

Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**industriales**  
etsii UPCT

Cálculo estructural y Sistema  
contraincendios de un tanque de gasoil de  
reserva para alimentación en un Ciclo  
Combinado 2×1 de 800 MW

**Titulación:** Ingeniero en Organización Industrial  
**Intensificación:** -  
**Alumno:** José Luis López Díaz  
**Directores:** Juan Pedro Solano Fernández  
David Herrero Pérez

Cartagena, 25 de marzo de 2015



<b>Autor</b>	José Luis López Díaz
<b>E-mail del autor</b>	<a href="mailto:jillopezdiaz@yahoo.es">jillopezdiaz@yahoo.es</a>
<b>Director</b>	Juan Pedro Solano Fernández
<b>E-mail del director</b>	<a href="mailto:juanp.solano@upct.es">juanp.solano@upct.es</a>
<b>Codirector(es)</b>	
<b>Título del PFC</b>	Cálculo estructural y sistema contraincendios de un tanque de gasoil de reserva para alimentación en un ciclo combinado 2x1 de 800 MW
<b>Descriptor(es)</b>	Tanque almacenamiento, S.C.I, ciclo combinado
<b>Resumen</b>	
<p>Ante situaciones eventuales de suspensión del suministro de gas natural, las centrales de ciclo combinado disponen de tanques de almacenamiento de gasoil en reserva. En caso de ser necesario, las turbinas de gas están preparadas con un sistema de inyección paralelo al de gas natural, de manera que puedan trabajar un máximo de 24 horas con este combustible alternativo.</p> <p>En el presente proyecto se define, calcula y proyecta tanto el Tanque Cilíndrico Vertical de Fondo Plano con techo fijo soportado, como el prescriptivo sistema de protección contra incendios del tanque de reserva de gasoil de la central de ciclo combinado de Iberdrola en Cartagena. Esta central es del tipo 2x1, con dos turbinas de gas y una turbina de vapor, y una potencia total de 800 MW.</p>	
<b>Titulación</b>	Ingeniería en Organización Industrial
<b>Intensificación</b>	-
<b>Departamento</b>	Dpto. Ingeniería Térmica y de Fluidos
<b>Fecha de presentación</b>	Marzo / 2015



## **PROYECTO: CÁLCULO ESTRUCTURAL Y SISTEMA CONTRA INCENDIOS DE UN TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE GASOIL**

<b>INTRODUCCIÓN</b>
<b>BLOQUE 1: CÁLCULO Y DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>
A. GENERALIDADES DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES B. DISEÑO Y CALCULO ESTRUCTURAL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO
<b>BLOQUE 2: DISEÑO DE SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>
A. GENERALIDADES EN EL DISEÑO DE SISTEMAS CONTRAINCENDIOS B. DISEÑO Y CÁLCULOS DE LA INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS
<b>BLOQUE 3: ANEXOS</b>
<b>BLOQUE 4: PLANOS</b>



## Tabla de contenido

### **BLOQUE 1 A: GENERALIDADES DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES**

OBJETIVO .....	11
INTRODUCCIÓN .....	11
FASES DEL PROYECTO.....	11
1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO.....	12
1.1 Objeto .....	12
1.2. Unidades de medida.....	13
2. CONSIDERACIONES GENERALES EN DISEÑO.....	13
2.1. Cargas de diseño.....	13
2.2. Sobreespesor por corrosión .....	13
2.3. Espesores.....	14
2.4. Cálculos.....	14
2.5. Detalles de techos.....	14
2.6. Fondos .....	15
2.7. Conexiones.....	16
2.8. Drenajes .....	18
2.9. Ventilaciones .....	18
2.10. Plataformas y escaleras .....	19
2.11. Aislamiento .....	20
2.12. Clips de puesta a tierra .....	20
2.13. Detalles de diseño adicionales para tanques de techo flotante.....	20
2.14. Detalles de diseño adicionales para tanques de techo fijo y pantalla flotante.....	24
3. MATERIALES.....	26
3.1. Generalidades.....	26
4. PREFABRICACIÓN, PREPARACIÓN PARA EL TRANSPORTE Y MONTAJE Y TOLERANCIAS .	28
4.1. Prefabricación en taller .....	28
4.2. Preparación para el transporte.....	28
4.3. Montaje y tolerancias .....	28
4.4. Condiciones particulares de soldadura .....	30
4.5. Tratamiento térmico posterior a soldadura (PWHT).....	31
5. CONDICIONES PARTICULARES DE INSPECCION Y PRUEBAS.....	31



5.1.	General .....	31
5.2.	Controles de Inspección .....	31
6.	PRUEBAS .....	34
6.1.	General .....	34
6.1.1.	<i>Pruebas hidrostáticas y prueba del sistema de protección contra incendios .....</i>	<i>35</i>
6.1.2.	<i>Vaciado y Limpieza .....</i>	<i>36</i>
6.1.3.	<i>Reparación de defectos.....</i>	<i>36</i>
7.	INSTRUMENTACIÓN .....	36
7.1.	General .....	36
7.2.	Indicadores de temperatura.....	37
7.3.	Instrumentos de nivel .....	37
8.	SISTEMAS DE CALENTAMIENTO.....	38
9.	SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS .....	40
9.1.	General .....	40
9.2.	Sistema de refrigeración.....	40
9.3.	Sistema de espuma .....	40
10.	PROTECCIÓN SUPERFICIAL .....	41
11.	BASES DE TANQUES Y DEPÓSITOS .....	41
12.	DOCUMENTACIÓN A PRESENTAR POR EL FABRICANTE .....	41
12.1.	Documentos de diseño .....	41
12.2.	Documentos de fabricación .....	42

## **BLOQUE 1 B: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

13.	CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL TANQUE .....	44
14.	CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO .....	45
15.	CÁLCULO DEL ESPESOR DEL TANQUE .....	51
15.1.	Consideraciones respecto a los espesores del cuerpo.....	51
15.2.	Cálculo de los espesores del cuerpo por el método de un pie .....	52
15.3.	Cálculo y selección del espesor del fondo.....	55
16.	DISEÑO Y CÁLCULO DE TECHOS .....	57
16.1.	Consideraciones generales sobre el cálculo de techos.....	57
16.2.	Selección del techo para nuestro tanque.....	58
16.3.	Diseño y cálculo de techos cónicos soportados.....	58
16.3.1.	<i>Consideraciones generales .....</i>	<i>58</i>
16.3.2.	<i>Cálculo del espaciado de los largueros .....</i>	<i>60</i>



16.3.3.	Cálculo y selección de los largueros .....	61
16.3.4.	Cálculo y selección de travesaños .....	66
16.3.5.	Cálculo y selección de las columnas .....	68
17.	ESFUERZOS PERMISIBLES .....	70
18.	CÁLCULO POR SEÍSMO .....	73
18.1.	Introducción .....	73
18.2.	Momento de volteo.....	73
18.3.	Compresión del cuerpo .....	80
19.	CÁLCULO POR VIENTO .....	81
19.1.	Introducción .....	81
19.2.	Cálculo del momento de volteo por viento .....	82
20.	PROTECCIÓN DE LOS TANQUES CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS .....	83
21.	MONTAJE Y TIEMPOS DE EJECUCIÓN.....	84
21.1.	Fases del proceso de montaje .....	84
21.2.	Proceso de montaje.....	85
21.3.	Proceso de montaje.....	85

## **BLOQUE 2 A: GENERALIDADES EN EL DISEÑO DE SISTEMAS CONTRA INCENDIOS**

1.-	INTRODUCCIÓN .....	88
2.-	ANTECEDENTES Y CONSIDERACIONES GENERALES .....	89
2.1.	Descripción de la instalación existente.....	89
2.2.	Características del producto almacenado: combustibles.....	89
2.3.	Gasóleo: Identificación de peligros, propiedades, manipulación y almacenamiento... 92	
2.4.	Generalidades sobre el fuego.....	102
2.5.	Mecanismos de extinción .....	103
2.6.	Agentes extintores: definición y características de aplicación .....	104
2.6.1.	Agentes extintores líquidos.....	104
2.6.2.	Agentes extintores sólidos.....	110
2.6.3.	Agentes extintores gaseosos .....	111
3.	NORMAS Y REGLAMENTACIÓN APLICABLE .....	115
3.1.	Reglamento de Seguridad Contra-incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI) 115	
3.2.	Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI) .....	116
3.3.	Código Técnico de la Edificación (CTE) .....	117
3.4.	Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento de Seguridad CI en Establecimientos Industriales (ITC-MIE-APQ1) .....	118



3.5.	Normas UNE .....	119
4.	INSTALACIONES CONTRA INCENDIOS PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO .....	123
4.1.	Introducción .....	123
4.2.	Clasificación de sistemas C.I. para tanques.....	123
4.3.	Tipos de tanques de almacenamiento de combustible .....	123
5.	INSTALACIONES FIJAS C.I. BASADAS EN ESPUMÓGENOS .....	127
5.1.	Generalidades de instalaciones C.I. basadas en espumógenos .....	127
5.2.	Almacenaje y manejo de los concentrados de espumas.....	128
5.3.	Dosificación del concentrado de espumas.....	130
5.4.	Métodos de dosificación de concentrados de espumas AFFF y AR-AFFF (2-1).....	131
5.4.1.	<i>Solución premezclada</i> .....	131
5.4.2.	<i>Dosificadores del tipo Venturi</i> .....	132
5.4.3.	<i>Tanque dosificador tipo vejiga</i> .....	134
5.4.4.	<i>Dosificador de presión balanceada</i> .....	137
5.4.5.	<i>Dosificador de presión balanceada en línea</i> .....	139
5.4.6.	<i>Dosificación entorno a la bomba</i> .....	141
5.4.7.	<i>Toberas de aspiración (o toberas de arrastre)</i> .....	143
5.4.8.	<i>Dosificación con turbina</i> .....	144
6.	SISTEMAS DE ESPUMA PARA PROTECCIÓN C.I. DE TANQUES DE COMBUSTIBLE DE TECHO FIJO .....	146
6.1.	Métodos de protección .....	146
6.1.1.	<i>Protección con cámaras de espuma en superficie</i> .....	146
6.1.2.	<i>Protección con inyección de espuma por el fondo del tanque</i> .....	148
6.1.3.	<i>Protección por medio de dispositivos portátiles como lanzas y monitores</i> .....	149
6.2.	Tablas de aplicación de concentrados de espumas sintéticas .....	150
6.3.	Cantidad y tamaño de las cámaras de espuma.....	150
6.4.	Ratio de aplicación y tiempo de descarga .....	151
6.5.	Protección adicional para derrames .....	151
6.6.	Tiempo de autonomía de las mangueras de protección adicional.....	152
7.	SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA PROTECCIÓN C.I. DE TANQUES DE COMBUSTIBLE.....	152
8.	ESPECIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS C.I. EN ÁREAS DE ALMACENAMIENTO .....	157
8.1.	Objeto y campo de aplicación .....	157
8.2.	Equipamiento mínimo del S.C.I. en áreas de almacenamiento.....	157
8.3.	Equipamiento mínimo del S.C.I. en tanques de techo fijo .....	158
8.3.1.	<i>Sistema de agua pulverizada</i> .....	158
8.3.2.	<i>Sistema de espuma</i> .....	159



8.4.	Instalaciones de carga y descarga para líquidos combustibles.....	159
8.5.	Estaciones de bombeo.....	160
9.	ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMAS C.I. DEL TANQUE OBJETO DE ESTUDIO.....	160
9.1.	Introducción y objeto .....	160
9.2.	Características de la instalación.....	160
9.2.1.	<i>Sistema fijo de espuma</i> .....	160
9.2.2.	<i>Sistema fijo de refrigeración</i> .....	162
9.2.3.	<i>Puestos de Control</i> .....	163
9.2.4.	<i>Red de agua contra incendios</i> .....	164
9.2.5.	<i>General</i> .....	165
9.3.	Alcance del suministro.....	166
9.3.1.	<i>Diseño</i> .....	166
9.3.2.	<i>Materiales</i> .....	166
9.3.3.	<i>Fabricación y montaje</i> .....	167
9.3.4.	<i>Estructura metálica y soportes</i> .....	167
9.3.5.	<i>Obra civil</i> .....	168
9.3.6.	<i>Materiales de consumo</i> .....	168
9.3.7.	<i>Pintura</i> .....	168
9.4.	Pruebas, inspecciones y controles .....	169
9.4.1.	<i>Pruebas</i> .....	169
9.4.2.	<i>Inspecciones y controles</i> .....	169
9.5.	Instrumentación .....	170
9.6.	Repuestos .....	170
9.7.	Precios .....	170

## **BLOQUE 2 B: DISEÑO Y CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS**

10.	CÁLCULOS Y DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN C.I.....	171
10.1.	Introducción .....	171
10.2.	Alcance de los trabajos .....	171
10.3.	Diseño de sistema de cámaras de espuma en superficie .....	172
10.3.1.	<i>Introducción</i> .....	172
10.3.2.	<i>Cálculos del Sistema de cámaras de espuma</i> .....	173
10.3.3.	<i>Selección de equipos para el Sistema de cámaras de espuma</i> .....	177
10.4.	Diseño de sistema de enfriamiento por agua.....	180
10.5.	Descripción del sistema de tuberías del sistema C.I. ....	183
10.6.	Valvulería de los sistemas de protección C.I. ....	184



10.7.	Pintura y recubrimientos.....	184
-------	-------------------------------	-----

### **BLOQUE 3: ANEXOS**

ANEXO 1: CENTRAL TÉRMICA DE C.C. DE ESCOMBRERAS .....	186
ANEXO 2: ESPECIFICACIONES DEL GASOIL INDUSTRIAL.....	201

### **BLOQUE 4: PLANOS**

PLANO 1: Plano general de la Central de Ciclo Combinado

PLANO 2: Plano general del tanque y orientación de tubuladuras

PLANO 3: Plano del sistema de protección contra incendios del tanque

PLANO 4: Diagrama de tuberías e instrumentación del Sistema C.I. del tanque

PLANO 5: Hoja de datos del tanque de almacenamiento



## **Bloque 1:**

# **CÁLCULO ESTRUCTURAL Y DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO**



## **BLOQUE 1 A: GENERALIDADES DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES**

---

### **OBJETIVO**

El objetivo del presente proyecto es el diseño y cálculo estructural, así como la definición y diseño de un sistema fijo contra incendios en un tanque de almacenamiento de gasoil. La ubicación del tanque es la central de un ciclo combinado de 800 MW en configuración 2x1.

### **INTRODUCCIÓN**

Ante situaciones eventuales de suspensión del suministro de gas natural, las centrales de ciclo combinado disponen de tanques de almacenamiento de gasoil en reserva. En caso de ser necesario, las turbinas de gas están preparadas con un sistema de inyección paralelo al de gas natural, de manera que puedan trabajar un máximo de 24 horas con este combustible alternativo.

En el presente proyecto se define, calcula y proyecta el sistema de protección contra incendios del tanque de reserva de gasoil de una central de ciclo combinado en Cartagena. Esta central es del tipo 2x1, con dos turbinas de gas y una turbina de vapor, y una potencia total de 800 MW.

La definición del depósito corresponde a la de Tanque Cilíndrico Vertical de Fondo Plano, con techo fijo soportado, que permite almacenar grandes cantidades volumétricas con un coste bajo, con la limitación de que sólo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.

### **FASES DEL PROYECTO**

1. Definición de objetivos
2. Cálculo del volumen necesario
3. Selección de la disposición constructiva del tanque
4. Cálculo estructural del tanque
5. Definición del sistema fijo de protección contra incendios



## 1. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Como introducción a este proyecto, comenzamos con la especificación que establecería los requisitos mínimos para el diseño, fabricación, montaje, inspecciones, pruebas y especificaciones de materiales de los tanques de almacenamiento que fijaría un supuesto cliente que nos encargase este trabajo.

### 1.1 Objeto

Bajo la denominación de tanques de almacenamiento, se incluyen todos los depósitos que están dentro del ámbito de aplicación de la Norma API 650 y API 620.

Esta Especificación es parte integral de la Requisición del material. En caso de discrepancia entre los documentos incluidos en dicha Requisición, prevalecerá el siguiente orden de prioridad:

- Legislación aplicable (siempre y cuando en las hojas de datos, en la requisición o en esta especificación no se establezcan criterios más restrictivos que los en ella fijados). Se tendrá en cuenta la Reglamentación nacional aplicable de Seguridad en Almacenamiento, así como la normativa de equipos a presión para los accesorios cuando así sea de aplicación en función de su presión de diseño.
- Hoja de datos
- Requisición del Material
- DBD- Datos Básicos de Diseño
- Lo definido en esta especificación de diseño.

Las excepciones, variaciones o adiciones que supongan cualquier cambio en los planos del tanque o sobre esta Especificación deberán ser aceptadas por escrito.

El cumplimiento de las reglas y recomendaciones dadas en esta Especificación no exime ni parcial ni totalmente al Fabricante del tanque de sus responsabilidades y garantías o de cualquier otra obligación contractual.

El presente documento forma parte de las Especificaciones Técnicas de Diseño de la empresa y hace referencia a las Normas y Códigos que son mencionados y / o aplicables y al documento Datos Básicos de Diseño (DBD), que recoge aspectos particulares para cada proyecto.



## 1.2. Unidades de medida

El Fabricante deberá utilizar unidades métricas del Sistema Internacional (S.I.) en sus dibujos y cálculos. Asimismo se admitirán presiones en mm.c.a. para los fluidos almacenados y kg/cm<sup>2</sup> en elementos accesorios.

## 2. CONSIDERACIONES GENERALES EN DISEÑO

### 2.1. Cargas de diseño

Además de los datos de diseño indicados en las hojas de datos o en los planos de los tanques, se considerarán la totalidad de cargas y su combinación según los criterios establecidos en la Norma API 650, y en particular las siguientes:

- Cargas de viento, según Norma aplicable en lugar de instalación.
- Cargas de sismo según Norma aplicable en lugar de instalación
- Cargas vivas de 122 kg/m<sup>2</sup> (sobrecarga de uso) más 37,5 kg/m<sup>2</sup> (carga de nieve u otras incidencias) sobre proyección horizontal de superficie de techo, en adición a las cargas muertas de peso propio (techo, accesorios y aislamiento).

### 2.2. Sobreepesor por corrosión

El sobreepesor a considerar para compensar el efecto debido a la corrosión, si se estima necesario, se especificará en las correspondientes hojas de datos y/o planos de los tanques.

El sobreepesor necesario se determinará en cada caso y para cada parte del tanque, atendiendo a:

- corrosividad del producto a almacenar y antecedentes sobre la misma;
- material;
- Evaluación Ambiental y posibles riesgos asociados;
- otras medidas de protección que se adopten tales como protección superficial y/o
- protección catódica.

Los valores de sobreepesor se especificarán en cada una de las partes del tanque en contacto con el producto, incluyendo envolvente, fondo, techo o pantalla, cuellos de tubuladuras y accesos de hombre, tapas ciegas, etc., así como a los elementos internos, salvo que en las hojas de datos y/o planos se especifique otra cosa.



### 2.3. Espesores

Los espesores resultantes en cada virola, fondo y techo, se determinarán de acuerdo con los datos y cargas de diseño especificadas, y los correspondientes esfuerzos máximos admisibles según Código, Norma, Especificación, Estándar o documento equivalente. Asimismo, se tendrán en cuenta los espesores mínimos indicados por API 650 ó 620, según sea de aplicación.

Adicionalmente, para el caso particular de tanques en acero al carbono, se adoptarán unos espesores mínimos de 8 mm para los fondos, incluyendo el sobreespesor de corrosión.

Se deberá tener presente al dimensionar los espesores reales a adoptar, tanto el sobreespesor por corrosión como las tolerancias de fabricación.

El espesor adoptado en diseño será considerado como mínimo aceptable, no admitiéndose tolerancias negativas de siderurgia.

### 2.4. Cálculos

El Fabricante del tanque deberá enviar para aprobación los cálculos justificativos del diseño mecánico del tanque, tanto en lo que se refiere a espesores de envolvente, fondo y techo, como a la estructura de soporte de éste, vigas de rigidez (si se requieren), cálculos de estabilidad debida a viento y sismo, análisis de requerimientos de anclaje, cálculos de flotabilidad, cargas sobre cimientos, cálculos de ventilaciones, comprobación de unión débil entre techo y envolvente, cálculos del sistema contra incendios, sistema de refrigeración, sistema de calentamiento, cálculos de pernos de anclaje, velocidades de vaciado y llenado, etc.

Al estudiar la rigidez de las envolventes frente a carga de viento, se tendrán en cuenta los espesores netos, es decir, descontando el sobreespesor por corrosión.

### 2.5. Detalles de techos

En general y salvo en los casos de tanques pequeños (entendiendo como tales los definidos en el Apéndice del Código API 650 "Optional Design Basis for Small Tanks"), no se utilizarán techos o estructuras autosoportados; sin embargo, podría considerarse el diseño de techo autosoportado en los casos en los que asientos diferenciales altos entre el centro y la periferia pudieran causar problemas de excesiva distorsión del techo o en el caso de tanques con pantalla flotante interior.



En caso de especificarse unión techo-envolvente de tipo "unión débil", ésta seguirá los requerimientos establecidos en norma API 650.

En función de la presión interior del tanque y/o peso del techo, se analizará la necesidad de aplicación de Apéndice de "Baja Presión" de la norma API 650 o norma API 620.

Las chapas de los techos se solaparán de tal forma que el agua de lluvia drene perfectamente.

En servicios de asfaltos y Fuel-oil la forma de los techos deberá ser cónica y adecuada para garantizar una unión perimetral débil entre la chapa y el perfil de coronación, de acuerdo con lo indicado en el apartado correspondiente a este tipo de unión de la Norma API 650.

En el caso concreto de tanques de "Asfaltos", el diseño de los techos o de las cubiertas y sus estructuras de soporte será el más adecuado para evitar una excesiva acumulación de producto sobre los mismos. El Fabricante propondrá, la solución constructiva que a su juicio estime más idónea, en base a experiencias similares, teniendo en cuenta parámetros importantes como son la elevada temperatura del producto y su influencia en un diseño adecuado para absorber las dilataciones así como la sobrecarga de acumulación en cubierta y estructura soporte.

Cuando así se determine necesario, los techos fijos irán provistos en la parte superior de un soporte para cable de andamio de mantenimiento, de acuerdo al diseño especificado en la Norma API 650.

## **2.6. Fondos**

Todos los tanques cuyo diámetro exceda de 8 m. dispondrán de una corona de chapa perimetral en el fondo, de 10 mm. de espesor mínimo, diseñada de acuerdo con los requisitos de la Norma API 650.

El resto del fondo, independientemente del diámetro del tanque, se construirá con chapas unidas por solape soldado de sus piezas, de acuerdo con las indicaciones de la Norma API 650; el fondo dispondrá además de una inclinación mínima de 1:100 a partir del centro del tanque (punto alto) hacia la pared exterior, excepto en los casos de almacenamiento de combustibles para aviación, cuyos tanques dispondrán de una pendiente del fondo más pronunciada y dirigida hacia el centro (punto bajo).



Se montarán chapas de refuerzo sobre el fondo de los tanques en puntos donde haya concentración de cargas, como calentadores, patas fijas, patas de techos, aspiraciones flotantes, etc. En general y salvo que expresamente se indique otros valores, el tamaño de estas chapas de refuerzo será, como mínimo, el doble de la dimensión mayor del soporte y el espesor será, como mínimo, de 10 mm.

Asimismo, se montarán chapas de refuerzo en las áreas de entrada y salida de producto cuando las correspondientes conexiones tengan codo interior dirigido hacia el fondo o tubería interior hasta el fondo y bajo el tubo interior de la toma de muestras.

## 2.7. Conexiones

Todas las conexiones de la envolvente, incluyendo tubuladuras, accesos de hombre y bocas de limpieza, cumplirán con los requisitos de la Norma API 650, salvo que específicamente se indique lo contrario.

Los ejes principales de las bridas de tubuladuras deberán de pasar por los puntos medios de las distancias entre taladros adyacentes.

Salvo indicación contraria, el tamaño mínimo de las conexiones de entrada y salida de producto será determinado según lo indicado en la Tabla 1, teniendo en cuenta el diámetro interior de la virola más baja.

DIÁMETRO DEL TANQUE (m)	DIÁMETRO MÍNIMO DE CONEXIÓN (")
Hasta 10	4"
Desde 10 hasta 25	6"
Desde 25 hasta 40	8"
Mayor de 40	10"

Tabla 1: Diámetros mínimos de conexiones de entrada-salida

Todos los tanques llevarán entradas de hombre de 24" de acuerdo con las cantidades indicadas en la Tabla 1, teniendo en cuenta el diámetro interior de la virola más baja:



DIÁMETRO DEL TANQUE (m)	Nº DE ENTRADAS DE HOMBRE EN TECHO	Nº DE ENTRADAS DE HOMBRE EN ENVOLVENTE
Hasta 10	1	1
Desde 10 hasta 25	2	2 (a 180°)
Desde 25 hasta 40	3	3 (a 120°)
Mayor de 40	4	4 (a 90°)

Tabla 2: Número de entradas hombre en techo y envolvente

Al menos una de las entradas de hombre en envolvente deberá ubicarse cerca de la conexión de entrada o salida de producto. Asimismo, dicha conexión de entrada de hombre será especificada con brida slip-on.

Una de las entradas de hombre en techo será ubicada cerca del indicador de nivel, para permitir el ajuste del flotador en caso de que no exista tubo tranquilizador.

Adicionalmente, en función del producto y servicio, se analizará en cada caso la necesidad de especificar una serie de conexiones a distintas alturas para "Toma de muestras" y un sistema de recogida de las mismas.

Todos los tanques llevarán una conexión (tapa sonda) para mediciones y/o toma de muestras en el techo. En los tanques de techo flotante interno o externo estarán provistos de un tubo tranquilizador.

La tapa sonda incluirá tapa de acuerdo con la clasificación eléctrica que corresponda a su punto de instalación antichispas y cierre rápido para accionamiento con el pie y será de un Suministrador reconocido y que las fabrique en serie.

Se cuidará que no haya interferencias con los serpentines y agitadores de los tanques y que su vertical no quede frente a un acceso de hombre. Normalmente esta conexión irá muy próxima a la toma de nivel automático del tanque.

Para tanques de diámetro igual o superior a 30 m, y en los casos en los que específicamente se considere necesario, se instalarán bocas de limpieza, de acuerdo con lo indicado en la Norma API 650.

En el caso de que la envolvente del tanque tenga un espesor mayor de 25 mm., en el diseño de los accesos de hombre y en las conexiones de agitadores se



tendrá en cuenta el empleo de refuerzos tipo "insertados" según se define en la Norma API.

Las cargas externas impuestas en todas las conexiones serán evaluadas de acuerdo a los criterios de la norma API 650.

## 2.8. Drenajes

Los tanques dispondrán de conexiones para drenajes de los fondos y se situarán cerca de los accesos de hombre para facilitar la limpieza de las arquetas.

El drenaje central se instalará preferentemente para servicios de productos pesados, tipo asfaltos. Para ello, se usará tubuladura de envolvente de "baja elevación" (*Low type*). La conexión se suministrará con tubería interior terminada en codo y carrete de prolongación, arqueta de acuerdo con el API 650 y con válvula de bloqueo exterior; en el extremo del codo interior o carrete de prolongación, se soldará un soporte que apoyará sobre el fondo de la arqueta.

En caso de drenaje lateral o periférico, se usará normalmente tubuladura "bajo fondo". En los tanques de almacenamiento de hidrocarburos y con el fin de comprobar si hay agua en la arqueta antes de abrir la línea de drenaje, se instalará una línea auxiliar de 1"-Sch.80, de acuerdo con los siguientes criterios:

- La conexión de prueba se orientará cerca de la conexión de drenaje.
- El tubo interior de prueba terminará en un codo, se extenderá hasta la arqueta y se soportará desde el tubo de drenaje del fondo.
- El extremo de la línea auxiliar de prueba quedará sobre la arqueta a 150 mm por encima del extremo de la línea de drenaje.

Cuando así se indique, se instalará una conexión auxiliar de drenaje sin tubo interior, que se orientará cerca de la conexión de drenaje de agua.

## 2.9. Ventilaciones

La capacidad de ventilación estará de acuerdo con la norma API 2000/ ISO 28300, valorándose todas las causas de sobrepresión o vacío indicadas en la misma.

En el caso de tanques que almacenen líquidos con flash point igual o inferior a 38°C; cuando así lo requiera la legislación local aplicable; o cuando específicamente así se determine, el venteo estará normalmente cerrado



(excepto cuando se ventee a la atmósfera en condiciones de presión interna o vacío).

Las ventilaciones abiertas serán del tipo de cuello doblado a 180° con una malla de 4 mesh en el extremo (4,75 mm. de abertura) y con "snuffer" de tipo antichispas. La tubuladura tendrá una altura adecuada para asegurar el funcionamiento de la ventilación y holgura entre el techo y el "snuffer".

Llevarán filtros apagallamas las ventilaciones abiertas en tanques de techo fijo cuyo producto almacenado esté a una temperatura superior a su "flash point" o aquellos cuya composición es variable (por ejemplo, "slops"). Los apagallamas serán de tipo "final de línea" y se instalarán de acuerdo con lo indicado en las Normas API 2000/ ISO 28300 y API RP2210.

Para el uso de apagallamas deben tenerse en cuenta las propiedades de los líquidos que puedan provocar su obstrucción (corrosión, congelación, polimerización, etc.), para tomar medidas correctoras o utilizar otro sistema.

En tanques con gas de inertizado se requieren válvulas de presión / vacío. En su dimensionado debe considerarse la máxima capacidad de las válvulas de control del gas de inertizado, suponiendo fallo en posición abierta de dichas válvulas.

En el caso de tanques para productos asfálticos, la ventilación, una sola por tanque, no deberá tener codo a 180° para evitar el efecto soplete sobre el techo. Esta ventilación dispondrá de una recogida de condensados, con vertido hacia el interior del tanque.

## **2.10. Plataformas y escaleras**

Los tanques de altura superior a 9 m dispondrán de escaleras helicoidales. Dichas escaleras podrán ser verticales para alturas inferiores.

Junto a las conexiones operativas (sonda, indicador de nivel, indicador de temperatura, acceso de hombre del techo, gas de inertizado, etc.) se instalarán plataformas de acceso para operación y mantenimiento.

Se dispondrán barandillas y rodapiés para la escalera helicoidal y plataformas, a todo lo largo del perímetro del techo en los tanques de techo fijo y en la viga contraviento de los tanques de techo flotante.



### 2.11. Aislamiento

En tanques con aislamiento térmico exterior, el angular de coronación tendrá su ala horizontal de una anchura igual o superior al espesor del aislamiento y sobre él irá instalado un vierte aguas del techo.

Con el fin de evitar la corrosión exterior bajo aislamiento térmico (normalmente en los techos), el sellado de las chapas del calorifugado será reforzado.

El remate de la parte inferior del aislamiento en la envolvente estará levantado como mínimo 200 mm sobre el anillo del fondo, con el fin de evitar la subida de humedad.

En los tanques que dispongan de viga contraviento, también se deberá rematar el calorifugado 200 mm sobre la parte superior de dicha viga, de la misma manera que se ha indicado en el párrafo anterior. Los taladros de drenaje de la viga contraviento se efectuarán fuera de la proyección vertical del aislamiento y su protección, prolongándose con un tubo unos 50 mm.

En los dos casos anteriores, a la/s banda/s de 200 mm de la envolvente desprovistas de calorifugado, se les aplicará un tratamiento de pintura adecuado, como si se tratara de un equipo no calorifugado.

### 2.12. Clips de puesta a tierra

La envolvente de cada tanque se conectará a tierra en puntos separados de acuerdo con la siguiente distribución, en función de su diámetro:

- Tanque con diámetro menor de 30 m: en 2 (dos) puntos diametralmente opuestos.
- Tanque con diámetro entre 30 y 50 m: en 3 (tres) puntos a 120°.
- Tanque con diámetro mayor de 50 m: en 4 (cuatro) puntos a 90°.

### 2.13. Detalles de diseño adicionales para tanques de techo flotante

Los compartimentos del pontón de los techos flotantes se harán completamente estancos con soldadura, de modo que el vapor o líquido de cualquiera de ellos no pueda pasar al contiguo.

Cada compartimento del pontón será provisto de un acceso de hombre de 20", con tapa estanca y venteo.



El sistema de drenaje primario del techo deberá cumplir con los requerimientos de API 650, será de tipo estanco, con válvula de retención, tubería de espesor mínimo correspondiente a Sch 80, y juntas articuladas o mangueras adecuadas al servicio, suministradas por proveedores acreditados.

El número y tamaño de los drenajes dependerá de las dimensiones del tanque. Se tendrá cuidado para evitar que los tubos articulados interfieran con los soportes del techo y con los accesorios internos.

Tanto el techo como su drenaje se diseñarán de modo que la cantidad de lluvia retenida sea mínima.

El sistema de drenaje será sometido a una prueba hidrostática a un valor de presión determinado en función de su presión de diseño.

Se suministrará e instalará una válvula de bloqueo en la conexión exterior de la envolvente.

Para los tanques de productos refinados, las rótulas serán bridadas a la tubería de drenaje; el material de ésta será acero al carbono galvanizado en caliente, excepto para los combustibles de aviación que será acero inoxidable.

Únicamente en los casos en los que la norma API 650 así lo permita, se dispondrá de un drenaje de emergencia en el techo, con capacidad no inferior a  $2 \text{ m}^3/\text{min}$ .

Los tanques se equiparán con doble sello de tipo mecánico desmontables en servicio, no estando permitidos los sellos de espuma.

Deberán garantizarse los niveles de emisión de vapores establecidos en la legislación aplicable al lugar de instalación.

Los sellos mecánicos, serán instalados de forma que cubran el espacio entre la periferia del techo y la pared del tanque.

El área acumulada de holgura entre la pared del tanque y el sello secundario no excederá de  $10 \text{ cm}^2$  por metro de diámetro del tanque. El ancho de cualquier holgura no excederá de 1 mm.

No habrá agujeros, ranuras u otras aberturas en el sello (cualquiera que sea el tipo de que se disponga), incorporando una lámina estanca contra vapores y resistente a los aromáticos.



El labio del sello secundario se realizará de forma que no pueda engancharse con la envolvente en caso de sobrellenado del tanque.

El sello primario será estable frente a la acción de los líquidos o vapores en contacto. Los componentes del sello secundario serán estables frente a la intemperie, radiación solar extrema, antiestáticos y en materiales retardantes al fuego según normas BS 3289; DIN 22118; DIN 22100 o equivalente.

En fase de oferta, el fabricante aportará al menos la siguiente información:

- Tipos de sellos primario y secundario.
- Material de ambos sellos para los principales elementos (chapas, membranas, wipers, tornillería y accesorios, etc.)
- Espesores de los principales elementos.
- Resistencia a vapores y líquidos en contacto.
- Confirmación de cumplimiento de requisitos anteriormente indicados y todos aquellos adicionales que se establezcan en la Requisición.

Cada abertura en el techo, excepto para las ventilaciones automáticas de alivio y ventilaciones del anillo perimetral, incluirá una prolongación por debajo de la superficie del líquido.

En el techo flotante se instalará al menos un tubo y tapa sonda.

Los techos flotantes serán equipados con patas soporte ajustables, capaces de asegurar una altura libre sobre el suelo de 2 m durante el período de limpieza y mantenimiento del tanque y espacio suficiente en la posición más baja del techo en operación para todos los accesorios situados en el interior del tanque (agitadores, etc.).

Dichas patas deberán ir provistas de un bulón con una cadena de unión entre un extremo del mismo y la camisa. El otro extremo tendrá un pasador.

El espacio existente entre pata y guía debe quedar perfectamente sellado y el pasador taponado, para evitar así la emanación a la atmósfera de los hidrocarburos más volátiles y las entradas de agua. Estos sellos y tapones deberán ser de un material resistente 100% a los componentes aromáticos, (por ejemplo vitón o elastómeros fluorados). Además, el sello deberá garantizar que la pata quede centrada en la guía de tal forma que no exista contacto alguno entre ellas y evitar así, el agarrotamiento de las patas contra las guías.



Asimismo, en el diseño de estas patas se tendrá en cuenta la posibilidad de asientos diferenciales durante la prueba hidrostática.

Las patas soporte serán de tubo de acero al carbono de espesor Sch. 80 mínimo. Las placas de apoyo estarán centradas bajo la pata soporte, tendrán unas dimensiones de un cuadrado o círculo de 610 mm de lado o diámetro, con bordes redondeados, con un espesor de 10 mm e irán soldadas al fondo del tanque con una soldadura continua de 5 mm.

El diseño de las patas soporte, altura de camisas y pasador, será tal que evite la salida de producto bajo todas las condiciones de diseño establecidas en el Apéndice C (Techos flotantes externos) del API 650. En cualquier caso, se garantizarán las siguientes alturas mínimas en función del diámetro del tanque, medidas entre la superficie exterior del velo y el taladro para el pasador de la pata soporte.

DIAMETRO DEL TANQUE (m)	ALTURA (mm)
Hasta 25	760
Desde 25 hasta 35	830
Desde 35 hasta 45	910
Desde 45 hasta 55	1050
Desde 55 hasta 65	1100
Desde 65 hasta 75	1250
Desde 75 hasta 85	1350
Desde 85 hasta 95	1450

Tabla 3: Altura del taladro para pasador de patas soporte en techos flotantes

Los tanques de techo flotante llevarán una escalera rodante con barandilla para acceso al techo. Los peldaños serán autonivelantes.

En estos tanques, la conexión eléctrica entre techo y envolvente se realizará a través de cable debidamente guiado. El cable a utilizar será de cobre, con aislamiento de PVC, de color amarillo y verde y de 35 mm<sup>2</sup> de sección como mínimo.

Deben preverse dispositivos de centrado y antirrotación para mantener el techo en posición centrada y evitar su rotación.



El anillo de rigidez contraviento situado a 1,05 m. del angular de coronación tendrá un ancho mínimo de 700 mm. al objeto de emplearlo como plataforma, irá provisto de taladros para drenaje de aguas y será equipado con barandilla, rodapié y sistema antideslizante.

En cada tanque se montará un tubo tranquilizador, pintado interiormente, para un indicador-medidor de nivel tipo flotador, con una plataforma de mantenimiento en su parte superior. El tubo no estará soldado al fondo del tanque, sino que estará cogido rígidamente sobre la envolvente.

Cuando así se requiera, se conectará un tubo interior articulado a la conexión de salida. Esta línea articulada llevará mecanismos de flotación en el extremo superior para poder tomar líquido desde cualquier nivel, o un sistema de tubo articulado guiado y soportado por carril y polea al interior del techo flotante.

Si así se requiriese, la conexión de salida se prolongará interiormente por medio de un tubo y codo, según el diseño de la Norma API 650, para aumentar la capacidad de extracción del líquido almacenado.

#### **2.14. Detalles de diseño adicionales para tanques de techo fijo y pantalla flotante**

Todas las pantallas flotantes llevarán como mínimo los siguientes accesos de hombre de 24", considerando el diámetro interior de la virola más baja:

DIAMETRO DEL TANQUE (m)	NUMERO DE ACCESOS DE HOMBRE
Hasta 10	1
Desde 10 hasta 25	2, espaciados 180°
Desde 25 hasta 40	3, espaciados 120°
Mayor de 40	4, espaciados 90°

Tabla 4: Número de accesos hombre en pantallas flotantes

Se suministrarán ventilaciones automáticas de alivio para ventear aire o gas de inertización a/o desde la zona debajo del velo de la pantalla cuando el tanque se está llenando o vaciando. Las ventilaciones se dimensionarán para los caudales de llenado y vaciado máximos especificados, y de acuerdo a la norma API 2000/ISO 28300.



Las juntas o sellos periféricos se diseñarán para adaptarse a una desviación local entre pantalla flotante y envolvente de  $\pm 100$  mm.

Cuando se utilicen flotadores en el diseño de la pantalla flotante (velo por encima del líquido) se preverán drenajes que se extenderán 100 mm como mínimo por debajo del nivel del producto.

Estos tanques también estarán equipados con una conexión en el techo fijo de 8", con tapa de cierre rápido para accionamiento con el pie y antichispas, para dispositivo combinado "medidor-toma muestras" con tubo tranquilizador.

Al igual que en los techos flotantes deben preverse dispositivos de centrado y antirrotación para mantener la pantalla en posición centrada y evitar su rotación.

En los tanques con pantalla flotante se instalará un mínimo de dos conexiones eléctricas entre la pantalla y el techo fijo para mantener la continuidad de la toma a tierra (2 conexiones eléctricas en tanques de 25 m de diámetro y menores y 4 conexiones eléctricas en tanques mayores de 25 m de diámetro). El cable a utilizar será similar al indicado para techos flotantes.

Se suministrará una escalera permanente desde el techo fijo a la pantalla flotante para escape en caso de emergencia. La escalera se instalará en un acceso de hombre del techo fijo.

Se podrán utilizar como largueros de esta escalera los tubos de nivel y de toma de muestra, si estuvieran instalados en el mismo acceso de hombre.

Todas las aberturas en la pantalla, excepto para las ventilaciones automáticas de alivio y ventilaciones de anillo, se proyectarán por debajo de la superficie del líquido.

Excepto en tanques que requieran gas de inertización, se incluirán ventanas de ventilación para prevenir el sobrellenado de éstos por encima de su capacidad neta, y estarán dimensionadas para el máximo caudal de llenado/vaciado del tanque, según la Norma API 650. Dichas ventanas se cubrirán con una malla resistente a la corrosión y estarán provistas de tejadillo vierteaguas.



## 3. MATERIALES

### 3.1. Generalidades

Todos los materiales a utilizar serán los adecuados, de acuerdo con los criterios de la Norma API 650, para la temperatura de diseño de metal y estarán de acuerdo con los requisitos del Código aplicable, con los planos de diseño de los tanques y con las normas correspondientes.

El Fabricante del tanque deberá enviar los certificados de todos los materiales en los que se indiquen las características químicas y mecánicas de los mismos, según la norma ASTM correspondiente, y A6 ó A20, según lo requerido en la norma, así como los ensayos y pruebas requeridos.

Los materiales a emplear serán los correspondientes a las Normas ASTM listadas en la Norma API 650, sección de materiales o apéndices específicos de materiales, con las limitaciones y requisitos suplementarios que en el citado estándar y esta Especificación se indican.

Materiales correspondientes a otras especificaciones o normas, tales como CSA, ISO, EN, etc., solo podrán emplearse cuando se cumplan las limitaciones establecidas en la norma API 650, así como todas y cada una de las siguientes condiciones:

- Que el Fabricante haya hecho la propuesta de aplicación en el momento de la oferta, adjuntando a la misma documentación técnica suficiente que permita su evaluación.
- Que el Fabricante tenga una amplia experiencia en su aplicación en casos similares con resultados adecuados.

La calidad de las chapas será según ASTM A-131 Gr. EH36, con los siguientes requisitos adicionales:

- Deberán determinarse los contenidos de Ni, Cr, Mo, Cu, Nb, V y Al, incluso aunque alguno de estos elementos no se adicione intencionadamente, y no deberán excederse los valores indicados en la norma, excepto para Nb cuyo valor máximo admisible será 0,030%.
- La relación límite elástico real a carga de rotura real deberá ser inferior o igual a 0,85.



- No se admitirán excepciones en la determinación del tamaño del grano. El correspondiente ensayo deberá ser realizado por cada colada y lote de tratamiento térmico.
- Todos los ensayos mecánicos, incluido el de resiliencia, deberán realizarse en cada chapa "madre de laminación", en un solo extremo o en los dos, según que su peso sea inferior o superior a 5 Tm. respectivamente.

La necesidad de realizar ensayos de resiliencia de todos los materiales, y los valores mínimos admisibles de la misma, vendrán fijados por lo indicado en la Norma API 650, de acuerdo con la temperatura mínima de diseño del material.

