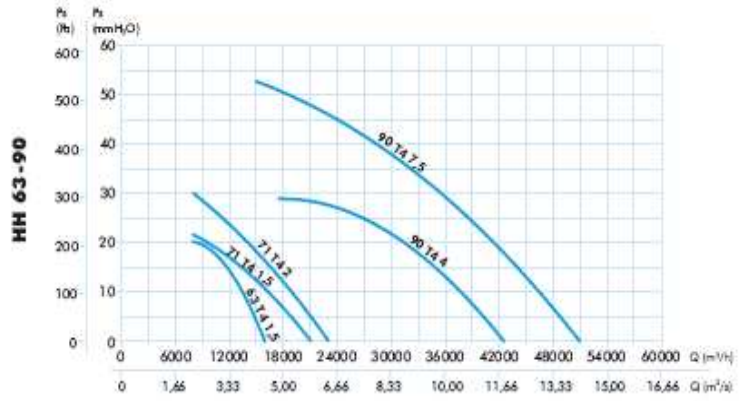
Model	A	B	C	D	E	F	J máx	K máx
HH 35	360	420	390	10	395	8x45º	540	254
HH 45	460	530	390	12	500	8x45º	720	355
HH 56	560	650	390	12	620	12x30º	858	406
HH 63	630	720	450	12	690	12x30º	950	430
HH 71	715	800	450	12	770	16x22,5º	975	478
HH 90	900	1.020	550	12	970	16x22,5º	1.320	652

HH

SERIE TRIFÁSICA / THREE PHASE/ SÉRIE TRIPHASÉE / DREIPHASIG

Model	R.P.M max.	I max. (A) 230	400	690	Kw	m³/h	dB (A)	Kg
HH 35 T2 3/4	2.820	2,55	1,47	-	0,55	4.500	76	22
HH 35 T4 1/6	1.370	0,73	0,42	-	0,09	2.300	59	20
HH 45 T4 1/3	1.345	1,4	0,81	-	0,25	6.400	69	32
HH 45 T4 1/2	1.600	1,82	1,05	-	0,37	7.600	69	36
HH 56 T4 3/4	1.400	2,46	1,42	-	0,55	11.000	72	36
HH 56 T4 1	1.525	3,67	2,12	-	0,75	12.700	73	36
HH 56 T4 1,5	1.525	4,66	2,69	-	1,1	14.000	74	39
HH 63 T4 1,5	1.400	4,66	2,69	-	1,1	16.000	74	59
HH 71 T4 1,5	1.400	4,66	2,69	-	1,1	21.000	78	74
HH 71 T4 2	1.540	6,46	3,73	-	1,5	22.000	79	77
HH 90 T4 4	1.420	11,78	6,8	-	3	42.000	88	113
HH 90 T4 7,5	1.460	-	11,8	6,81	5,5	50.500	91	132