Las chapas de acero al carbono de espesor superior a 25 mm y las de material de alto límite elástico de cualquier espesor, se controlarán por ultrasonidos en cuadrícula 250x250 y en bordes, con objeto de localizar defectos de laminación, de acuerdo con la norma ASTM A-578 nivel B. Alternativamente, será aceptable el control mediante la Norma UNE 36.100 Gr.A.

En las chapas de acero al carbono con espesores entre 19 y 25 mm, el control por ultrasonidos indicado anteriormente se realizará solamente en los bordes

El Fabricante arbitrará un procedimiento que permita identificar en todo instante las chapas procedentes de bobina, para lo cual cada chapa obtenida del conjunto deberá ir marcada con el número de bobina y colada que le corresponda.

Para utilización de material de stock procedente de siderurgia de origen o almacenista, será requerido que:

- Se identifique el material con los requisitos exigidos y que las marcas y los certificados sean originales de la siderurgia.
- Le sean efectuadas con posterioridad las pruebas requeridas a juicio del inspector del cliente, que pudieran ser requeridos para justificar la calidad de los materiales propuestos. El importe de las pruebas o ensayos correrá cargo del Vendedor.

Todos los electrodos y demás elementos consumibles a utilizar durante la fabricación, estarán igualmente amparados por sus correspondientes certificados de calidad.

Las juntas serán espirometálicas o de fibra mineral libre de amianto de 2 mm de espesor, y de acuerdo con los requerimientos de la norma API 650.



## **4. PREFABRICACIÓN, PREPARACIÓN PARA EL TRANSPORTE Y MONTAJE Y TOLERANCIAS**

### **4.1. Prefabricación en taller**

El Fabricante realizará en taller todas las operaciones de prefabricación necesarias para facilitar el montaje en campo, tales como predimensionado y corte de chapas, biselado de bordes, prefabricación de estructuras soporte de techos, plataformas y escaleras, prefabricación de accesorios, etc.

El grado de prefabricación será el máximo compatible con su adecuado transporte.

Las chapas de la envolvente se dimensionarán de manera que presenten un número mínimo de costuras durante el montaje.

Las costuras de los tanques se situarán de forma que no interfieran con tubuladuras, bocas de hombre y sus refuerzos o con cualquier otro accesorio.

Cuando se monten placas de refuerzo rectangulares, en cualquier parte de los tanques, se redondearán las esquinas antes de soldarlas.

### **4.2. Preparación para el transporte**

El Fabricante procederá a la preparación y protección para el transporte de todos los materiales necesarios para el montaje de los tanques y tendrá la precaución de que las chapas que sean conformadas en taller, sean transportadas y colocadas en obra de forma que no sufran deformaciones permanentes.

### **4.3. Montaje y tolerancias**

El montaje de los tanques se realizará de acuerdo con lo especificado en la Norma API 650, y sus apéndices aplicables, así como las normas de la buena práctica dictadas por la experiencia del Contratista en este tipo de instalaciones.

El Fabricante someterá a la aprobación del cliente, el procedimiento de fabricación y montaje que piensa utilizar, antes de su comienzo.

Los cuellos de las tubuladuras, accesos de hombre, casquillos de patas, etc., en techos fijos, flotantes y pantallas flotantes, se soldarán por el interior y exterior (sellado continuo), o a penetración total si fuera más ventajoso.



Todos los elementos soldados a envoltorio serán con soldadura de sello continuo para evitar corrosión de intemperie.

Las cartelas, chapas de refuerzo o apoyo en envoltorio, fondo y techos, elementos de escalera, vigas de rigidez contraviento y otros, se soldarán todo alrededor de su perímetro.

El montaje de los tanques se realizará teniendo en cuenta las tolerancias indicadas en la norma API 650 y las indicadas a continuación:

Una vez completado el montaje de la envoltorio, la desviación en la verticalidad de esta, tomada desde su extremo superior hasta su punto de unión con el fondo, no excederá el 0,5% de la altura total del tanque. Esta tolerancia es la que debe mantenerse durante el montaje de las sucesivas virolas para la altura que se vaya alcanzando.

Además de lo especificado en la norma API 650 para la primera virola, la tolerancia en redondez para cualquier virola, medida a una altura de 300 mm. sobre su soldadura inferior será la siguiente:

- Para tanques de hasta 45 m de diámetro, la diferencia será como máximo lo indicado por el API 650.
- Para tanques de diámetro desde 45 m hasta 75 m, la diferencia será como máximo de 100 mm.
- Para tanques de diámetro mayor de 75 m, la diferencia será como máximo de 125 mm.

Las discontinuidades de dos chapas unidas por soldadura, provocadas por las deformaciones que la operación de soldeo induce en sus extremos, no generarán depresiones o salientes mayores de 12 mm. Esta tolerancia se medirá mediante una regla de 900 mm 1.000 mm de longitud, que sea capaz de adaptarse a la forma de la envoltorio.

No se permitirán deformaciones en el fondo que supongan una desviación en horizontalidad superior a 15 mm.

Durante la progresión del montaje, el Contratista comprobará que la redondez, verticalidad y demás medidas, se encuentran dentro de tolerancias, antes de



montar la siguiente virola. En el caso de encontrarse alguna desviación en tolerancia sobre lo indicado, el Contratista corregirá el defecto, antes de continuar con el montaje de la siguiente virola, por los medios que estime más oportunos.

Los resultados de las operaciones de medida serán enviados conjuntamente con las medidas correctoras. Una vez sea aprobado el procedimiento y éste sea ejecutado, el Contratista procederá de nuevo a la comprobación y se autorizará por escrito el montaje de la siguiente virola, si considera que los resultados obtenidos son satisfactorios.

En caso de que se esperen asentamientos diferenciales, el montaje de los sistemas de calentamiento se realizará después de la prueba hidrostática de los tanques, una vez terminado el período de asentamiento de las bases, con objeto de ajustar convenientemente la altura de soportes al fondo de cada tanque. Previamente a la prueba hidrostática, deberá haberse soldado los refuerzos de los soportes.

En tanques de techo flotante, la superficie de las distintas virolas se mantendrá a paño por el interior.

Si en las soldaduras interiores de la envolvente se detectasen resaltes, estos se esmerilarán suavemente para evitar que se rompa la envoltura de los sellos primarios.

Cuando se requiera alivio de tensiones distinto del exigido por el Código, se indicará en el plano del tanque.

El Fabricante del tanque suministrará la tornillería exterior (pernos y tuercas) y juntas de todas las conexiones bridadas que en operación llevan tapa o válvulas, siempre que éstas últimas sean también de su suministro.

El Fabricante del tanque suministrará la tornillería y juntas de las partes internas que el tanque requiera en operación, siempre que estas partes internas sean también de su suministro.

#### **4.4. Condiciones particulares de soldadura**

Las soldaduras verticales de las virolas de cada tanque, deberán situarse fuera de todas las tubuladuras, accesos de hombre y sus refuerzos.



Para cualquier espesor y material, las costuras principales de envolvente, de envolvente a fondo, entre chapas de anillo perimetral y de tubuladuras, se realizarán a tope y con penetración completa sin utilizar anillo de respaldo, empleando tan solo los procesos de soldeo permitidos por el cliente.

Las soldaduras de fabricación y de los cupones de ensayo realizadas por cada soldador deberán ser marcadas según lo establecido.

#### **4.5. Tratamiento térmico posterior a soldadura (PWHT)**

Los requerimientos de PWHT deberán estar de acuerdo a lo establecido en la norma API 650.

## **5. CONDICIONES PARTICULARES DE INSPECCION Y PRUEBAS**

### **5.1. General**

Los materiales, la fabricación, el montaje y las pruebas de los tanques estarán sujetos a inspección por parte de los inspectores del cliente.

Los requerimientos que se indican en los siguientes apartados para acero al carbono, serán también aplicables para el resto de materiales; a excepción de lo indicado expresamente para Identificación Positiva de Materiales y Análisis Químico.

### **5.2. Controles de Inspección**

A continuación se relacionan los ensayos no destructivos a realizar durante la prefabricación y montaje de los tanques y sus accesorios. Estos controles matizan y amplían los requeridos por la Norma API 650, por lo que deberán considerarse conjuntamente con aquellos en la elaboración del Plan de Puntos de Inspección.

#### **Controles por Ultrasonidos**

En el caso de que las chapas no fueran controladas en origen según lo indicado en el apartado de Materiales, deberá realizarse un control por ultrasonidos en taller, a todas las chapas, de acuerdo con la Norma ASTM A- 578 Nivel B, o UNE 36.100 Gr.A.



## Radiografiado

El radiografiado de uniones soldadas estará de acuerdo con las Normas API 650 ó API 620 (según aplique) y con los requisitos adicionales siguientes:

- Las soldaduras a tope de unión tubo-brida (tubuladuras) y tuberías estarán sujetas a un control radiográfico mínimo del 10%. Cuando no sea posible el radiografiado de dichas uniones, se realizará una inspección por ultrasonidos del 100%.
- La radiografía o película será de 400 x 100 mm. calidad D7 (ó clase 2 según ASTM E-94). Para aceros de alto límite elástico, la calidad será D4 (ó clase 1 según ASTM E-94).
- El número mínimo de radiografías que se tomará en cada tanque será el indicado por el API 650 ó API 620, y con los requisitos adicionales siguientes:
  - Dos radiografías en cada costura vertical de la primera virola cuando el espesor de chapa sea menor
    - de 25 mm.
  - Una radiografía en cada cruce de soldaduras verticales con horizontales de las tres primeras virolas
    - cuando el espesor de la chapa sea menor de 10 mm.
  - Una radiografía por cada costura horizontal de cada chapa.

Asimismo, se realizarán los siguientes controles adicionales en caso de detectarse soldaduras a reparar durante el proceso de fabricación, cumpliéndose en todo caso los criterios mínimos exigidos al respecto por la norma API 650:

- a)** Se realizarán dos radiografías con una longitud mínima de 400 mm a cada lado del defecto detectado, y en la vertical correspondiente si el defecto se encuentra en un cruce de soldaduras.
- b)** En caso de detectarse defectos adicionales en las radiografías anteriores, se realizará un control radiográfico del 20% sobre el total de soldaduras realizadas por el soldador correspondiente, ampliándose al 100% si se apreciaran defectos adicionales.
- c)** En caso de detectarse más de cinco defectos a reparar entre el total de soldaduras realizadas por un soldador determinado, se realizará control radiográfico del 20% sobre el total de soldaduras realizadas por dicho soldador, ampliándose al 100% si se apreciaran defectos adicionales.



## **Controles con Partículas Magnéticas**

- Se efectuará un control adicional mediante partículas magnéticas húmedas en las soldaduras entre chapas del anillo perimetral del fondo, antes del montaje de la primera virola.
- Las soldaduras de unión de la envolvente con el fondo del tanque se inspeccionarán por partículas magnéticas húmedas al 100% por ambos lados antes de la prueba hidrostática.
- Las soldaduras de cuellos de tubuladuras y accesos de hombre a envoltentes de tanques serán inspeccionadas al 100% por el método de partículas magnéticas húmedas, interior y exteriormente, antes de la prueba hidrostática.

## **Control de durezas**

Se realizarán ensayos en todas las costuras verticales y circunferenciales de, al menos, las tres primeras virolas de cada envolvente, cualquiera que sea el material, espesor o método de soldadura utilizado.

Todos los ensayos serán llevados a cabo tanto por el interior como por el exterior del tanque y se efectuarán a pares, uno en el metal depositado y otro en la zona afectada por el calor, lo más cerca posible de la costura (aproximadamente a 0,5 mm.).

Para los cordones verticales se realizarán dos pares de ensayos por cordón, uno por el interior y otro por el exterior.

Para los cordones horizontales se realizarán dos pares de ensayos por cada 15 m de costura circunferencial, incluyendo el cordón de unión de la virola inferior al anillo perimetral del fondo.

Se realizará también un pequeño número de ensayos en la superficie exterior de cada tanque y en otros puntos de interés de la superficie interior (como pueden ser las zonas superficiales reparadas por soldadura o en las que se hayan eliminado soldaduras temporales de accesorios de montaje).

Para los ensayos se utilizará un aparato POLDY o similar, proscribiéndose el uso de aparatos accionados por resorte.

## **Testigos de producción**

Se realizarán dos testigos de producción de envolvente por cada procedimiento de soldadura (manual y automática), y por cada tanque con materiales de alto



límite elástico de cualquier espesor o de acero al carbono con espesores de chapa iguales o superiores a 19 mm, a localizar según las indicaciones del inspector del cliente.

En principio, se ensayará un testigo de producción de cada procedimiento y tanque. A criterio del inspector y en función de los resultados obtenidos en los anteriores testigos, se ensayarán los restantes.

Los ensayos a realizar en los testigos de producción serán los mismos que se realizaron en los PQR que amparan las soldaduras donde se han realizado los testigos.

### **Identificación positiva de materiales y análisis químico**

Los requerimientos a exigir serán marcados por los siguientes criterios específicos:

- En tanques de acero al carbono, se realizarán dos comprobaciones por virola en las chapas, una cada 30m de soldadura circunferencial y dos por virola en soldadura vertical.
- En tanques de acero al carbono de alto límite elástico, se realizarán cuatro comprobaciones por virola en las chapas, una cada 10 m de soldadura circunferencial y cuatro por virola en soldadura vertical.
- Para materiales aleados, se realizará una comprobación por chapa, una cada 10 m de soldadura circunferencial y cuatro por virola en soldadura vertical.

### **Inspección visual**

Se realizará inspección visual en todas las soldaduras para comprobar que se han realizado según requerimientos de diseño y que las superficies de soldadura son adecuadas, sin cavidades de inicio o fin de soldadura, ni porosidades.

## **6. PRUEBAS**

### **6.1. General**

Se efectuarán las pruebas requeridas en la Norma API 650, que sean aplicables al tipo de tanques en cuestión.

Como adición o modificación a lo requerido en el apartado anterior, se efectuará lo siguiente:



Las costuras de los fondos y techos se probarán con caja de vacío y solución jabonosa, antes de la prueba hidrostática. En caso de que se produzcan asientos diferenciales, una vez corregidos estos, se repetirá la prueba en las costuras del fondo. Para los techos, la caja de vacío podrá ser sustituida por prueba neumática, a realizar con el tanque lleno de agua de la prueba hidráulica.

En los cordones en los que sea imposible el empleo de la caja de vacío, prueba neumática o trazador de gas, se sustituirá la prueba por un control con líquidos penetrantes.

Las soldaduras de placas de refuerzo a las envolventes se probarán neumáticamente con solución jabonosa e inyección de aire a 0,7 Kg/cm<sup>2</sup>, antes de la prueba hidrostática.

A no ser que se indique otra cosa en el plano del tanque, las pruebas hidrostáticas se llevarán a efecto con agua dulce.

Con objeto de facilitar el asentamiento de los tanques sobre el terreno, se procederá a llenarlos de agua, como sobrecarga, y vaciarlos, según un programa de tiempo y alturas preestablecidas, en base al informe geotécnico del terreno en la zona de su ubicación.

### ***6.1.1. Pruebas hidrostáticas y prueba del sistema de protección contra incendios***

La prueba hidrostática se efectuará simultáneamente con el llenado del agua, utilizado como sobrecarga de asentamiento, aunque se considerará como operación independiente. Igualmente se aprovechará la prueba hidrostática para verificar las condiciones de flotabilidad de los techos y la estanqueidad del cierre primario, pontones y drenajes del techo.

El programa de pruebas se realizará por el Fabricante de acuerdo con las indicaciones del Jefe de Construcción y criterios del API 650.

No obstante, y a la vista de los asientos reales que se vayan produciendo, el Jefe de Construcción podrá decidir la interrupción de las pruebas e iniciar la renivelación de los tanques si fuese necesario.

Después de la prueba hidrostática de cada tanque, se someterá al sistema de calentamiento interno a la prueba de presión especificada en las hojas de datos



correspondientes y de acuerdo con los requisitos referentes a *Pruebas de presión de equipos y tuberías*.

Asimismo después de la prueba hidrostática, pero antes de llenar los tanques con producto, se realizarán las pruebas del sistema contra incendios de acuerdo a lo establecido en las especificaciones del cliente.

El cliente suministrará la espuma y el equipo de bombeo de la solución de espuma que se requiera para realizar las pruebas.

### **6.1.2. Vaciado y Limpieza**

Una vez finalizadas las pruebas de los tanques, y una vez comprobado que las conexiones del techo están abiertas, se procederá al vaciado y limpieza de los mismos. Se deberá drenar el agua de los tanques y proceder al secado de la superficie en el periodo más corto posible.

A continuación se iniciará la preparación superficial de la superficie exterior e interior (cuando aplique) y la aplicación del aislamiento si fuese requerido.

Los tanques deben quedar finalmente operativos para el llenado de producto.

Igualmente y una vez finalizado el montaje y pruebas, el Fabricante deberá dejar totalmente limpio y libre de material sobrante, el espacio ocupado durante la obra.

### **6.1.3. Reparación de defectos**

Antes de la aceptación del tanque, todos los defectos revelados durante los controles, inspecciones y pruebas, serán reparados a satisfacción de los servicios de inspección de del cliente. A continuación se levantará Acta de Entrega.

## **7. INSTRUMENTACIÓN**

### **7.1. General**

Los tanques dispondrán de la instrumentación que se especifique para los mismos, de acuerdo con las correspondientes hojas de datos, planos y esta Especificación. Todos los instrumentos estarán de acuerdo con las especificaciones de diseño que apliquen.



Como parte del suministro, el Fabricante de los tanques incluirá el montaje de los tubos tranquilizadores y de todos los elementos y accesorios mecánicos necesarios para la instalación de la instrumentación, incluyendo su adecuada sustentación.

## 7.2. Indicadores de temperatura

### Indicadores locales

Todos los tanques tendrán como mínimo un indicador de temperatura tipo termómetro, con 610 mm (24") de longitud de inmersión.

Para que las lecturas sean lo más representativas posibles, los termómetros se colocarán en el tanque en zonas donde el movimiento de fluido sea relativamente grande, tales como las de los agitadores, las de las conexiones de succión, etc.; en cualquier caso, los termómetros deben ser fácilmente accesibles a los operarios.

### Indicadores remotos

Cada tanque dispondrá también de la lectura de temperatura en sala de control.

En aquellos tanques en los que sea necesario disponer de temperatura media del fluido, se instalará un tubo sonda de temperatura.

## 7.3. Instrumentos de nivel

### Transmisores

Según el lugar de instalación y la aplicación, se dispondrá de los siguientes tipos de transmisores:

- Transmisores de nivel de tipo electrónico servo-operado.
- Transmisores de nivel tipo radar

### Indicadores locales

- Para transmisores del tipo servo-operados:

Por cada transmisor se suministrarán dos indicadores digitales receptores de la señal del transmisor con lectura en milímetros. Un indicador será apto para su



montaje a pie de tanque y el otro receptor será apto para su montaje en panel en sala de control.

- Para transmisores con tecnología radar:

Las señales de nivel y temperatura serán transmitidas a la Sala de control a través de un tendido de cable de comunicación (Field bus) con el protocolo que se especifique.

Se dispondrá de indicación digital local (nivel, temperatura) a pie de tanque.

### **Indicadores remotos**

Se dispondrán de los que se requieran en cada caso y el soporte será el requerido por la aplicación.

### **Alarma de muy alto nivel**

En todos los tanques con techo, se instalará una alarma de muy alto nivel, del tipo desplazador o boya con posibilidad de prueba local "proofer" de acuerdo con la Norma API RP 2350 "Overfill Protection for Petroleum Storage Tanks" y criterios establecidos en SCOR N02.

## **8. SISTEMAS DE CALENTAMIENTO**

Los sistemas deberán ser diseñados, fabricados, montados y probados de acuerdo con los requisitos contenidos en las hojas de datos y en los planos correspondientes, así como con los de las especificaciones aplicables.

Se procurará que la distribución de los calentadores y lazos de interconexión sea lo más adecuada para obtener uniformidad en el reparto de calor y buena flexibilidad en las líneas.

Como orientación se prefiere que los calentadores se dispongan radialmente, igualmente espaciados, con sus centros situados en un círculo cuyo diámetro sea el 70% del diámetro del tanque y que la altura de los mismos será mínima (sobre todo en productos bituminosos y en tanques pequeños).

En tanques de diámetro superior a 20 m., el sistema de calentamiento tendrá dos circuitos independientes de calentadores, con una capacidad de calentamiento cada circuito, al menos, el 60% de la total requerida. Cada



circuito tendrá conexiones independientes para su aislamiento y bloqueo desde el exterior de los tanques, y sus calentadores se dispondrán de manera alternada con los del otro circuito.

Con objeto de obtener la máxima capacidad útil del tanque, las conexiones de entrada y salida de los serpentines de calentamiento con vapor se situarán lo más bajas posibles, y se colocarán de forma que la de entrada quede por encima del punto más alto del serpentín y la de salida por debajo del punto más bajo del serpentín, con el objeto de permitir el drenaje del sistema.

Cuando se requieran sistemas de calentamiento dentro del alcance del suministro del Fabricante de los tanques, se incluirá lo siguiente:

- Diseño térmico y mecánico de los sistemas de calentamiento (hoja de datos y cálculos).
- Acopio de los calentadores definidos en las respectivas hojas de datos.
- Acopio de la tubería y accesorios que constituyen los lazos de alimentación e interconexión de los calentadores de cada tanque, incluyendo los soportes del sistema, placas de apoyo sobre los fondos de los tanques y purgadores necesarios.
- Prefabricación y montaje de todo el sistema, incluyendo las conexiones de entrada y salida a los tanques.
- Las soldaduras de taller serán radiografiadas al 10% y las soldaduras realizadas en el interior del tanque al 100%.
- Pruebas hidrostáticas de los sistemas, incluyendo las posibles reparaciones en caso de detectarse fugas durante las pruebas.

No se permitirán uniones bridadas dentro del tanque; todas las uniones serán soldadas a penetración total.

Los tubos y sus accesorios serán como mínimo de Sch.80, en acero al carbono. Para otros materiales se indicará el diseño específico correspondiente.

La tubería interior de interconexión entre calentadores será con pendiente entre las conexiones de entrada y salida para que el sistema sea autodrenante.



## 9. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

### 9.1. General

El diseño completo y definitivo será realizado por un Contratista competente en protección contra incendios.

El alcance del suministro comprenderá tanto el diseño y planos constructivos como el acopio de materiales, prefabricación, galvanizado y pintado de todas las piezas del sistema, transporte, montaje y pruebas.

La sustentación de las tuberías ascendentes de alimentación se realizará mediante ménsulas con refuerzo y abarcones en lugar de pletinas soldadas a la tubería y envolvente.

### 9.2. Sistema de refrigeración

El fabricante de los tanques incluirá en su suministro, cuando sea requerido, un sistema de refrigeración de agua conectado a la red contra incendios y que por medio de un anillo periférico de tubería con rociadores, situado en la parte superior de la envolvente, refrigerare ésta en caso de siniestro, con agua pulverizada.

Cada sistema podrá estar constituido por varios sectores de anillos distribuidores periféricos, en función del escenario de incendio más desfavorable, bridados e independientes, alimentados por circuitos independientes.

Cada sector distribuidor estará alimentado en su punto medio por un colector ascendente, y que comenzará en una brida situada a una altura de 2 m desde el fondo del tanque.

El fabricante del tanque facilitará el sistema de soportado tanto de los distribuidores como de los colectores ascendentes.

### 9.3. Sistema de espuma

El diseño y ubicación de las cámaras de espuma se realizará de forma que sean accesibles para su mantenimiento desde el propio techo de los tanques y/o desde plataformas que lo permitan, sin necesidad de tener que montar andamios u otros medios auxiliares.



## 10. PROTECCIÓN SUPERFICIAL

Los tanques se pintarán interior y exteriormente de acuerdo con las especificaciones del cliente.

Independientemente de lo indicado en estas especificaciones, en la Requisición de cada tanque se determinará con exactitud el tipo de pintura a aplicar y número de capas, tanto en imprimación como en acabado, interna y externamente.

## 11. BASES DE TANQUES Y DEPÓSITOS

El diseño y fabricación de las bases para asiento de tanques y depósitos de retención, así como el sistema de detección de fugas en caso de ser especificado, se ajustarán a lo establecido en la norma API 650, y planos estándar asociados.

En caso de ser requerida protección catódica, se seguirá lo establecido en la especificación API RP 651.

## 12. DOCUMENTACIÓN A PRESENTAR POR EL FABRICANTE

La documentación a presentar por el Fabricante estará constituida por lo siguiente:

### 12.1. Documentos de diseño

En fase de oferta: los documentos indicados en la Requisición de Petición de Oferta y lo específicamente solicitado en esta Especificación.

En fase de pedido: el Fabricante del tanque deberá entregar, los documentos siguientes:

- a) Plano de conjunto, que deberá indicar, como mínimo:
- Fluidos de servicio
  - Notas sobre servicios especiales, si procede.
  - Presión parcial de H<sub>2</sub>, si procede.
  - Códigos de diseño y construcción utilizados.
  - Presión y temperatura de diseño y operación.
  - Temperatura mínima de diseño de metal.



- Especificación de materiales.
- Sobreespesor por corrosión.
- Detalles de soldadura de las partes del tanque, con sus números de WPS.
- P.W.H.T, si se requiere.
- Ensayos no destructivos.
- Presión de prueba, inicial y periódica.
- Temperatura mínima de prueba de presión.
- Vacío que es capaz de resistir.

**b)** Planos de detalle

**c)** Hojas de datos revisadas, si procede.

**d)** Cálculos mecánicos

**e)** Cálculos de pérdidas de evaporación en sellos

**f)** Procedimientos de soldadura (WPS)

**g)** Mapa de soldaduras

**h)** Homologaciones de procedimientos de soldadura (PQR/WPAR)

**i)** Especificaciones de ensayos no destructivos aplicables

**j)** Plan de calidad y/o Plan de puntos de inspección

**k)** Lista de subcontratistas y subproveedores

## 12.2. Documentos de fabricación

A la entrega del tanque el Fabricante deberá suministrar, al menos, la siguiente información:

**a)** Manual de Diseño, que deberá incluir, como mínimo:

- Identificación del Diseñador.
- Datos básicos de proceso para el diseño.
- Código de diseño y/ o sistema de cálculo.
- Cálculos justificativos.
- Especificaciones técnicas complementarias no incluidas en el código utilizado.
- Planos básicos, con indicación de los materiales a emplear y de los elementos que por formar parte integrante del tanque, puedan afectar a la seguridad del mismo.
- Especificación de prueba hidráulica.

**b)** Manual de Construcción, que deberá incluir:



- N° de inscripción del Fabricante en el oportuno Organismo oficial.
- Nombre y razón social de la Ingeniería.
- Planos constructivos complementarios a los recogidos en el Manual de Diseño.
- Procedimientos de conformado, soldadura, tratamientos térmicos y controles.
- Plano de situación de las zonas sometidas a control por ensayos no destructivos y resultados.

**c) Dossier de calidad, que incluirá:**

- Certificado de fabricación.
- Listado de modificaciones y concesiones autorizadas.
- Informes de no conformidad.
- Certificados de materiales e informes de pruebas de los mismos.
- Homologación de procedimientos de soldadura.
- Cualificación de soldadores.
- Plan de calidad / puntos de inspección.
- Informe de reparaciones.
- Informes de tratamientos térmicos.
- Certificado de inspecciones y pruebas realizadas.
- Certificado de prueba hidráulica.
- Certificado de dimensionado y tolerancias.
- Placa de características (de acuerdo con PE-D-0100.01)
- Lista de equipos y materiales sometidos a reglamentación o certificados por terceros.
- Documentos de aprobación reglamentarios o certificados de terceros.

**d) Cualquier otra información que a petición de Organismos Oficiales puedan requerirse para la legalización del tanque en su lugar de instalación.**



## **BLOQUE 1 B: DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO**

---

En el presente bloque se presentarán cálculos justificativos del diseño mecánico del tanque, tanto en lo que se refiere a espesores de envolvente, fondo y techo, como a los estructura de soporte de éste, vigas de rigidez (si se requieren), cálculos de estabilidad debida a viento y sismo, análisis de requerimientos de anclaje, etc.

### **13. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DEL TANQUE**

Antes de entrar el diseño y cálculo del tanque de almacenamiento, se deberán proporcionar unos datos mínimos y cierta información necesaria para llevar a cabo el proyecto. La información mínima requerida (condiciones de operación y de diseño) es:

- volumen,
- temperatura,
- peso específico del líquido,
- corrosión permisible,
- coeficientes sísmicos de la zona, etc.

Dado que quien solicita la construcción del tanque es el que conoce con exactitud las características tanto del fluido que desea almacenar y como del lugar donde se ha de instalar, el fabricante no deberá suponer estas condiciones, y si así fuera, el fabricante tiene la obligación de informar al usuario, quien tiene la responsabilidad de autorizar o no las condiciones expuestas por la compañía constructora. Así también el usuario establecerá la magnitud y dirección de las cargas externas que pudieran ocasionar deformaciones en el tanque, con el fin de diseñar los elementos involucrados con este. En este caso, definiremos inicialmente las características del tanque necesarias para el diseño para posteriormente llevar a cabo el desarrollo y cálculos del mismo.

El sobre espesor por corrosión que especificará el usuario se incluirá en cuerpo, fondo, techo y estructura, y sólo se agrega al final del cálculo de cada uno de los elementos del tanque, debido a que la agresividad química no es lo mismo para el fluido en estado líquido o gaseoso y en algunos casos hasta para los lodos. El usuario (en este caso nosotros) podrá especificar el material a utilizar en el tanque, así como el de sus componentes. El fabricante y/o diseñador

podrá sugerir los materiales recomendables en cada caso para que el usuario los apruebe.

El fabricante tiene la obligación de cumplir con todas las especificaciones y Normas que marca el estándar y que acuerde con el usuario, las cuales serán supervisadas y evaluadas por el personal que designe el usuario.

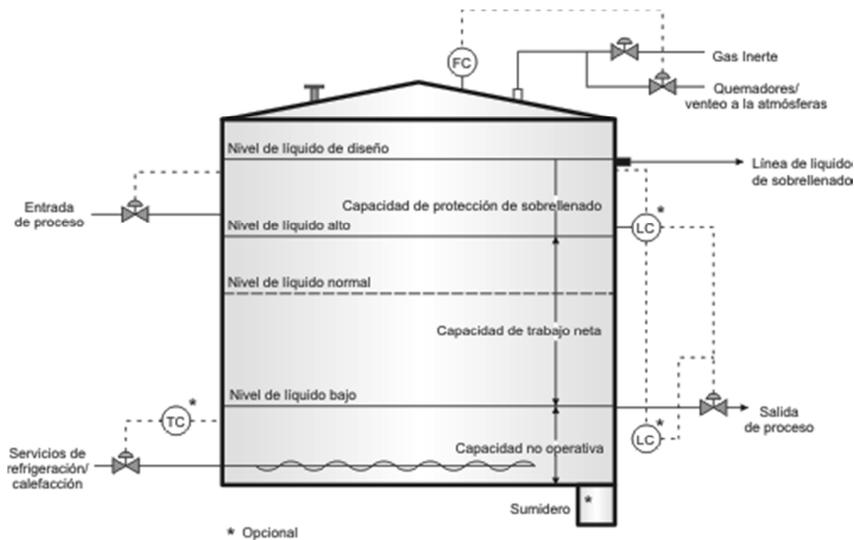


Fig 1: Tanque API para almacenaje de hidrocarburos.

## 14. CONSIDERACIONES PREVIAS AL DISEÑO

### A) Volumen de tanque necesario:

El tanque a diseñar en nuestro proyecto, como ya indicamos en la definición del mismo, debe ser capaz de almacenar, al menos, la cantidad de gasóleo suficiente como para suministrar el combustible necesario para la operación de un ciclo combinado de 2x1 de 800 MW.

Lo primero que necesitamos conocer para determinar el volumen mínimo del depósito será el consumo de gasóleo a plena carga en caso de una situación en que falle el suministro de gas natural, combustible principal de la central de ciclo combinado.

Para garantizar el suministro durante 24 horas, procedemos a calcular la capacidad de almacenamiento necesaria para nuestro tanque así como su volumen estándar.



Considerando los gastos de la central de ciclo combinado, encontramos lo siguiente:

- 1/3 de la potencia total la proporciona la turbina de vapor, y 2/3 provienen de las dos turbinas de gas ( $E=533$  MW).
- El rendimiento eléctrico de las turbinas de gas es  $\eta_{el} = 35\%$
- El PCI del gasoil es 42000 kJ/kg

Teniendo en cuenta estos datos, obtenemos el consumo de gasoil de las turbinas de gas. Esto es:

$$\dot{m} = \frac{E}{\eta_{el} \times PCI} = \frac{533000}{0,35 \times 42000} = 36,3 \frac{kg}{s}$$

Considerando una densidad a 15º centígrados de 0,849 ton/m<sup>3</sup> según indica la tabla de características del combustible adjunta en el siguiente apartado, esto nos ofrece un volumen para la cantidad que necesitamos de:

$$V_{\text{útil}} = \frac{\dot{m}}{\rho} \times \Delta t = \frac{36,3}{849} \times (24 \times 3600) = 3690 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta por último un nivel máximo de llenado del 85% y un nivel mínimo del 20%, el volumen total del tanque será

$$V_{\text{total}} = \frac{V_{\text{útil}}}{(0,85 - 0,2)} = \frac{3690}{0,65} = 5677 \text{ m}^3$$

Consideraremos por tanto un volumen estándar que se encuentre en el orden de los 5.700 m<sup>3</sup>.

Una vez establecido el orden de magnitud del volumen del depósito, estamos en disposición de determinar las dimensiones principales del mismo, esto es la **altura y el diámetro**, que nos ofrecerán el volumen requerido. Una herramienta para determinar estas dimensiones consiste en utilizar la "Tabla A-1a" de la norma API 650 (que usaremos a lo largo de todo el diseño). En concreto, encontramos que para nuestro depósito, según las indicaciones consideradas para el volumen que necesitamos, podremos tomar las siguientes:

<b>Diámetro del tanque</b>	24 metros
<b>Altura del tanque</b>	12,6 metros
<b>Volumen total</b>	5.700 m <sup>3</sup>



Table A-1a—(SI) Typical Sizes and Corresponding Nominal Capacities ( $m^3$ )  
for Tanks with 1800-mm Courses

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9	Column 10	Column 11
Tank Diameter m	Capacity per m of Height $m^3$	Tank Height (m) / Number of Courses in Completed Tank								
		3.6 / 2	5.4 / 3	7.2 / 4	9 / 5	10.8 / 6	12.6 / 7	14.4 / 8	16.2 / 9	18 / 10
3	7.07	25	38	51	64	76	—	—	—	—
4.5	15.9	57	86	115	143	172	—	—	—	—
6	28.3	102	153	204	254	305	356	407	—	—
7.5	44.2	159	239	318	398	477	557	636	716	795
9	63.6	229	344	458	573	687	802	916	1,031	1,145
10.5	86.6	312	468	623	779	935	1,091	1,247	1,403	1,559
12	113	407	611	814	1,018	1,221	1,425	1,629	1,832	2,036
13.5	143	515	773	1,031	1,288	1,546	1,804	2,061	2,319	2,576
15	177	636	954	1,272	1,590	1,909	2,227	2,545	2,863	3,181
18	254	916	1,374	1,832	2,290	2,748	3,206	3,664	4,122	4,580
										<i>D = 18</i>
21	346	1,247	1,870	2,494	3,117	3,741	4,364	4,988	5,089	—
24	452	1,629	2,443	3,257	4,072	4,886	5,700	5,474	<i>D = 20</i>	—
27	573	2,061	3,092	4,122	5,153	6,184	6,690	<i>D = 22</i>	—	—
30	707	2,545	3,817	5,089	6,362	7,634	<i>D = 26</i>	—	—	—
36	1,018	3,664	5,497	7,329	9,161	<i>D = 30</i>	—	—	—	—

Tabla 5: Tamaños norm. para tanques y su correspondencia con capacidades nominales ( $m^3$ )

B) Temperatura: El tanque es atmosférico, y el almacenamiento de gasóleo es a temperatura ambiente. En el emplazamiento previsto, no es necesario proteger con aislamiento térmico la superficie exterior. En este caso, la temperatura de diseño del tanque es de  $75^{\circ}\text{C}$  y la temperatura de operación es la ambiente.

C) Peso específico del líquido: a continuación pasamos a detallar no sólo el peso específico del gasóleo ( $0,849 \text{ Tm}/m^3$ ) para el que se diseña el tanque sino otras características de interés del mismo:



Características	Unidad	Media	Especificado
Densidad a 15°C	ton/m <sup>3</sup>	0,849	<0,9
Color		Azul	Azul
Azufre	%		<0,05
Destilación			
65%	°C	306	>250
80%	°C	332	<390
95%	°C	378	Anotar
Viscosidad a 40°C		3,03	<7
P. inflamación	°C	67	>60
P.O.F.F.	°C	-13,5	-6
Punto enturbiamiento	°C	2,3	4
R. Carbonoso MCRT	%	0,09	<0,35% peso
Agua y sedimentos	% v/v	0,07	<0,1
Agua	mg/kg	0,07	
Poder calorífico superior	kcal/kg	10.860	
Poder calorífico inferior	kcal/kg	10.209	

Tabla 6: características físicas del hidrocarburo a almacenar

- D) Corrosión permisible (C.A.): consideraremos una corrosión permisible de 1,6 mm.
- E) Coeficientes de viento y sísmicos de la zona: los trataremos más adelante en el apartado de Cálculo por sismo y viento.
- F) Materiales: Para el mejor diseño, cálculo y manufactura de tanques de almacenamiento es importante seleccionar el material adecuado dentro de la variedad de aceros que existen en el mercado.

Considerando los materiales más usados con su aplicación, seleccionamos los siguientes:

<b>Fondo</b>	S235JR EN 10025-2
<b>Cuerpo</b>	S235JR EN 10025-2
<b>Techo</b>	S235JR EN 10025-2

Pues según podemos leer, el acero S235JR EN 10025-2 (placas de acero al carbono con medio y bajo esfuerzo a la tensión); es el más empleado para espesores iguales o menores a 25 mm. (1 pulg.), porque se puede emplear tanto para perfiles estructurales como para la pared, techo, fondo y accesorios del tanque.

Para el resto de elementos del depósito, optaré por los siguientes materiales:



<b>Perfiles :</b>	<b>ASTM A 36</b>
<b>Accesorios soldables :</b>	<b>SA 234 WPB</b>
<b>Tuberías :</b>	<b>SA 106 Gr. B</b>
<b>Bridas :</b>	<b>SA 105</b>
<b>Empaques :</b>	<b>SPIRAL WOUND - SS 316</b>
<b>Espárragos :</b>	<b>ASTM A 193 Gr. B</b>
<b>Tuercas :</b>	<b>ASTM A 194 Gr. 2H</b>

### G) Sismicidad y condiciones climatológicas

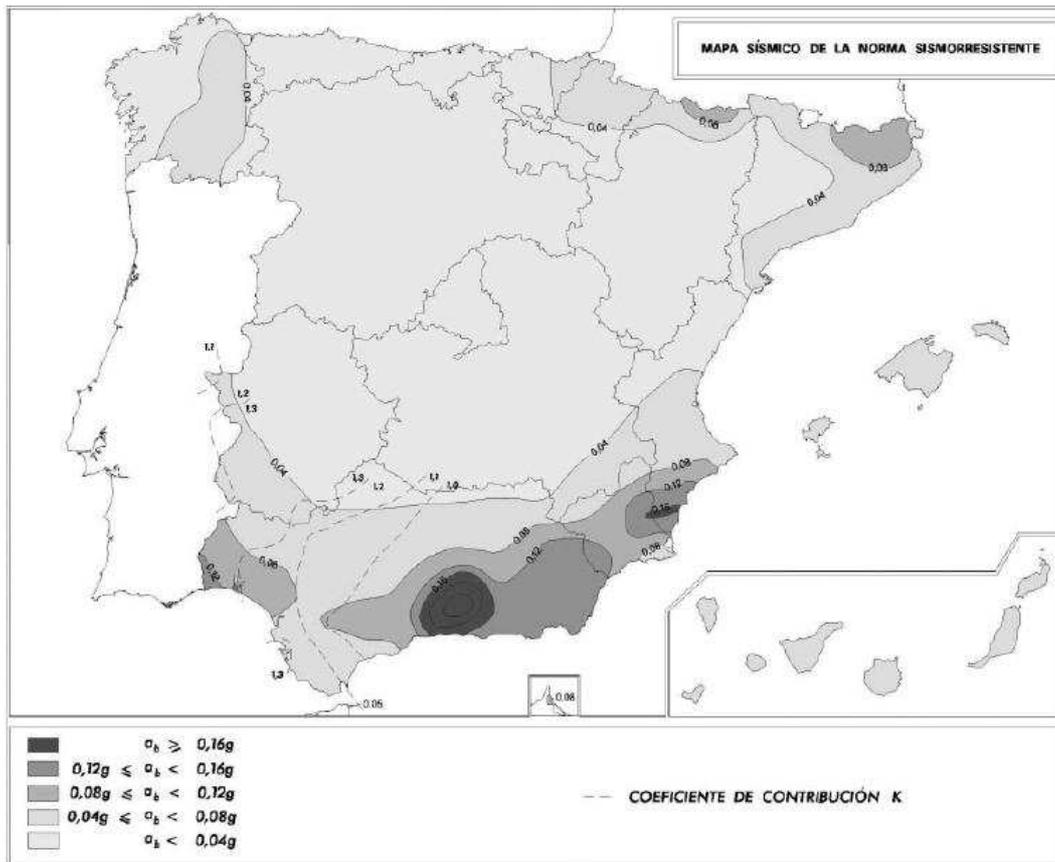


Fig.2: Mapa sísmico de la norma sismorresistente



Inicio > Servicios climáticos > Datos climatológicos > Valores normales

### Valores climatológicos normales. San Javier Aeropuerto

Periodo: 1971-2000 - Altitud (m): 4

Latitud: 37° 47' 20" N - Longitud: 0° 48' 12" O - Posición: Ver localización ▶

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	10.6	15.9	5.2	38	73	4	0	1	1	2	8	163
Febrero	11.6	16.9	6.3	26	70	3	0	1	1	1	6	166
Marzo	12.9	18.1	7.6	29	70	4	0	0	1	0	7	194
Abril	14.6	19.9	9.3	25	67	3	0	1	1	0	6	206
Mayo	17.6	22.4	12.9	31	70	3	0	2	1	0	6	253
Junio	21.3	25.7	17.0	11	70	2	0	1	0	0	10	261
Julio	24.1	28.4	19.9	6	71	1	0	1	0	0	14	284
Agosto	24.9	29.0	20.8	8	73	1	0	1	0	0	11	259
Septiembre	22.7	27.3	18.2	34	73	2	0	2	0	0	7	212
Octubre	18.7	23.4	14.0	55	73	4	0	2	1	0	5	193
Noviembre	14.6	19.6	9.7	43	73	4	0	1	1	0	6	163
Diciembre	11.7	16.8	6.6	33	74	4	0	1	1	1	7	146
Año	17.1	22.0	12.3	339	71	33	0	13	9	4	91	2500

#### Leyenda

- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)
- H Humedad relativa media (%)
- DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH Número medio mensual/anual de días de helada
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

Tabla 7: valores climatológicos normales de la zona de estudio

Localización de toma de datos climatológicos

San Javier Aeropuerto

Latitud

37° 47' 20" N

Longitud

0° 48' 12" O

Altitud

4 m

Variable	Anual
Racha máx. viento: velocidad y dirección (Km/h)	Vel 134, Dir 360 (28 ene 1951 13:05)

Variable	Anual
Tem. máx. absoluta (°C)	40.5 (12 jul 1961)

Variable	Anual
Tem. mín. absoluta (°C)	-5.4 (26 dic 1970)



## 15. CÁLCULO DEL ESPESOR DEL TANQUE

### 15.1. Consideraciones respecto a los espesores del cuerpo

El espesor de la pared del cuerpo requerido para resistir la carga hidrostática será mayor que el calculado por condiciones de diseño o por condiciones de prueba hidrostática, pero en ningún caso será menor a lo que se muestra en la siguiente tabla.