APENDICE L

Fotografías Del Proyecto

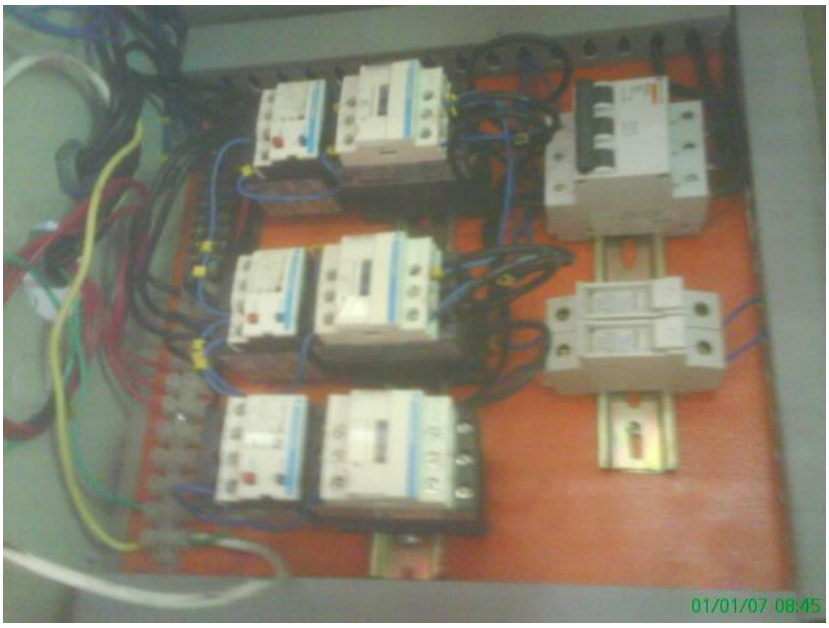
Desembarque de las Baterías

Colocación de Baterías en Zona de Activación

Colocación de Mangueras que Transportaran Agua de Enfriamiento

En Bornes de Baterías

Sistema Eléctrico para Activación de Elementos de La torre De Enfriamiento



Instalación de la Torre de Enfriamiento

Instalación del Intercambiador de Calor

Sistema de Bandejas Perforadas

Colocacion de Bomba Axial en Torre de Enfriamiento

Puesta A punto De la Torre de Enfriamiento

Funcionamiento de Sistema de Enfriamiento para Activación de las

Baterías de los Submarinos

BIBLIOGRAFIA

1. Gonzalez Jorge, “Aplicación de la Investigacion de Operaciones al Diseno Optimo de un Intercambiador de Calor” (Tesis, Facultad de Ingenieria en Mecanica y Ciencias de la Produccion, Escuela Superior Politecnica del Litoral, 1970).

2. Kern Donald, Procesos de Transferencia de Calor, Editorial CECSA, 1995.

3. Hickstyler, Manual de Calculos para las Ingenierias, Tercera Edicion, Tomo II, McGraw Hill, 1998.

4. Torres Alberto, “Diseno de una Torre de Enfriamiento de Agua para Uso Industrial” (Tesis, Facultad de Ingenieria Mecanica y Ciencias de la Produccion, Escuela Superior Politecnica del Litoral, 1973).

5. Andrade Francisco Ing., Ventilación Industrial, Diplomado en Manejo Ambiental, ESPOL, julio 2001.

6. Manual Práctico de Ventilación, Catalogo Técnico, Salvador Escoda S.A.

7. Perry Robert-Green Don, PERRY, Manual del Ingeniero Químico, Séptima Edición, Volumen II, Mc Graw Hill.

8. Load & Resistance Factor Design, Manual of Steel Construction, AISC, First Edition.

9. Incropera P. Frank-De Witt P. David, Fundamentos de Transferencia de Calor, Cuarta Edición, Prentice Hall.

10. Granet Irving, Termodinámica, Tercera Edición, Editorial Prentice Hall, 1998.

11. Goulds Pump Manual, Sexta Edición, Goulds Pumps Inc. 1995.

12. McNaughton Kenneth, Bombas, Selección, Uso y Mantenimiento, Editorial Mc. Graw Hill, 1992.

13. David Linden Thomas B. Reddy, Handbook of Batteries, McGraw Hill, Third Edition, 1995

14. Pedro Fernández Diez, Bombas Centrifugas y Volumétricas, 2002.

15. Eugene F. Megyesy, Pressure Vessel Handbook, Publishing Inc. Sexta edición.

16. Holman J. P. Transferencia de Calor, Octava edición, Prentice Hall, 2001.

17. Dpto. Ingenieria Química y Textil, Diseño de Equipos e Instalaciones, (Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Salamanca).

18. Peters and Timmerhaus, Plant Design and Economics For Chemical Engineers, McGraw Hill.

19. Introducción al Programa ANSYS.

20. Avallone Eugene A., Baumeister III Theodore, MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico, Novena Edición, Tomos I y II, Mc Graw Hill.

21. http://www.ipac.es/acero/fabricacion.asp

22. http://www.evapco.com

23. http://www.casals.com

24. http://www.amcot.com

25. http://www.monografias/trabajos10/toen/toen.zip