Diámetro nominal en metros	Espesor mínimo en milímetros
< 15.24	4.76
15.24 < 36.576	6.35
36.576 < 60.96	7.93
> 60.96	9.52

Tabla 8: espesor mínimo de placa dado el diámetro nominal del tanque

**En nuestro caso, al contar con un diámetro de tanque de 24 metros, nunca emplearemos placas de menos de 6,35 milímetros.**

El espesor de la pared por condición de diseño, se calcula con base al nivel del líquido, tomando la densidad relativa del fluido establecido por el usuario. El espesor por condiciones de prueba hidrostática se obtiene considerando el mismo nivel de diseño, pero ahora utilizando la densidad relativa del agua.

Cuando sea posible, el tanque podrá ser llenado con agua para la prueba hidrostática, pero si esto no es posible y el cálculo del espesor por condiciones de prueba hidrostática es mayor que el calculado por condiciones de diseño, deberá usarse el obtenido por condiciones de prueba hidrostática.

El esfuerzo calculado de la carga hidrostática para cada anillo no deberá ser mayor que el permitido por el material y su espesor no será menor que el de los anillos subsecuentes.

El esfuerzo máximo permisible de diseño ( $S_d$ ) y de prueba hidrostática ( $S_t$ ), se muestra en la tabla 2.3, recomendado por el estándar API 650 en el diseño de tanques de almacenamiento.



ESPECIFICACION	GRADO	ESFUERZO EN PUNTO CEDENCIA	ESFUERZO A LA TENSION	ESFUERZO DE DISEÑO	ESFUERZO DE PRUEBA
ASTM					
A-283	C	2110	3870	1410	1580
A-285	C	2110	3870	1410	1580
A-131	A,B,CS	2360	4080	1600	1750
A-36		2530	4080	1630	1750
A-131	EH98	2580	4990	1200	2140
A-442	55	2110	3870	1410	1580
A-442	60	2250	4220	1500	1690
A-573	58	2250	4080	1500	1690
A-573	65	2460	4570	1640	1850
A-573	70	2950	4920	1970	2110
A-516	55	2110	3870	1410	1580
A-516	60	2250	4220	1500	1690
A-516	65	2460	4570	1640	1850
A-516	70	2870	4920	1780	2000
A-662	B	2810	4570	1830	1960
A-662	C	3020	4920	1970	2110
A-537	1	3510	4920	1970	2110
A-537	2	4220	5620	2250	2410
A-683	C,D	3510	4920	1970	2110
A-678	A	3510	4920	1970	2110
A-678	B	4220	5620	2250	2410
A-737	B	3510	4920	1970	2110

Tabla 9: esfuerzos de diseño en función del material especificado

Volviendo a nuestro caso, para el material elegido (acero S235JR EN 10025-2), encontramos:

- esfuerzo de diseño:  $1410 \text{ kg/cm}^2$
- esfuerzo de prueba hidrostática:  $1580 \text{ kg/cm}^2$ .

Por otro lado, también tenemos que considerar las medidas de las placas que vamos a utilizar, en nuestro caso serán de:

- Ancho: 182,9 cm
- Largo: 609,6 cm

## 15.2. Cálculo de los espesores del cuerpo por el método de un pie

Para estos tanques se utiliza el método del pie menos uno. A continuación haremos una transcripción de este método extraída de la norma para el caso de nuestro tanque: Cálculo de los espesores de los anillos o virolas por el método" del pie menos uno".

Este método no puede usarse cuando el diámetro del tanque es mayor a 60,96 m.

El espesor mínimo requerido de cada anillo o virola del cuerpo cilíndrico es el mayor entre los dos valores obtenidos de las siguientes ecuaciones:



$$t_d = \left( \frac{0,0005 \times D \times (H - 30,48) \times G}{S_d} \right) + C$$

$$t_t = \left( \frac{0,0005 \times D \times (H - 30,48)}{S_t} \right) + C$$

Dónde:

$t_d$  = Espesores por condiciones de diseño de un anillo o virola del cuerpo cilíndrico (*mm*)

$t_t$  = Espesor por prueba hidrostática de un anillo o virola del cuerpo cilíndrico (*mm*)

$D$  = diámetro nominal del tanque (*cm*)

$H$  = altura de diseño del nivel de producto almacenado medido desde el fondo del tanque (*cm*)

$G$  = densidad relativa del producto almacenado

$C.A.$  = sobrespesor de corrosión en cada anillo o virola del cuerpo cilíndrico (*mm*)

$S_d$  = esfuerzo permisible condición diseño del material del anillo o virola ( $kg/cm^2$ )

$S_t$  = esfuerzo permisible condición test hidrostático del material del anillo o virola ( $kg/cm^2$ )

◦ Cálculo del primer anillo:

El espesor por condiciones de diseño:

$$\begin{aligned} t_d &= \left( \frac{0,0005 \times D \times (H - 30,48) \times G}{S_d} \right) + C \\ &= \left( \frac{0,0005 \times 2400 \times (1260 - 30,48) \times 1}{1410} \right) + 0,16 = 1,21 \text{ cm} \end{aligned}$$



El espesor por prueba hidrostática:

$$t_t = \left( \frac{0,0005 \times D \times (H - 30,48)}{S_t} \right) + C$$

$$= \left( \frac{0,0005 \times 2400 \times (1260 - 30,48)}{1580} \right) + 0,16 = 1,09 \text{ cm}$$

Luego para el primer anillo, el espesor de placa a utilizar será el estándar inmediato superior a la mayor de las medidas (12,06 mm en nuestro caso), es decir: **12,70 mm**

◦ Cálculo del segundo anillo: para los anillos subsiguientes haremos el mismo procedimiento pero disminuyendo del parámetro H la anchura estándar de las placas que vamos a emplear, es decir, 182,9 cm cada vez. Tanto el en cálculo del espesor por prueba hidrostática como por condiciones de diseño. Igualmente, tomaremos el valor mayor y adoptaremos el espesor estándar inmediato superior a dicha medida.

Implementando la fórmula en una hoja de cálculo ambas fórmulas, obtenemos los espesores de placa de los distintos anillos:

Anillo nº	$t_d$ (cm)	$t_t$ (cm)	Espesor estándar
1	1,2064	1,0938	12,70 mm
2	1,0507	0,9549	11,11 mm
3	0,8951	0,8160	9,52 mm
4	0,7394	0,6771	7,94 mm
5	0,5838	0,5382	6,35 mm (min)
6	0,4281	0,3993	6,35 mm (min)
7	0,2724	0,2603	6,35 mm (min)

Tabla 10: espesores de placa en cada virola.

Fijémonos en que a partir del 5º anillo hemos tenido que emplear la medida de espesor de 6,35 mm, ya que era el valor mínimo que permite la norma.



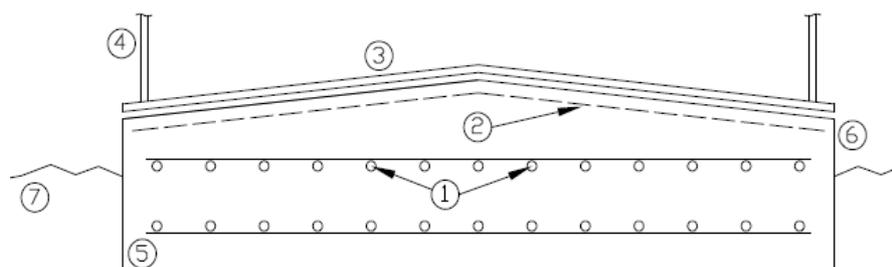
### 15.3. Cálculo y selección del espesor del fondo

Todos los tanques cuyo diámetro exceda de 8 m, como es nuestro caso, dispondrán de una corona de chapa perimetral en el fondo, de 10 mm de espesor mínimo, diseñada de acuerdo con los requisitos de la Norma API 650.

El resto del fondo, independientemente del diámetro del tanque, se construirá con chapas unidas por solape soldado de sus piezas, de acuerdo con las indicaciones de la Norma API 650; el fondo dispondrá además de una inclinación mínima de 1:100 a partir del centro del tanque (punto alto) hacia la pared exterior, excepto en los casos de almacenamiento de combustibles para aviación, cuyos tanques dispondrán de una pendiente del fondo más pronunciada y dirigida hacia el centro (punto bajo).

Se montarán chapas de refuerzo sobre el fondo de los tanques en puntos donde haya concentración de cargas, como calentadores, patas fijas, patas de techos, aspiraciones flotantes, etc. En general y salvo que expresamente se indique otros valores, el tamaño de estas chapas de refuerzo será, como mínimo, el doble de la dimensión mayor del soporte y el espesor será, como mínimo, de 10 mm.

Asimismo, se montarán chapas de refuerzo en las áreas de entrada y salida de producto cuando las correspondientes conexiones tengan codo interior dirigido hacia el fondo o tubería interior hasta el fondo y bajo el tubo interior de la toma de muestras.



1. Armadura.	3. Pendiente obligada del fondo.	5. Bancada de hormigón.	7. Suelo.
2. Ranuras radiales.	4. Virola de pared del tanque.	6. Salida del drenaje	

Fig.3: Corte transversal del fondo del tanque



Entrando de lleno en el diseño del fondo de los tanques de almacenamiento, este depende de una serie de factores que hacen que la resistencia permisible del suelo deberá ser por lo menos de  $1,465 \text{ kg/cm}^2$ .

Teóricamente, una placa delgada de metal calibre 16. (1.52) o menor es capaz de soportar la flexión y la carga de compresión que se genera en la periferia del fondo por el peso del cuerpo que descansa sobre esta sección, pero para prevenir deformaciones al soldar, se usarán placas que tengan un **espesor mínimo nominal de 6.3mm.**,  $49.8 \text{ kg/m}^2$  excluyendo cualquier corrosión permisible especificada por el usuario.

El fondo tendrá que ser de un diámetro mayor que el diámetro exterior del tanque, por lo menos, 51mm. (2 pulg.) más en el ancho del filete de soldadura de la unión entre cuerpo y el fondo.

Las placas con las que se habilite el fondo deberán tener preferentemente un ancho de 1,829 mm con una longitud comercial que el fabricante obtenga en el mercado, la cual pueda manejar en su taller o en campo sin problemas.

El espesor de la placa anular no será menor al listado en la tabla 11 más la corrosión permisible especificada. La forma exterior de la placa anular debe ser circular y por el interior tendrá la forma de un polígono regular con el número de lados igual a la cantidad de segmentos que conforman el anillo.

Espesor Mínimo (mm) del Primer Anillo del Cuerpo	Esfuerzo Calculado para Prueba Hidrostática en el Primer Anillo del Cuerpo ( $\text{Kg/cm}^2$ )			
	<1989	<2109	<2320	<2530
$t < 19.05$	6.35	6.35	7.14	8.73
$19.05 < 25.4$	6.35	7.14	9.52	11.11
$25.4 < 31.75$	6.35	8.73	11.91	14.28
$31.75 < 38.10$	7.93	11.11	14.28	17.46
$38.10 < 44.45$	8.73	12.7	15.87	19.05

Tabla 11: esfuerzos para prueba hidrostática en función del espesor mín.

El espesor nominal de la placa está en referencia a la construcción del tanque. El espesor especificado está basado en los requerimientos de elección.

A continuación, empleando la misma fórmula utilizada para el cálculo de espesores del cuerpo por el método de un pie y considerando inicialmente el espesor inmediatamente inferior al de la placa empleada en el primer anillo del cuerpo, obtenemos lo siguiente:



$$S_h = \left( \frac{0,0005 \times D \times (H - 30,48) \times G}{t} \right)$$
$$= \left( \frac{0,0005 \times 2400 \times (1260 - 30,48) \times 1}{1,111} \right) = 1328,01 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo hidrostático está por debajo del permisible, con lo que el espesor nominal a usar en el fondo será: 11,11 mm

## 16.DISEÑO Y CÁLCULO DE TECHOS

### 16.1. Consideraciones generales sobre el cálculo de techos

Los tanques de almacenamiento pueden clasificarse por el tipo de cubierta en:

- De techos fijos
- De techos flotantes
- Sin techo.

Dentro de los techos fijos tenemos tres tipos:

- Cónicos (se trata de una cubierta con la forma y superficie de un cono recto)
- de cúpula (consiste en una cubierta con forma de casquete esférico)
- de sombrilla (la cubierta en este caso es un polígono regular curvado por el eje vertical)

Los cuales pueden ser a su vez: autoportados o soportados por estructura (para el caso de techos cónicos de tanques de gran diámetro).

Los techos autoportados ya sean tipo cónico, domo, o sombrilla, tiene la característica de estar apoyados únicamente en su periferia, calculados y diseñados para que su forma geométrica, en combinación con el espesor mínimo requerido, absorban la carga generada por su propio peso más las cargas vivas, a diferencia de los techos soportados que contarán con una estructura que admita dichas cargas.

Independientemente de la forma o el método de soporte, los techos son diseñados para soportar una carga viva de por lo menos,  $1,76 \text{ kg/cm}^2$ , más la carga muerta ocasionada por él mismo.

Las placas del techo tendrán un espesor mínimo nominal de 4.7 mm (3/16 pulg) o lámina calibre 7. Un espesor mayor puede ser requerido para el caso de



techos auto-soportados; la corrosión permisible puede ser incluida al espesor calculado a menos que el usuario especifique su exclusión, lo que es válido también a los techos soportados.

Todos los miembros estructurales internos y externos de techos soportados tendrán un espesor mínimo nominal de 4.32 mm. (0.17 pulg) en cualquier componente de estos. La inclusión de la corrosión permisible será acordada entre el usuario y el fabricante.

Las placas del techo se sujetarán al ángulo superior del tanque (anillo de coronamiento), con un cordón de soldadura continuo sólo por la parte superior, aunque éste sea soportado.

## **16.2. Selección del techo para nuestro tanque**

Los techos cónicos auto-soportados son empleados en tanques relativamente pequeños. Este tipo de techo consiste en un cono formado de placas soldadas a tope, el cual por su forma física, además de confirmar mediante un análisis de flexión basado en la teoría de placas, es capaz de sostenerse sin ningún elemento estructural y únicamente soportado en su periferia por el perfil de coronamiento.

Estos techos son diseñados y calculados para tanques que no exceden de un diámetro de 18,29m. (60 pies), pero es recomendable fabricar estos en un diámetro máximo de 12,19m (40 pies). Teniendo en cuenta que nuestro tanque tiene un diámetro de 24,00 m descartamos esta opción.

Los techos cónicos soportados se usan generalmente para tanques de un relativo gran diámetro, por el tamaño de nuestro tanque, podríamos considerarlo apto para instalar este tipo de techo.

A continuación detallamos el diseño y cálculo de nuestro techo según la opción considerada.

## **16.3. Diseño y cálculo de techos cónicos soportados**

### ***16.3.1. Consideraciones generales***

Los techos cónicos soportados consisten en un cono formado a partir de placas soldadas a traslape, soportadas por una estructura, compuesta de columnas, traveses y largueros. Las traveses formarán polígonos regulares múltiplos de cinco y



en cada arista de estos se colocará una columna. Los polígonos compuestos por traveses se encargarán de soportar los largueros.

Las juntas de las placas del techo estarán soldadas a traslape por la parte superior con un filete continuo a lo largo de la unión, la cual tendrá un ancho igual al espesor de las placas. La soldadura del techo, con el perfil de coronamiento, se efectuará mediante un filete continuo de 4.76mm.

Por especificación, nuestro techo soportado tendrá un espesor de 4.76mm ( $37.4 \text{ kg/cm}^2$ )

La pendiente del techo que adoptaremos será la recomendable, es decir, una pendiente de 19 en 305mm ( $3,6^\circ$ ).

Usualmente la geometría de la estructura del techo es la siguiente; polígonos de traveses circunscritos al anillo del casco y una columna central los cuales soportan los largueros y estos a su vez las láminas del techo (ver figura siguiente). La imagen, muestra de modo general el arreglo adoptado para nuestros recipientes. Esta estructura consta de una serie de largueros que van de la envolvente a las traveses que forman el pentágono, estas traveses a su vez se apoyaran de 5 columnas que van de cada esquina del pentágono al piso. Otra serie de largueros ira de las traveses del pentágono a la columna principal colocada en el centro del recipiente.

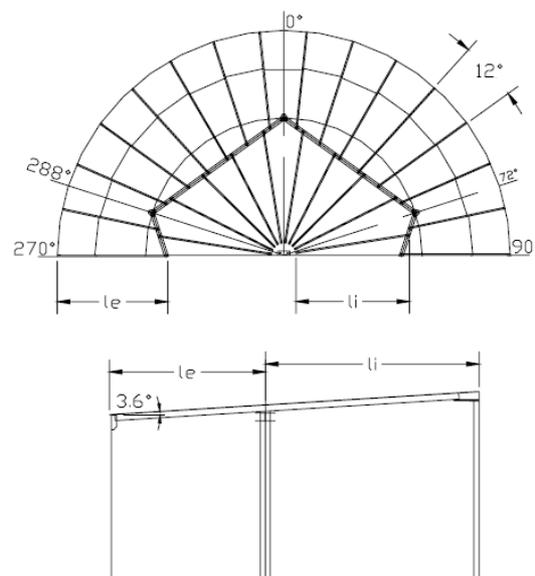


Fig.4: estructura adoptada de techo soportado



### 16.3.2. Cálculo del espaciado de los largueros

El estándar API - 650 especifica un máximo espaciado del largueros de 191.51 cm sobre el perímetro exterior del círculo de largueros, y un máximo de 167.0 cm sobre el perímetro cuando lleva columnas interiores.

El número mínimo de largueros usados entre dos traveses adyacentes o entre la pared del tanque y la trabe, está basado en el perímetro del círculo donde está circunscrito el polígono exterior o del cuerpo, por lo que primero se determina el número lados del polígono y, por consecuencia, el diámetro en el que se encuentra el polígono, y el número mínimo de largueros estará determinado por la siguiente ecuación, donde el número real de largueros debe ser un múltiplo del número de lados del polígono para mantener un arreglo simétrico.

$$n = \frac{ND \sin(360/2N)}{l}$$

Para determinar el espacio máximo entre largueros primero calcularemos el número de largueros necesarios.

Larguero exterior (datos)

$D$	2400 cm
$N$	5
$l$	191.5cm

$$n = \frac{ND \sin(360/2N)}{l} = \frac{5 \times 2400 \times \sin 36^\circ}{191,5} = \frac{5 \times 2400 \times 0,5877}{191,5} = 36,83$$

Redondeando al alza, consideramos un número de 40 largueros del polígono a la periferia. Calculamos ahora la distancia real entre los mismos:

$$l = \frac{ND \sin(360/2N)}{n} = \frac{5 \times 2400 \times \sin 36^\circ}{40} = \frac{5 \times 2400 \times 0,5877}{40} = 176,31 \text{ cm}$$

Larguero interior (datos)

$D$	1200 cm
$N$	5

$l$	167cm
-----	-------

$$n = \frac{ND \sin(360/2N)}{l} = \frac{5 \times 1200 \times \sin 36^\circ}{167} = \frac{5 \times 1200 \times 0,5877}{167} = 21,11$$

Redondeando al alza, consideramos un número de 25 largueros del centro a nuestro polígono. Calculamos ahora la distancia real entre los mismos:

$$l = \frac{ND \sin(360/2N)}{n} = \frac{5 \times 1200 \times \sin 36^\circ}{25} = \frac{5 \times 1200 \times 0,5877}{25} = 141,05 \text{ cm}$$

En conclusión, se usarán 25 largueros del capitel al primer polígono (pentágono) con una separación de 141,05cm y apoyando por tanto, 5 largueros por trabe del pentágono. Además, se dimensiona un total de 40 largueros del polígono a la periferia del tanque con una separación de 176,31 cm.

### 16.3.3. Cálculo y selección de los largueros

El diseño de largueros depende de la carga del techo y del propio peso pero por lo tanto se tratara de determinar haciendo un diseño preliminar, ya que se desconoce inicialmente sus dimensiones, para posteriormente calcular los mismos en base al esfuerzo cortante y a la flexión debido a carga. Los largueros son atornillados a las traveses, por lo que se consideran como vigas simplemente apoyadas con carga uniforme.

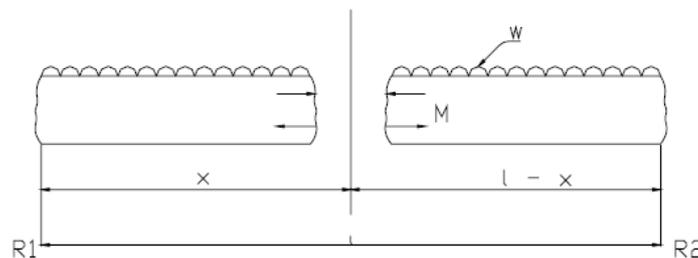


Fig.5: distribución de esfuerzos sobre el trabe

Del apéndice "D" del libro mecánica de materiales de Fitzgerald tenemos que el momento de flexión máximo es:

$$M_{max} = wl^2/8$$



Para vigas simplemente apoyadas con carga uniforme.

Estos elementos estructurales deberán estar diseñados para soportar el techo más una carga viva de  $122 \text{ kg/m}^2$ . Por especificación, el techo soportado tendrá un espesor de  $4,76 \text{ mm}$  ( $37,4 \text{ kg/m}^2$ ).

Por otro lado, conocido el diámetro de nuestro tanque  $2400 \text{ mm}$  y el diámetro en el que se circunscribe el pentágono que conforman los traveses de sujeción, calculemos la longitud de los largueros a emplear para el cálculo de los esfuerzos máximos:

#### Larguero interior

Sería el que tuviese como longitud la distancia desde el centro del techo a uno de los vértices del pentágono:

$$L_{int \max} = 600 \text{ cm}$$

#### Larguero exterior

En este caso, la longitud mayor que pudiese tener uno de los largueros exteriores, sería la complementaria a la apotema del pentágono que conforman los traveses. Calculando dicho valor:

$$a = \sqrt{r^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} = \sqrt{600^2 - \left(\frac{705,25}{2}\right)^2} = 485,44 \text{ mm} \approx 485 \text{ cm}$$

$$L_{ext \max} = 1200 - 485 = 715 \text{ cm}$$

#### Longitud de los traveses

La calcularemos como la distancia entre largueros interiores que apoyan en un traveses por  $n^{\circ}$  traveses que apoyan:

$$L_{trabe} = 141,05 \text{ cm} \times 5 = 705,25 \text{ cm}$$

Con estos datos de partida, pasamos a dimensionar los largueros del techo de nuestro tanque:



$$w' = 122 + 37,4 = 159,4 \text{ kg/cm}^2$$

Así, para el **languero exterior**, teniendo en cuenta que la carga soportada por cada uno de los langueros será la octava parte de la superficie correspondiente a su geometría:



La superficie de cada sección será dada por la altura del languero (7,15m) por la anchura media de cada base, entre el tamaño del trabe y ocho veces la distancia entre los langueros, esto es:

$$\frac{7,0525 + 14,105}{2} = 10,57 \text{ m}$$

Luego la superficie total será:

$$10,57 \times 7,15 = 75,5755 \text{ m}^2$$

Y la que soporta cada languero:

$$\frac{75,5755 \text{ m}^2}{8 \text{ langueros}} = 9,44 \text{ m}^2 \text{ por languero}$$

Luego cada "metro" de languero soporta:

$$\frac{9,44 \text{ m}^2}{7,15 \text{ m}} = 1,32 \text{ m}$$

Ahora estamos en disposición para calcular la carga total que soporta el languero exterior:

$$w = w' \times Am = 159,4 \times 1,32 \text{ kg/m} = 210,408 \text{ kg/m}$$

$$M_{max} = 210,41 \times 7,15^2 / 8 = 1344,59 \text{ kg} \times \text{m}$$



$$W_y = \frac{M_{max}}{\sigma_{AMD}} = \frac{134459}{1250} = 107,5 \text{ cm}^3$$

Y con respecto al larguero interior, teniendo en cuenta que la carga soportada por cada uno de los largueros será la quinta parte de la superficie correspondiente a su geometría:



La superficie de cada sección será dada por la el triángulo de altura el larguero interior (6,00m) y la base será la longitud del trabe (7,0525m), esto es:

$$\frac{7,0525 \times 6,00}{2} = 21,1575 \text{ m}$$

Y la "superficie" que soporta cada larguero:

$$\frac{21,1575 \text{ m}^2}{5 \text{ largueros}} = 4,2315 \text{ m}^2 \text{ por larguero}$$

Luego cada "metro" de larguero interior soporta:

$$\frac{4,2315 \text{ m}^2}{6,00 \text{ m}} = 0,70525 \text{ m}$$

Ahora estamos en disposición para calcular la carga total que soporta el larguero interior:

$$w = w' \times Am = 159,4 \times 0,70525 \text{ kg/m} = 112,42 \text{ kg/m}$$

Por tanto:

$$M_{max} = 112,42 \times 6,00^2 / 8 = 505,89 \text{ kg x m}$$

$$W_y = \frac{M_{max}}{\sigma_{AMD}} = \frac{50589}{1250} = 40,47 \text{ cm}^3$$

Buscando un perfil que tenga un módulo de sección mayor y de un espesor mayor o igual en su alma que el especificado más cualquier corrosión, se propone un perfil UPN 180 con  $w = 22,55 \text{ Kg/m}$  con  $W_y = 150 \text{ cm}^3$ .



Tabla	Dimensiones						Términos de sección									
	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub> = r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	d	A	S <sub>y</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	l <sub>e</sub>	c
Perfil	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	cm
UPN 80	80	45	6.0	8.0	4.0	46	11.0	15.9	106	26.5	3.10	19.4	6.36	1.33	1.45	
UPN 100	100	50	6.0	8.5	4.5	64	13.5	24.5	206	41.2	3.91	29.3	8.49	1.47	1.55	
UPN 120	120	55	7.0	9.0	4.5	82	17.0	36.3	364	60.7	4.62	43.2	11.10	1.59	1.60	
UPN 140	140	60	7.0	10.0	5.0	98	20.4	51.4	605	86.4	5.45	62.7	14.80	1.75	1.75	
UPN 160	160	65	7.5	10.5	5.5	115	24.0	68.8	925	116.0	6.21	85.3	18.30	1.89	1.84	
UPN 180	180	70	8.0	11.0	5.5	133	28.0	89.6	1350	150.0	6.95	114.0	22.40	2.02	1.92	
UPN 200	200	75	8.5	11.5	6.0	151	32.2	114.0	1910	191.0	7.70	148.0	27.00	2.14	2.01	
UPN 220	220	80	9.0	12.5	6.5	167	37.4	146.0	2690	245.0	8.48	197.0	33.60	2.30	2.14	
UPN 240	240	85	9.5	13.0	6.5	184	42.3	179.0	3600	300.0	9.22	248.0	39.60	2.42	2.23	
UPN 260	260	90	10.0	14.0	7.0	200	48.3	221.0	4820	371.0	9.99	317.0	47.70	2.56	2.36	
UPN 280	280	95	10.0	15.0	7.5	216	53.3	266.0	6280	448.0	10.90	399.0	57.20	2.74	2.53	
UPN 300	300	100	10.0	16.0	8.0	232	58.8	316.0	8030	535.0	11.70	495.0	67.80	2.90	2.70	

Tabla 12: propiedades de los perfiles estructurales tipo UPN

Considerando ahora el propio peso del perfil, recalculamos el larguero exterior:

$$w = w' \times Am + \text{peso propio} = (159,4 \times 1,32) + 22,55 \text{ kg/m} = 232,96 \text{ kg/m}$$

$$M_{max} = 232,96 \times 7,15^2 / 8 = 1488,69 \text{ kg x m}$$

$$W_y = \frac{M_{max}}{\sigma_{AMD}} = \frac{148869}{1250} = 119,09 \text{ cm}^3$$

Igualmente, considerando ahora el propio peso del perfil, recalculamos el larguero interior:

$$\begin{aligned} w &= w' \times Am + \text{peso propio} = 159,4 \times 0,70525 \text{ kg/m} + 22,55 \text{ kg/m} \\ &= 134,97 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$M_{max} = 134,97 \times 6,00^2 / 8 = 607,35 \text{ kg x m}$$

$$W_y = \frac{M_{max}}{\sigma_{AMD}} = \frac{60735}{1250} = 48,59 \text{ cm}^3$$

El perfil satisface ampliamente a ambos largueros.



### 16.3.4. Cálculo y selección de traveses

Las traveses siguen la misma secuencia de cálculo que los largueros para obtener el módulo de sección requerido, las cuales pueden no ser del mismo peralte entre polígonos, por lo que cada polígono debe ser calculado independientemente.

$$w = \frac{w' \times l \times n}{L}$$

Dónde:

W = Carga uniformemente repartida sobre la trabe (kg /m).

W' = Carga máxima sobre un larguero incluyendo el peso propio del larguero más pesado ( $kg/m^2$ ).

l = La mitad de la longitud del larguero (m o pie).

n = Número de largueros que se apoyarán sobre la trabe.

L = Longitud de la trabe (m)

Luego, obtenemos:

$$w = \frac{240,55 \times 3,00 \times 13}{7,0525} = 1330,23 \text{ kg/m}$$

$$M_{max} = 1330,23 \times 7,0525^2 / 8 = 8270,33 \text{ kg x m}$$

$$W_y = \frac{M_{max}}{\sigma_{AMD}} = \frac{827033}{1250} = 661,62 \text{ cm}^3$$

Estudiando las tablas:



Tabla	Dimensiones						Términos de sección							
	h	b	t <sub>w</sub> = r <sub>1</sub>	t <sub>f</sub>	r <sub>2</sub>	d	A	S <sub>y</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	I <sub>z</sub>	W <sub>z</sub>	i <sub>z</sub>
Perfil	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
IPN 80	80	42	3.9	5.9	2.3	59	7.58	11.4	77.8	19.5	3.20	6.29	3.00	0.91
IPN 100	100	50	4.5	6.8	2.7	75	10.60	19.9	171.0	34.2	4.01	12.20	4.88	1.07
IPN 120	120	58	5.1	7.7	3.1	92	14.20	31.8	328.0	54.7	4.81	21.50	7.41	1.23
IPN 140	140	66	5.7	8.6	3.4	109	18.30	47.7	573.0	81.9	5.61	35.20	10.70	1.40
IPN 160	160	74	6.3	9.5	3.8	125	22.80	68.0	935.0	117.0	6.40	54.70	14.80	1.55
IPN 180	180	82	6.9	10.4	4.1	142	27.90	93.4	1450.0	161.0	7.20	81.30	19.80	1.71
IPN 200	200	90	7.5	11.3	4.5	159	33.50	125.0	2140.0	214.0	8.00	117.00	26.00	1.87
IPN 220	220	98	8.1	12.2	4.9	175	39.60	162.0	3060.0	278.0	8.80	162.00	33.10	2.02
IPN 240	240	106	8.7	13.1	5.2	192	46.10	206.0	4250.0	354.0	9.59	221.00	41.70	2.20
IPN 260	260	113	9.4	14.1	5.6	208	53.40	257.0	5740.0	442.0	10.40	288.00	51.00	2.32
IPN 280	280	119	10.1	15.2	6.1	225	61.10	316.0	7890.0	542.0	11.10	364.00	61.20	2.45
IPN 300	300	125	10.8	16.2	6.5	241	69.10	381.0	9800.0	653.0	11.90	451.00	72.20	2.56
IPN 320	320	131	11.5	17.3	6.9	257	77.80	457.0	12510.0	782.0	12.70	555.00	84.70	2.67
IPN 340	340	137	12.2	18.3	7.3	274	86.80	540.0	15700.0	923.0	13.50	674.00	98.40	2.80
IPN 360	360	143	13.0	19.5	7.8	290	97.10	638.0	19510.0	1090.0	14.20	818.00	114.00	2.90
IPN 380	380	149	13.7	20.5	8.2	306	107.00	741.0	24010.0	1260.0	15.00	975.00	131.00	3.02
IPN 400	400	155	14.4	21.6	8.6	323	118.00	857.0	29210.0	1460.0	15.70	1160.00	149.00	3.13

Tabla 13: propiedades de los perfiles estructurales tipo IPN

Seleccionamos por tanto un perfil IPN 320 x 62,63 kg/m cuyo módulo de sección es 782.

Considerando el propio peso del perfil:

$$w = 1330,23 + 62,63 = 1392,86 \text{ kg/m}$$

$$M_{max} = \frac{1392,86 \times 7,0525^2}{8} = 8659,72 \text{ kg} \times \text{m}$$

$$W_y = \frac{M_{max}}{\sigma_{AMD}} = \frac{865972}{1250} = 692,78 \text{ cm}^3$$

Por lo que el perfil escogido satisface las necesidades.

El diseño y cálculo de la estructura involucra los esfuerzos de flexión y corte, producidos por una carga uniformemente repartida ocasionada por el peso de las placas del techo, traveses y largueros, debido a lo cual las placas del techo se consideran vigas articuladas.

Las columnas para soportar la estructura del techo se seleccionan a partir de perfiles estructurales, o puede usarse tubería de acero. Cuando se usa tubería de acero, debe proveerse ésta de drenes y venteos; la base de la misma será provista de topes soldados al fondo para prevenir desplazamientos laterales. Las uniones de la estructura deben estar debidamente ensambladas mediante tornillos, remaches o soldadura, para evitar que las uniones puedan tener movimientos no deseados.



### 16.3.5. Cálculo y selección de las columnas

Una vez que se han calculado y seleccionado los largueros y traveses, se procede al cálculo de las columnas. Teniendo el número de columnas y la carga axial que soportará cada columna, que es la suma de las reacciones que generan las traveses o largueros que estarán apoyados sobre la columna.

Sabiendo que la relación de esbeltez para una columna larga aceptada por API (miembro principal sometido a compresión) es de 180, y conociendo la longitud de la columna podremos obtener el radio de giro que cumpla con esta relación.

$$r = l/180$$

Se busca un perfil que cumpla con el radio de giro mayor tanto en x – x como en y – y, y se obtiene el área de la sección transversal. Posteriormente se calcula el esfuerzo de compresión permisible para la columna de Rankine.

$$\delta_p = 1250 / (1 + [l^2 / (18000 \times r^2)])$$

Teniendo el esfuerzo de compresión permisible y sabiendo que el esfuerzo actuante es P/a, igualamos las ecuaciones obteniendo el área de la sección transversal la cual tendrá que ser menor o igual a la de los perfiles combinados que se seleccionará con anterioridad. Si esto no se cumple, se tendrá que seleccionar otro perfil que tenga por, lo menos, el área transversal requerida y recalculamos la columna con esta nueva relación de esbeltez, hasta que el área de la columna satisfaga la igualdad, cuidando que la relación de esbeltez sea menor de 40 y mayor de 180.

Una vez definida la sección transversal de la columna que cumpla con lo anterior, se calcula el esfuerzo de compresión máximo permisible ( $C_{ma}$ ) especificados, el cual tendrá que ser mayor o igual que el calculado por el procedimiento anterior. Si esto no es logrado, se tomará este esfuerzo máximo de compresión y se igualará a P/a.

Despejando obtendremos el área de la sección transversal, empezando de nuevo la rutina hasta que esto se haya cumplido.



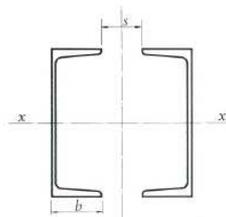
$$P_i = Rl = n(W l/2) = 25 \left[ (142,56) \times (6,00) / 2 \right] = 10692 \text{ kg}$$

$$P_e = Rt = n(W l/2) = 2 \left[ (1416,33) \times (7,0525) / 2 \right] = 9988,66 \text{ kg}$$

$$\text{Altura} = 1260 \text{ cm} + 1200 \times \text{seno}(3,6^\circ) = 1335,35 \text{ cm}$$

$$r = 1335,35 / 180 = 7,418$$

Seleccionando un perfil compuesto por dos canales UPN 240 enfrentados y con una separación de 15 mm. Con un área de  $84,6 \text{ cm}^2$  con un radio de giro de 7,43 cm. Peso propio de  $2 \times 33,2 \text{ Kg/m}$ .



UPN	Sección A cm <sup>2</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	i <sub>x</sub> cm	i cm	Valores de:		I <sub>y</sub> = cm <sup>4</sup> i <sub>y</sub> = cm		para distintas raciones s en	
					0	8	10	12	15	
80	22,0	212	3,10	1,33	243 3,33	301 3,70	316 3,79	332 3,88	356 4,03	
100	27,0	412	3,91	1,47	380 3,75	459 4,12	480 4,22	501 4,31	535 4,45	
120	34,0	728	4,62	1,59	604 4,21	715 4,59	745 4,68	775 4,77	822 4,92	
140	40,8	1 210	5,45	1,75	862 4,59	1 010 4,97	1 050 5,06	1 090 5,16	1 145 5,30	
160	48,0	1 850	6,21	1,89	1 210 5,03	1 400 5,40	1 450 5,49	1 500 5,59	1 580 5,73	
180	56,0	2 700	6,95	2,02	1 670 5,47	1 910 5,84	1 970 5,93	2 030 6,03	2 130 6,17	
200	64,4	3 820	7,70	2,14	2 240 5,89	—	2 610 6,36	2 680 6,46	2 800 6,60	
220	74,8	5 380	8,48	2,30	2 960 6,29	—	3 420 6,76	3 520 6,86	3 660 7,00	
240	84,6	7 200	9,22	2,42	3 820 6,72	—	4 370 7,19	4 490 7,28	4 670 7,43	

Tabla 14: propiedades estructurales de los perfiles compuestos UPN

$$\delta_p = 1250 / (1 + [l^2 / (18000 \times r^2)]) = 1250 / (1 + [1335,35^2 / (18000 \times 7,43^2)])$$

$$= \dots$$

$$\delta_p = 1250 / (1 + [1783159,62 / (993688,2)]) = 1250 / 2,79 = 448,03 \text{ kg/cm}^2$$



$$\delta_p = P/a$$

$$a = P/\delta_p = 10692/448,03 = 23,86 \text{ cm}^2$$

$$L/r = 1335,35/7,43 = 179,72$$

$$C_{ma} = 5,15E / (L/r)^2 = 5,15 \times 2,1 \times 10^6 / (179,72)^2 = 334,84 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto:

$$a = P/C_{ma} = 10692/334,84 = 31,93 \text{ cm}^2$$

Con lo cual queda demostrado.

## 17. ESFUERZOS PERMISIBLES

Todas las partes de la estructura serán dimensionadas con base a los cálculos hechos de acuerdo a la suma de los esfuerzos estáticos máximos, los cuales no deberán exceder los límites especificados:

Esfuerzo Máximo de Tensión:

- Para acero laminado en su sección neta,  $1,406 \text{ Kg/cm}^2$
- Para soldadura con penetración completa en el áreas de la plancha más delgada,  $1266 \text{ Kg/cm}^2$

Esfuerzo Máximo de Compresión:

- Para acero laminado, donde se previene la flexión lateral,  $1,406 \text{ Kg/cm}^2$
- Para soldadura con penetración completa en áreas de placa delgada  $1,406 \text{ Kg/cm}^2$
- Para columnas en su área de sección transversal, cuando  $C_c \leq L/r < 200$

$$C_{ma} = \left( \frac{5,15E}{(L/r)^2} \right)$$



Dónde:

$C_{ma}$  = Compresión máxima permisible ( $Kg/cm^2$ )

$C_c$  = Relación de esbeltez limite =  $\sqrt{(19,739 E/C_d)}$

$E$  = Módulo de sección ( $Kg/cm^2$ )

$L$  = Longitud sin apoyo de la columna ( $cm$ )

$\gamma$  = Menor radio de giro de la columna mínimo ( $cm$ )

Para miembros principales de compresión  $L/\gamma$  no deberá exceder 180, y para otros miembros secundarios  $L/\gamma$  no debe exceder 200.

Esfuerzo Máximo Producido por Flexión:

a) Para tensión y compresión en las fibras externas de placas roladas y miembros estructurales con eje de simetría en el plano de cargas, donde la longitud lateral no soportada de la viga compuesta de compresión no es mayor de 13 veces el ancho, la viga compuesta de compresión no debe exceder de 17 en su relación ancho-espesor, y la relación de alma altura-espesor no debe exceder de 70, y no sobrepasar un esfuerzo de  $1,547 Kg/cm^2$ .

b) Para tensión y compresión en fibras extremas de miembros asimétricos, donde el miembro es soportado lateralmente en intervalos no mayores de 13 veces el ancho de la viga compuesta de compresión, no deberá exceder un esfuerzo de  $1,406 Kg/cm^2$ .

c) Para tensión en fibras extremas de otros miembros rolados, miembros estructurales y trabes, no excederán de un esfuerzo de  $1,406 Kg/cm^2$ .

d) Para compresión en fibras extremas de otros miembros rolados, trabes o miembros estructurales que tienen un eje de simetría en el plano de cargas, el mayor valor calculado del esfuerzo que no ha de ser excedido será como sigue en  $Kg/cm^2$ .

$$1406 - 0,04(L/\gamma)^2$$

$$\frac{843700}{(ld)/A_f} < 1406$$

Dónde:

$l$  = Longitud sin apoyo de la viga compuesta de compresión ( $cm$ )

$\gamma$  = Radio de giro de la sección respecto al eje en el plano de carga ( $cm$ )



$d$  = Peralte de la sección (cm)

$A_f$  = Área transversal de la viga compuesta (cm)

e) Para compresión en fibras extremas de otras secciones asimétricas, el valor calculado de esfuerzo será como sigue en  $Kg/cm^2$ :

$$\frac{843700}{(ld)/A_f} < 1406$$

Esfuerzo Máximo de Corte

a) Para soldaduras de filetes, tapones, ranuras, penetración parcial, el esfuerzo permitido en el área de la garganta será como máximo de  $956 Kg/cm^2$

b) En el área del espesor de alma de vigas y trabes donde el peralte del alma de la viga no sea mayor de 60 veces el espesor de esta o cuando el alma es adecuadamente reforzadas, el esfuerzo no debe exceder de  $914 Kg/cm^2$

c) En el área del espesor de las almas de vigas y trabes que no estén reforzadas o que el peralte del alma de la viga es más de 60 veces al espesor de esta, el mayor promedio de corte permitido ( $V/A$ ) será calculado como sigue:

$$\frac{V}{A} = \frac{1370}{1 + \left[ \frac{h^2}{(506t^2)} \right]}$$

Dónde:

$V$  = corte total (kg)

$A$  = Área del alma (cm)

$h$  = Distancia o claro entre almas de vigas (cm)

$t$  = Espesor del alma (cm)



## 18. CÁLCULO POR SEÍSMO

### 18.1. Introducción

Los movimientos telúricos son un tema muy especial dentro del diseño de tanques verticales de almacenamiento, sobre todo en zonas con un alto grado de sismicidad. Estos movimientos telúricos provocan dos tipos de reacciones sobre el tanque, las cuales son:

a) Cuando la alta frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento lateral del terreno sobre el que está situado el tanque, posteriormente la cantidad de líquido que el recipiente contiene, se mueve al unísono con el cuerpo del tanque.

b) Cuando la baja frecuencia relativa amplificada provoca un movimiento de la masa del líquido contenido, ocasionando oleaje dentro del tanque.

El movimiento lateral de las masas, genera fuerzas que actúan en el centro de gravedad del tanque, ocasionando la inestabilidad del conjunto, que multiplicado por el brazo de palanca respecto del fondo, originan un momento de volcadura, produciendo una compresión longitudinal, provocando la deformación del cuerpo. Por lo que el tanque será diseñado para resistir este fenómeno.

### 18.2. Momento de volteo

El momento de volteo deberá determinarse mediante la siguiente expresión, efectuando los cálculos respecto a la base del tanque, por lo que la cimentación requiere de un diseño particular aparte.

$$M = ZI(C_1W_SX_S + C_1W_rH_t + C_1W_1X_1 + C_2W_2X_2)$$

Donde

M = Momento de volteo ( $Kg - m$ )

Z = Coeficiente sísmico

I = Factor de rigidez = 1 para todos los tanques excepto cuando un incremento en este factor es especificado por el usuario. Se recomienda que este factor no exceda de 1.5 que es el máximo valor que se puede aplicar.

$C_1, C_2$  = Coeficiente de fuerza lateral sísmica.



$W_s$  = Peso total del cuerpo del tanque (Kg)

$X_s$  = Altura desde el fondo del cuerpo del tanque al centro de gravedad de este (m)

$W_r$  = Peso total del techo del tanque más una carga viva especificada por el usuario (Kg)

$H_t$  = Altura total del cuerpo del tanque (m)

$W_1$  = Peso de la masa efectiva contenida en el tanque que se mueve al unísono con el cuerpo del tanque (Kg)

$X_1$  = Altura desde el fondo del cuerpo del tanque al centroide de la fuerza lateral sísmica aplicada a  $W_1$  (m)

$W_2$  = Peso efectivo de la masa contenida por el tanque que se mueve en el primer oleaje (Kg)

$X_2$  = Altura desde el fondo del tanque al centroide de la fuerza sísmica lateral aplicada a  $W_2$  (m)

Datos de partida:  $W_s$ ;  $W_r$

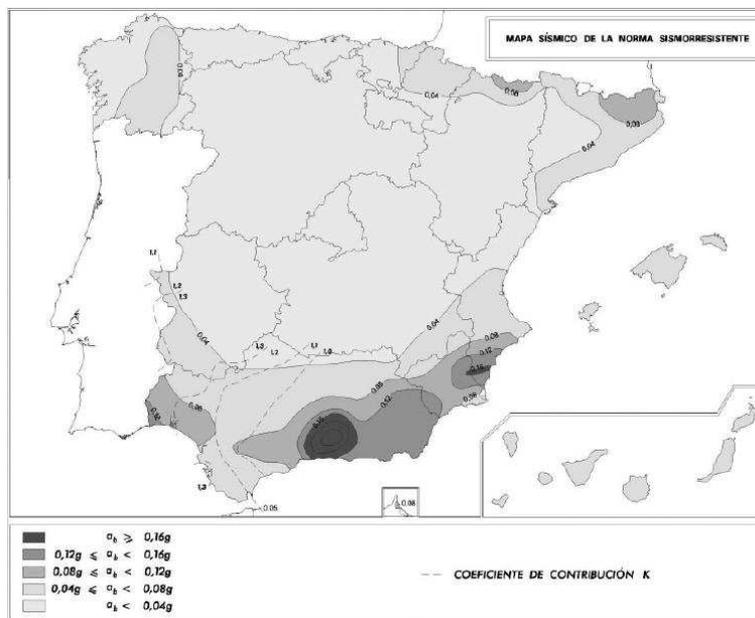


Fig.6: Mapa sísmico de la norma sismorresistente

### Masa efectiva contenida en el tanque

Las masas efectivas  $W_1$  y  $W_2$  se determinarán multiplicando  $W_t$  por las relaciones  $W_1/W_t$  y  $W_2/W_t$  respectivamente obtenidas de la Figura 3.2. y de la relación  $D/H$ .



$W_t$  = Peso total del fluido del tanque (Kg)

D = Diámetro nominal del tanque (cm)

H = Altura de diseño del líquido (cm)

Las alturas desde el fondo del tanque a los centroides de las fuerzas sísmicas laterales, aplicadas a  $W_1$  y  $W_2$ , ( $X_1$  y  $X_2$ ), se determinan multiplicando H por las relaciones  $X_1/H$  y  $X_2/H$  respectivamente obtenidas de la Figura 3.3. y de la relación D/H.

Calculemos entonces las masas efectivas  $W_1$  y  $W_2$ :

$W_t$  = Peso total del fluido del tanque (Kg) =  $0,849 \text{ ton/m}^3 \times \text{volumen (m}^3) = 0,849 \times \pi(D/2)^2 H =$

$0,849 \times \pi(24/2)^2 12,6 = 0,849 \times 5700,11 = 4839,40 \text{ ton}$

D = Diámetro nominal del tanque (cm) = 2400 cm

H = Altura de diseño del líquido (cm) = 1260 cm

D/H = 1,90

### Masa Efectiva

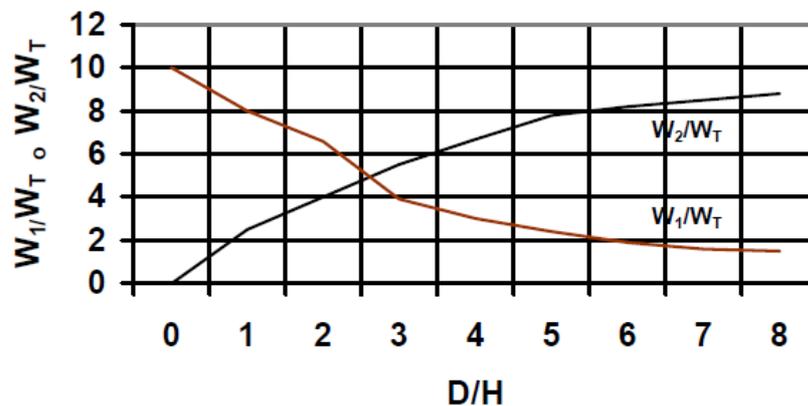


Fig.7: masa efectiva en función de la relación D/H

Según las gráficas:

$W_1/W_t = 0,68$

$W_2/W_t = 0,39$



$$W_1 = 4839,40 \times 0,68 = 3.290.792 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 4839,40 \times 0,39 = 1.887.366 \text{ Kg}$$

Calculemos ahora las alturas desde el centro del tanque a los centroides, es decir,  $X_1$  y  $X_2$ .

### Centroide de la fuerza sísmica

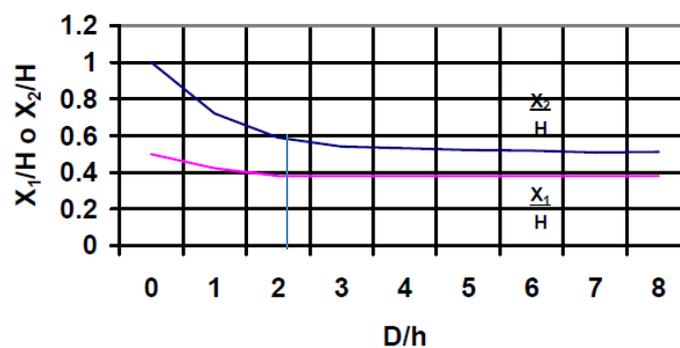


Fig.8: centroide de la fuerza sísmica

Para ello, determinaremos las relaciones indicadas según la tabla de arriba, obteniendo:

$$X_1/H = 0,39$$

$$X_2/H = 0,60$$

Luego:

$$X_1 = 0,39 \times 1260 = 491,4 \text{ cm}$$

$$X_2 = 0,60 \times 1260 = 756,0 \text{ cm}$$

### Coefficientes de fuerzas laterales

El coeficiente  $C_1$  de fuerza lateral será *0,24*.



Como acabamos de indicar, el coeficiente  $C_1$  de fuerza lateral será 0,24, veamos ahora el valor de  $C_2$ .

El coeficiente  $C_2$  de la fuerza lateral será determinado por la función del periodo natural  $T$  y las condiciones del terreno donde se sitúa el tanque.

Cuando  $T < 4.5$

$$C_2 = 0,3S/T$$

Cuando  $T > 4.5$

$$C_2 = 1,35S/T^2$$

Dónde:

$S$  = factor de amplificación Tabla 3.2.

$T$  = periodo natural de la ondulación en segundos =  $KD^{0,5}$

$K$  = factor determinado en la Figura 3.4. y la relación  $D/H$ .

Los terrenos se clasifican en tres tipos, de acuerdo con su rigidez.

I) Terrenos firmes; como arenisca medianamente cementada, arcilla muy compacta o suelo con características similares.

II) Suelo de baja rigidez; como arenas no cementadas o limos de mediana o alta compacidad, arcillas de mediana compacidad o suelos de características similares.

III) Arcillas blandas muy compresibles.

Tipo de Suelo	Factor de Amplificación
I	1.0
II	1.0
III	1.5

Tabla 15: factor de amplificación según el tipo de suelo

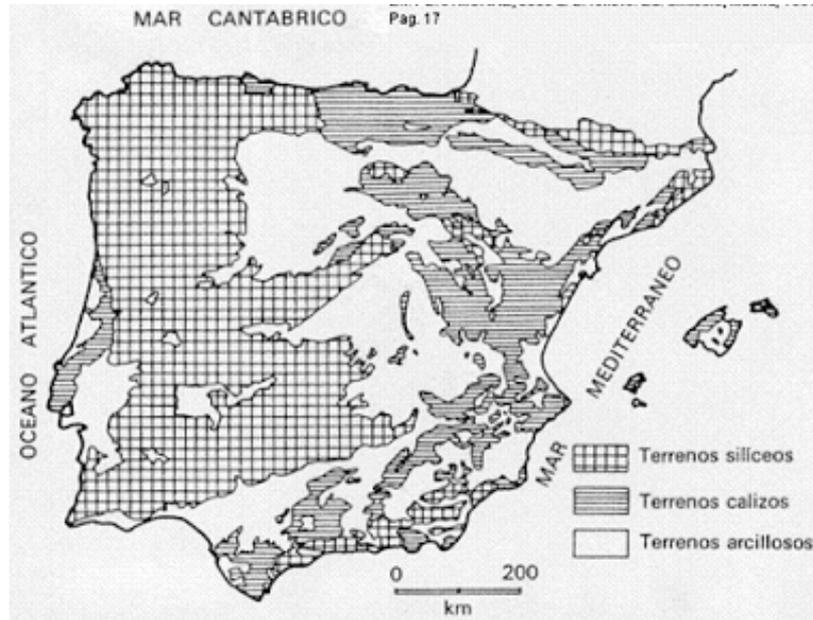


Fig.9: mapa de tipo de suelo predominante (península ibérica).

Según el mapa vemos que el factor de amplificación  $S$  para la zona en la que se sitúa nuestro tanque (Escombreras, Cartagena) sería el correspondiente a un terreno calizo.

Tipo de suelo II: factor de amplificación = 1

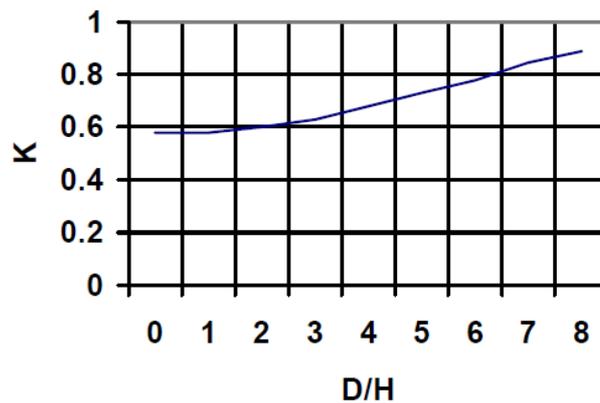


Tabla 16: valor del factor K

Calculamos T:

Para  $D/H = 1,90$ ;  $K=0,59$

$$T = KD^{0,5} = 0,59 \times 2400^{0,5} = 28,90 \text{ (luego } T > 4,5\text{)}$$



$$C_2 = 1,35 \times S/T^2 = 1,35 \times 1 / 835,44 = 0,00161$$

Calculamos ahora los valores para  $W_s$ , peso del tanque y  $W_r$ , peso del techo, únicas incógnitas para obtener finalmente el momento de volteo por sismo.

Para calcular el peso del tanque, calculamos el peso de los distintos anillos, teniendo en cuenta el distinto espesor de las placas que lo conforman y el valor de su carga por superficie.

Espesor			Peso		Peso teórico por placa (kg.)										
Pulg.	Milésimas	mm.	kg./m. <sup>2</sup>	kg./pie <sup>2</sup>	Medidas										
					3'x6'	3'x8'	3'x10'	4'x8'	4'x10'	5'x10'	5'x15'	5'x20'	6'x10'	6'x20'	8'x20'
3/16"	188	4.76	37.39	3.47	62.52	83.36	104.20	111.14	138.93	173.66	260.49	347.32	208.39	416.79	555.7
1/4"	250	6.35	49.85	4.63	83.36	111.14	138.93	148.19	185.24	231.55	347.32	463.10	277.86	555.72	740.9
5/16"	313	7.94	62.31	5.79	104.20	138.93	173.66	185.24	231.55	289.44	434.16	578.87	347.32	694.65	926.2
3/8"	375	9.53	74.77	6.95	125.04	166.72	208.39	222.29	277.86	347.32	520.99	694.65	416.79	833.58	1,111.4
7/16"	438	11.11	87.23	8.10	145.88	194.50	243.13	259.34	324.17	405.21	607.82	810.42	486.25	972.51	1,296.6
1/2"	500	12.70	99.70	9.26	166.72	222.29	277.86	296.38	370.48	463.10	694.65	926.20	555.72	1,111.44	1,481.9
5/8"	625	15.88	124.62	11.58	208.39	277.86	347.32	370.48	463.10	578.87	868.31	1,157.75	694.65	1,389.30	1,852.4
3/4"	750	19.05	149.54	13.89	250.07	333.43	416.79	444.58	555.72	694.65	1,041.97	1,389.30	833.58	1,667.16	2,222.1
7/8"	875	22.23	174.47	16.21	291.75	389.00	486.25	518.67	648.34	810.42	1,215.63	1,620.85	972.51	1,945.02	2,593.1
1"	1000	25.40	199.39	18.52	333.43	444.58	555.72	592.77	740.96	926.20	1,389.30	1,852.40	1,111.44	2,222.88	2,963.1
1 1/4"	1250	31.75	249.24	23.15	416.79	555.72	694.65	740.96	926.20	1,157.75	1,736.62	2,315.49	1,389.30	2,778.59	3,704.1
1 1/2"	1500	38.10	299.09	27.79	500.15	666.86	833.58	889.15	1,111.44	1,389.30	2,083.95	2,778.59	1,667.16	3,334.31	4,445.1
1 3/4"	1750	44.45	348.93	32.42	583.50	778.01	972.51	1,037.34	1,296.68	1,620.85	2,431.27	3,241.69	1,945.02	3,890.03	5,186.1
2"	2000	50.80	398.78	37.05	666.86	889.15	1,111.44	1,185.53	1,481.92	1,852.40	2,778.59	3,704.79	2,222.88	4,445.75	5,927.6

Tabla 17: pesos teóricos por placa

De modo que encontramos que el peso del tanque es:

$$W_s = 2 \times \pi \times h_{anillo\ i} \times (Cargas) = 24 \times \pi \times 1,829 \times (99,70 + 87,23 + 74,77 + 62,31 + 49,85 \times 2) + 24 \times \pi \times 1,626 \times 49,85 = 58431,16 + 6111,50 = 64542,66\ kg$$

Calculamos ahora el peso del techo del tanque:

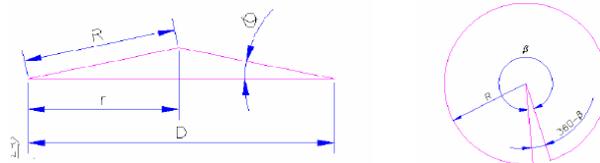


Fig.10: techo del tanque



$$W_r = \frac{(\pi \times R^2) \text{ cm}^2}{159,4 \text{ Kg/cm}^2} = \frac{\pi \times \left(\frac{D/\cos 3,6^\circ}{2}\right)^2}{159,4 \text{ Kg/cm}^2} = \frac{3,1416 \times 1445699,89}{159,4}$$

$$= 28493,17 \text{ kg}$$

$$M = ZI(C_1 W_s X_s + C_1 W_r H_t + C_1 W_1 X_1 + C_2 W_2 X_2)$$

$$M = 0,06 \times 1 \times (0,24 \times 64542,66 \times 6,30 + 0,24 \times 28493,17 \times 12,60 + 0,24 \times 3290792 \times 4,91 + 0,00161 \times 1887366 \times 7,56)$$

$$= 0,06 \times 1 \times (97588,50 + 86163,35 + 3877869,29 + 22972,26)$$

$$= 245075,60 \text{ kg x m}$$

$$M = 245075,60 \text{ kg x m}$$

$$W_t = W_s + W_r = 64542,66 + 28493,17 = 93035,83 \text{ kg}$$

### 18.3. Compresión del cuerpo

Para tanques sin anclaje la fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo, puede determinarse mediante distintas fórmulas en función del valor de la siguiente relación:

$$M/D^2 W_t = 245075,60 / 24^2 \times 93035,83 = 245075,60 / 53588638,08 = 0,00457$$

Para nuestro caso, en el que dicho valor es menor a 0,785, la fuerza máxima de compresión en el fondo del cuerpo (kg/m) se calcularía según la fórmula indicada a continuación:

$$b = W_t + 12731 \times M/D^2 = 93035,83 + 12731 \times 245075,60 / 24^2$$

$$= 5509802,26 \text{ Kg/m}$$



Calculamos ahora la compresión máxima permisible del cuerpo, calculando el valor de la relación siguiente:

$$0,0002278 \times \frac{GHD^2}{t^2} = 0,0002278 \times \frac{0,849 \times 1260 \times 2400^2}{1,270^2}$$
$$= 870255,94$$

Dado que el valor obtenido es inferior a  $10^6$ , el esfuerzo máximo de compresión longitudinal en el cuerpo será determinado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$F_a = 68270400 \times \frac{t}{D} + 1546\sqrt{GH}$$

$$F_a = 68270400 \times \frac{1,270}{2400} + 1546\sqrt{0,849 \times 1260} = 36126,42 + 51771,38$$
$$= 87.897,80 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_a = 2,02333 \times \frac{b}{t} = 2,02333 \times \frac{55098,0226}{1,270} = 87.780,69 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo que la relación  $2,02333 \times \frac{b}{t}$  no excede el esfuerzo máximo permisible de compresión y el tanque se considera estructuralmente estable. No tenemos que anclar nuestro depósito ni incrementar sus espesores.

## 19. CÁLCULO POR VIENTO

### 19.1. Introducción

Todos los tanques de almacenamiento se diseñarán y calcularán para lograr una estabilidad total. El momento de volteo producido por la constante carga del viento, la cual deberá ser considerada de por lo menos  $146 \text{ kg/m}^2$  en la



superficie del plano vertical,  $88 \text{ kg/m}^2$ , en las áreas proyectadas de las superficies del cilindro y  $73 \text{ kg/m}^2$  en áreas proyectadas de superficies cónicas y doble curvadas. Lo que se determina en base a una velocidad de viento de  $161 \text{ km/h}$ . En el caso de que el tanque se localice en una zona geográfica con una velocidad mayor, se ajustarán las presiones multiplicando el valor especificado por el resultado de la siguiente relación:

$$\left(\frac{V}{161}\right)^2$$

Dónde:

$V$  = velocidad del viento  $\text{km/h}$ .

En el caso que nos ocupa, las máximas velocidades registradas en la zona son de  $134 \text{ km/h}$  por lo que no habremos de aplicar el coeficiente correcto.

## 19.2. Cálculo del momento de volteo por viento

El momento de volteo producido por el viento se considera una carga uniformemente repartida sobre una viga empotrada en un extremo, por lo que el momento será igual a:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{P_v D_{max} (H_t^2)}{2} = \frac{88 \times 24 \times (12,6 + 0,66)^2}{2} = 185.673,95 \text{ kg x m}$$

$M$  = Momento de volteo  $\text{kg x m}$ .

$P_v$  = Presión de viento  $\text{kg/m}^2$

$D_{max}$  = Diámetro exterior del tanque incluyendo líneas de tuberías (m)

$H_t$  = altura total del tanque incluyendo el techo (m)

Para tanques que no estén anclados, el momento de volteo por presión de viento no debe exceder de la siguiente expresión:

$$M = \frac{2}{3} \frac{WD}{2} = \frac{2}{3} \frac{(64542,66)24}{2} = 516.341,28 \text{ kg - m}$$



Dónde:

$W$  = Peso muerto del tanque disponible para resistir el levantamiento (kg), menos cualquier corrosión permisible, menos simultáneamente el levantamiento por condiciones de presión interna sobre el techo.

$D$  = diámetro nominal del tanque (m)

Por lo que el tanque resiste satisfactoriamente la presión del viento.

## **20. PROTECCIÓN DE LOS TANQUES CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS**

La norma API-2003 [3] especifican que un tanque de almacenamiento de hidrocarburos puede ser utilizado como elemento receptor del rayo cuando el tanque tenga un espesor, como mínimo, de aproximadamente 5mm. De acuerdo a los datos de diseño, el espesor del tanque varía según la altura. El espesor máximo del tanque se encuentra en su base, con un valor de 12,70mm y el espesor mínimo se encuentra en la parte más alta, con un valor de 6,35mm.

Estos valores están por encima del valor mínimo requerido por las normas API-2003 [3] y NFPA-780[2], siempre y cuando no exista corrosión, fisuras o debilitamiento del espesor que pueda, ante la circulación de la corriente del rayo, permitir la penetración del arco eléctrico producido por el rayo al momento de golpear los tanques de almacenamiento.

Ahora bien, el tanque de almacenamiento objeto de este proyecto, no es de techo fijo, sino que utiliza un techo flotante para reducir la cantidad de vapores generados en el interior del mismo. Esto requiere del análisis de otros parámetros.

El sistema auto-protegido está basado en el espesor de la estructura para soportar un evento de rayo directo, un plano equipotencial y el riesgo mínimo de descargas eléctricas locales. De acuerdo a los resultados obtenidos en esta sección, es posible utilizar el sistema auto-protegido, con la aplicación de las siguientes medidas correctivas que aseguren satisfacer los tres requerimientos básicos:



- 1) Obtener una superficie equipotencial en los elementos constitutivos del tanque, a través de uniones metálicas efectivas y permanentes entre el cuerpo del tanque y el techo flotante.
- 2) Asegurar mediante revisiones periódicas, que la operación del sello es la adecuada, con el fin de evitar la generación de una atmósfera rica en mezclas de vapores volátiles.

## 21.MONTAJE Y TIEMPOS DE EJECUCIÓN

### 21.1. Fases del proceso de montaje

En este apartado se hace una estimación del tiempo que se tarda en construir el tanque de combustible objeto del proyecto. A continuación, se enumeran las actividades que se llevan a cabo en la construcción de un tanque tipo. Las tareas a desarrollar para la construcción de este elemento, se pueden dividir en las siguientes fases:

- Fase 1: montaje de base + techo
- Fase 2: montaje de las virolas
- Fase 3: Paso final

A continuación detallaremos las actividades que componen cada una de estas fases enumeradas anteriormente:

#### **Fase1:**

Acopio y recepción de virolas y paneles.  
Solera (hormigonado y curado).  
Preparación puestos de trabajo.  
Replanteamiento suelo.  
Soldaduras paneles de suelo.  
Inspección soldaduras.  
Preparación soporte provisional techo.  
Montaje estructura interior techo.  
Replanteamiento paneles de techo.  
Soldadura paneles de techo.  
Inspección soldaduras de techo.  
Elevación techo.

#### **Fase 2:**

Replanteamiento virola superior.  
Soldaduras verticales virola.  
Soldadura de refuerzo extremo superior.  
Unión a la estructura del techo.  
Elevación conjunto.  
Replanteamiento virola intermedia.



Soldadura horizontal a la virola existente.  
Soldaduras verticales virola.  
Elevación conjunto.  
Replanteamiento virola inferior.  
Soldadura horizontal a la virola existente.  
Soldadura horizontal a la placa base.  
Soldaduras verticales virola.  
Inspección de soldaduras de virolas.

### **Fase 3:**

Control dimensional.  
Replanteo penetraciones.  
Soldadura de penetraciones.  
Repaso protección interior y exterior y pintura.  
Instalación de instrumentación.  
Preparación para prueba hidrostática.  
Prueba.  
Inspección final.

En cuanto al tiempo estimado de montaje, se calculan unas 20 semanas aproximadamente.

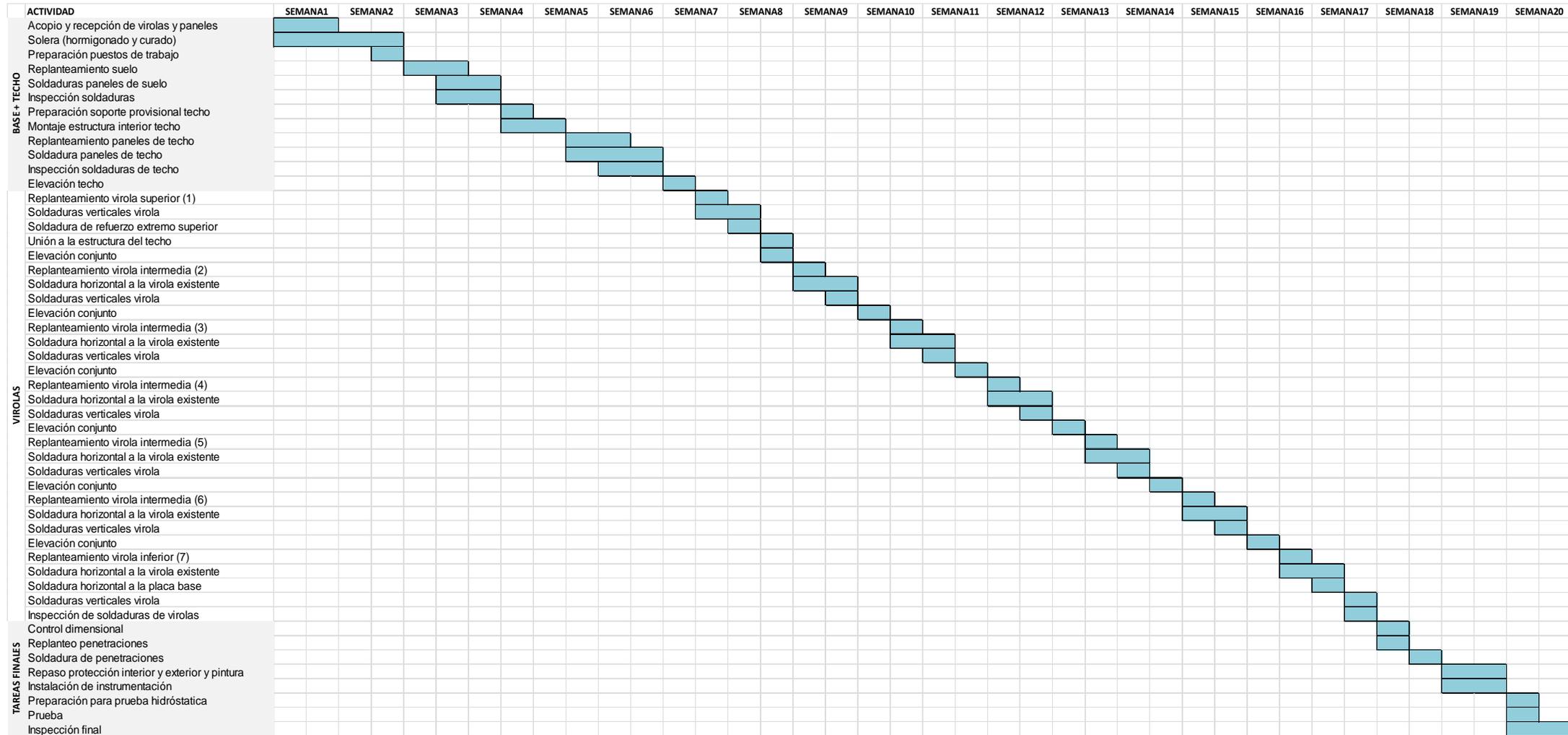
## **21.2. Proceso de montaje**

Como se menciona en el índice de actividades, primero se acomete la construcción del fondo, y después el montaje del techo. Una vez montado el techo, éste se eleva con ayuda de maquinaria y se procede a soldarlo a la última virola del tanque (la que está a mayor altura).

Cuando este proceso se ha terminado, se sigue la operación con el resto de virolas, hasta llegar a la primera, que a su vez se suelda al suelo.

## **21.3. Proceso de montaje**

A continuación aportamos un diagrama de Gantt donde se detalla el tiempo de ejecución de cada una de las tareas que componen cada Fase.





## **Bloque 2:**

# **DISEÑO DE SISTEMA CONTRA INCENDIOS PARA TANQUE DE ALMACENAMIENTO**



## BLOQUE 2 A: GENERALIDADES DE DISEÑO DE SISTEMAS CONTRA INCENDIO

### 1.- INTRODUCCIÓN

En este bloque del proyecto trataremos los temas referentes a la instalación de protección anti-incendios y se compone de las siguientes partes:

- Antecedentes. Se describe la instalación existente, características del producto almacenado, generalidades sobre el fuego, sistemas de extinción y agentes extintores.
- Normas y reglamentación aplicable.
- Instalaciones fijas contra incendios basadas en espumógenos
- Criterios de diseño. Depósito de espumógeno, tubería, valvulería, pintura, tornillería y obra civil.
- Cálculos justificativos. Cálculos hidráulicos.
- Planos.

La instalación industrial donde se ubica el tanque de almacenamiento de hidrocarburos objeto de nuestro proyecto y que da servicio una Central de Ciclo combinado, se sitúa en el Valle de Escombreras.



Fig.11.: localización de la instalación industrial



## 2.- ANTECEDENTES Y CONSIDERACIONES GENERALES

### 2.1. Descripción de la instalación existente

El tanque de almacenamiento objeto de este proyecto, pertenecientes a una Central de Ciclo combinado de Escombreras:

- Se trata de un tanque de almacenamiento de hidrocarburos de techo cónico soportado, cuyos datos de diseño son objeto del Bloque 1 de este proyecto.
- Dispone de un Sistema de Protección Contra Incendios con Espuma, que se alimenta mediante tomas para conectar con cisterna/depósito de espuma, y que se mantendrá operativo.
- El hidrocarburo almacenado es gasóleo.
- El sistema de espuma es de tipo araña con articulaciones rígidas desde el inicio hasta el final de la plataforma de la escalera rodante, donde conecta con un tramo de manguera flexible y rígida de nuevo desde el final de la plataforma de la escalera hasta el centro del techo del tanque, donde distribuye a cuatro líneas (en modo radial cada 90° aproximadamente) que inyectan la espuma en la corona exterior del tanque.

Para comprender mejor la filosofía de funcionamiento de la instalación existente y los riesgos que conlleva, se describen a continuación las propiedades del hidrocarburo almacenado, tipos de agentes extintores y sistemas de extinción, así como unas nociones sobre el diseño de tanques de almacenamiento.

### 2.2. Características del producto almacenado: combustibles

Cada combustible tiene una serie de características que marcan su facilidad para entrar en combustión y para provocar peligro y daños. Es importante el conocimiento y estudio del rango de inflamabilidad de un producto, que queda definido por sus límites de inflamabilidad. También es fundamental conocer la temperatura de inflamación de los productos que se manejan.

No todas las mezclas combustible - comburente son capaces de arder y para cada sustancia existe una concentración mínima de combustible en el comburente, por debajo de la cual no existirá combustión. Esta concentración recibe el nombre de límite inferior de inflamabilidad.

Lo mismo ocurre a la inversa, existe para cada sustancia una concentración máxima de combustible en un volumen de comburente por encima de la cual el combustible no entrará en combustión, es el límite superior de inflamabilidad.



Estos dos límites definen el rango de inflamabilidad del combustible. Cuanto mayor es este rango, tantas más posibilidades de inflamarse tendrá el combustible. Al aumentar la temperatura, el rango de inflamabilidad se ensancha y viceversa, por lo que una mezcla inflamable puede dejar de serlo si disminuimos la temperatura.

En definitiva, para que los vapores o gases combustibles puedan arder, deben mezclarse con el aire en un % menor que el Límite Superior de Inflamabilidad (L.S.I.) y mayor que el Límite Inferior de Inflamabilidad (L.I.I.). Al valor intermedio se le conoce con el nombre de combustión perfecta o mezcla estequiométrica.

La temperatura de inflamación es la mínima que debe alcanzar un combustible para ser capaz de emitir una cantidad de vapores suficientes, de modo que al recibir la energía de activación suficiente se produzca la combustión. De una forma directa se define la temperatura de inflamación como aquella temperatura mínima que debe alcanzar un combustible para arder.

La temperatura mínima de inflamación del gasoil es de 60° C.

Este parámetro permite clasificar las sustancias en:

- Inflamables: P. Inflamabilidad < 37.8° C.
- Combustibles: P. Inflamabilidad > 37.8° C.

Lo que nos permite expresar que el gasóleo es un líquido combustible.

A continuación mostramos una tabla donde en función de las distintas temperaturas de inflamación, se clasifican los líquidos en inflamables o combustibles.



Punto de inflamación Copa cerrada	< 20°F (-7°C)	20°F (-7°C)- 100°F (38°C)	100°F (38°C)- 140°F (60°C)	140°F (60°C)- 150°F (66°C)	150 °F (66°C)- 200°F (93°C)
OSHA	Inflamable	Inflamable	Combustible	Combustible	Combustible
ANSI	Extremadamente Inflamable	Inflamable	Inflamable (< 141°F/60.5°C)	Combustible	Combustible
RCRA (EPA)	Inflamable	Inflamable	Inflamable		
DOT	Inflamable	Inflamable	Inflamable (< 141°F/60.5°C)	Combustible	Combustible
CPSC	Extremadamente Inflamable	Inflamable	Combustible	Combustible	
NFPA 30	Clase I	Clase I	Clase II	Clase III	Clase III

Tabla 18: Comparación de clasificación de líquidos inflamables y combustibles.

El punto de autoinflamación es la temperatura mínima que debe alcanzar una sustancia para que se produzca una combustión sin necesidad de una energía de activación externa.

Las temperaturas de inflamación y autoinflamación dependen de:

- La composición de la mezcla combustible / aire.
- Volumen de la mezcla.
- Presión.
- Forma del recipiente.

La temperatura de autoinflamación definida para un combustible se considera la temperatura mínima que debe tener la fuente de energía de activación para que llegue a arder.

### **Clasificación de productos inflamables y combustibles:**

De acuerdo con el Reglamento de Instalaciones Petrolíferas, los productos petrolíferos se Clasificarán del siguiente modo:

#### **Clase A**

Hidrocarburos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15° C sea superior a 98 KPa (1 Kg/cm<sup>2</sup>), tales como el butano, propano y otros hidrocarburos licuables.

Estos hidrocarburos se dividen en dos subclases:



- Subclase A1. Hidrocarburos de la clase A que se almacenan licuados a una temperatura inferior a 0° C.
- Subclase A2. Hidrocarburos de la clase A que se almacenan licuados en otras condiciones.

### **Clase B**

Hidrocarburos cuyo punto de inflamación es inferior a 55° C y no están comprendidos en la clase A como son la gasolina, naftas, petróleo, etc.

Según su punto de inflamación, se dividen, a su vez, en otras dos subclases:

- Subclase B1. Hidrocarburos de clase B cuyo punto de inflamación es inferior a 38° C.
- Subclase B2. Hidrocarburos de clase B cuyo punto de inflamación es igual o superior a 38° C.

### **Clase C**

Hidrocarburos cuyo punto de inflamación esté comprendido entre 55° C y 100° C, tales como el gasóleo, fueloil, etc.

### **Clase D**

Hidrocarburos cuyo punto de inflamación sea superior a 100° C, como asfaltos, vaselinas, parafinas y lubricantes.

## **2.3. Gasóleo: Identificación de peligros, propiedades, manipulación y almacenamiento**

El **gasóleo** o diésel, también denominado gasoil, es un hidrocarburo líquido de densidad sobre 832 kg/m<sup>3</sup> (0,832 g/cm<sup>3</sup> compuesto fundamentalmente por parafinas y utilizado principalmente como combustible en calefacción y en motores diésel. Su poder calorífico inferior es de 35,86 MJ/l (43,1 MJ/kg) que depende de su composición comercial.

A continuación identificaremos los peligros asociados a dicho producto, así como pautas para su manipulación y otras informaciones de interés:

<b>IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS</b>
<b>FÍSICO / QUÍMICOS</b> Combustible si se calienta por encima de su punto de inflamación.



### TOXICOLÓGICOS (SÍNTOMAS)

**Inhalación:** La exposición repetida y prolongada a altas concentraciones de vapor causa irritación de las vías respiratorias y alteraciones del sistema nervioso central. Puede producir náuseas, dolor de cabeza, vómitos y tener efectos anestésicos. En casos extremos puede dar lugar a neumonía química.

**Ingestión:** Causa irritación en la garganta y estómago.

**Aspiración:** La aspiración de gasóleo a los pulmones puede producir daño pulmonar.

**Contacto piel:** El contacto prolongado y repetido puede producir irritación y causar dermatitis.

**Contacto ojos:** El contacto con los ojos puede causar irritación si se produce en altas concentraciones.

**Efectos tóxicos generales:** Peligro de aspiración hacia los pulmones. Los efectos más comunes son irritación de las vías respiratorias, ojos y piel. Posibles efectos cancerígenos.

### PRIMEROS AUXILIOS

**Inhalación:** Trasladar al afectado a una zona de aire fresco. Si la respiración es dificultosa practicar respiración artificial o aplicar oxígeno.

**Ingestión/aspiración:** NO INDUCIR EL VÓMITO para evitar la aspiración hacia los pulmones. En caso de entrada accidental de pequeñas cantidades de producto a la boca es suficiente el enjuague de la misma hasta la desaparición del sabor.

**Contacto piel:** Quitar inmediatamente la ropa impregnada. Lavar las partes afectadas con agua y jabón.

**Contacto ojos:** Lavar abundantemente con agua durante unos 15 minutos. Solicitar asistencia médica.

**Medidas generales:** Solicitar asistencia médica.

### MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

**Medidas de extinción:** Agua pulverizada, espuma, polvo químico, CO<sub>2</sub>. NO UTILIZAR NUNCA CHORRO DE AGUA DIRECTO.



<b>Contraindicaciones:</b> NP
<b>Productos de combustión:</b> CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, hidrocarburos inquemados, hollín.
<b>Medidas especiales:</b> Mantener alejados de la zona de fuego los recipientes con producto. Enfriar los recipientes expuestos a las llamas. Si no se puede extinguir el incendio dejar que se consuma controladamente. Consultar y aplicar planes de emergencia en caso de que existan.
<b>Peligros especiales:</b> Material combustible. Puede arder por calor, chispas, electricidad estática o llamas. El vapor puede alcanzar fuentes remotas de ignición e inflamarse. Los recipientes, incluso vacíos, pueden explotar con el calor desprendido por el fuego. Peligro de explosión de vapores en el interior, exterior o en conductos. Nunca verter a una alcantarilla o drenaje, puede inflamarse o explotar.
<b>Equipos de protección:</b> Prendas para lucha contra incendios resistentes al calor. Cuando exista alta concentración de vapores o humos utilizar aparato de respiración autónoma.

MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL	
<b>Precauciones para el medio ambiente:</b>  Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático. Los vertidos forman una película sobre la superficie del agua impidiendo la transferencia de oxígeno.	<b>Precauciones personales:</b>  Aislar el área. Eliminar todas las fuentes de ignición; evitar chispas, llamas o fumar en la zona afectada.
<b>Eliminación y limpieza:</b>  Derrames pequeños: Secar la superficie con materiales ignífugos y absorbentes. Depositar los residuos en contenedores cerrados para su	<b>Protección personal:</b>  Guantes impermeables. Calzado de seguridad. Protección ocular en caso de riesgo de salpicaduras. Aparatos de respiración



posterior eliminación.	autónoma si es necesario.
Derrames grandes: Evitar la extensión del líquido con barreras.	

## MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

### Manipulación:

*Precauciones generales:* NO SE DEBE VENDER O ALMACENAR GASOIL EN RECIPIENTES NO

APROPIADOS PARA ELLO. No debe utilizarse el producto para usos distintos de los especificados: combustible de automoción. Evitar la exposición a los vapores. En el trasvase utilizar guantes y gafas para protección de salpicaduras accidentales. No fumar en las áreas de manipulación del producto. Para el trasvase utilizar equipos conectados a tierra.

*Condiciones específicas:* En lugares cerrados usar sistema de ventilación local eficiente y antideflagrante. En trabajos en tanques vacíos no se debe soldar o cortar sin haber vaciado, purgado los tanques y realizado pruebas de explosividad. Se deben emplear procedimientos especiales de limpieza y mantenimiento de los tanques para evitar la exposición a vapores y la asfixia (consultar manuales de seguridad).

### Almacenamiento:

*Temperatura y productos de descomposición:* Puede producir monóxido de carbono y vapores irritantes, en combustión incompleta.

*Reacciones peligrosas:* Material combustible.

*Condiciones de almacenamiento:* Guardar el producto en recipientes cerrados y etiquetados. Mantener los recipientes en lugares frescos y ventilados, alejados del calor y de fuentes de ignición. Mantener los recipientes alejados de oxidantes fuertes.

*Materiales incompatibles:* Oxidantes fuertes.



<b>CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL</b>	
<b>Equipos de protección personal</b>	
<i>Protección respiratoria:</i> Máscara de protección respiratoria en presencia de vapores o equipo autónomo en altas concentraciones.	<i>Protección ocular:</i> Gafas de seguridad. Lavaojos.
<i>Protección cutánea:</i> Guantes impermeables.	<i>Otras protecciones:</i> Cremas protectoras para prevenir la irritación. Duchas en el área de trabajo.
<b>Precauciones generales:</b> Evitar el contacto prolongado y la inhalación de vapores.	
<b>Prácticas higiénicas en el trabajo:</b> Seguir las medidas de cuidado e higiene de la piel, lavando con agua y jabón frecuentemente y aplicando cremas protectoras.	
<b>Controles de exposición:</b> Gasóleo: TLV/TWA (ACGIH): 100 mg/m <sup>3</sup> Umbral olfativo de detección: 0.25 ppm	
<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS</b>	
<b>Aspecto:</b> Líquido oleoso. <b>pH:</b> NP <b>Color:</b> 2 (ASTM D-1500) <b>Olor:</b> Característico	
<b>Intervalo de ebullición:</b> PE (65%): 250°C mín.	<b>Punto de obstrucción filtro frío:</b> -10° C (invierno)



PE (95%): 360°C máx. (ASTM D-86)	0°C (verano)
<b>Punto de inflamación:</b> 55°C mín. (ASTM D-93)	<b>Autoinflamabilidad:</b> 338°C
<b>Propiedades explosivas:</b> Lím. inferior explosivo: 6% Lím. superior explosivo: 13.5%	<b>Propiedades comburentes:</b> NP
<b>Presión de vapor Reid:</b> 0.004 atm.	<b>Densidad:</b> 0.820 - 0.845 g/cm <sup>3</sup> a 15°C (ASTM D-4052)
<b>Tensión superficial:</b> 25 dinas/cm a 25°C	<b>Coef. reparto (n-octanol/agua):</b>
<b>Densidad de vapor:</b> 3.4 (aire: 1)	<b>Calor de combustión:</b> -43960 KJ/Kg (ASTM D-4529)
<b>Hidrosolubilidad:</b> Muy baja.	<b>Solubilidad:</b> En disolventes del petróleo.
<b>Otros datos relevantes:</b> Viscosidad: 2 - 4.5 cSt. a 40°C (ASTM D-445) Azufre: 0.035% máx. (ASTM D-1552)	

ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD	
<b>Estabilidad:</b> Producto estable a temperatura ambiente. Combustible por encima de su punto de ebullición.	<b>Condiciones a evitar:</b> Exposición a llamas, chispas, calor.
<b>Incompatibilidades:</b> Oxidantes fuertes.	
<b>Productos de combustión/descomposición peligrosos:</b> CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO (en caso de combustión incompleta), hidrocarburos inquemados.	
<b>Riesgo de polimerización:</b> NP	<b>Condiciones a evitar:</b> NP

TOXICOLOGÍA
<b>Vías de entrada:</b> La inhalación es la ruta más frecuente de exposición. Contacto con la piel, ojos e ingestión son otras vías probables de exposición.



**Efectos agudos y crónicos:** La aspiración a los pulmones como consecuencia de la ingestión o el vómito, es muy peligrosa. La inhalación produce irritación de las vías respiratorias y el contacto prolongado y repetido irritación de piel y ojos. Posibles efectos cancerígenos. DL50 > 5 g/Kg (oral-rata)

**Carcinogenicidad:** Clasificación CE: **Categoría 3** (Sustancias cuyos posibles efectos carcinogénicos en el hombre son preocupantes, pero de las que no se dispone de información suficiente para realizar una evaluación satisfactoria)

**Toxicidad para la reproducción:** No existen evidencias de toxicidad para la reproducción en mamíferos.

**Condiciones médicas agravadas por la exposición:** Problemas respiratorios y afecciones dermatológicas. No se debe ingerir alcohol dado que promueve la absorción intestinal de los gasóleos.

## INFORMACIONES ECOLÓGICA

### Forma y potencial contaminante:

*Persistencia y degradabilidad:* Liberado en el medio ambiente los componentes más ligeros tenderán a evaporarse y foto-oxidarse por reacción con los radicales hidroxilos, el resto de los componentes más pesados también pueden estar sujetos a fotooxidación pero lo normal es que sean absorbidos por el suelo o sedimentos.

Liberado en el agua flota y se separa y aunque es muy poco soluble en agua, los componentes más solubles podrán disolverse y dispersarse. En suelos y sedimentos, bajo condiciones aeróbicas, la mayoría de los componentes del gasóleo están sujetos a procesos de biodegradación, siendo en condiciones anaerobias más persistente. Posee un DBO de 8% en cinco días.

*Movilidad/bioacumulación:* Los log  $K_{o/w}$  de los componentes del gasóleo sugieren su bioacumulación, pero los datos de literatura demuestran que esos organismos testados son capaces de metabolizar los hidrocarburos del gasóleo.



**Efecto sobre el medio ambiente/eco-toxicidad:** Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

#### CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

**Métodos de eliminación de la sustancia (excedentes):** Combustión o incineración.

#### Residuos:

*Eliminación:* Los materiales muy contaminados se deben incinerar. Los menos contaminados pueden ser depositados en vertederos controlados. Remitirse a un gestor autorizado.

*Manipulación:* Los materiales contaminados por el producto presentan los mismos riesgos y necesitan las mismas precauciones que el producto y deben considerarse como residuo tóxico y peligroso. No desplazar nunca el producto a drenaje o alcantarillado.

*Disposiciones:* Los establecimientos y empresas que se dediquen a la recuperación, eliminación, recogida o transporte de residuos deberán cumplir las disposiciones autonómicas, nacionales o comunitarias en vigor, relativas a la gestión de residuos.

#### TRANSPORTE

**Precauciones especiales:** Estable a temperatura ambiente y durante el transporte. Almacenar en lugares frescos y ventilados.

#### Información complementaria:

Número ONU: 1202

Número de identificación de peligro: 30

Nombre de expedición: COMBUSTIBLES PARA  
MOTORES DIESEL o GASÓLEO o ACEITE  
MINERAL PARA CALDEO LIGERO.

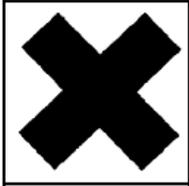
ADR / RID: Clase 3. Código de Clasificación:  
F1.

Grupo de embalaje: III

IATA-DGR: Clase 3. Grupo de embalaje: III

IMDG: Clase 3. Grupo de embalaje/ envase:  
III.



INFORMACIÓN REGLAMENTARIA		
<b>CLASIFICACIÓN</b>  <b>Carc. Cat. 3; R40</b>  <b>Xn; R65</b>  <b>R66</b>  <b>N; R51/53</b>	<b>ETIQUETADO</b>  <b>Símbolos: Xn, N</b>  <b>Frases R:</b>  R40: Posibles efectos cancerígenos.  R65: Nocivo: Si se ingiere puede causar daño pulmonar.  R66: La exposición repetida puede provocar sequedad o formación de grietas en la piel.  R51/53: Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.  <b>Frases S:</b>  S36/37: Úsese indumentaria y guantes de protección adecuados.  S61: Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.  S62: En caso de ingestión no provocar el vómito: acúdase inmediatamente al médico y muéstresele la etiqueta o el envase.	  

OTRAS INFORMACIONES
<b>Bases de datos consultadas:</b>  HSDB: US National Library of Medicine.  RTECS: US Dept. of Health & Human Services.  EINECS: European Inventory of Existing Commercial Substances.  CHRIS: US Dept. of Transportation.



**Normativa consultada:**

Dir. 67/548/CEE de sustancias peligrosas (incluyendo enmiendas y adaptaciones en vigor)

Dir. 88/379/CEE de preparados peligrosos (incluyendo enmiendas y adaptaciones en vigor)

Dir. 91/689/CEE de residuos peligrosos / Dir. 91/156/CEE de gestión de residuos

Real Decreto 363/95: Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y

etiquetado de sustancias peligrosas (incluyendo modificaciones en vigor)

Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías peligrosas por carretera (ADR)

Reglamento relativo al Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril. (RID)

Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas. (IMDG)

Regulaciones de la Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO) y de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) relativas al transporte de mercancías por vía aérea.

**GLOSARIO:**

CAS: Servicio de Resúmenes Químicos

IARC: Agencia Internacional para la  
Investigación del Cáncer

TLV: Valor Límite Umbral

TWA: Media Ponderada en el tiempo

STEL: Límite de Exposición de Corta  
Duración

REL: Límite de Exposición

Recomendada

PEL: Límite de Exposición Permitido

BEI: Índice de Exposición Biológica

MAK: Concentración máxima en el lugar de  
trabajo

IDLH: Concentración inmediatamente  
peligrosa para la  
salud y la vida

DL50: Dosis Letal Media

CL50: Concentración Letal Media

CE50: Concentración Efectiva Media

CI50: Concentración Inhibitoria Media

DBO (BOD): Demanda Biológica de Oxígeno

NP: No Pertinente



La información que se suministra en este documento se ha recopilado en base a las mejores fuentes existentes y de acuerdo con los últimos conocimientos disponibles y con los requerimientos legales vigentes sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. Esto no implica que la información sea exhaustiva en todos los casos. Es responsabilidad del usuario determinar la validez de esta información para su aplicación en cada caso.

## 2.4. Generalidades sobre el fuego

Se llama **fuego** al conjunto de partículas o moléculas incandescentes de materia combustible, capaces de emitir luz visible, producto de una reacción química de oxidación violenta.

Esta fuerte reacción química de oxidación es un proceso exotérmico, lo que quiere decir que, al mismo tiempo, desprende energía en forma de calor al aire de su alrededor. El aire que se encuentra alrededor de las moléculas o partículas calientes disminuye de densidad y literalmente tiende a flotar sobre el aire (convección), en el caso particular del fuego de estado sólido, el aire caliente viaja hacia arriba a tal velocidad que empuja aún partículas pesadas de combustible en la misma dirección (aún calientes y brillantes), las cuales van bajando de temperatura al igual que el aire de su derredor, dejando de brillar y tornándose generalmente de un color negro como el carbón, el aire, al enfriarse, empieza a bajar de velocidad, a tal punto que ya no puede empujar a las partículas para arriba y estas empiezan (si pesan más que el aire) a levitar sin subir para luego caer de nuevo a tierra.

El oxígeno es generalmente el agente oxidante con una gran afinidad por la mayoría de las materias orgánicas. El combustible actúa como agente reductor de esa reacción y puede ser cualquier material con posibilidad de ser oxidado. Según esta posibilidad, la velocidad de la reacción varía, por lo cual podemos clasificar:

- Oxidación: La reacción es lenta.
- Combustión: La reacción es rápida.
- Deflagración: La reacción es muy rápida.
- Explosión: La reacción es instantánea.

Para que se produzca el fuego es precisa la presencia simultánea de tres elementos:



- combustible,
- comburente
- energía de activación, que se aporta desde el exterior por un foco de ignición (calor).

Además para que el fuego se mantenga, es preciso que la energía sea suficiente para mantener las reacciones en cadena (al ser reacción exotérmica, esta energía es suficiente).

Clases de fuego, en función de la naturaleza del combustible:

- Clase A: Producidos por combustibles sólidos (madera, carbón, paja...).
- Clase B: Producidos por combustibles líquidos (gasolina, gasoil, keroseno...).

Solo arde la superficie que está en contacto con el aire.

- Clase C: Producidos por sustancias gaseosas (propano, butano...).
- Clase D: Producidos en metales combustibles (magnesio...).

### **Causas más frecuentes de incendio y su prevención:**

Normalmente en cualquier actividad coexisten dos de los elementos del triángulo del fuego, combustible y oxígeno del aire, por consiguiente para evitar que se inicie el fuego tenemos que tomar las medidas preventivas para impedir la aparición del tercer elemento, la energía de activación o calor.

Las causas de incendio pueden ser variadas y se dividen en dos grupos:

- Naturales: rayo, sol, sequía, viento...
- Accidentales: electricidad, fricción, soldadura y corte, electricidad estática, llamas y chispas de combustión, ignición espontánea...

### **2.5. Mecanismos de extinción**

Los mecanismos de extinción se basan en hacer desaparecer o disminuir los efectos de cada uno de los factores del incendio, que recordamos que son: Combustible, Comburente, energía de activación (calor) y reacción en cadena.

#### **A) Dilución o desalimentación**

Consiste en retirar o eliminar el **combustible**. Cuando se consigue disminuir la concentración de combustible para que los vapores generados queden fuera del rango de inflamabilidad se denomina **dilución**.



## B) Sofocación

Consiste en eliminar o desplazar el **comburente**. También se puede separar el comburente de los productos en combustión o reducir la concentración del comburente (en el caso del oxígeno por debajo del 15%).

Se trata de impedir que los vapores combustibles que están a una temperatura dada se pongan en contacto con el comburente, o bien que la concentración de éste sea tan baja que no permita la combustión.

## C) Enfriamiento

Consiste en eliminar el **calor** para reducir la temperatura del combustible, con lo que conseguiremos evitar que se desprendan gases que puedan ser inflamables.

## D) Inhibición o acción catalítica negativa

Consiste en provocar la ruptura de la **reacción en cadena** mediante la desactivación de los radicales libres que al reaccionar provocan ese calor de las reacciones exotérmicas que origina la reacción en cadena.

### 2.6. Agentes extintores: definición y características de aplicación

Por **agente extintor** entendemos el producto que provoca la extinción del incendio. Hay que tener presente que en la extinción de un incendio inciden numerosos y variados factores, por lo que no se puede decir a priori cual es la táctica y el agente adecuado, será la experiencia y el estudio de todos esos factores los que indicaran los objetivos a perseguir.

Los vamos a definir y clasificar en tres grupos, en función del estado en que se encuentren en el momento de su utilización.

#### 2.6.1. Agentes extintores líquidos

**AGUA:** agente extintor más conocido, el más empleado y el más barato.

##### Características

Tiene gran poder de enfriamiento por el alto calor latente de vaporización (540 calorías/gramo) y su calor específico (1 caloría/gramo y grado centígrado). Cuando se evapora aumenta su volumen entre 1.500 y 1.700 veces, por lo que consigue desplazar el aire que rodea al fuego.

Su densidad es de 1Kg/litro, por lo que suele ser más densa que la mayoría de los combustibles líquidos. Esto suele representar desventajas en la extinción si los líquidos no son solubles en agua, ya que se extiende más el incendio al flotar sobre ella el líquido que



combustiona.

### Mecanismos de extinción

El agua actúa principalmente por **enfriamiento** debido a su elevado calor latente de vaporización y su calor específico, por eso roba gran cantidad de calor a los incendios. En segundo lugar, debido al aumento de volumen que experimenta, actúa por **sofocación**, consiguiendo desplazar el oxígeno que rodea al fuego. En caso de combustibles líquidos hidrosolubles actúa también por **dilución** al reducir la concentración de combustible.

### Aplicaciones

Dependerán de la forma de arrojar el agua. El agua se puede utilizar en forma de **chorro compacto** (tiene como ventaja su largo alcance, pero se supone que sólo entre un 10 y un 20 por ciento del agua participa realmente en la extinción. Se utiliza en incendios de clase "A") o **chorro disperso** (dependiendo del tamaño de las gotas se utilizará en unos combustibles o en otros). Muy finamente pulverizada se puede emplear en fuegos en presencia de corriente eléctrica, pero esta aplicación exige una técnica muy depurada y lanzas especiales. Es muy efectiva en fuegos tipo "A" por su gran poder de enfriamiento y se utiliza en fuegos "B" y "C" para su control, no para su extinción.

### Limitaciones

Su mayor limitación es el hecho de ser conductora de la electricidad. Otra desventaja es su gran tensión superficial y su poca viscosidad, aunque esto se soluciona con aditivos especiales.

### Ventajas de su uso

Ya hemos dicho que era abundante, barata y cualquier persona puede utilizarla.

### Métodos de utilización

Se puede emplear en chorro o pulverizada. Existen gran cantidad de tipos de lanzas para su aplicación. Su uso en instalaciones fijas se hace por medio de rociadores o sprinklers y,



dependiendo del tipo de cabeza rociadora se conseguirá más o menos pulverización.

**AGUA CON ADITIVOS:** los aditivos que se emplean para mejorar la eficacia extintora el agua se pueden agrupar en dos clases.

**a) Agua con aditivos humectantes o aligerantes:** Su principal misión es reducir la tensión superficial del agua para lograr mayor poder de penetración. Son muy eficaces en incendios sólidos, ya que aumentan la superficie de agua en contacto con el fuego y logran penetrar rebajando su temperatura interior.

**b) Agua con aditivos espesantes:** Consiguen aumentar su viscosidad con lo que el agua tarda más escurrirse. Últimamente se están empleando estos productos en la lucha contra incendios forestales.

**ESPUMAS:** la espuma es un agregado estable de burbujas de aire con base acuosa. Tiene la propiedad de cubrir y adherirse a las superficies verticales y horizontales y al fluir libremente forma una capa resistente y continua que aísla del aire e impide la salida a la atmósfera de vapores volátiles combustibles. Se obtiene mediante la mezcla aireada de un espumógeno con agua. Las espumas pueden tener dos orígenes, **espumas químicas**, producidas por la reacción de dos productos químicos. Están en desuso por corrosivas. Y **espumas físicas**, se obtienen al mezclar aire con una masa espumante

### Características

Al margen del tipo de espumógeno hay que considerar también su índice de expansión, que junto al tipo nos indicará su adecuación a cada caso. En general las espumas tienen que tener las siguientes características: fluidez, resistencia al calor y a la contaminación, cohesión, homogeneidad y velocidad de drenaje baja.

### Conceptos relevantes

Espumógeno: Concentrado líquido de agente emulsor, que es capaz de producir soluciones espumantes generadoras de espuma.

(Espumógeno + agua = Solución espumante).

Espumante: Mezcla de agua y espumógeno, en la proporción adecuada, que se obtiene introduciendo el espumógeno de forma continua, en el flujo de agua o mediante su mezcla en un tanque de almacenamiento.



(Espumante + aire = Espuma).

Espuma: Mezcla de espumante y aire (o gas), formando un agregado estable de burbujas que, al fluir libremente sobre la superficie incendiada, forma una capa resistente y continua que aísla del aire e impide la salida a la atmósfera de vapores volátiles combustibles.

### Mecanismos de extinción

El principal efecto que consiguen las espumas es separar el combustible del aire, por tanto, el método principal de actuación de las espumas es por **sofocación**. En el caso de las espumas de alta expansión el efecto de sofocación se consigue porque desplaza totalmente el aire al ocupar la espuma todo el volumen del recinto. Al ser agua uno de los componentes también actúa por **enfriamiento**, bajando la temperatura del combustible y de las superficies metálicas que están en contacto con el mismo.

### Aplicaciones

Es el agente más eficaz para fuegos de clase "B". Es eficaz también en los de clase "A", aunque por su precio es más conveniente la utilización del agua. En ocasiones se utiliza como medida de prevención en derrames de líquidos combustibles para evitar que se produzca el incendio.

### Clasificación

#### Tipos de espumas

- 1) Según su coeficiente de expansión (volumen de espuma generada / volumen de espumante), la espuma generada se puede clasificar en tres tipos:
  - Baja expansión: Muy consistente y sólida con gran contenido de agua, lo que permite que pueda ser lanzada a chorro a distancia. Ideal para fuegos clase B y aceptable para clase A. Coeficiente de expansión comprendido entre 3 y 30.
  - Media expansión: Algo más ligera, la fuerza de cohesión de sus moléculas es menor, lo que le da una mayor movilidad. Se utiliza para sellar grandes superficies. Adecuada para fuegos tipo B. Coeficiente de expansión comprendido entre 30 y 250.
  - Alta expansión: Muy ligera. Los enlaces entre las moléculas son muy débiles, lo que impide utilizarlas en exteriores. Ideal para inundación rápida de locales cerrados, donde la espuma detiene el acceso de aire para la combustión. Coeficiente de expansión superior a 250. Son las únicas que pueden usarse cuando el foco del incendio se encuentra a una altura superior a 0.3 m.



- 2) Según la naturaleza del líquido combustible sobre el que actúen, la espuma generada se puede clasificar en tres tipos:
- Para fuegos de hidrocarburos. No miscibles con el agua.
  - Para fuegos de líquidos polares. Miscibles con el agua.
  - Polivalente. Aquella que puede ser utilizada para ambos tipos de combustibles.
- 3) Según el mecanismo de sofocación, la espuma generada se puede clasificar en dos tipos:
- Espuma convencional: extingue mediante la propia capa de espuma aplicada.
  - Espuma formadora de película acuosa: extingue mediante la formación de una película acuosa sobre la superficie del combustible.

### **Tipos de espumógenos**

Existen varios tipos, siendo los formadores de película acuosa AFFF los más interesantes.

- Espumógenos proteínicos (P): Procedente de la transformación e hidrólisis de residuos orgánicos naturales a los que se añaden estabilizadores e inhibidores para resistir la descomposición bacteriana, evitar congelación, prevenir la corrosión de equipos y controlar la viscosidad. La proporción a añadir en el agua está comprendida entre el 3 y el 6%. Actualmente comienzan a considerarse en desuso.
- Espumógenos fluoro proteínicos (FP): De composición similar a los proteínicos, pero además contienen un agente fluorado que les permite formar una película acuosa sobre la superficie del líquido inflamable, lo que les confiere la propiedad de separar el combustible de la espuma formada. Muy eficaces para extinguir fuegos en grandes depósitos de productos derivados del petróleo. La proporción a añadir en el agua está comprendida entre el 3 y el 6%. Se considera la espuma ideal para proteger y extinguir almacenamientos de combustibles líquidos.
- Espumógenos sintéticos: Fabricados a base de productos químicos tensoactivos. Cuentan con la mismas propiedades que los proteínicos pero mejoradas. Cubren todas las relaciones de expansión. Dos variedades:
  - Formadores de película acuosa (AFFF): Su base son productos fluorados tensoactivos, que a diferencia de los demás espumógenos, forman una película con mayor movilidad y se extiende rápidamente sobre la superficie del combustible creando una extraordinaria película polimerizada estanca sellante de vapores. En la actualidad se considera la espuma más universal debido al gran número de supuestos que es capaz de cubrir.
  - Hidrocarbonados: Se sintetizan a partir de compuestos tensoactivos hidrocarbonados y se emplean en proporciones muy variables, del 1 al 6%, con lo que la espuma resultante puede ser utilizada como agente humectante para fuegos de clase A o como emulsionante en fuegos de clase B. Esta variedad tiene un uso escaso debido a la polivalencia, estabilidad y eficacia de las anteriores.
- Espumógenos especiales para combustibles polares (antialcohol): Fabricados para evitar la



destrucción de la espuma cuando entra en contacto con combustibles solubles en agua. También pueden ser utilizados en fuegos de hidrocarburos.

Dos tipos:

- Base proteínica: Adición al concentrado P o FP de elementos insolubles en el combustible polar de manera que éstos precipiten sobre la estructura de la burbuja impidiendo así su rotura.
- Base sintética: Formados por estabilizadores sintéticos, agentes espumantes derivados fluorados y aditivos especiales con características gelificantes que permanecen en la espuma hasta que ésta entra en contacto con el combustible polar. En cuanto comienza la disolución del agua en el combustible, estos aditivos forman una membrana que impide la destrucción de la espuma. El porcentaje de mezcla de espumógeno / agua es fundamental para obtener la máxima eficacia de la espuma, debiéndose utilizar en la relación especificada por el fabricante. Normalmente se fabrican para el uso al 3% o al 6%.

### **Limitaciones**

Como en su composición interviene el agua en más de un 95% las limitaciones son prácticamente las mismas del agua, sin importar en este caso la viscosidad. Es de precio elevado y hay que prever gran cantidad en almacenamiento.

### **Ventajas de su uso**

Es el mejor agente extintor para almacenamientos de combustibles líquidos, en aeropuertos y en ciertas plantas químicas.

### **Métodos de utilización**

Para la producción de espuma se necesitan equipos especiales además de los del agua. Estos equipos son los proporcionadores, lanzas de media y baja presión y generadores de alta expansión. Se puede utilizar en instalaciones fijas.

**HIDROCARBUROS HALOGENADOS:** Los hidrocarburos halógenos líquidos se comportan ante el fuego igual que sus equivalentes en fase gaseosa (los estudiaremos en el apartado de agentes gaseosos). Diversos problemas, derivados sobre todo de la formación de productos tóxicos en la descomposición química de materias producidas por una elevación de



temperatura sin reacción con el oxígeno, han originado que su uso esté prohibido en muchos países.

## 2.6.2. Agentes extintores sólidos

### POLVOS EXTINTORES

#### Características

Los agentes extintores de polvo son productos compuestos básicamente por sales inorgánicas (bicarbonatos, fosfatos y sulfatos) pulverizadas, a las que se añaden distintos compuestos que mejoran sus características, asegurando una fácil proyección, buena conservación y evitando su apelmazamiento.

Los polvos extintores se aplican siempre en forma de polvo muy fino (25 a 30 micras/partícula), con lo que tiene grandes áreas superficiales específicas. Un extintor de polvo de 13,5 Kg. contiene un polvo con un área superficial global del orden de 4.500 m<sup>2</sup>.

Existen fundamentalmente tres tipos de polvos extintores:

- polvo BC o convencional. Suele ser bicarbonato de sodio o potasio.
- polvo ABC o polivalente. Suele estar compuesto por sulfatos y fosfatos.
- polvo D o especial. Son productos químicos diseñados específicamente para extinguir fuegos de metales, pero cada uno es adecuado para un tipo de fuego.

#### Mecanismos de extinción

Actúan primariamente por **inhibición o acción catalítica negativa** (rotura de la reacción en cadena). Al ser descargado sobre las llamas se combina con los radicales libres y rompe la cadena de reacción, reduciendo el calor y el oxígeno.

De manera secundaria, en el caso del polvo polivalente, cuando alguno de sus componentes es sometido a la acción del calor, forma un residuo que aísla el combustible del oxígeno, por lo que ejerce un efecto de **sofocación** al desplazar el oxígeno del aire de la zona e combustión.

Puede actuar por enfriamiento, pero el resultado es despreciable.

#### Aplicaciones

La aplicación primaria es para fuegos clases "B" y "C". El polvo polivalente es además antibrasa, con lo que se puede utilizar con los de clase "A", aunque sea mejor el agua. El polvo



especial está diseñado para actuar específicamente en fuegos clase "D" (metales). Todos los polvos extintores son dieléctricos, por lo que se pueden emplear en fuegos en presencia de corriente eléctrica, tomando la precaución de que la tensión no sobrepase los 5.000 voltios, sino puede ser peligroso.

### **Limitaciones**

Normalmente, los polvos extintores no enfrían, con lo que al poderse mantener tres de los cuatro componentes del fuego éste puede reiniciarse con facilidad. Sólo sirven para fuegos limitados en volumen, por tanto, es excelente para los inicios de un incendio. Si hay equipos delicados (ordenadores, etc.) pueden llegar a producir más daño que el que se pretende evitar.

### **Ventajas de su uso**

- es muy rápido en su actuación.
- es compatible con el empleo de otros agentes extintores.
- es dieléctrico.
- no es excesivamente caro y su mantenimiento no es complicado.

### **Métodos de utilización**

Normalmente se utilizan en extintores impulsados por gas. Se pueden usar en instalaciones fijas en sistemas automáticos, pero dada su composición atrancan fácilmente las boquillas de salida y pueden provocar muchos problemas.

## **2.6.3. Agentes extintores gaseosos**

**NITRÓGENO:** antes apenas se utilizaba principalmente por la producción de cianógeno y peróxido de nitrógeno al extinguir los fuegos que son muy tóxicos y se podían causar víctimas. Hoy en día se está utilizando con más frecuencia.

### **Características**

Es un gas muy estable a las altas temperaturas que se suelen dar en los incendios (de 700 a 1.330 grados).



### Mecanismos de extinción

El mecanismo primario es por **sofocación** ya que desplaza el oxígeno y rebaja su concentración. El mecanismo secundario es por **inhibición y enfriamiento**.

### Aplicaciones

El nitrógeno se ha empleado muy pocas veces como agente extintor. Por la experiencia de Kuwait puede deducirse que es práctico, con técnicas de aplicación muy especiales, para fuegos en los que se vean involucrados productos derivados del petróleo y para el petróleo mismo.

### Limitaciones

Su principal limitación estriba en la generación de gases muy tóxicos al emplearlo para extinguir incendios.

## DIÓXIDO DE CARBONO

### Características

Es un gas de bajo coste y su uso en extinción está muy extendido. Es fácilmente licuable y se transporta y almacena en recipientes a presión. Al extraerlo de los recipientes se convierte en gas y absorbe gran cantidad de calor.

### Mecanismo de extinción

La extinción la provoca primariamente por **sofocación** al desplazar el aire. De forma secundaria, pero con mucha importancia, extingue por **enfriamiento** debido a la gran cantidad de calor que roba al incendio al convertirse en gas. De hecho a los extintores de CO<sub>2</sub> se les llama de "nieve carbónica".



### **Aplicaciones**

Es muy buen agente extintor para fuegos superficiales de clase "A" y "B", e incluso es apropiado para algunos de clase "C". Puede utilizarse en presencia de corriente eléctrica de alto voltaje, pero no es adecuado cuando se vean implicados equipos delicados.

### **Limitaciones**

Tiene poco poder de penetración y en el exterior se disipa muy rápidamente. Hay que tener cuidado con su uso en extintores ya que el frío que produce en la parte metálica puede causar graves quemaduras y congelaciones. Es irrespirable y puede producir asfixia por falta de oxígeno. Sin embargo en proporciones de hasta el 5% puede servir como estimulante de la respiración.

### **Ventajas de su uso**

- Limpio y sin residuos de polvo.
- Es dieléctrico.
- Se licua muy fácilmente, lo que es una gran ventaja para su transporte y almacenamiento.

### **Métodos de utilización**

Se utiliza en extintores de todos los tamaños y en grandes instalaciones automáticas con 3 o 4 toneladas de dióxido de carbono (en estos casos por inundación total del recinto).

## **HIDROCARBUROS HALOGENADOS (HALONES)**

### **Características**

Son gases producidos industrialmente a partir del metano (CH<sub>4</sub>). La sustitución de un átomo de hidrógeno por otro elemento (cloro, flúor y bromo) da lugar a estos compuestos



halogenados.

Los más empleados son:

- Halón 1211 (Diflúor Cloro Bromo Metano).
- Halón 1301 (Triflúor Bromo Metano).

Todos tienen alta densidad en estado líquido.

### **Mecanismos de extinción**

Actúan de forma primaria por **acción catalítica negativa** (ruptura de la reacción en cadena). De forma secundaria, pero con más eficacia incluso que el CO<sub>2</sub>, por **enfriamiento**.

### **Aplicaciones**

Se puede utilizar con éxito para extinguir fuegos clases "A", "B" y "C". También se puede utilizar en presencia de corriente eléctrica siempre que esté garantizada la imposibilidad de creación de "arcos eléctricos" y tiene la gran ventaja de que no daña los equipos delicados.

### **Limitaciones**

Aparte de su precio la mayor limitación es que los halones perjudican gravemente la capa de ozono. Pueden generar gases tóxicos si no consiguen extinguir el incendio en breve espacio de tiempo. Es necesario por tanto calibrar muy bien las instalaciones. Al igual que el CO<sub>2</sub> tampoco es adecuado para fuegos profundos y se debe utilizar en interiores.

### **Ventajas de su uso**

- muy limpio y adecuado para protección de equipos delicados.
- necesita poca concentración para extinguir (ahorra espacio con respecto al CO<sub>2</sub>).
- pueden actuarse los sistemas de disparo automáticos aun con personas dentro del recinto.
- es rápido y no es preciso acercarse al fuego, lo que representa una gran ventaja en usos domésticos.

### **Métodos de utilización**



El Halón 1301 se emplea en las instalaciones por inundación de espacios cerrados.

El Halón 1211 se usa en instalaciones de aplicación local y extintores domésticos.

### 3. NORMAS Y REGLAMENTACIÓN APLICABLE

Para poder diseñar las instalaciones de protección contra incendios de extinción de un establecimiento, ya sea residencial o industrial, se debe acudir a la información proporcionada por la normativa señalada a continuación. Deben aplicarse normas vigentes que se encuentren en conformidad con las normas de la Unión Europea.

Normativa general:

1. Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RSCIEI).
2. Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios (RIPCI).
3. Código Técnico de la Edificación (CTE).
4. Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (ITCMIE- APQ1).
5. Normas UNE.

#### 3.1. Reglamento de Seguridad Contra-incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI)

El Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales (RSCIEI) establece las normas de diseño, construcción e instalaciones de protección contra incendios que deben cumplir los establecimientos e instalaciones de uso industrial para su seguridad en caso de incendio. Formalmente se trata del R.D. 2264/2004 por el que se aprueba el RSCIEI y sustituida por la corrección de errores del 5 de marzo de 2005. Publicado en el B.O.E. nº 55 del 5 de marzo de 2005 y revisado en octubre de 2007.

El objetivo de este Reglamento es establecer y definir los requisitos que deben satisfacer y las condiciones que deben cumplir los establecimientos e instalaciones de uso industrial para su seguridad en caso de incendio, así como prevenir su aparición y dar la respuesta adecuada al mismo, caso de producirse, limitando su propagación y posibilitando su extinción. Todo ello con



el fin de anular o reducir los daños o pérdidas que los incendios puedan producir a personas o bienes.

A efectos de aplicación del RSCIEI, en el Anexo 1 del mismo, se establece la caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad de incendios. Según este anexo los establecimientos industriales se caracterizan por su configuración y ubicación con relación a su entorno, así como por su nivel de riesgo intrínseco. En el Anexo 2, se recogen los requisitos constructivos de los establecimientos industriales según su configuración, ubicación y nivel de riesgo intrínseco, y en el Anexo 3, los requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales, en donde se recopilan las condiciones con las que deben contar los establecimientos industriales a la hora de incorporar distintos sistemas de prevención, detección y extinción de incendios.

### **3.2. Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI)**

El Reglamento de Instalaciones de Protección de Incendios (RIPCI) promulgado el 5 de Noviembre de 1993, y revisado en su anexo I y apéndices mediante Orden del 16 de Abril de 1998, fue redactado con el fin establecer y definir las condiciones que deben cumplir los aparatos, equipos y sistemas, así como su instalación y mantenimiento empleados en la protección contra incendios.

Es un marco regulador que aporta en una situación anteriormente no regulada, la necesidad de que las instalaciones y su mantenimiento se realicen por instaladores o mantenedores autorizados, de acuerdo a un conjunto de normas UNE, que determinados aparatos y equipos sean ensayados y dispongan de marca de conformidad, y que las operaciones de mantenimiento comprendan unas mínimas rutinas que explicita el RIPCI.

También regula el mercado de fabricantes, instaladores y mantenedores, al objeto de prevenir el intrusismo, la mala práctica y la baja calidad de productos no certificados. Fundamentalmente en el RIPCI quedan reglamentadas cuatro áreas.

- Registro de instaladores y mantenedores autorizados. (Cap. III).
- Instalación, puesta en servicio y mantenimiento. (Cap. IV).
- Características e instalación de equipos y sistemas. (Apéndice I).
- Mantenimiento mínimo de las instalaciones (Apéndice II).



### 3.3. Código Técnico de la Edificación (CTE)

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establecerá las exigencias que deben cumplir los edificios en lo relativo a los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley de la Edificación.

Formalmente se trata del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (B.O.E. nº 74 de marzo de 2006). El CTE tiene un enfoque basado en las prestaciones, respecto al concepto de calidad del edificio.

Con el fin de facilitar su comprensión, desarrollo, utilización y actualización, el CTE se ordena en dos partes, ambas de carácter reglamentario.

La primera contiene las disposiciones y condiciones generales (ámbito de aplicación, estructura, clasificación de usos, etc.) y las exigencias que deben cumplir los edificios para satisfacer los requisitos de seguridad y habitabilidad de la edificación.

La segunda parte está constituida por los denominados Documentos Básicos (DB), cuya adecuada utilización garantiza el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE.

En los mismos se contienen procedimientos, reglas técnicas y ejemplos de soluciones que permiten determinar si el edificio cumple con los niveles de prestación establecidos. Dichos DB no tienen carácter excluyente. Es en esta segunda parte del CTE y más concretamente en el Documento Básico Seguridad en caso de incendio (DB-SI), nos centraremos para hacer un inciso sobre los puntos establecidos de acuerdo con nuestra aplicación.

El ámbito de aplicación del DB-SI es el que se establece con carácter general para el conjunto del CTE en su artículo 2 (Parte I) excluyendo los edificios, establecimientos y zonas de uso industrial a los que les sea de aplicación el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (RSCIEI).

El objetivo de las exigencias básicas de Seguridad en caso de Incendios es *“reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento”*.



El CTE acepta otras soluciones diferentes a las contenidas en el mismo, en cuyo caso deberán seguirse los procedimientos establecidos. Se han reemplazado las denominaciones de resistencia al fuego por las nuevas Euroclases pero tomando la equivalencia EI por la anterior RF. Dentro de DB-SI hay que hacer unas puntualizaciones sobre el ámbito de aplicación:

- No incluye exigencias para limitar el riesgo de inicio de incendio.
- Se excluye los aparcamientos en espacios exteriores del entorno de los edificios, aunque estén cubiertas las plazas.
- En las obras de reforma, se aplicará a los elementos constructivos y a las instalaciones de P.C.I. modificados por dicha norma.
- Se comprobará el cumplimiento del CTE en los cambios de uso de edificios existentes aunque no existan obras.
- La duplicación de la superficie de sectorización mediante la aplicación de sistemas de extinción automáticos.

### **3.4. Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento de Seguridad CI en Establecimientos Industriales (ITC-MIE-APQ1)**

Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-MIE-APQ1 "Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles" se recogen en el Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.

La presente instrucción tiene por finalidad establecer las prescripciones técnicas a las que han de ajustarse el almacenamiento, carga y descarga y trasiego de los líquidos inflamables y combustibles.

Esta ITE se encuentra dividida en 56 artículos, que a su vez se reparten en 4 secciones que a continuación se mencionan:

- Sección 1. Generalidades.
- Sección 2. Almacenamiento en recipientes fijos.
- Sección 3. Almacenamiento en recipientes móviles.
- Sección 4. Operación, mantenimiento y revisiones periódicas.

La protección contra incendios en un almacenamiento de líquidos inflamables y/o combustibles y sus instalaciones conexas está determinada por el tipo de líquido, la forma de almacenamiento, su situación y/o la distancia a otros



almacenamientos; por lo que, en cada caso, deberá seleccionarse el sistema y agente extintor que más convenga, siempre que cumpla con los requisitos mínimos que, de forma general, se establecen en esta instrucción técnica complementaria (ITE MIE-APQ1).

La ITE MIE-APQ-001 hace una clasificación de los productos: Clase A (subclases A1, A2), Clase B (subclases B1, B2), Clase C y Clase D. Clasificación vista anteriormente.

Desde el artículo 24 al 32 se establece los diferentes tipos de protección contra incendios para instalaciones fijas de superficie.

- Generalidades.
- Protección con agua.
- Protección con espuma para productos de la clase B1.
- Atmosferas inertes. Protecciones especiales.
- Extintores.
- Alarmas.
- Equipos auxiliares.
- Ignifugado.

### 3.5. Normas UNE

AENOR, entidad española, privada, independiente, sin ánimo de lucro, reconocida en los ámbitos nacional, comunitario e internacional que tiene como propósito contribuir, mediante el desarrollo de las actividades de normalización y certificación (N+C), a mejorar la calidad en las empresas, sus productos y servicios, así como proteger el medio ambiente y, con ello el bienestar de la sociedad, establece que entre sus compromisos están:

- Certificar productos, servicios y empresas (sistemas) confiriendo a los mismos un valor competitivo diferencial que contribuya a favorecer los intercambios comerciales y la cooperación internacionales.
- Orientar la gestión a la satisfacción de los clientes y la participación activa de su personal, con criterios de calidad total, y obtener resultados que garanticen un desarrollo competitivo.
- Impulsar la difusión de una cultura que relacione e identifique AENOR como un apoyo a quien busca la excelencia.

La actividad de AENOR comenzó en el año 1986 cuando, mediante una Orden Ministerial que desarrollaba el Real Decreto 1614/1985, fue reconocida como la



única entidad aprobada para desarrollar las tareas de normalización y certificación en nuestro país.

Posteriormente, el Real Decreto 2200/1995 de 28 de diciembre que aprobaba el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial en España, ratificó el nombramiento de AENOR como responsable de la elaboración de las normas españolas (Normas UNE).

A continuación se incluye una relación de las normas empleadas en la redacción de este proyecto:

- UNE-EN 12845:2005+A2: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de rociadores automáticos. Diseño, instalación y mantenimiento.
- UNE 23500 Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios.
- UNE-EN-3-7-2004 Extintores portátiles de incendios.
- UNE-EN-1568-3 y 4 Agentes extintores. Espumógenos de baja expansión.
- UNE-EN-671-1 Instalaciones fijas de lucha contra incendios. Sistemas equipados con mangueras.
- UNE 23007-1:1996 Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 1: Introducción.
- UNE 23007-2:1998 Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 2: Equipos de control e indicación.
- UNE 23007-4:2003 Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 2: Equipos de suministro de alimentación.
- UNE 23007-14:1996 Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 14: Planificación, diseño, instalación, puesta en servicio, uso y mantenimiento.
- UNE 23008-2:1988 Concepción de las instalaciones de pulsadores manuales de alarma de incendio.
- UNE 23521:1990 Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Generalidades.



- UNE 23522:1983 Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas fijos para protección de riesgos interiores.
- UNE 23526:1984 Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Ensayos de recepción y mantenimiento.
- UNE 23.521:1994 Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Generalidades.
- UNE 23.524:1983 Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas fijos para protección de riesgos exteriores. Espuma pulverizada.
- UNE 23.525:1983 Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas fijos para protección de riesgos exteriores. Monitores, lanzas y torres de espuma.
- UNE 23603:1983 Seguridad contra incendios. Espuma física extintora. Generalidades.
- UNE 23604:1988 Agentes extintores de incendio. Ensayos de propiedades físicas de la espuma proteínica de baja expansión.
- UNE 23635:1990 Agentes extintores de incendios. Agentes formadores de película acuosa.
- UNE-EN 1568- 3:2001 Agentes extintores. Espumógenos. Parte 1: Especificación para Espumógenos de baja expansión para aplicación sobre la superficie de líquidos no miscibles con el agua.
- UNE 23032:1983 Seguridad contra incendios. Símbolos gráficos para su utilización en los planos de construcción y planes de emergencia.
- UNE 23033-1:1981 Seguridad contra incendios. Señalización.
- UNE 23034:1988 Seguridad contra incendios. Señalización de seguridad. Vías de evacuación.
- UNE 23035-1:1995 Seguridad contra incendios. Señalización foto luminiscente. Parte 1: medida y calificación.
- UNE 23035-2:1995 Seguridad contra incendios. Señalización foto luminiscente. Parte 2: medida de productos en el lugar de utilización.
- UNE 23035-3:1999 Seguridad contra incendios. Señalización foto luminiscente. Parte 3: señalizaciones y balizamientos foto luminiscentes.



- UNE 23035-4:1999 Seguridad contra incendios. Señalización foto luminiscente. Parte 4: condiciones generales. Mediciones y clasificación.
- UNE 23091-1:1989 Mangueras de impulsión para la lucha contra incendios. Parte 1: generalidades.
- UNE 23091-2A:1996 Mangueras de impulsión para la lucha contra incendios. Parte 2A: manguera flexible plana para servicio ligero, de diámetro 45 mm y 70 mm.
- UNE 23091-2B:1981 Mangueras de impulsión para la lucha contra incendios. Parte 2B: manguera flexible plana para servicio duro, de diámetros 25, 45, 70 y 100 mm.
- UNE 23091-3A:1996 Mangueras de impulsión para la lucha contra incendios. Parte 3A: manguera semirrígida para servicio normal, de 25 mm de diámetro.
- UNE 23091-4:1990 Mangueras de impulsión para la lucha contra incendios. Parte 4: descripción de procesos y aparatos para pruebas y ensayos.
- UNE 23110-1975 Extintores portátiles de incendio. Parte 1. Designación, duración de funcionamiento. Ensayos de eficacia. Hogares tipo.
- UNE 23110-1980 Extintores portátiles de incendio. Parte 2. Estanqueidad, ensayo dieléctrico, ensayo de asentamiento, disposiciones especiales.
- UNE 23110-1982 Extintores portátiles de incendio. Parte 3. Construcción, resistencia a la presión, ensayos mecánicos.

Es importante señalar, por una parte, que una norma técnica, como una especificación técnica aprobada por una institución normalizadora, no es de observancia obligatoria hasta que no forman parte de un Reglamento Técnico o la Administración las hace formar parte de una disposición. Por otra parte, los instrumentos que ha desarrollado la Unión Europea en legislación son las directivas. Esto implica que la pertenencia a la UE iguala el nivel de exigencia entre todos los estados miembros. Una directiva europea pasa a ser de obligado cumplimiento cuando el país miembro la incluye en su legislación.

Sin embargo, para comprobar su desarrollo y cumplimiento se emplean normas denominadas europeas, las conocidas normas EN, por lo que son especificaciones técnicas. De este modo los organismos pertinentes pueden certificar de manera rápida el cumplimiento de una directiva unificando criterios.



## 4. INSTALACIONES CONTRA INCENDIOS PARA TANQUES DE ALMACENAMIENTO

### 4.1. Introducción

En los comienzos de la industria petrolera, eran muy comunes los incendios de los depósitos de combustibles. Las mejoras tecnológicas permitieron que estos eventos se redujeran drásticamente. Si bien, hoy, son eventos extraordinarios, cuando suceden son de gran magnitud, debido a que los tanques han ido creciendo en su volumen.

Debido a esto, se han tenido que desarrollar, técnicas y sistemas altamente eficientes para combatir los incendios, buscando así preservar vidas, bienes y el medio ambiente. En el desarrollo de este apartado, se podrá encontrar una descripción de los sistemas que se utilizan actualmente para la extinción de incendios en los tanques de almacenamiento de combustibles.

### 4.2. Clasificación de sistemas C.I. para tanques

A grandes rasgos, los mismos pueden ser clasificados dentro de dos categorías:

#### **A) Instalación fija de espuma:**

Se trata de una instalación completa que incluye: un sistema de provisión y dosificación de la solución de espuma, los elementos de descarga de la espuma sobre el área a proteger y todas las tuberías que se encuentran entre el camino del dosificador y la sección de descarga.

#### **B) Instalación semi-fija de espuma:**

Este tipo de instalación, contempla los dispositivos de descarga de espuma y todas las tuberías necesarias para trasladar la solución de espuma a dicho lugar. Cuando se inicia un incendio, los sistemas dosificadores son llevados a dichas tuberías y se los conecta para la provisión del agente extintor.

Lo que se expresa en el siguiente apartado es válido para ambos tipos de sistemas.

### 4.3. Tipos de tanques de almacenamiento de combustible

Como ya vimos, hay cuatro tipos principales de tanques para el almacenamiento de combustibles y en base esta clasificación, las



especificaciones de diseño de su sistema contra incendios varía. Así, encontramos:

### **A) Tanques de techo fijo**

Son tanques cilíndricos verticales con techos fijos del tipo cónico o domo geodésico. En la unión del techo al cilindro, se efectúa una costura débil, que en el eventual caso de un incendio permite que el techo vuele.

Este tipo de diseño, requiere una protección contra incendio que contemple TODA la superficie del tanque.

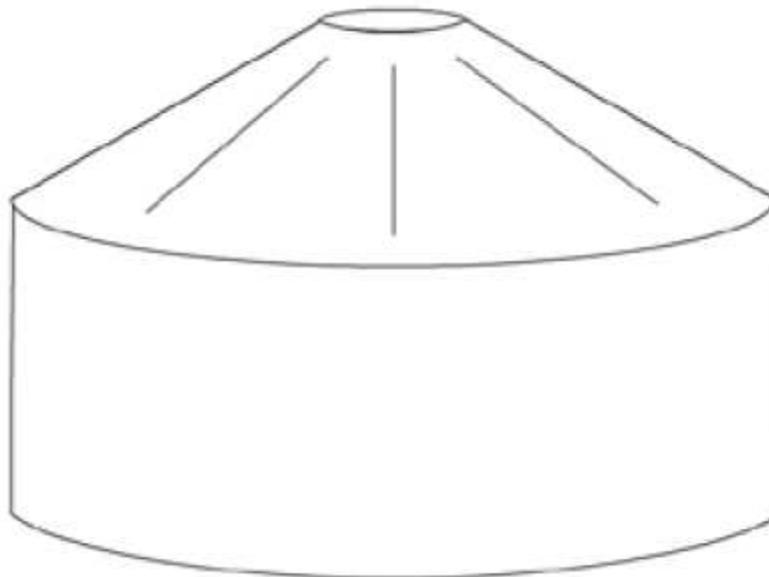


Fig.12: tanque de techo fijo

### **B) Tanques de techo flotante abierto**

Son tanques cilíndricos verticales, que tienen un techo flotante consistente en una doble cubierta o tipo pontón. El sello entre el techo y los laterales del tanque puede ser provisto por una zapata mecánica o bien por un sello tipo tubo. En algunos casos, se provee a los tanques con escudos climáticos en el área superior del sellado y también de sellos secundarios para asegurar la estanqueidad del sistema. Estos tanques pueden experimentar un incendio de la superficie total del combustible en el eventual caso que el techo se hundiese. La estadística muestra que este tipo de ocurrencias es poco probable y que mayormente los incendios se desarrollan en torno del sello, lugar donde se destinará la protección primaria contra un siniestro.

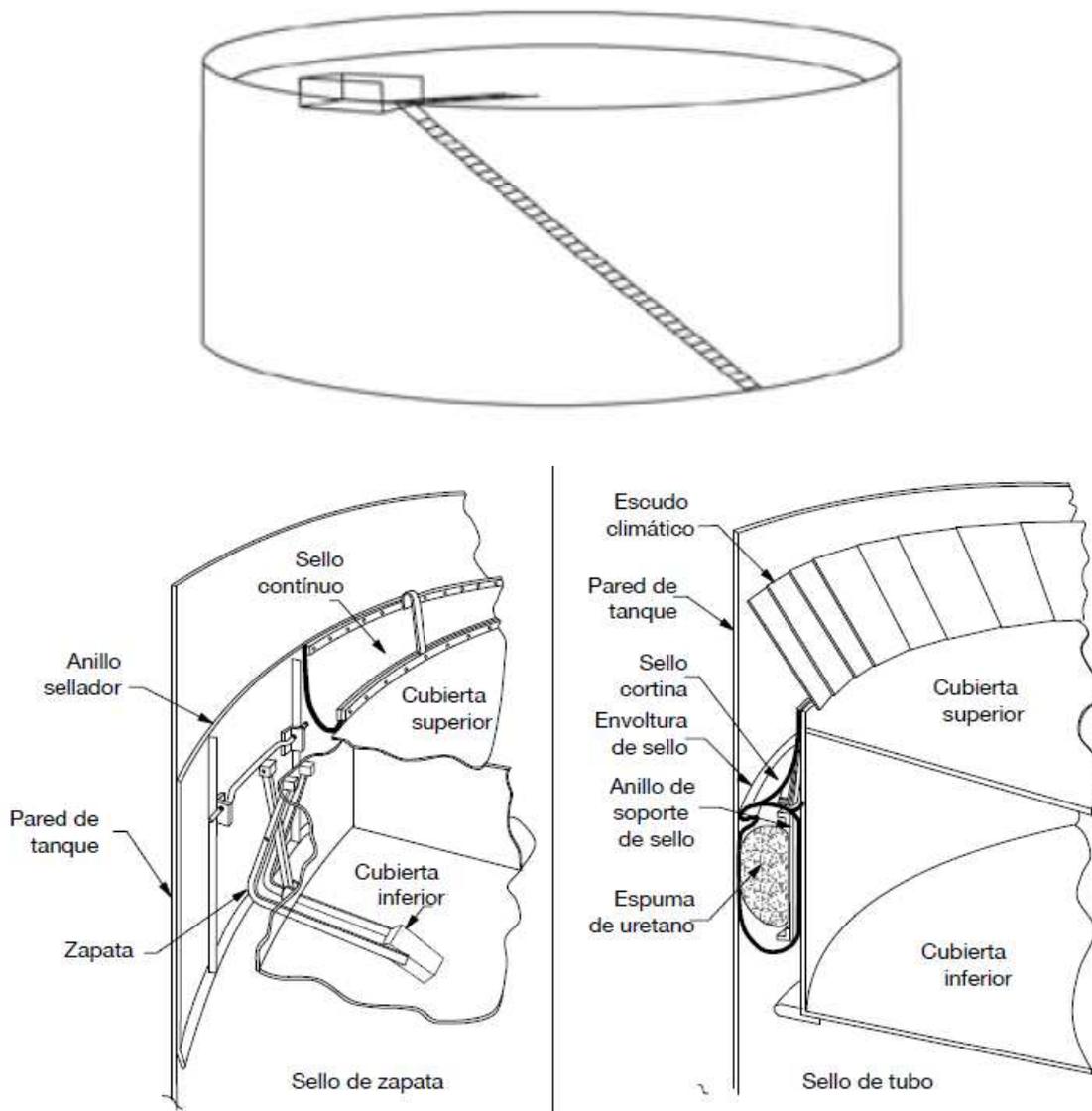


Fig.13: tanque de techo flotante

### C) Tanques de techo flotante cubierto

Es una conjunción de los dos sistemas antes mencionados. Se provee un techo flotante del tipo doble cubierta o pontón, albergado dentro de un techo fijo cónico o tipo domo. De acuerdo a como sea la construcción del techo flotante, se deberá priorizar la protección contra incendio total de la superficie del tanque o bien localizada en el sello.

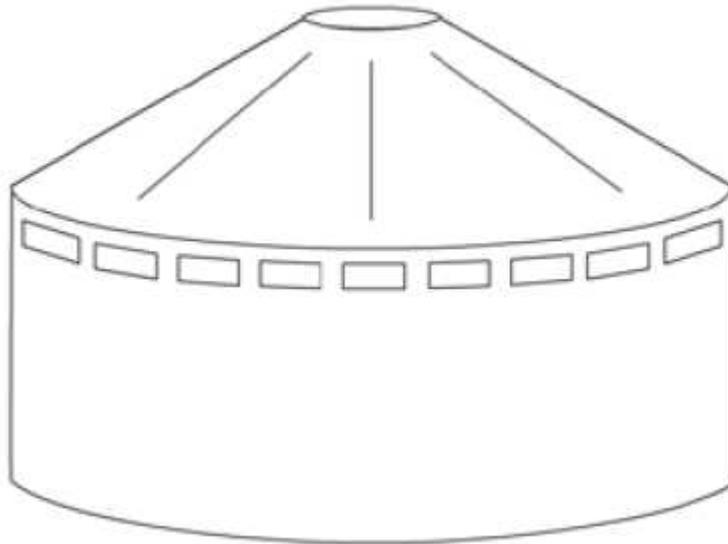


Fig.14: tanque de techo flotante cubierto

### D) Tanques horizontales

Los tanques horizontales, son de forma cilíndrica y vienen provistos de mecanismos de ruptura. Son montados sobre soportes alrededor de un dique de contención. Al explotar, vierten el combustible dentro del dique, con lo cual la atención contra incendio simplemente radica en enfriar el tanque con agua para evitar su colapso y si éste ocurre, extinguir el incendio desarrollado en la fosa en torno del contenedor.

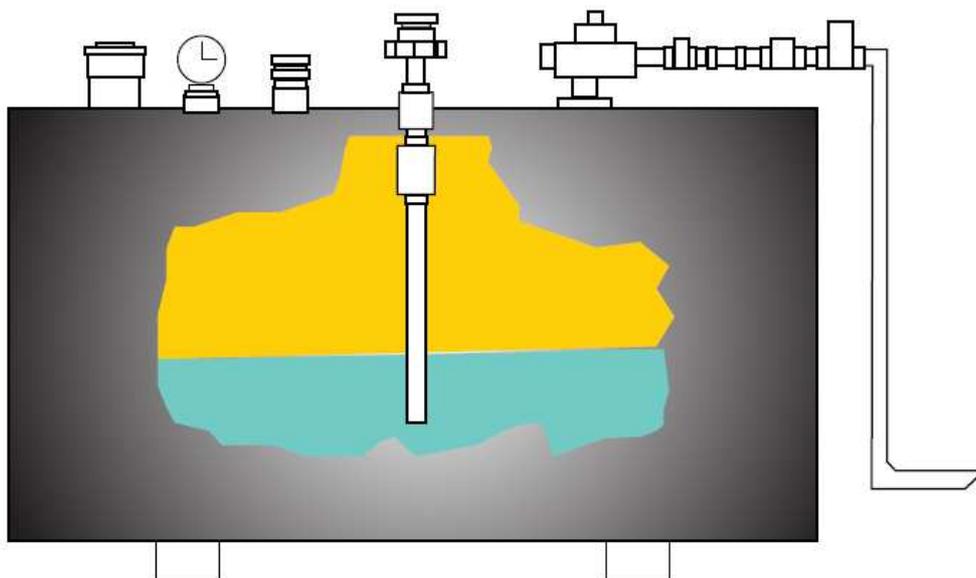


Fig.15: tanque de almacenamiento horizontal



**Nota:** No pueden ser considerados techos flotantes aquellos que se construyen en base a:

- Techos contruidos de materiales plásticos.
- Techos contruidos con partes plásticas, incluso si las mismas estuviesen encapsuladas dentro de metales o fibra de vidrio.
- Techos que basan su operatividad en dispositivos flotantes, que pueden perder su estado de flotación si son dañados.

## 5. INSTALACIONES FIJAS C.I. BASADAS EN ESPUMÓGENOS

### 5.1. Generalidades de instalaciones C.I. basadas en espumógenos

Todos los sistemas fijos o móviles que involucren a la extinción de incendios basados en agentes espumógenos, consisten de los siguientes 4 elementos.

- 1- Concentrado de espuma.
- 2- Dispositivo mezclador (llamado también indistintamente dosificador o proporcionador).
- 3- Una provisión de agua.
- 4- Un dispositivo generador de la espuma.

En el mercado, muchos términos se utilizan indistintamente para hacer mención a la espuma y sus concentrados (ej. emulsores, concentrados de espumas, espumas, etc.). Con la intención de clarificar la nomenclatura que utilizaremos en este apartado, efectuamos las siguientes definiciones.

**Concentrado de espuma:** Es el líquido correspondiente al agente espumógeno concentrado, tal como lo distribuye desde su unidad productiva.

**Solución de espuma:** Es la mezcla homogénea y proporcionada del concentrado de espuma con el agua.

**Espuma o espuma final:** Es el producto final de la expansión, con el agregado de aire y agitación mecánica, de la solución de espuma. Se trata de una masa de burbujas que flota sobre el combustible cubriendo la superficie ardiente del mismo, eliminando los vapores inflamables, separando el combustible del aire y enfriándolo.

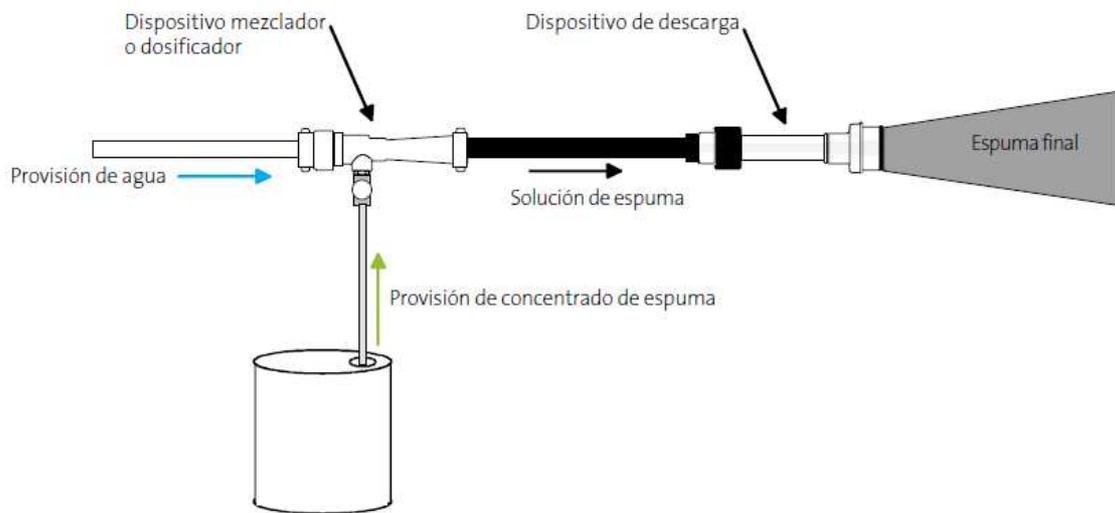


Fig.16: esquema de sistema c.i. basado en espumógeno

## 5.2. Almacenaje y manejo de los concentrados de espumas

Todos los concentrados de espumas anti incendios homologados, están probados para brindar una gran efectividad incluso tras permanecer almacenados por largos períodos de tiempo. La forma de almacenarlos, afecta significativamente la vida del producto.

Las condiciones óptimas de almacenaje se encuentran dentro de los recipientes provistos por los fabricantes (bidones de 25l, tambores de 200l y contenedores de 1000l). Los tanques construidos específicamente para dicho uso (tanques de almacenaje de concentrado), ofrecen condiciones de almacenamiento igualmente ventajosas.

Los tanques de almacenaje pueden estar montados en instalaciones fijas o móviles y son capaces de entregar inmediatamente grandes volúmenes de este líquido.

El tanque, se encuentra cerrado al medio ambiente, por excepción de una válvula de presión / vacío, montada en un domo de expansión. En general el volumen de dicho domo es del 2% de la capacidad total del tanque. Con el objetivo de reducir el contacto entre la mezcla de aire y el concentrado, el nivel de este líquido debe mantenerse en un punto medio en el domo.



Muchos contenedores estándar contruidos en polietileno, no poseen domo de expansión, en dicho caso se sugiere el empleo de un aceite sellador para suplir la función de aislarlo del aire.

No exceder las temperaturas máximas de almacenamiento (49°C), el hacerlo puede resultar en el deterioro de la calidad del concentrado.

Así mismo, la mínima temperatura de uso de un concentrado, no es su punto de congelamiento, sino que más bien será la temperatura mínima por medio de la cual el concentrado puede ser proporcionado adecuadamente por los dispositivos tipo Venturi de los distintos dosificadores de la línea.

La calidad de los concentrados, no se verá negativamente afectada por las bajas temperaturas, pero pueden tornarse demasiado viscosos para ser distribuidos adecuadamente.

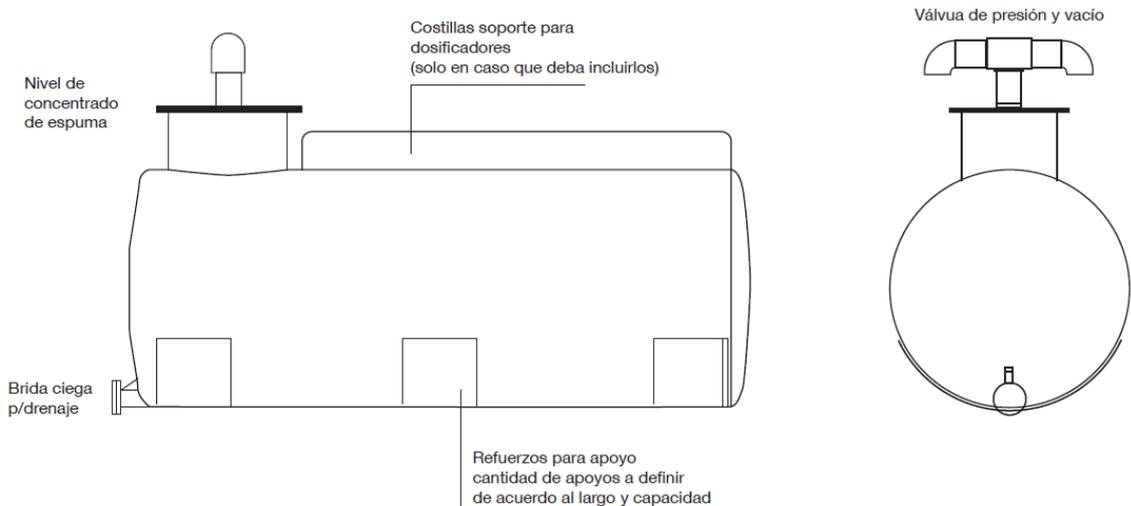


Fig.17: Diseño de un depósito de concentrado de espuma

**Nota:** mantenimiento y monitorización del concentrado de espumas sintéticas

- 1- Mantener almacenado el concentrado de espuma, de forma que se reduzca al mínimo la superficie de contacto con el aire en el interior del tanque (si el tanque cuenta con un domo de expansión, llenarlo hasta la mitad con el concentrado).
- 2- Instalar una válvula de venteo para reducir la condensación y evaporación que resultarían perjudiciales al concentrado. Esta válvula debe seguir inspecciones periódicas de mantenimiento.
- 3- Evitar almacenar los concentrados en temperaturas superiores a las máximas recomendadas (49°C).
- 4- Nunca mezclar diferentes marcas o tipos de concentrados.



- 5- Evitar la dilución de concentrado con agua.
- 6- Evitar la contaminación del concentrado con otras sustancias químicas. En el caso del uso de aceites selladores evitar la agitación y el mezclado.
- 7- Construir las válvulas, acoplamientos y tuberías que están en contacto íntimo, con idénticos metales a modo de evitar óxido o el deterioro por efecto galvánico.
- 8- Efectuar análisis anuales de los concentrados.

### 5.3. Dosificación del concentrado de espumas

#### Introducción

La dosificación, es el proceso de mezclar componentes en cantidades predeterminadas, para obtener un producto único. En nuestro caso, los elementos a mezclar de forma dosificada, son el concentrado de espuma con el agua para obtener así la solución de espuma. Existen varios métodos para dosificar estas mezclas. Cada uno cuenta con pros, contras y limitaciones; de ahí que deberá seleccionarse cuidadosamente el sistema a utilizar. La elección errónea puede conducir a graves consecuencias tales como el incremento de coste de una instalación (costes fijos derivados del sobredimensionamiento o costos variables de mantenimiento), hasta que la misma no sea efectiva para combatir potenciales incendios debido a su pobre efectividad.



Fig.18: tanque de almacenamiento inundado con espuma

**Nota:** Es importante que el dosificador mantenga un correcto ratio de mezcla de concentrado de espuma y agua.

- Si la mezcla fuese pobre (poco concentrado) la calidad de la espuma final decrece, en consecuencia se obtendrá una espuma débil con un



bajo tiempo de escurrimiento y con un espesor muy fino que será fácilmente vulnerado por el calor de las llamas.

- Si la mezcla es rica (mayor concentrado en la mezcla que el sugerido) la espuma será más espesa, perdiendo su capacidad de fluir fácilmente, pudiendo no cubrir espacios intrincados del incendio. Adicionalmente se agotará el suministro de concentrado más rápidamente y como consecuencia puede resultar no ser suficiente para extinguir el incendio en cuestión.

#### **5.4. Métodos de dosificación de concentrados de espumas AFFF y AR-AFFF (2-1)**

Existen diversos métodos de dosificación de los concentrados de espuma más ampliamente utilizados para instalaciones anti-incendios, a continuación describimos los más representativos:

- 1- Solución premezclada
- 2- Dosificación del tipo Venturi
- 3- Dosificación a través de tanque tipo vejiga
- 4- Dosificador de presión balanceada
- 5- Dosificador de presión balanceada en línea
- 6- Dosificación en torno de la bomba
- 7- Toberas de aspiración
- 8- Dosificación con turbina

##### **5.4.1. Solución premezclada**

Es el método más simple de dosificación. Se trata de mezclar en proporciones exactas, dentro de un contenedor, las cantidades de concentrado y de agua. El contenedor es en general un recinto presurizado, que utiliza un gas inerte como propulsor (este es el caso de los extintores portátiles a base de espumas). La pre-mezcla también puede ser utilizada en tanques a presión atmosférica y utilizar una bomba para llevar la solución a través de la línea y hacia el elemento de descarga (lanza, monitor, etc.).

##### **Ventajas:**

1. Facilidad de mezcla. Independencia de tuberías de agua.
2. Exactitud de la mezcla



### **Desventajas:**

1. El tanque de almacenaje debe contener el agua y el concentrado, en consecuencia su tamaño es de importancia y se transforma en un limitante.
2. No todos los concentrados de espumas pueden ser premezclado (ej. Protéicas y fluoro protéicas).
3. Se desconoce la vida útil de las soluciones premezcladas.

#### ***5.4.2. Dosificadores del tipo Venturi***

Los dosificadores del tipo Venturi, comúnmente llamados dosificadores de línea, introducen el concentrado dentro de un flujo constante de agua en una proporción determinada. El dispositivo recibe nombres tales como educor o inductor y consta de un funcionamiento sencillo, basado en un principio de la física de los fluidos.

A medida que el agua fluye a través del Venturi a una alta velocidad, se produce un diferencial de presión negativo en el orificio de suministro del concentrado, ocasionando la succión e introducción del mismo dentro del torrente del agua en una proporción exacta. Las variaciones de presión de la línea de agua, influyen directamente en el flujo del concentrado, asegurando la correcta dosificación de la mezcla.

Debido a que la producción de la mezcla viene determinada por la relación de presión entre la entrada y salida del Venturi, el rango operativo se encuentra limitado. En consecuencia cada modelo de dosificador de línea, tendrá su propio rango de presión de trabajo y para mantenerlo el suministro de entrada de agua deberá conservarse a determinadas presiones.

Una presión de alimentación de agua, mayor a la operativa, resultará en una mezcla pobre de concentrado con agua. Contrariamente con una presión menor a la sugerida se obtendrá una mezcla rica.

Adicionalmente, este tipo de sistemas dosificadores, son sensibles a la denominada presión de fondo. Se entiende por presión de fondo a la presión necesaria a la salida del dosificador para descargar el total de la solución de espuma. Esto incluye la presión requerida en la entrada de los dispositivos de descarga (lanzas, monitores, etc.), las pérdidas por rozamiento en la línea y la elevación de descarga. Es por ello que la máxima presión de fondo admisible a

la salida del dosificador es del orden del 65% que la presión de entrada de agua.

Si la presión de fondo excediese dicho valor, el dosificador podría no incorporar el concentrado de una forma adecuada, resultando una mezcla pobre de solución de espuma.

Los dosificadores de línea del tipo Venturi pueden ser utilizados en equipos portátiles o bien en instalaciones fijas.

Para el caso de equipos portátiles, el dosificador es equipado con conexiones para mangueras facilitando así su instalación a una línea. El suministro de concentrado en dicho caso, se realiza por medio de bidones a los cuales se les inserta un tubo de succión.

Como mencionamos, estos dispositivos son sensibles a la presión de fondo, por lo tanto debe prestarse atención en la compatibilidad entre el dosificador y la tobera de descarga, y en la longitud de manguera entre dichos elementos. En el siguiente diagrama se pueden apreciar los distintos elementos.

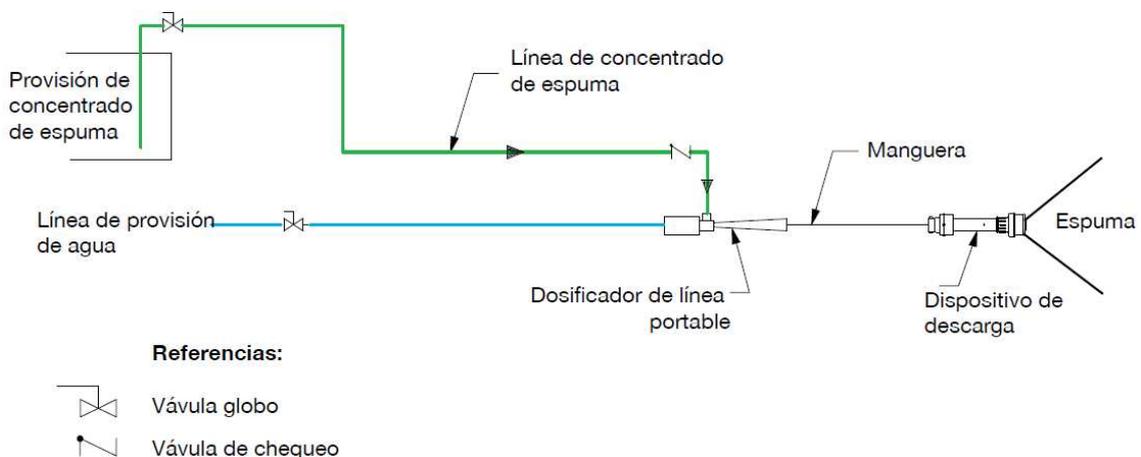


Fig.19: Sistema de espuma con dosificadores tipo Venturi

En instalaciones fijas, el concentrado de espuma es almacenado en un tanque con tuberías permanentes que lo unen al dosificador y a este con el tanque de suministro de agua.

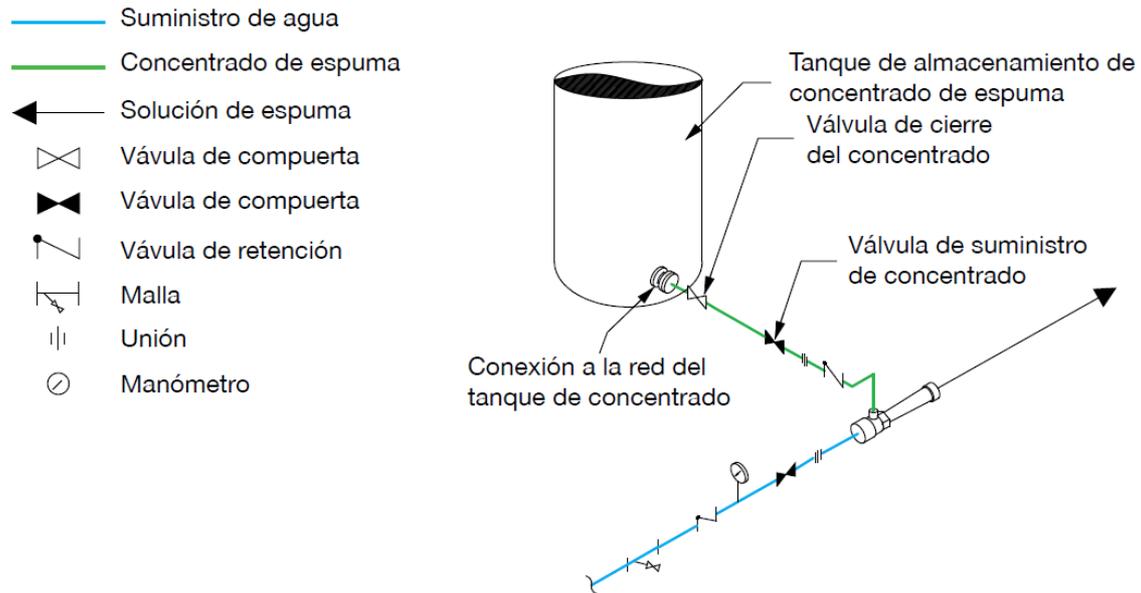


Fig.20: esquema 3D de sistema de espuma con dosificadores tipo Venturi

### Ventajas:

1. Método de dosificación económico y confiable, dado que no tiene partes móviles, requiriendo un mantenimiento mínimo.
2. Su capacidad de operación, abarca presiones de agua, que van desde los 5 hasta 14 bares, siendo la presión óptima de operación alrededor de los 9 bares.
3. El concentrado de espuma puede ser reabastecido durante la operación.

### Desventajas:

1. Se requiere alta presión de agua.
2. Son sensibles a las presiones de fondo.
3. No son indicados para trabajar en sistemas de aplicación que requieran presiones variables.
4. No son indicados en instalaciones con sistemas de rociadores o con orificios de descarga pequeño, dado que un eventual taponamiento del mismo, resultaría en un aumento de presión que podría desequilibrar el sistema de dosificación del concentrado.

### 5.4.3. Tanque dosificador tipo vejiga

El tanque tipo vejiga, es un sistema de dosificación de presión balanceada, que para su operación, sólo requiere una provisión de agua adecuada.

Un tanque del tipo vejiga, con su correspondiente dosificador (uno o varios), inyecta el concentrado de espuma dentro del flujo de agua del sistema contra incendio y resulta operativo en un amplio rango de flujos y presiones.

El tanque de almacenamiento del concentrado, es un recinto de acero presurizado, que en su interior tiene una vejiga que permite que el concentrado esté físicamente separado de la provisión de agua.

Durante la operación, el agua que supe el mecanismo de dosificación, es desviada hacia el tanque para presurizarlo. Al aumentar la presión dentro del tanque, se comprime la vejiga, y esto hace fluir el concentrado hacia la cámara de mezcla a una presión aproximadamente igual que la de alimentación del agua. Allí, la dosificación se realiza a través de un dispositivo similar a un Venturi.

Mientras el agua fluye a través de la cañería, se crea un diferencial de presión entre el torrente y el orificio vertedor del concentrado permitiendo la mezcla. Al incrementarse el torrente de agua, se incrementa análogamente el diferencial de presión, dejando pasar más concentrado. Es así que la mezcla adecuada, se consigue simplemente al dejar que las presiones del agua y del concentrado sean idénticas al entrar a la cámara de dosificación.

### Diagrama simplificado

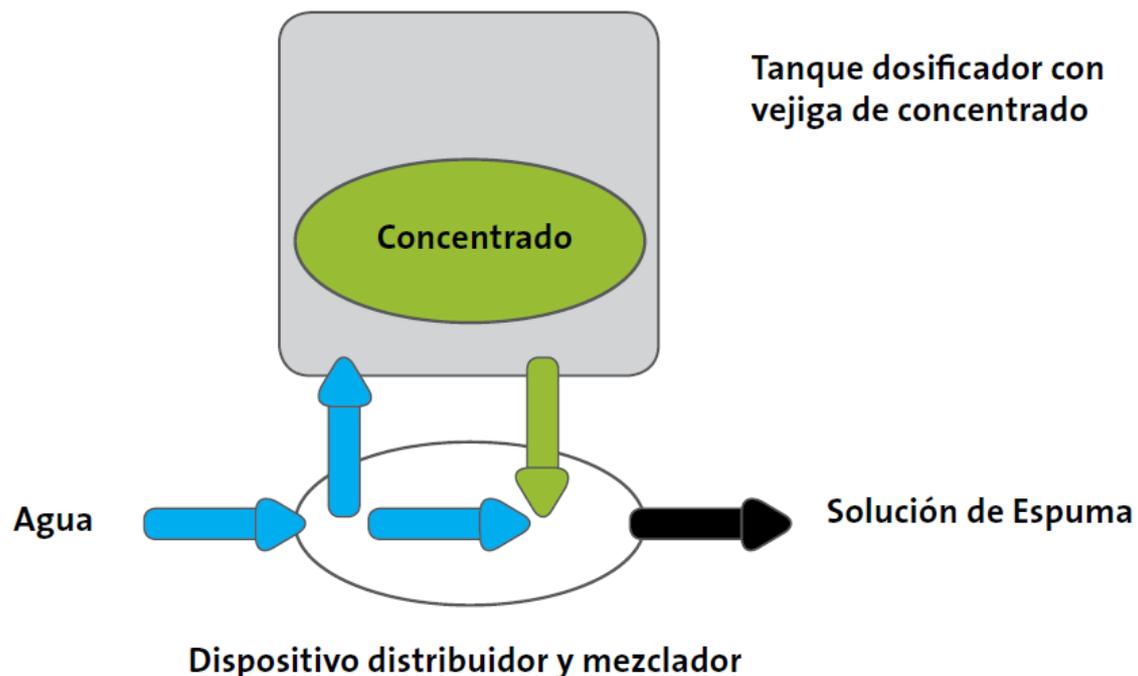


Fig.21: diagrama de sistema de espuma con dosificador tipo vejiga

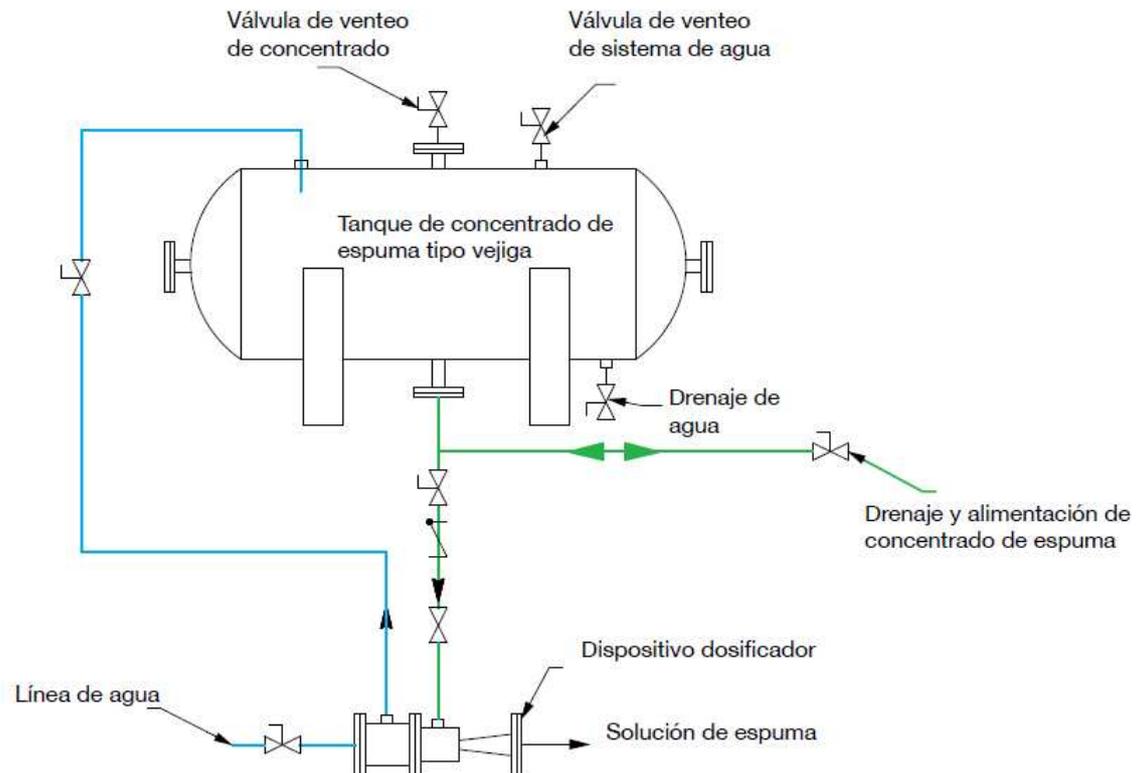


Fig.22: esquema de sistema de espuma con dosificador tipo vejiga

### Ventajas:

1. Este sistema de dosificación no requiere manipulación ni automatización. Opera bajo un simple principio físico. No requiere mucho más que una provisión de agua para operar.
2. No se ve afectado por variaciones de presión.
3. Bajo mantenimiento.
4. El sistema de vejiga puede ser aislado permitiendo que fluya solamente agua.

### Desventajas:

1. Dado que el sistema está presurizado, no se puede recargar la vejiga con concentrado durante la operación.
2. La capacidad de provisión de concentrado, está limitada al volumen de la vejiga.
3. Se requiere tiempo y cuidado al recargar la vejiga. Se debe drenar todo el contenido y prestar atención al llenado.



#### **5.4.4. Dosificador de presión balanceada**

Los dosificadores de presión balanceada, son los sistemas más comunes por su versatilidad operativa y exactitud de mezcla.

Al igual que en el sistema de vejiga, la dosificación se alcanza por medio de la adaptación de un

Venturi. Mientras el agua fluye a través de la cañería, se crea un diferencial de presión entre el torrente y el orificio vertedor del concentrado permitiendo la mezcla. Al incrementarse el torrente de agua se incrementa análogamente el diferencial de presión, dejando pasar más concentrado.

Es así que la mezcla adecuada se consigue simplemente al dejar que las presiones del agua y del concentrado sean idénticas al entrar a la cámara de dosificación.

En este caso el tanque de concentrado se encuentra a presión atmosférica. La presión de mezcla se da por medio de una bomba. Para mantener constante la presión de agua y concentrado en la cámara de dosificación, un sensor de presiones y una válvula de diafragma son instalados en el sistema. De esta forma, cuando el circuito de concentrado alcanza una presión mayor que el agua, la válvula de diafragma la compensa dejando descargar parte del concentrado al tanque.

Para asegurar la operación, se ubican manómetros en la línea de agua y concentrado. El sistema cuenta también con válvulas de apertura manual, en el eventual caso de que la válvula de diafragma resultase inoperativa.

#### **Algunas consideraciones del diseño del sistema radican en:**

- El dimensionamiento de la bomba de suministro de concentrado.
- La necesidad de instalar una malla filtrante en la línea de provisión de concentrado, para eliminar posibles sedimentos del tanque.

#### **Diagrama simplificado**



Fig.23: diagrama de sistema de espuma con dosificador de presión balanceada.

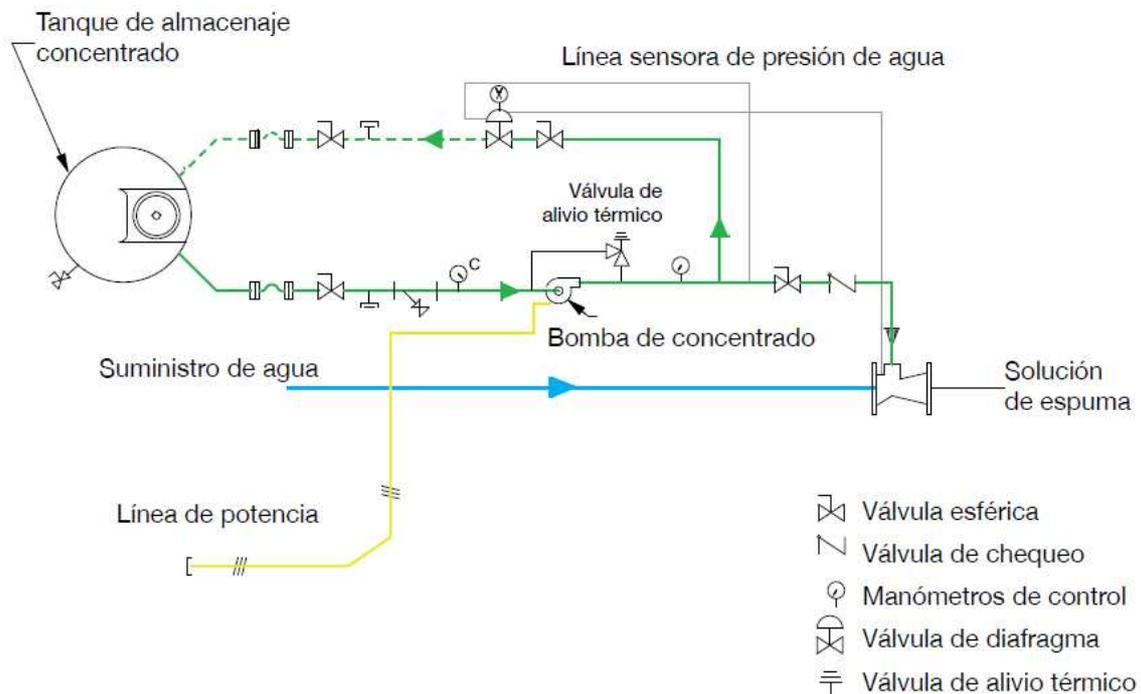


Fig.24: esquema de sistema de espuma con dosificador de presión balanceada.

### Ventajas:

1. Versatilidad y exactitud.
2. Permite seleccionar agua o espuma indistintamente.
3. Se puede recargar el concentrado durante la operación.
4. Operativos frente a variaciones de presión.

### Desventajas:

1. Requiere conexión de energía eléctrica.
2. Requiere mantenimiento de bombas y de circuito eléctrico.
3. Instalación más cara.
4. Pueden requerir de motores diésel u otros medios generadores de energía en áreas donde la misma no está disponible.



#### **5.4.5. Dosificador de presión balanceada en línea**

Este sistema es utilizado para proveer una adecuada dosificación en múltiples lugares, incluso alejados del tanque de concentrado de espumas y de la respectiva estación de bombeo.

Este tipo de sistema dosifica de forma exacta y automática la cantidad de concentrado de espuma, sin importar la presión. Al igual que en la dosificación balanceada, la mezcla adecuada se consigue simplemente al dejar que las presiones del agua y del concentrado sean idénticas al entrar a la cámara de dosificación.

#### **Este sistema resulta ideal en:**

- 1- Operación simultánea de agua y espuma, ya sea en uno, o en todos los suministros de descarga de espuma (salidas o erogadores).
- 2- Múltiples suministros de espumas con diferentes presiones de trabajo.
- 3- Sistemas de suministro de espuma, alejados del tanque de concentrado y del dosificador.
- 4- Capacidad de poder elegir el dosificador más apto para proteger el área, utilizando un mismo tanque de concentrado y un mismo sistema de bombeo.

La dosificación de presión balanceada en línea, se constituye en dos subsistemas bien diferenciados:

- A) El sistema de bombeo de concentrado, para aprovisionar a los módulos dosificadores.
- B) El sistema de módulos dosificadores, que controla la cantidad de concentrado a verter dentro de la línea de agua.

#### **Diagrama simplificado**

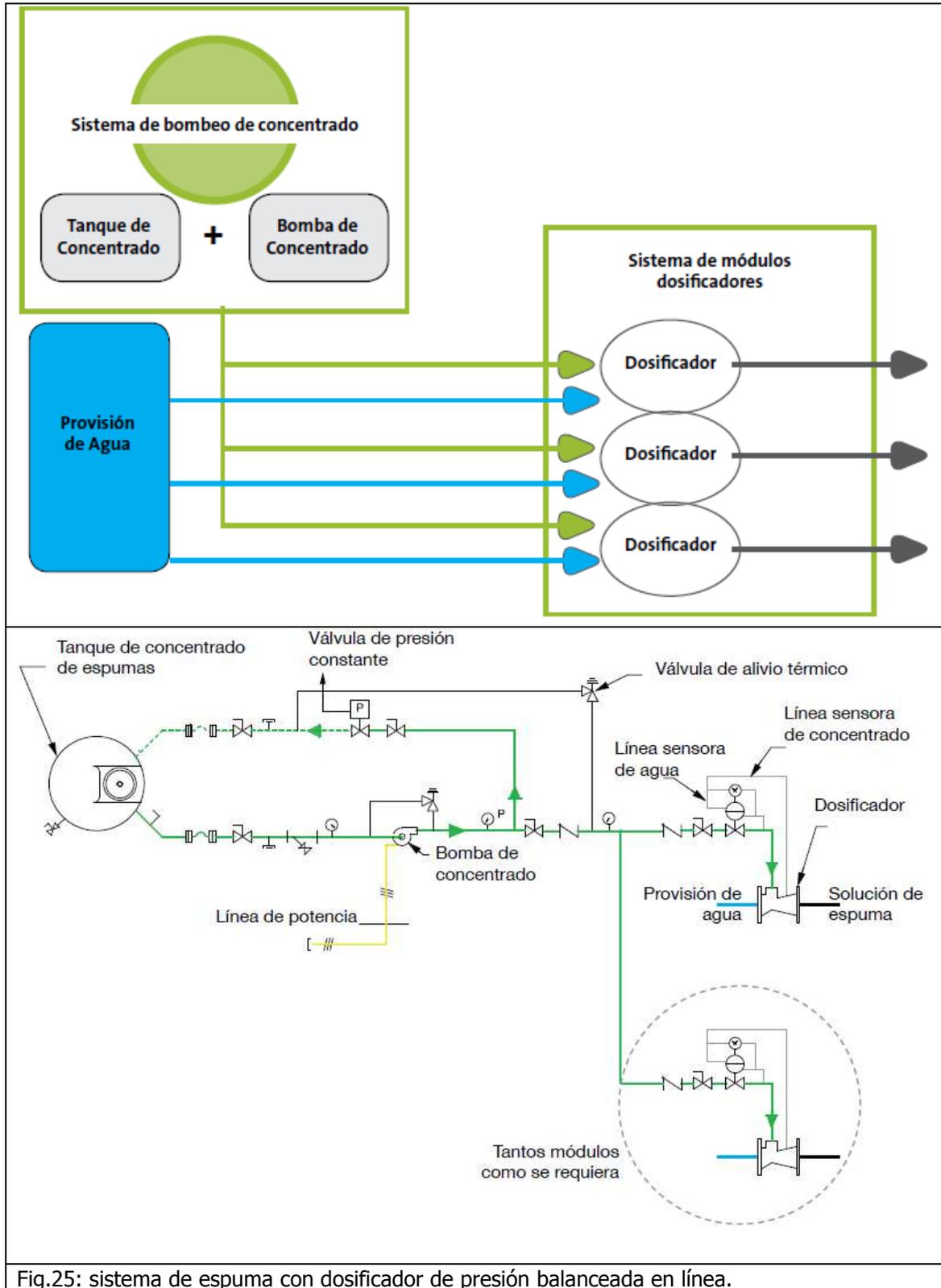


Fig.25: sistema de espuma con dosificador de presión balanceada en línea.

**Nota:** El concentrado de espuma, normalmente es suministrado a la línea de agua a una presión entre 1.70 y 2 bares mayor que la mayor presión instalada de agua. Asegurando así el suministro de concentrado a todas las estaciones



de módulos dosificadores.

El control de la presión de concentrado se logra con una válvula reguladora reductora de presión, operada por un sensor que mide la presión de la línea de agua.

La bomba de impulsión de concentrado es generalmente eléctrica (del tipo Jockey, dado que mayormente, la longitud de tuberías, exceden los 15 metros) y está dimensionada con una potencia tal que pueda operar, sin sobrecargar al motor, aún con las válvulas de alivio del sistema abiertas.

En lugares donde la energía eléctrica no está disponible se suelen utilizar bombas diésel.

### **Ventajas:**

1. Dosifica automáticamente, dentro de un amplio rango de flujos.
2. La dosificación no es afectada por variaciones de presión.
3. El concentrado puede ser provisto durante la operación.
4. Permite instalar los dosificadores lejos del sistema de bombeo del concentrado.
5. Permite dimensionar los dosificadores para riesgos particulares, optimizando así la operación del sistema.
6. Permite seleccionar el uso de agua o espuma durante la extinción.

### **Desventajas:**

1. Requiere energía para propulsar las bombas.
2. Requiere mantenimiento de los sistemas de bombas y de electricidad.
3. Más caro que otros sistemas de dosificación.

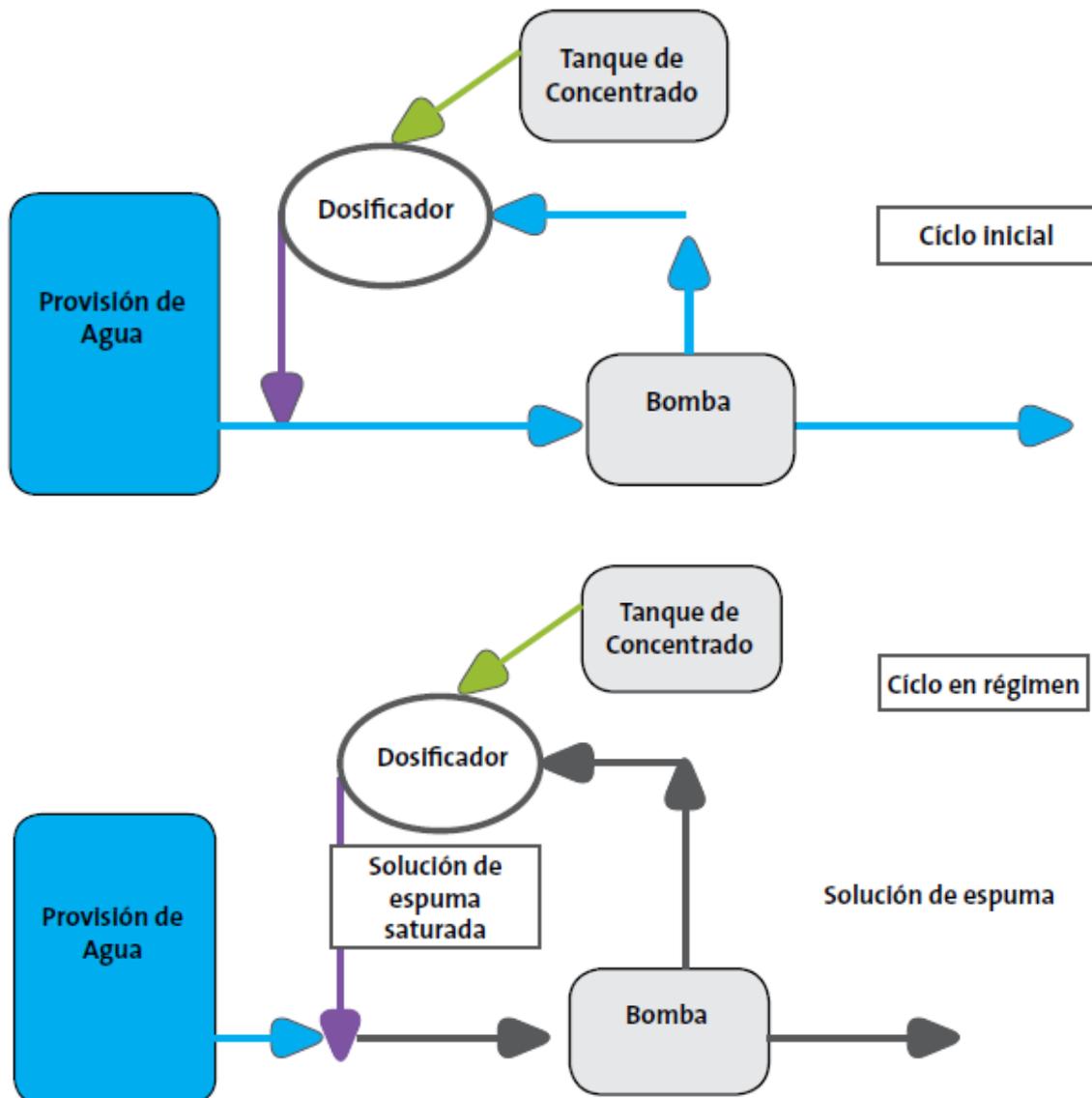
#### ***5.4.6. Dosificación entorno a la bomba***

El sistema de dosificación "en torno a la bomba", desvía una porción del agua impulsada por la bomba de agua a un eductor (dosificador tipo Venturi), donde se encuentra con el concentrado y produce una mezcla muy rica.

Esta solución de espuma, es conducida nuevamente a la entrada de la bomba para ser mezclada nuevamente con agua, es en este punto donde se obtiene una mezcla de concentrado a la proporción indicada (solución de espuma al 3% o 6% de dilución de concentrado).

Una vez que el ciclo inicial se completa, el sistema se estabiliza y brinda una mezcla consistente a un flujo constante y específico.

### Diagrama simplificado



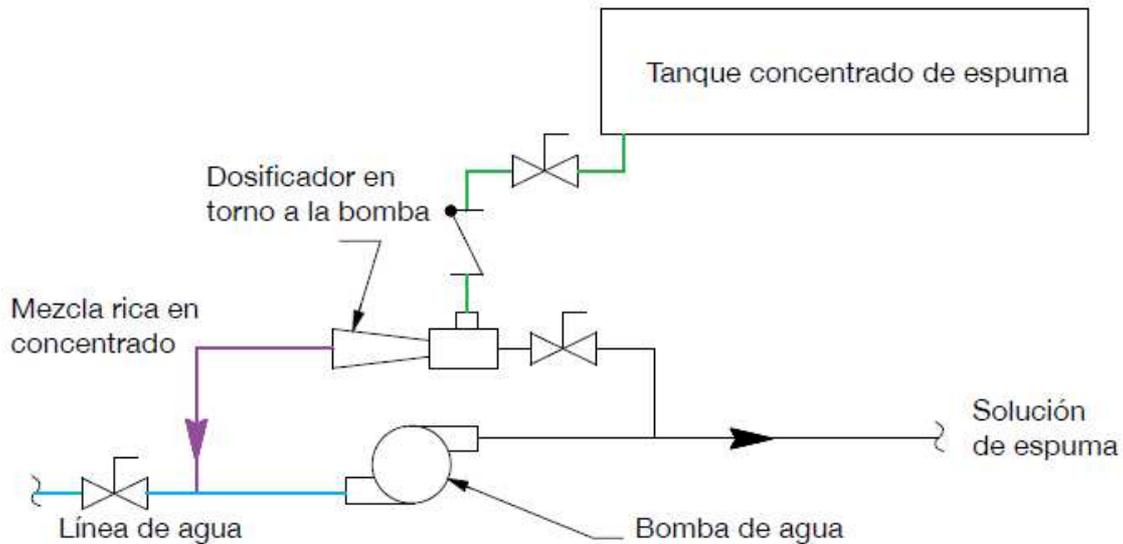


Fig.26: sistema de espuma con dosificador en torno a la bomba.

### Ventajas:

1. Operación sencilla.
2. El concentrado puede ser repuesto durante la operación del sistema.

### Desventajas:

1. Para iniciar el ciclo de succión, la bomba debe poseer una presión cero o levemente negativa.
2. Flujo de descarga fijo.
3. Rango operativo limitado (380 a 3800 litros por minuto).

### 5.4.7. *Toberas de aspiración (o toberas de arrastre)*

Las toberas de aspiración o de arrastre, son similares en operación a los dosificadores en línea, excepto que el eductor (dosificador tipo Venturi), está construido dentro de la tobera (boquilla de salida).

### Diagrama simplificado

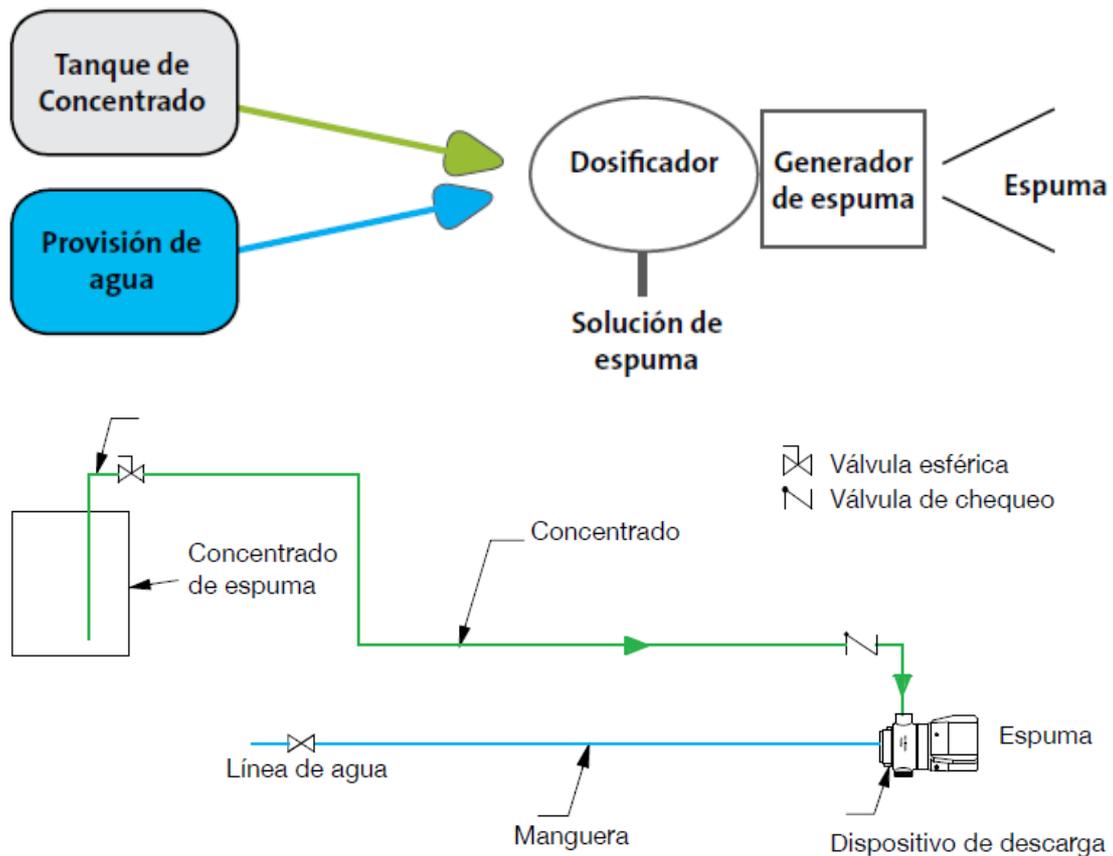


Fig.27: sistema de espuma con toberas de aspiración.

### Ventajas:

1. Sistemas económicos.
2. Operación simple.
3. Pueden estar presentes en instalaciones móviles o fijas.

### Desventajas:

1. Usualmente requieren una alta presión para su funcionamiento.
2. Limita el movimiento del operador en dispositivos móviles dado que el concentrado debe suministrarse en la tobera.

#### 5.4.8. Dosificación con turbina

Consisten en eductores que usan agua para suministrar el bombeo del concentrado. El principio de la turbina, radica en tomar el agua a muy alta presión y acelerarla a través de una tobera para aumentar así su velocidad y crear un área de depresión que aspirará el concentrado a través de una conexión.

La turbina, crea una solución rica en concentrado del orden del 60% (40% de agua). Esta, es conducida finalmente al dispositivo de descarga donde se mezclará nuevamente con agua para obtener la solución de espuma deseada y aplicarla.

### Diagrama simplificado

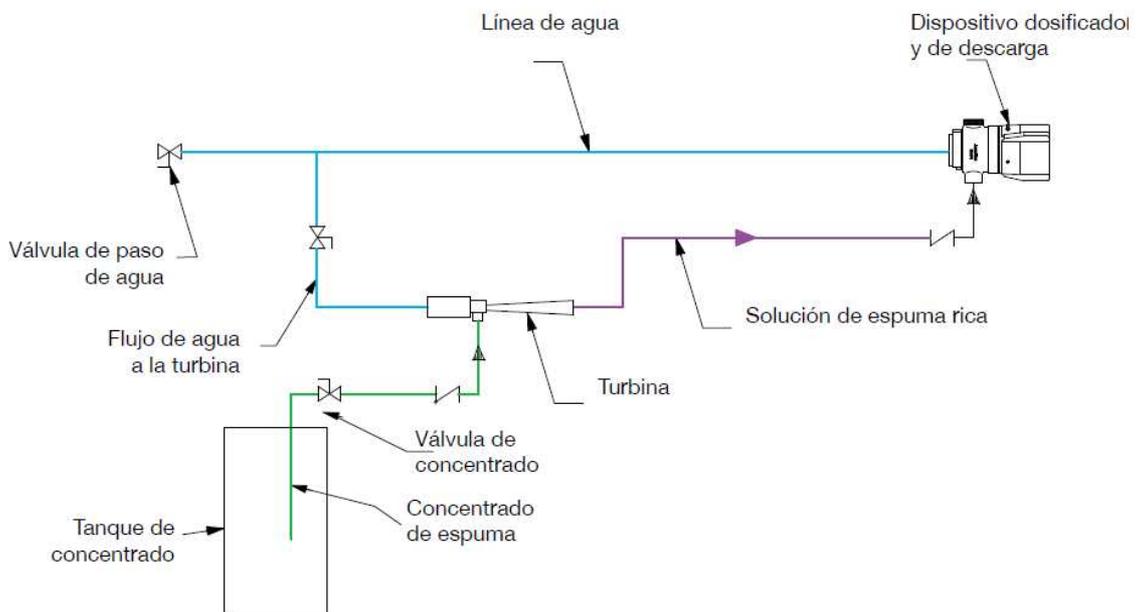
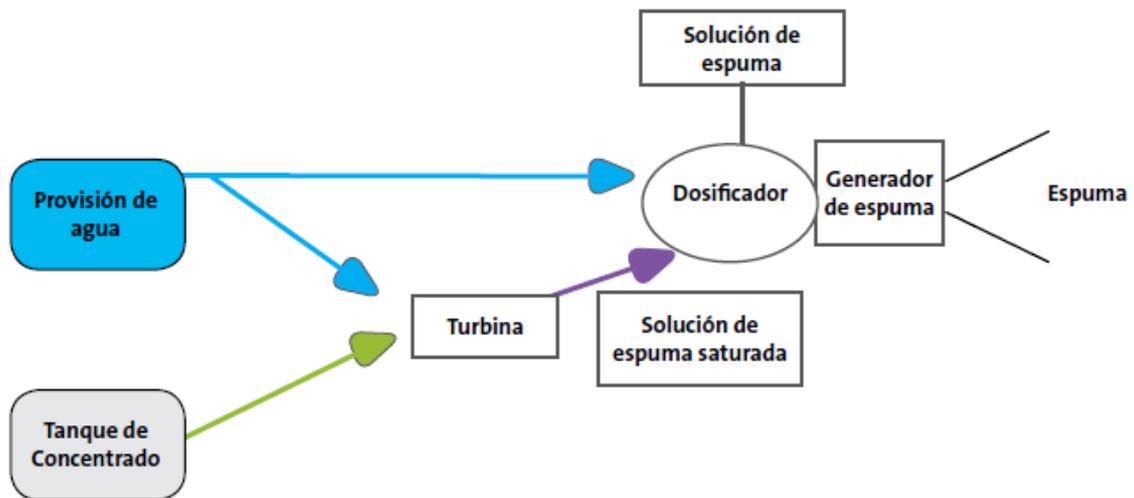


Fig.28: sistema de espuma con dosificador con turbina.

### Ventajas:

1. Bajo costo.
2. Operación simple.
3. Permite recargar el concentrado durante la operación.

## Desventajas:

- 1- Se requiere alta presión para su operación.
- 2- Trabajan sólo a flujo constante.
- 3- El dispositivo de descarga debe ser compatible con la turbina dosificadora.
- 4- Es especialmente sensible a las presiones de fondo, debe prestarse especial atención al largo de manguera entre la turbina y el dispositivo de descarga.

## 6. SISTEMAS DE ESPUMA PARA PROTECCIÓN C.I. DE TANQUES DE COMBUSTIBLE DE TECHO FIJO

### 6.1. Métodos de protección

Existen tres métodos aceptados para proteger este tipo de tanques.

#### 6.1.1. Protección con cámaras de espuma en superficie

Las cámaras de espuma, permiten la aplicación de agente extintor con una inmersión mínima del mismo y una agitación moderada del combustible. La cámara, consiste en general de un generador de espuma, que induce aire a la solución de espuma y luego la agita para favorecer su expansión; y una cámara de expansión por medio de la cual se disminuye la velocidad de la espuma permitiendo una expansión aún mayor, antes de ser vertida dentro del tanque.

La cámara de espuma usualmente se instala en la vertical del tanque, entre unos 20 y 30 centímetros debajo de la línea del techo. De esta forma si el techo es arrancado no afecta al mecanismo. Este mecanismo puede ser utilizado tanto en combustibles polares como no polares.

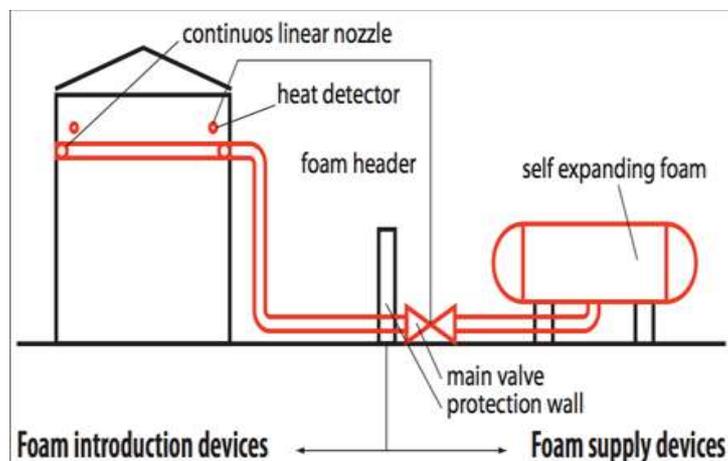


Fig.29: s.c.i. por protección con cámaras de espuma en superficie.

Cuando se requiera múltiples cámaras de espuma, las mismas deberán ser colocadas de forma equidistante en torno del tanque. Cada cámara debe contar con una línea propia de alimentación que termina con una válvula fuera de un dique protector a una distancia de 15 metros o de un diámetro del tanque (lo que sea mayor).

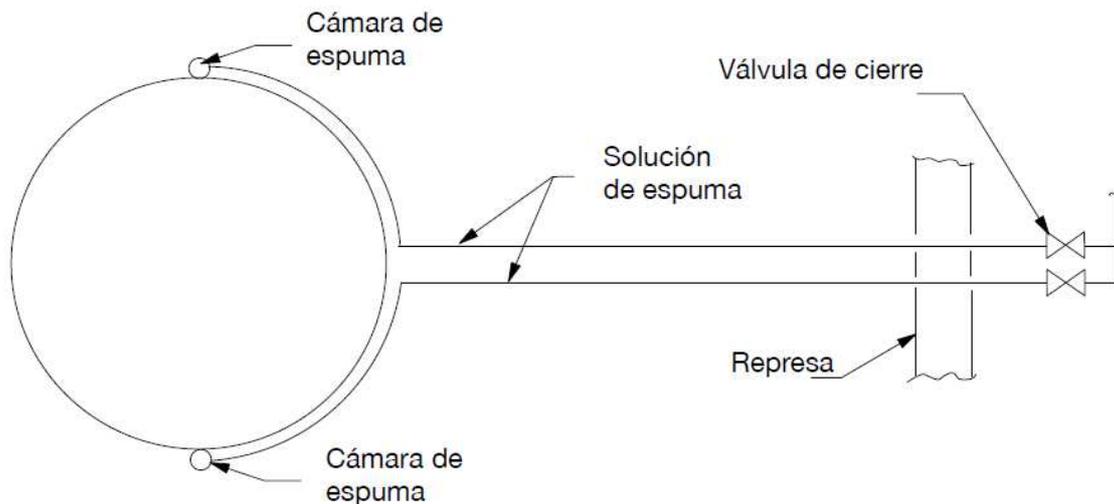


Fig.30: distribución de cámaras de espuma en superficie.

### **Cantidad y número de cámaras de espuma**

El número de cámaras de espuma viene determinado por el diámetro del tanque. Cada cámara deberá ser diseñada como para suplir la espuma en un ratio aproximadamente igual.

### **Ratio de aplicación y tiempo de descarga**

El ratio y tiempo de aplicación varía de acuerdo al tipo de producto que se intente proteger.

### **Protección suplementaria**

En este tipo de tanques se requiere una protección adicional brindada por un sistema de mangueras para lidiar con los pequeños derrames de fuego.

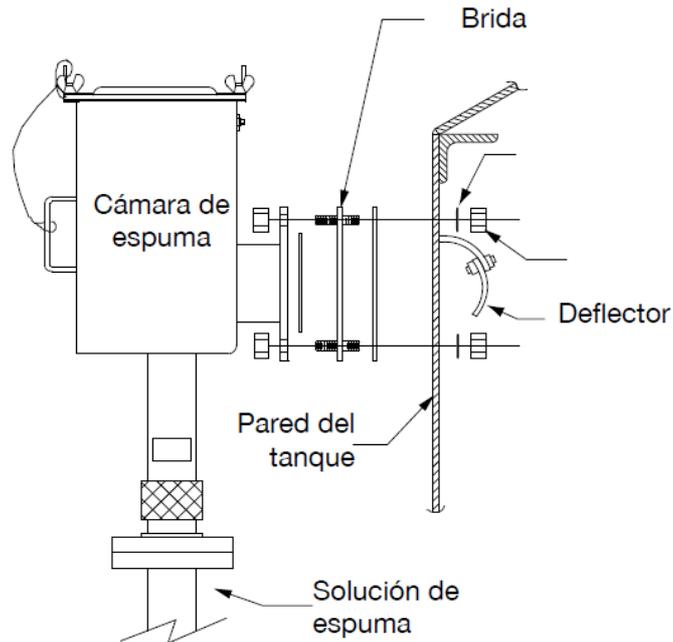


Fig.31: esquema y fijación de cámaras de espuma en superficie al tanque.

### **6.1.2. Protección con inyección de espuma por el fondo del tanque**

La inyección de espuma por el fondo provee de una adecuada protección a tanques verticales que contienen hidrocarburos. No es aconsejada su utilización con combustibles polares y líquidos inflamables del tipo 1A.

No se recomienda su utilización en tanques con techo flotante, dado que puede bloquear la producción de espuma y su consecuente eficacia, especialmente si el tanque se hundiese.

**Como ventajas de este sistema podemos mencionar los siguientes factores:**

- Es menos susceptible a daños por una explosión, dado que la misma generalmente involucra a la parte superior del tanque.
- La espuma emergente tiende a enfriar el combustible al crear una corriente convectiva, enfriando de forma efectiva el combustible de la superficie.
- La cámara productora de la espuma, se encuentra localizada después del dique de contención de combustible que rodea al tanque.

**Las desventajas radican en:**

- Es un sistema que requiere una alta presión para su operación, dada la resistencia al fluir que la espuma debe enfrentar.
- Se necesita de un diseño específico de las tuberías.
- La espuma no debe absorber combustible en su trayecto a la superficie.

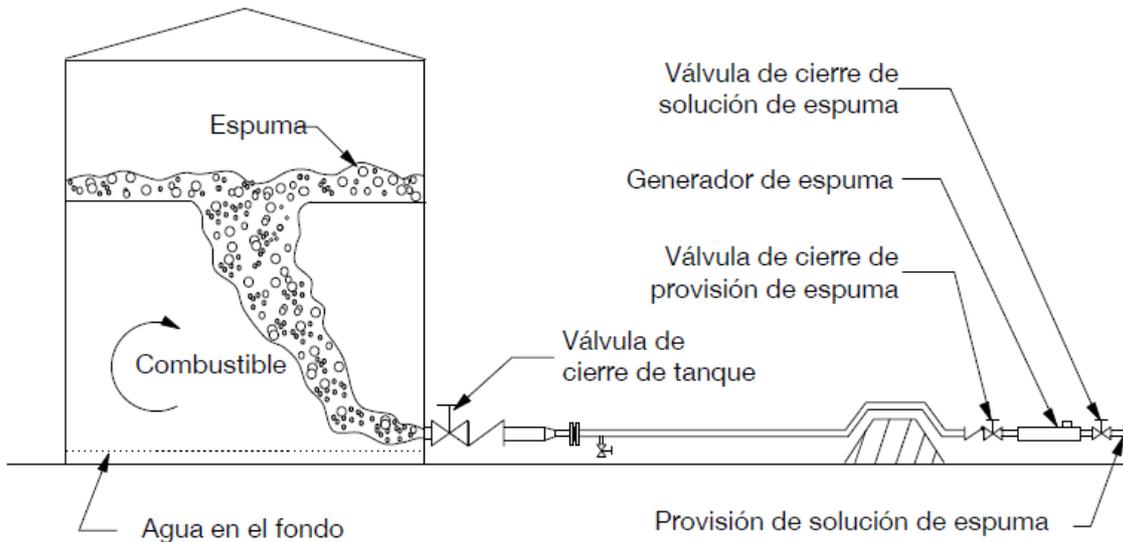


Fig.32: s.c.i. por protección por el fondo del tanque.

No se recomienda el uso con hidrocarburos que posean una viscosidad superior a 2000 SSU (a 15°C). La espuma final debe fluir fácilmente y tener un coeficiente de expansión entre 2 a 4.

Las **AR-AFFF** brindan una protección adicional a la saturación del combustible, junto con las fluoroprotéicas, son las ideales a utilizar en este tipo de sistema de extinción. Es recomendable la instalación de un disco de ruptura previo a la entrada al tanque, para evitar que existan pérdidas de combustible que se introduzcan dentro del sistema de espuma. Al igual que en los sistemas de aplicación de espuma por cámaras en superficie, es necesario instalar un sistema de mangueras.

### 6.1.3. *Protección por medio de dispositivos portátiles como lanzas y monitores*

Los dispositivos portátiles móviles, son en general utilizados como un conjunto de sistemas de protección auxiliar al de una instalación fija. En ocasiones se los suele utilizar como sistema principal de protección de tanques de techo fijo que contengan hidrocarburos y cuyas medidas no excedan los 6m de altura y 9m de diámetro.



Los sistemas de provisión de espuma del tipo monitor, pueden ser utilizados para proveer protección a tanques de hasta 18m de diámetro.

## 6.2. Tablas de aplicación de concentrados de espumas sintéticas

Tipo de espuma	AFFF		
	DEMSA 201 MN	DEMSA 203 MN	DEMSA 206 MN
Aplicación	Uso en combustibles no polares (hidrocarburos líquidos)		
Concentración nominal	1%	3%	6%
Peso específico (20°C)	1,055 g/cm <sup>3</sup>	1,025 g/cm <sup>3</sup>	1,010 g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad (20°C)	6-20 cSt	4-6 cSt	2-4 cSt
Temperatura de uso máximo (°C)	49		
Punto de congelamiento (°C)	0 / -10 / -20		
PH (20 °C)	7,0 / 8,5		
Expansión mínima de acuerdo a normas	≥ 6 ml/g		
Color	Azul		
Compatibles con uso de polvo químico	Sí		

Tipo de espuma	AR - AFFF	
	DEMSA 233 MN	DEMSA 236 MN
Aplicación	Uso en combustibles no polares y polares (ejemplo alcoholes)	
Concentración nominal	3% no polares / 3% polares	3% no polares / 6% polares
Peso específico (20°C)	1,045 g/cm <sup>3</sup>	
Viscosidad (20°C)	< 3000 cp	
Temperatura de uso máximo (°C)	49	
Punto de congelamiento (°C)	0 / -10 / -20	
PH (20 °C)	7,0 / 8,5	
Expansión mínima de acuerdo a normas	≥ 6 ml/g	
Color	Rojo	
Compatibles con uso de polvo químico	Sí	

Tabla 19: tabla de aplicación de concentrado de espumas

## 6.3. Cantidad y tamaño de las cámaras de espuma

La cantidad y tamaño de las cámaras de espuma vienen determinados por el diámetro del tanque. Las cámaras deberán disponerse en forma equidistante a lo largo del perímetro del tanque. Las cámaras deben suplir espuma al mismo ratio. La tabla siguiente es válida para combustibles polares y no polares.



Diámetro de tanque (metros)	Mínimo número de cámaras
Hasta 24 m	1
+ 24 a 36 m	2
+ 36 a 42 m	3
+ 42 a 48 m	4
+ 48 a 54 m	5
+ 54 a 60 m	6

Tabla 20: mínimo número de cámaras de espuma en función del diámetro del tanque

Para tanques con un diámetro mayor de 60m se deberá instalar una cámara adicional por cada 465m<sup>2</sup> de combustible a proteger.

#### 6.4. Ratio de aplicación y tiempo de descarga

Los ratios de aplicación y tiempo de descarga, son función del tipo de combustible a proteger. En general 4.1 litros por minuto por metro cuadrado de superficie a proteger, durante un tiempo de 55 minutos es aceptable.

Producto	Punto de ignición	Ratio de aplicación	Tiempo de descarga
Hidrocarburos	37.8°C a 93.3°C	4.1 litros por min/m <sup>2</sup>	55 mins
Hidrocarburos	Menores a 37.8°C	4.1 lpm/m <sup>2</sup>	55 mins
Petróleo crudo	No aplica	4.1 lpm/m <sup>2</sup>	55 mins
Solventes polares	No aplica	4.1 lpm/m <sup>2</sup>	55 mins

Tabla 21: ratio de aplicación y tiempo de descarga

#### 6.5. Protección adicional para derrames

Se requiere la instalación de mangueras con una capacidad de 189 litros por minuto. Cantidad de mangueras a instalar.

Diámetro del tanque	Número de mangueras
Hasta 19.5 m	1
+ 19.5 m a 36 m	2
+ 36 m	3

Tabla 22: protección adicional para derrames



## 6.6. Tiempo de autonomía de las mangueras de protección adicional

Diámetro del tanque	Mínimo tiempo operativo
Hasta 10.5 m	10 mins
+ 10.5 m a 28.5 m	20 mins
+ 28.5 m	30 mins

Tabla 23: tiempo de autonomía de las mangueras

## 7. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA PROTECCIÓN C.I. DE TANQUES DE COMBUSTIBLE

La aplicación de agua de enfriamiento sobre la envolvente de tanques atmosféricos verticales, se debe llevar a cabo con densidades no menores de 4,1 lpm/m<sup>2</sup> de superficie lateral del tanque.

En todos los casos el suministro de agua debe ser suficiente para proteger simultáneamente, todas las superficies que se requieran de la envolvente de los tanques de almacenamiento involucrados, directa o indirectamente en un incendio.

Las bombas de agua contraincendio, deben tener capacidad para manejar la suma de los siguientes gastos:

- El gasto requerido para la extinción del riesgo mayor (generación de espuma por la aplicación superficial o subsuperficial).
- El gasto requerido para el enfriamiento de la superficie total de la envolvente del tanque considerado como riesgo mayor.
- El gasto requerido para la operación de 4 mangueras de 38,1 mm (1½ pulg) de diámetro (500 gpm en total), para el enfriamiento del personal, del equipo contra-incendio y de las tuberías de proceso.

Los tanques atmosféricos de almacenamiento de techo fijo con altura de 9,75 m o mayor (el tanque considerado tiene una altura de 12,6m), deben poseer un mínimo de dos anillos de enfriamiento:

- uno ubicado en la parte media del tanque, de manera que la descarga de las boquillas se encuentren ubicadas aproximadamente a 7 metros de altura, medidos a partir de la base del tanque y
- otro en la parte superior del recipiente, cuyas boquillas descarguen en el último anillo de la envolvente.

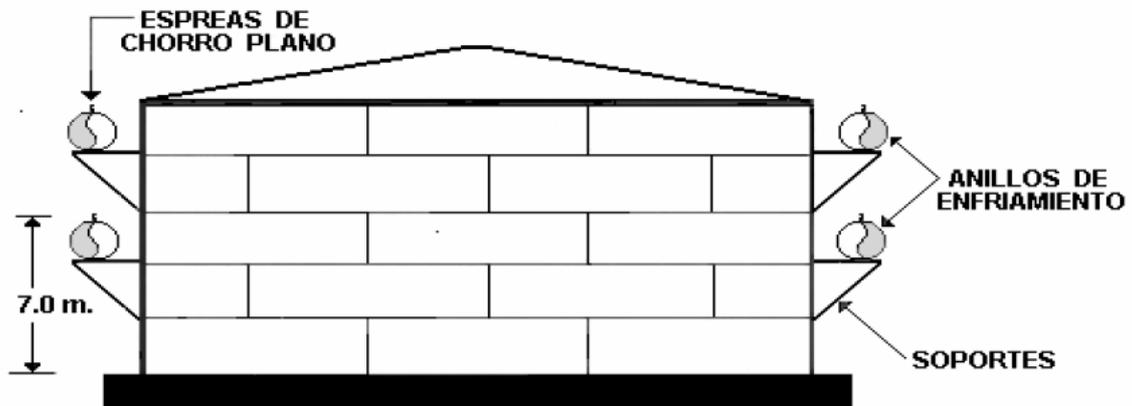


Fig.33: anillos de enfriamiento.

Los anillos de enfriamiento para el tanque que estamos diseñando se deben seccionar de acuerdo al siguiente criterio:

Debe tener cuando menos dos anillos de enfriamiento a diferentes alturas, los anillos se deben dividir en dos secciones de manera que la sección superior e inferior de un mismo lado, tenga una alimentación común de agua, por lo que para este caso, se debe disponer de dos alimentaciones de agua.

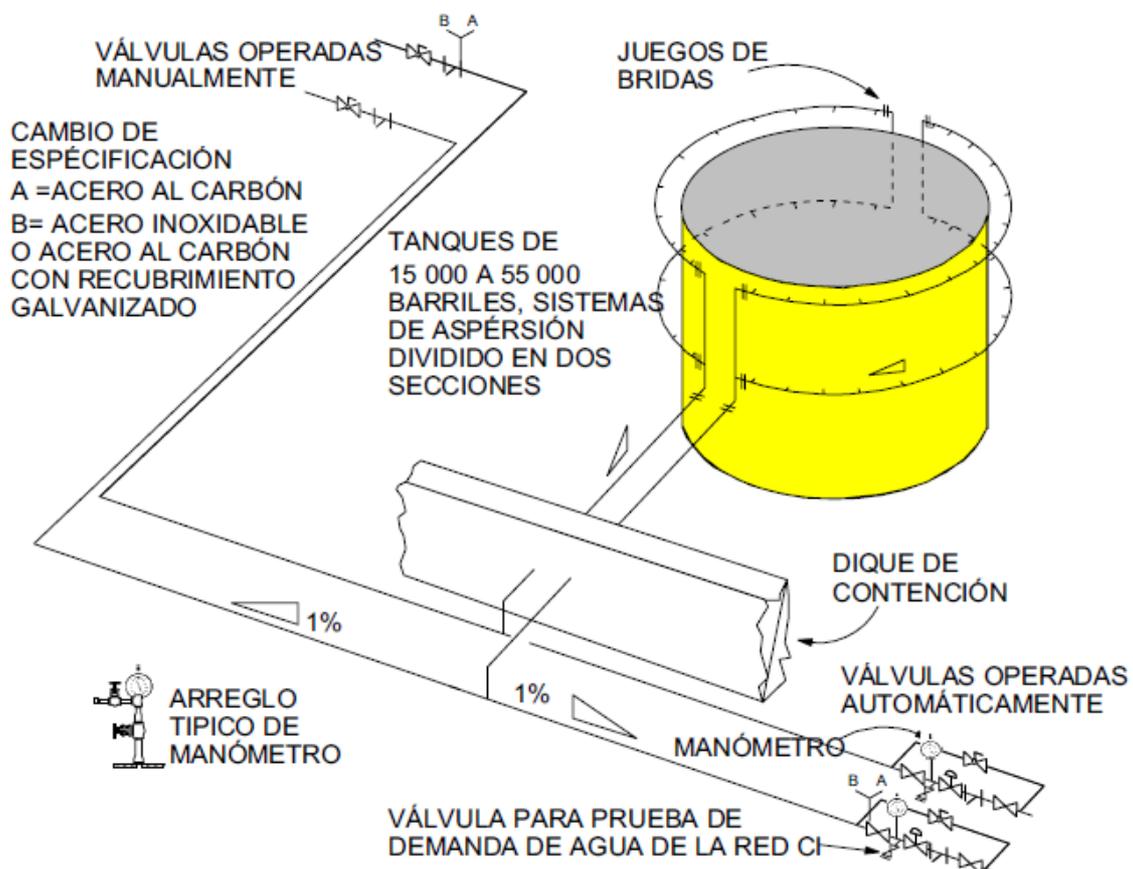




Fig.34: sistema de enfriamiento por agua.

Para suministrar agua a la tubería inferior y superior de cada segmento de anillo de enfriamiento, se debe instalar una tubería de alimentación independiente conectada a la red de agua contraincendios, provista de una válvula de control automático para servicio contra incendio listada por UL-260 y otra diametralmente opuesta operada manualmente con filtros tipo "y" para retener partículas de 3 mm de diámetro y mayores.

Las válvulas deben estar localizadas en un punto en donde la acción de los vientos dominantes, no exponga al personal que las opere y libres de riesgos de afectación por radiación o incendio.

Se debe tener un manómetro y válvula para prueba al menos cada cinco años (según NFPA-25), de la red de agua contra incendio, para verificar que ésta garantice la demanda de agua requerida para el riesgo de un área o equipo a proteger. El diseñador debe proporcionar la presión estimada en el punto de localización del manómetro de acuerdo al cálculo hidráulico, para su comparación con el valor registrado durante las pruebas posteriores de la red. Las pruebas de flujo se deben hacer con flujos representativos de los que se espera durante un incendio, para comparar las características de pérdida por fricción en la tubería de acuerdo a las características de ésta, la edad de la misma y los resultados de pruebas de flujo, anteriores.

Cualquier muestra de deterioro del flujo y la presión disponibles, debe ser de inmediato investigado y realizar los trabajos necesarios para garantizar que el flujo y la presión requerida, están disponibles en cualquier momento.

El diámetro de la válvula de prueba debe ser determinado por el diseñador, de manera que garantice un flujo representativo del estado de la red y este se refleje en la presión registrada por el manómetro de prueba. Este arreglo es indispensable para verificar el estado de las tuberías y comportamiento de la red durante todo el periodo de vida del sistema contra incendio.

Todos los anillos o sectores de anillo de enfriamiento, deben estar provistos de purgas de 2,54 mm de diámetro, localizadas en la parte más baja de las tuberías, fuera del dique de contención y que garanticen el drenado total de dicha tubería.

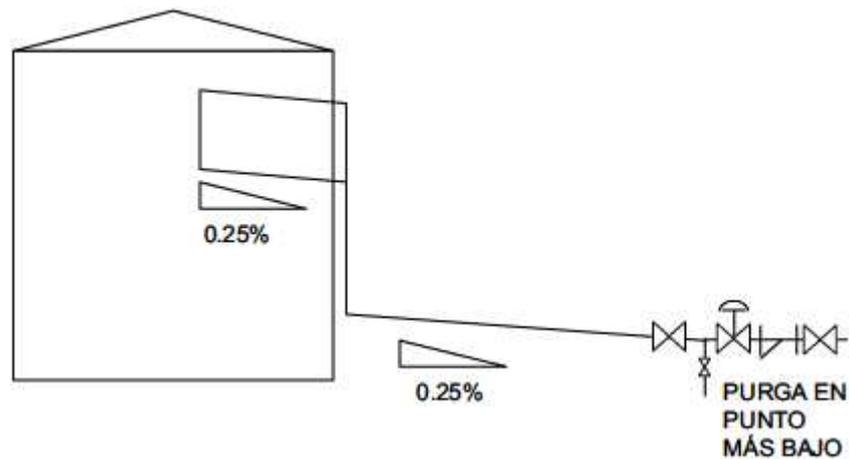


Fig.35: esquema de situación de las purgas en el sistema c.i.

Para el enfriamiento de la envolvente de los tanques atmosféricos de almacenamiento, se deben emplear boquillas de aspersión de chorro plano (listadas por UL o FM), conexión macho NPT, colocadas en la parte superior (lomo) de la tubería de alimentación para evitar obstrucciones. El arreglo debe considerar sockolet o medio cople de clase 3000 lb/in<sup>2</sup>, niple con un extremo plano y otro cople clase 3 000 lb/pulg<sup>2</sup> y con ambos extremos roscados.

Al sockolet o medio cople, niple y cople roscado unidos por soldaduras, se les debe aplicar el recubrimiento galvanizado una vez prefabricadas todas las piezas.

Las boquillas de aspersión de chorro plano, deben ser de bronce o acero inoxidable, de acuerdo a los requerimientos de la dependencia usuaria, el ángulo de aspersión de 90° a 130° como máximo, con patrón de rociado del tipo rectangular y de impacto medio, deben además estar listadas por UL o FM.

El número de boquillas de aspersión, se debe determinar dividiendo el perímetro del tanque entre la longitud de cobertura que proporciona la pulverización del agua, considerando un 15 por ciento de traslape a cada lado

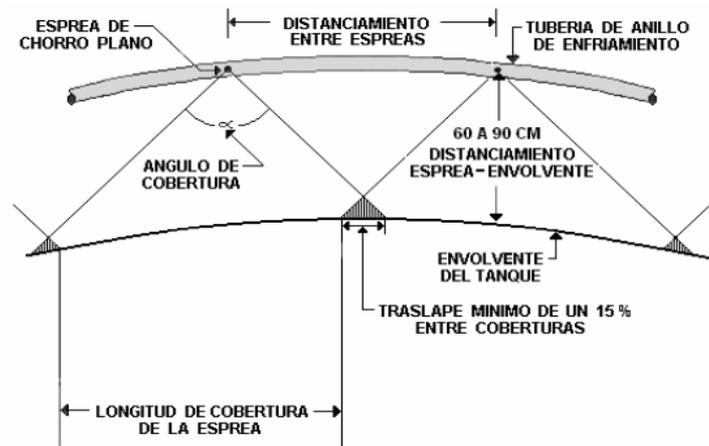


Fig.36: espaciado entre boquillas de aspersión

Las boquillas de aspersión deben estar separadas de la pared del tanque a 60 cm como mínimo y a 90 cm como máximo. La longitud de cobertura de las boquillas de aspersión, se determinará con base en el ángulo de cobertura y la distancia entre la descarga de la boquilla y la envoltura del tanque.

Por razones de mantenimiento y por confiabilidad en la operación, no se deben utilizar boquillas de aspersión menores de 12,7 mm (1/2 pulg) de diámetro, tampoco diámetros de orificio menores de 6,35 mm (1/4 pulg).

La suma de los gastos de las boquillas de aspersión, debe proporcionar una cobertura homogénea en la superficie de la envoltura del tanque que se desee proteger, equivalente por lo menos al resultado de multiplicar la superficie total de dicha envoltura, por la densidad de aplicación especificada ( $4,1 \text{ lpm}/\text{m}^2$ ), de esta Norma de Referencia.

Para el dimensionamiento de las tuberías de los anillos de enfriamiento, se deben tomar en cuenta velocidades máximas de flujo de 4,57 m/s y un diámetro mínimo de tubería de 63,5 mm (2½ pulg).

Las tuberías a los sistemas de aspersión, deben ser de acero inoxidable o de acero al carbono (API 5L B) con recubrimiento galvanizado. Para el uso de acero inoxidable, se debe asegurar una concentración de cloruros en el agua, menor a 50 ppm a una temperatura 50 °C, en caso de sobrepasar esa condición, usar acero al carbono con recubrimiento galvanizado. Para acero al carbono galvanizado, se deben prefabricar las piezas con juntas soldadas dejando en sus extremos bridas y posteriormente galvanizarlas tanto por su interior como por su exterior, el número de secciones en que se divida el anillo



de aspersión, debe ser suficiente para permitir ensamblar las piezas en campo. El cambio de especificación de acero al carbono a acero inoxidable o galvanizado, debe ser en la brida de la última válvula de bloqueo del sistema de aspersión.

Se debe evitar la instalación de tuberías menores de 63,5 mm (2½ pulg.) de diámetro, en los arreglos de los sistemas de anillos de enfriamiento para tanques atmosféricos, excepto para la alimentación individual de cada boquilla de aspersión.

## **8. ESPECIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS C.I. EN ÁREAS DE ALMACENAMIENTO**

### **8.1. Objeto y campo de aplicación**

Este apartado describe las especificaciones que se aplican para detección de incendio y protección en áreas de almacenamiento y se usará junto con la especificación general relativa a Sistemas de detección y protección de incendios, y como tal, debe considerarse complementario a la misma.

### **8.2. Equipamiento mínimo del S.C.I. en áreas de almacenamiento**

En cualquier área de almacenamiento donde se almacenan líquidos inflamables, combustibles o tóxicos se instalará un anillo de agua contra incendios alrededor de los cubetos de retención dotada de hidrantes, que cumplirá lo establecido en la especificación general.

Se definirá para cada proyecto, la situación y contenido de los armarios de mangueras, tomas de incendio y equipos móviles adicionales.

Además se instalará la cantidad suficiente de extintores portátiles o sobre carro, situados de acuerdo con los requisitos de la NFPA 10, en una posición bien visible, de fácil acceso y estratégica alrededor de los cubetos de retención, y preferiblemente cerca de las estaciones de bombeo, de los accesos a los cubetos y de las instalaciones de carga / descarga.

Los monitores (o monitores montados sobre hidrantes) serán instalados para refrigerar los tanques, en posiciones estratégicas y como mínimo cumplirán las distancias indicadas en la especificación general.



Se situarán cada 50 m alrededor del perímetro del tanque. Se instalarán bocas de incendio equipadas o carretes de mangueras cerca de las estaciones de bombeo y cerca de las instalaciones de carga / descarga.

Todas las áreas de almacenamiento se equiparán con la cantidad suficiente de pulsadores de alarma conectados al Panel de Control de alarma de Incendios. Los pulsadores de alarma se situarán de acuerdo con la especificación general. Los pulsadores de alarma se instalarán a 1,15 metros por encima del nivel del suelo.

### **8.3. Equipamiento mínimo del S.C.I. en tanques de techo fijo**

#### **8.3.1. Sistema de agua pulverizada**

Los tanques de almacenamiento de techo fijo que contengan materiales inflamables o combustibles y que puedan estar expuestos a radiaciones de calor provenientes de tanques adyacentes incendiados se protegerán con sistemas fijos de agua pulverizada.

El caudal de diseño de agua contra incendios seguirá el criterio indicado en la Guía de diseño de salvaguardas.

Cuando la demanda de agua sea superior a 4000 l/min el sistema debe dividirse en dos sistemas independientes alimentados por una válvula de diluvio cada uno (homologada por UL o FM). Su disposición será de tal manera que en caso del escenario de fuego posible más desfavorable, toda la superficie expuesta esté mojada. Además, cada sistema terminará en brida ciega.

Las boquillas serán de tipo plano (homologadas por UL o FM) situadas en la parte superior del cuerpo del tanque y debajo de las vigas contra-viento o salvando cualquier otro elemento, de forma que se garantice una adecuada protección con agua de toda la envolvente del tanque.

Las conexiones al colector se realizarán por la parte medio a superior del colector.

La tubería de alimentación al anillo de rociadores (o sector de anillos) subirán paralelas a la pared del tanque, y a ser posible junto con la tubería de espuma.

El sistema fijo de refrigeración correspondiente al tanque o tanques protegidos tendrá accionamiento remoto en una zona protegida fuera del cubeto.



### **8.3.2. Sistema de espuma**

Los tanques de almacenamiento de techo fijo que contengan materiales inflamables o combustibles con un punto de inflamación igual o menor a 93,3°C estarán dotadas de un sistema fijo de espuma de baja expansión, con un tiempo mínimo de aplicación de 55 minutos.

Las cámaras de espuma serán del "type II permanent" de acuerdo con NFPA-11, situadas sobre la envolvente.

Las cámaras de espuma serán accesibles desde escaleras o plataformas que permitan hacer pruebas y mantenimiento, sin necesidad de montar andamios ni plataformas provisionales. La tubería que conecte dispondrá de un tramo horizontal próximo a ésta, con el fin de que permita cualquier deformación.

Cada uno de los generadores de espuma, cámaras de espuma y placas de orificio deberán marcarse con un número de identificación indeleble.

El sistema fijo de extinción correspondiente al tanque o tanques protegidos tendrá accionamiento remoto en una zona protegida fuera del cubeto.

### **8.4. Instalaciones de carga y descarga para líquidos combustibles**

Este apartado es de aplicación a las instalaciones de carga / descarga donde se trasieguen los siguientes productos:

- a)** con un punto de inflamación igual o menor que 65°.
- b)** que su temperatura de operación sea superior al punto de inflamación.

Deben ser protegidas con un sistema fijo de espuma pulverizada. El caudal de diseño de mezcla espumante será como mínimo de 6,5 l/min./m<sup>2</sup> de superficie proyectada del área de descarga.

Debe considerarse (para el diseño de la capacidad de almacenamiento de espuma) como tiempo de operación de al menos 20 minutos.

Cuando las instalaciones de carga / descarga estén situadas una al lado de la otra en una disposición multimuelle, se debe considerar en el diseño que tres sistemas actúan simultáneamente, el muelle en emergencia más los dos adyacentes.



Se dispondrá de bocas de incendio equipadas o carretes de mangueras y carros extintores de polvo seco en los alrededores de las instalaciones para la primera intervención y conducir al drenaje los derrames.

Se instalarán al menos dos monitores de agua a 20 metros del muelle de carga para permitir una refrigeración adicional.

### **8.5. Estaciones de bombeo**

Se asegurará que todas las bombas que trasieguen líquidos inflamables o combustibles estén protegidas por monitores o sistemas fijos de agua pulverizada.

## **9. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMAS C.I. DEL TANQUE OBJETO DE ESTUDIO**

### **9.1. Introducción y objeto**

La presente especificación tiene por objeto definir el alcance de los trabajos necesarios para dotar del correspondiente Sistema Contra Incendios a un nuevo tanque de Gasóleo A y de techo fijo que forma parte de las instalaciones de la central de ciclo combinado de Iberdrola en Cartagena.

### **9.2. Características de la instalación**

En la zona donde se ubicarán los nuevos tanques se cuenta con un anillo general de DCI y, a partir de él, se deberá llevar la instalación completa de la refrigeración y la espuma para la extinción.

#### **9.2.1. Sistema fijo de espuma**

Como filosofía general del sistema de protección del tanque se instalarán los siguientes elementos:

Cámaras de espuma: Se instalará según lo establecido en la NFPA-11 un sistema de mínimo dos (2) cámaras de espuma que se equiespacián alrededor de la periferia del tanque y el caudal estimado por cámara es de alrededor de 1850 l/min. Las cámaras de espuma permitirán la realización de pruebas sin que sea necesaria la entrada de espuma al tanque.

Las pantallas de acero en la espalda de cada cámara no deberán tener uniones labiadas a la pared del tanque para evitar que la espuma se separe de la pared del tanque.



Las conexiones a los tanques de las cámaras de espuma son por el fabricante del tanque previo diseño del vendedor del sistema de espuma.

El sistema de descarga de espuma en el interior del tanque será tipo II conforme con lo que indica NFPA 11 en el apéndice A punto A-1-14, figura A-1-4- (p). El número de cámaras de espuma estará de acuerdo con las necesidades a definir por el diseñador, y como mínimo lo establecido en NFPA 11 para el caso de que se requiera espuma resistente a los alcoholes (si es el caso del espumógeno elegido).

- Se instalarán en cada cámara un generador/mezclador de espuma inmediatamente debajo de la misma y con el orificio de restricción adecuado para conseguir el caudal y la presión necesarios. La presión en el sello de la cámara será como mínimo de  $3.5 \text{ kg/cm}^2$ .
- Las tuberías de espuma al tanque deberán ser aéreas y galvanizadas interiormente en todo su recorrido, para facilitar su drenaje, situándolas a una altura suficiente para que no interfiera el movimiento en el interior del cubeto. Caso de existir tramos enterrados, irán revestidos.
- Para el sistema fijo de espuma de los tanques se deberá instalar un depósito de espumógeno por tanque con un volumen adecuado y calculado para cada tanque, de acuerdo con las normas NFPA, UNE 23521 y 23526 para espuma del tipo AFFF-ATC. El depósito será diseñado según el código ASME sección VIII, DIV. I y dispondrá, como mínimo , de los siguientes elementos:
  - Membrana de butyl
  - Líneas de llenado y salida de espumógeno
  - Líneas de entrada y salida de agua
  - Contador totalizador para comprobación de la cantidad de espumógeno consumido, con posibilidad de reposición a cero
  - Válvula de seguridad, venteo y drenaje
  - Inductor de presión equilibrada
  - Placa dosificadora de espumógeno para dosificación
  - Manómetro

Se indicará por parte del Suministrador el tipo de Depósito de Espumógeno (bombas de inyección, de vejiga,..).



- Queda incluida la primera carga de espumógeno de los tanques, incluyendo el consumo que del mismo pudiera producirse durante las pruebas que durarán un mínimo de 5 minutos. La espuma que se suministrará para primer llenado y pruebas debe ser al 1%.
- El diseño del sistema se basará en una presión mínima de agua efectiva de 7.5 bar en la entrada al puesto de control durante el funcionamiento. Los componentes a suministrar serán adecuados para soportar una presión de trabajo de 20 bar.
- Las tuberías de espuma irán pintadas en color blanco contra incendios.
- Las conexiones se efectuarán a la red de 14" de agua debiendo instalar un colector para el sistema de espuma y otro para el sistema de refrigeración.
- El vendedor debe recopilar del suministrador del espumógeno los efectos que sobre el Medio Ambiente y la Flora tenga el producto requerido de conformidad con lo indicado en el apéndice E de la NFPA 11.

### **9.2.2. Sistema fijo de refrigeración**

Se instalará un sistema fijo de protección de la envolvente por refrigeración mediante boquillas pulverizadoras por toda la envolvente del tanque. Se garantizará que la orientación y los distintos niveles a los que necesariamente se posicionarán las boquillas garanticen la refrigeración de toda la superficie de la envolvente del tanque.

El sistema fijo de refrigeración deberá estar sectorizado, debiendo tener cada sector tubería de alimentación independiente con válvula situada en el puesto de control debidamente señalizada.

Cuando se active el sistema de refrigeración de un tanque se deberá refrigerar la totalidad del mismo más el sector afectado de los tanques adyacentes. La tubería discurrirá aérea (con el mismo criterio que la de alimentación a cámaras de espuma) y pintada convenientemente.

Todo el sistema de tuberías secas será galvanizado interiormente en caliente. Cada tubería de alimentación a tanque llevará una purga de 2".

Las boquillas serán de cono lleno, y listadas o aprobadas por UL/FM, de bronce y con un orificio de descarga mínimo de 5 mm y capaces de verter en la

superficie del tanque el caudal exigido por la norma aplicable más exigente. La presión mínima en la boquilla más desfavorable será de 2,5 kg/cm<sup>2</sup>.

### 9.2.3. Puestos de Control

Se instalarán válvulas de diluvio VIKING y su disparo será de actuación manual y remota para cada anillo. Llevarán Trim de válvulas asociado para disparar los semianillos afectados de los tanques adyacentes. La actuación de las señales de diluvio será realizada desde el panel de movimientos en CC1. Se instalarán presostatos de confirmación de descarga de agua por alta presión (PSH) en cada línea para verificación del disparo de la válvula de diluvio así como válvulas solenoides para actuación remota de dichas válvulas. El cableado de dichas señales será por otros.

Cada puesto de control irá equipado con una válvula de seccionamiento específica (enclavada abierta), una válvula de drenaje y una siamesa para conexión de bomberos. Las líneas se mantendrán normalmente presurizadas hasta las válvulas de diluvio de los puestos de control. El colector de los puestos de control irá equipado con filtro de malla en inoxidable AISI-316. El diámetro de luz del filtro será menor que el orificio de descarga de las boquillas

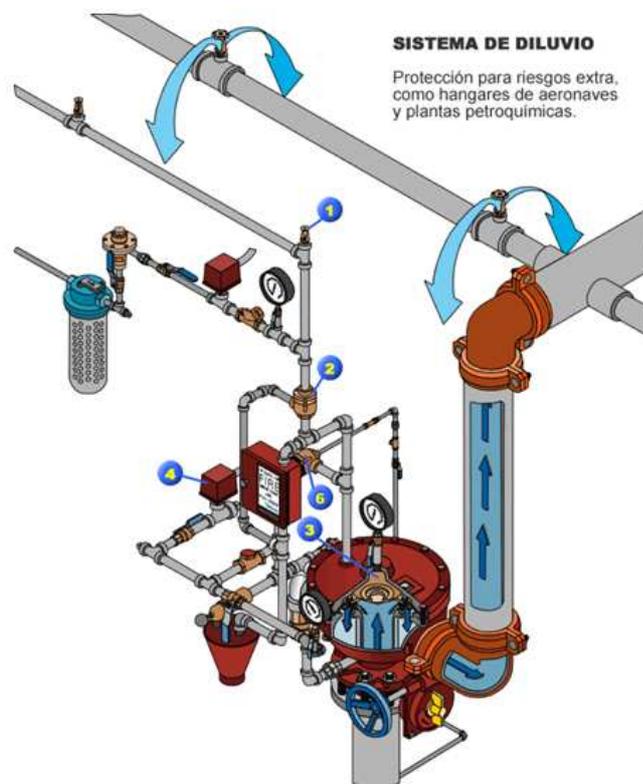


Fig.37: sistema de diluvio de actuación neumática



A continuación pasamos a describir el modo de actuación del sistema de diluvio de actuación neumática reflejado en la figura 37.

Cuando se activa el elemento de disparo de temperatura fija (1) a causa de un incendio, se libera la presión del sistema de actuación neumática (2) de modo que disminuye la presión de la cámara de cebado (3) permitiendo la apertura de la válvula de diluvio. El flujo de agua activa un presostato (4) que hace sonar una alarma eléctrica o pone en funcionamiento una alarma hidromecánica o ambas simultáneamente. El agua llega a todos los rociadores abiertos y a las boquillas (5). La válvula de corte de cebado (PSOV) (7) mantiene la cámara de cebado sin presión una vez disparado el sistema.

La tubería después de la válvula de diluvio del puesto de control estará normalmente seca y será galvanizada interiormente en caliente, discurrirá aérea, con el mismo criterio que la de alimentación a cámaras de espuma, y pintada en color blanco contra incendios.

Las conexiones a cada tanque se harán al tramo de red nueva que debe conectar en dos puntos con la red existente.

Los puestos de control estarán a la intemperie sin ninguna caseta.

Cada puesto de control dispondrá de tomas para alimentación de espuma desde camiones contra incendios, para utilizarlos en caso de fallo del mezclador de espuma del sistema fijo de espuma.

Los puestos de control deberán situarse fuera del cubeto de los tanques a una distancia de al menos 25 m. de los tanques y deberán estar señalizados y agrupados por tanque los disparos de siniestrado y afectado, indicando el tanque protegido. Si la distancia al riesgo del puesto de control fuese inferior los 25 metros de distancia, se deberá instalar un muro de hormigón para proteger al puesto de control de la radiación térmica en caso de incendio.

#### ***9.2.4. Red de agua contra incendios***

El diseño del sistema se basará en una presión mínima de agua efectiva de 7.5 bar en la entrada al puesto de control durante el funcionamiento. Los componentes a suministrar serán adecuados para soportar una presión de trabajo de 20 bar.

Se aumentará la actual red contra incendios con un nuevo ramal de 14" que bordeará el cubeto de los tanques conectándose a la red existente en dos



puntos. Este tramo de red irá aéreo y conectado a la red existente mediante válvulas de seccionamiento aéreas.

Se protegerá el cubeto con hidrantes y cada 40 mts a lo largo del perímetro del cubeto sobre el anillo de 14" de agua que se construirá. Los hidrantes más próximos a los tanques irán provistos de monitor de 500 GPM a 7 kg/cm<sup>2</sup> con lanzas de dos efectos (chorro y niebla) y boquillas autoaspirantes con proporcionador al 3% para aspirar de bidones de 200 litros (un bidón por monitor). Los hidrantes llevarán válvula y conexión Storz de 6".

### **9.2.5. General**

En el tanque que nos afecta, se deberá disponer de un sistema de detección constituido por un detector de CO<sub>2</sub> que enviará señal al panel de la Sala de Control. No actuará sobre el sistema de extinción.

Se incluirá por parte del Vendedor la validación de la red exterior de agua contra incendios para el peor de los escenarios de fuego.

Todo el material eléctrico/instrumentación será apto para trabajar en zonas según la clasificación de áreas establecida para el proyecto.

Se deberá cumplir con la normativa de seguridad aplicable y requerirá la aprobación del departamento de Seguridad del Complejo Industrial.

Ambos sistemas, refrigeración y extinción serán de accionamiento remoto y manual.

Al adjudicatario del DCI le será solicitado lo siguiente:

- La necesidad del cursillo de seguridad exigido por el cliente para todo su personal.
- La exigencia de contar en su caso con subcontratistas homologados por el cliente. Listado de los mismos y de proveedores
- La previsión de instalaciones temporales necesarias para sus trabajos en campo, punta de personal, la maquinaria prevista para el desarrollo de sus trabajos la cual debe estar al día y con sus seguros en regla.
- Curricula vitarum de su jefe de obra y de su responsable de seguridad en campo.



### 9.3. Alcance del suministro

Los servicios contratados se extenderán al diseño, suministro de materiales, estructuras metálicas y soportes, pintura, obra civil, instrumentación, montaje (y/o supervisión), repuestos, pruebas, inspecciones y controles, puesta en marcha, manual de operación, manual de mantenimiento y todo lo necesario para el correcto cumplimiento con los suministros y los trabajos especificados. El Vendedor cotizará precios separados para cada una de estas partidas

#### 9.3.1. *Diseño*

- a. Será responsabilidad del Vendedor el diseño completo de los sistemas contra incendios de los equipos indicados y los cálculos justificativos de los mismos de acuerdo a la normativa vigente.
- b. Los cálculos estarán de acuerdo con NFPA y las normas UNE 23521 y 23526. No se podrá comenzar el montaje sin tener aprobados los cálculos y los planos de la instalación.
- c. Se requieren hojas de datos, especificaciones, características de todos los materiales que forman parte del suministro (tuberías, accesorios, válvulas, boquillas, cámaras, etc...); recuento de materiales y certificados de calidad; procedimientos de soldadura y homologaciones; en general todo lo necesario para la ejecución del proyecto y la correcta determinación de los límites de suministro.
- d. Se requiere la elaboración de Diagramas de tuberías e instrumentos con todos los requisitos impuestos por el cliente.
- e. Todos los tags referencia a equipos e instrumentos serán definidos por el cliente y deberá estar incluida su referencia en toda la documentación aportada por el Vendedor.

#### 9.3.2. *Materiales*

- a. Los materiales se recepcionarán con certificados de calidad mínimo DIN 3.1.b.
- b. Las boquillas pulverizadoras y las cámaras deberán estar homologadas por Underwriters Laboratories (UL) y/o Factory Mutual (FM).



- c. Las características del material de tuberías, bridas, juntas, codos, válvulas, filtros, etc... estarán de acuerdo con la documentación aplicable a la presente especificación.
- d. Las tuberías serán en acero carbono hasta la válvula de diluvio (B7) y galvanizadas (B13) desde la válvula de diluvio, tanto en el sistema de agua como en el sistema de espuma.
- e. Todo el material prefabricado que deba ser soldado y galvanizado deberá galvanizarse tras la prefabricación y correrá a cargo del Vendedor.
- f. Toda la tubería podrá drenarse completamente por lo que se instalarán las correspondientes purgas en todo el sistema.
- g. La tubería enterrada irá encintada y protegida según especificación que debe enviar el Vendedor con la oferta, y que debe ser conforme a los procedimientos utilizados por el cliente.
- h. El Vendedor deberá facilitar copia de todos los subpedidos para ser sometidos a aprobación.
- i. Las marcas de presostatos deben ser: CELLA, NUOVA FIMA o BARKSDALE o cualquier otro homologado y su conexión eléctrica deberá ser de 1/2" NPT. El Vendedor deberá aportar los certificados de calibración de los presostatos según rangos de prueba hidráulica y de puesta en servicio.

### **9.3.3. Fabricación y montaje**

- a. El Vendedor no podrá comenzar la fabricación sin haber obtenido la aprobación de la ingeniería a los planos y cálculos de la instalación.
- b. Con la oferta se entregará un programa completo para los trabajos de diseño, ingeniería, acopios y suministros, así como de fabricación y montaje y programa de puntos de inspección.

### **9.3.4. Estructura metálica y soportes**

Dentro del alcance se incluye el suministro y montaje de soportes así como la estructura necesaria para la correcta operación y mantenimiento del sistema. Los soportes de ascendentes y anillos serán a diseñar por el Vendedor y a instalar por el fabricante del tanque. Este diseño se dará máximo 15 días tras el



pedido. Por otra parte, los soportes de tuberías del sistema de protección contra incendio dentro de cubetos (excepto los que van sobre el propio tanque) se deberán realizar de hormigón. En caso de que sean metálicos, deberán ignifugarse con hormigón o mortero de cemento.

### **9.3.5. Obra civil**

Quedará incluida como opcional en el suministro toda la Obra Civil relacionada con el sistema tal como muros de hormigón, zanjas, losas, etc. Todos los cálculos, planos e información para la realización de la Obra Civil serán por el Vendedor aunque ésta sea realizada por otros.

### **9.3.6. Materiales de consumo**

Serán por cuenta del Vendedor los materiales de consumo (acetileno, oxígeno, electrodos, juntas, etc...) y cualquier otra clase de materiales que sean necesarios para realizar su trabajo. El valor de todo lo anterior estará incluido en el importe de la oferta y en cada uno de los precios unitarios.

La Propiedad facilitará agua (únicamente para la prueba hidráulica) a 50m. máximo del punto de instalación.

En la oferta se incluirá el coste diario de un generador eléctrico, y se dará precio cerrado para la fase de montaje.

### **9.3.7. Pintura**

Incluye el suministro de materiales, mano de obra, equipo y elementos auxiliares, análisis, pruebas, etc.. para efectuar los trabajos de pintura y protección de tuberías y equipos de defensa contra incendios.

La aplicación de la pintura estará de acuerdo con la especificación. Todas las tuberías, accesorios, válvulas, etc., irán pintadas en color blanco según carta RAL correspondiente.

El esquema de pintura a aplicar será el 1 para material en acero al carbono desnudo (sin recubrir) y el 4 para la tubería de acero al carbono galvanizada exteriormente.



## 9.4. Pruebas, inspecciones y controles

### 9.4.1. Pruebas

- a. Antes de realizarse la entrega de la instalación esta será sometida a las siguientes pruebas:
  1. Prueba hidráulica de las tuberías s/NFPA , ED-B2 y EC-B51.
  2. Prueba de funcionamiento del sistema
  3. Radiografiado 100% de la tubería enterrada y 10% de la aérea
- b. El Vendedor previamente mantendrá un "Protocolo de Pruebas" para aprobación de la ingeniería.
- c. En caso de observarse alguna deficiencia sobre los resultados previstos se procederá inmediatamente a su corrección y/o sustitución, si fuese preciso y a cargo del Vendedor, hasta dejar las instalaciones objeto de esta especificación, en perfectas condiciones de funcionamiento.
- d. El agua necesaria para la prueba hidráulica será suministrada por la Propiedad. Los medios y accesorios necesarios para la realización de esta prueba serán por cuenta del Vendedor. La presión de prueba hidráulica será según reglamento.
- e. El Vendedor facilitará como resultado de las pruebas un informe completo en el que se incluyan los datos recogidos durante las mismas. Tras las pruebas de funcionamiento se dejará la instalación en plenas condiciones de operatividad soplando las columnas secas hasta su secado completo.
- f. En los precios "tanto alzado" dados por el Vendedor están incluidos todos los gastos derivados de las pruebas (tanto de personal, como materiales, etc...)
- g. Al Vendedor se le imputará la parte proporcional al mantenimiento de las instalaciones temporales de obra (seguridad, electricidad, etc...)

### 9.4.2. Inspecciones y controles

El radiografiado de las soldaduras, procedimientos, calificaciones de procedimientos de soldadura y soldadores y ensayos exigidos serán por cuenta



del Vendedor, incluyendo la certificación de aprobación por un Organismo Notificado.

Todos los gastos derivados a consecuencia de una placa radiográfica rechazada serán a cargo del Vendedor.

### **9.5. Instrumentación**

Los orificios de restricción que fuesen necesarios serán a determinar y suministrar por el Vendedor, así como cualquier otro elemento que fuese requerido.

### **9.6. Repuestos**

- a. Quedarán incluidos en el alcance del suministro y deberán detallarse los repuestos sugeridos por el Vendedor para la puesta en marcha.
- b. En partida alzada opcional, separadamente y se detallarán los repuestos sugeridos por el Vendedor para dos (2) años de operación y que serán, como mínimo, los de puesta en marcha.

### **9.7. Precios**

El alcance de los trabajos se valorará como partida alzada pero desglosando por conceptos y de forma detallada los componentes incluidos y sus correspondientes sub-apartados.

En este desglose de material deben identificarse claramente como mínimo, separando material y montaje:

- Ascendentes de espuma
- Cámaras de espuma
- Generadores de espuma
- Anillos de refrigeración
- Boquillas pulverizadoras

Indicando precios unitarios, longitudes y cantidades de cada concepto.

Los precios dados por el Vendedor serán fijos y no revisables durante toda la obra con independencia de las posibles variaciones de medición que puedan producirse.



## 10. CÁLCULOS Y DISEÑO DE SISTEMA DE PROTECCIÓN C.I.

### 10.1. Introducción

En este bloque llevaremos a cabo la descripción del diseño seleccionado así como los cálculos necesarios para dimensionar la solución del sistema de protección contra incendios del tanque de combustible objeto de este proyecto.

Para detallar un completo sistema de detección y protección contra incendios, deberíamos contemplar los siguientes apartados:

1. Sistema automático de detección de incendios
2. Sistemas manuales de alarma de incendio
3. Sistemas de comunicación de alarma
4. Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios
5. Sistemas de hidrantes exteriores
6. Extintores de incendio
7. Sistemas de bocas de incendio equipadas
8. Sistemas de columna seca
- 9. Sistemas de enfriamiento por agua pulverizada**
- 10. Sistemas de espuma física**
11. Sistemas de alumbrado de emergencia
12. Señalización
13. Resumen de la dotación contra incendios del sector

En el presente proyecto nos vamos a centrar en el diseño y cálculo del sistema de enfriamiento por agua y el sistema de espuma física.

### 10.2. Alcance de los trabajos

La instalación de un tanque de gasóleo de techo fijo de  $5.700 m^3$  ( $\phi = 24 m.$ ;  $H = 12,60 m.$ ), hace necesario, según reglamentación, la instalación de un anillo general de DCI para dotar a dicho tanque de la correspondiente protección.

El sistema de extinción de Incendios dispondrá de dos entradas por los extremos de la unidad para alimentar al anillo perimetral del tanque.

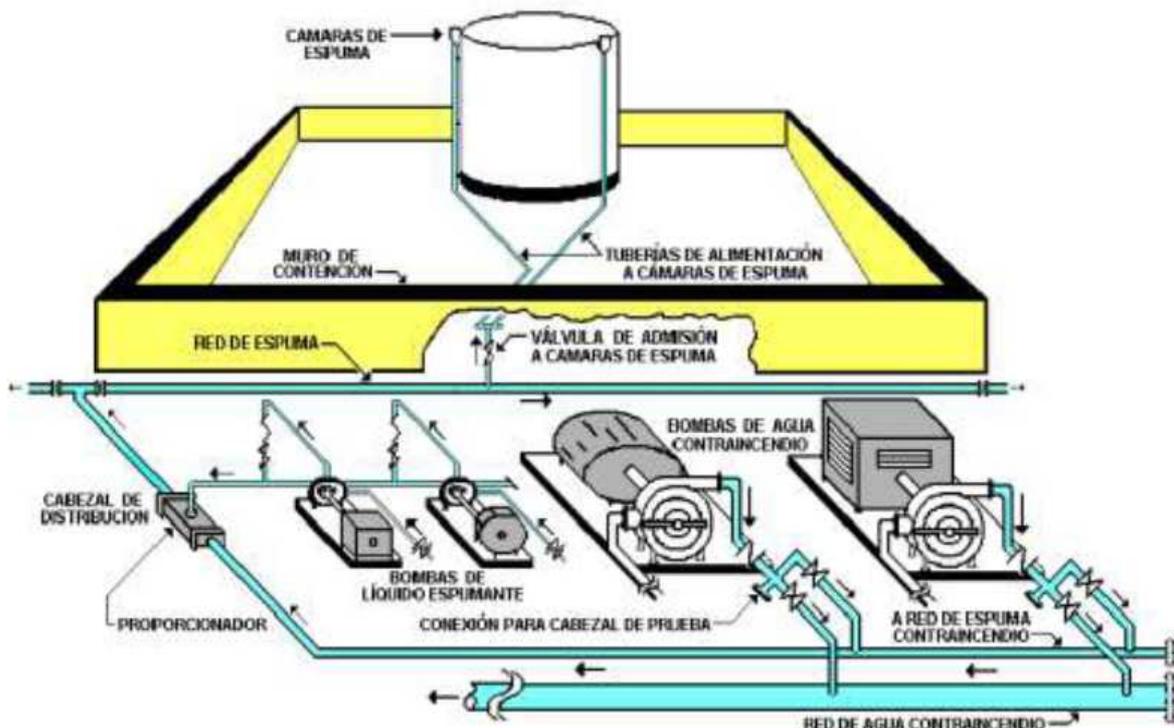


Fig.38: esquema del sistema de protección c.i. por espumógeno

### 10.3. Diseño de sistema de cámaras de espuma en superficie

#### 10.3.1. Introducción

Para la aplicación superficial de espuma en tanques atmosféricos de almacenamiento de techo fijo, que contengan productos combustibles, se deben utilizar cámaras formadoras de espuma, instaladas en la parte superior y por la parte externa de la envoltura de los tanques, equidistantes y con un distanciamiento entre ellas, no mayor a 24,40 m (80 pies) alcance máximo de la cámara de espuma según fabricantes.

Para los tanques de techo fijo como el objeto de este proyecto, adicionalmente se debe incluir un sello que garantice su ruptura a una presión de 276 kPa, destinado a impedir que los vapores de hidrocarburos se introduzcan y condensen en el interior de la tubería de alimentación de solución espumante.

El sistema indicado a continuación, se diseña con la finalidad de llevar a cabo la protección del mayor peligro potencial existente en nuestra instalación. A continuación describimos los pasos a seguir para el diseño.



En nuestro caso, se desea proteger un tanque cerrado (tipo cónico) de almacenamiento de gasóleo. La altura del tanque es de 12,6m y su diámetro es de 24m. Se dispone de un sistema de agua que entrega 5500 lpm a 7 bares.

### 10.3.2. Cálculos del Sistema de cámaras de espuma

#### 1- Determino el ratio de aplicación

Producto	Punto de ignición	Ratio de aplicación	Tiempo de descarga
Hidrocarburos	37.8°C a 93.3°C	4.1 litros por min/m <sup>2</sup>	55 mins
Hidrocarburos	Menores a 37.8°C	4.1 lpm/m <sup>2</sup>	55 mins
Petróleo crudo	No aplica	4.1 lpm/m <sup>2</sup>	55 mins
Solventes polares	No aplica	4.1 lpm/m <sup>2</sup>	55 mins

Tabla 24: ratio de aplicación de espuma y tiempos de descarga

Para hidrocarburos es de 4,1 lpm/m<sup>2</sup> durante 55 minutos según la presente tabla.

#### 2- Determino la superficie de combustible a proteger

$$\text{Superficie: } A = \pi r^2 = 3,14 \times 12^2 = 452,16 \text{ m}^2$$

#### 3- Determino el requerimiento de solución de espuma para proteger al tanque

Superficie a cubrir x ratio de aplicación:

$$452,16 \text{ m}^2 \times 4,1 \text{ lpm/m}^2 = 1853,86 \text{ lpm de solución de espuma} \times 55 \text{ min} = 101962 \text{ litros de solución}$$

#### 4- Cantidad de dispositivos de descarga (cámaras de espuma)

Según obtenemos de la presente tabla:

Diámetro de tanque (metros)	Mínimo número de cámaras
Hasta 24 m	1
+ 24 a 36 m	2
+ 36 a 42 m	3
+ 42 a 48 m	4
+ 48 a 54 m	5
+ 54 a 60 m	6

Tabla 25: mínimo número de cámaras de espuma

Para un tanque de 24 metros se requiere un mínimo de 2 cámaras. Cada una de las cuales deberá ser capaz de proveer 927 litros por minutos de solución de espuma según el gráfico mostrado a continuación.

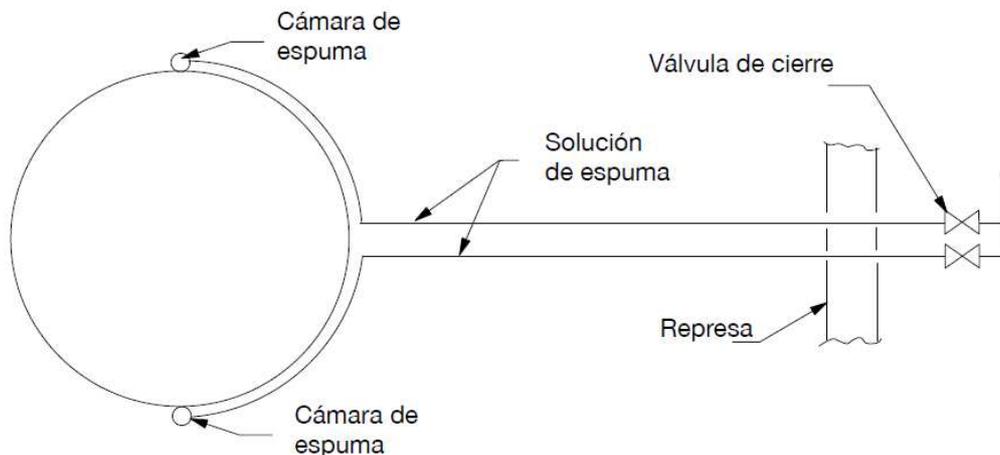


Fig.39: esquema del sistema de protección c.i. por espumógeno. Situación de las cámaras

### 5- Determino la cantidad de mangueras y el tiempo de operación necesario para protección adicional del tanque

Diámetro del tanque	Número de mangueras
Hasta 19.5 m	1
+ 19.5 m a 36 m	2
+ 36 m	3

Tabla 26: mínimo número de mangueras

Diámetro del tanque	Mínimo tiempo operativo
Hasta 10.5 m	10 mins
+ 10.5 m a 28.5 m	20 mins
+ 28.5 m	30 mins

Tabla 27: mínimo tiempo operativo de las mangueras adicionales

Basado en la tabla adjunta, se necesitan 2 mangueras con 20 minutos de operación.

### 6- Determino el requerimiento de solución de espuma para protección adicional del tanque (mangueras)



186 lpm (caudal de manguera) x 2 mangueras x 20 minutos de operación = 7440 litros de solución de espuma adicionales

**7- Requerimiento total de solución de espuma = Volumen para protección de tanque (punto 3) + Volumen de mangueras (punto 6)**

101962 + 7440 litros = 109402 litros totales de solución de espuma

**8- Determinación de volumen de concentrado y de agua**

LITROS TOTALES X PORCENTAJE DE CONCENTRADO = VOLUMEN DE CONCENTRADO

LITROS TOTALES - VOLUMEN DE CONCENTRADO = VOLUMEN DE AGUA

Supongamos que para la protección de este tanque elegimos una AFFF que requiere mezclarse con agua en 3 partes de concentrado cada 97 partes de agua (solución al 3%).

Tendremos entonces:

Volumen total de concentrado = 109402 litros totales de solución de espuma x 0.03 = 3282 litros de concentrado.

Volumen total de agua = 109402 litros – 3282 l de concentrado = 106120 litros de agua.

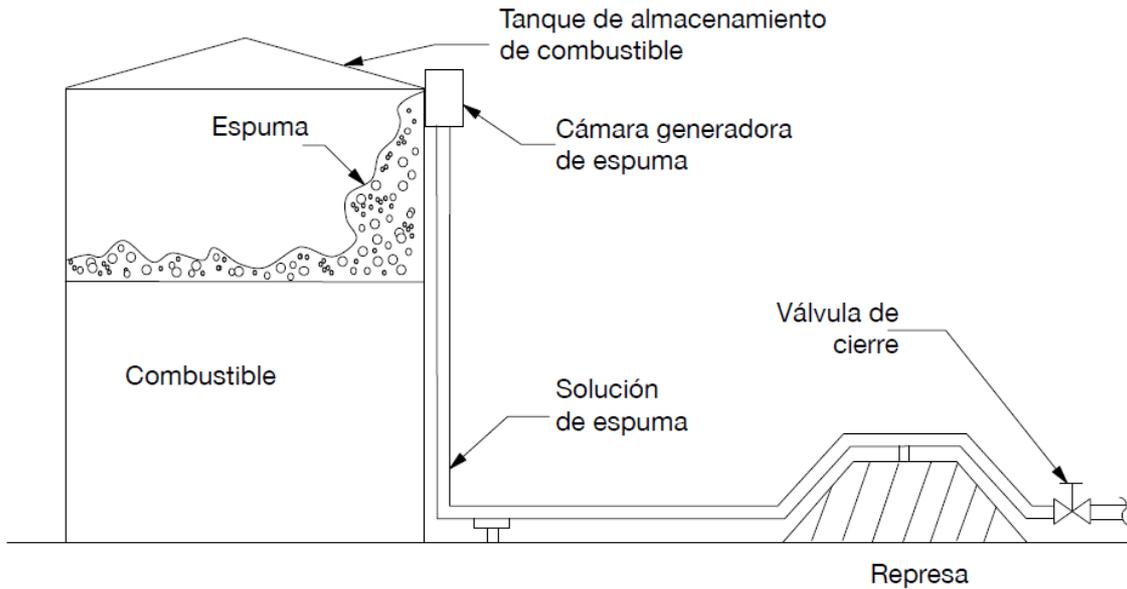


Fig.40: esquema de s.c.i. por espuma

En el caso de tanques atmosféricos de almacenamiento de techo fijo, la alimentación de solución espumante se debe llevar a cabos por medio de tuberías independientes a partir del dique y hasta el tanque para cada cámara formadora de espuma, conectadas a sistemas de generación de solución espumante fijos o semifijos. Dichas tuberías, deben tener una pendiente de 1% hacia el muro de contención y una purga en su parte más baja, localizada fuera del dique de contención, que permita el drenado de la tubería.

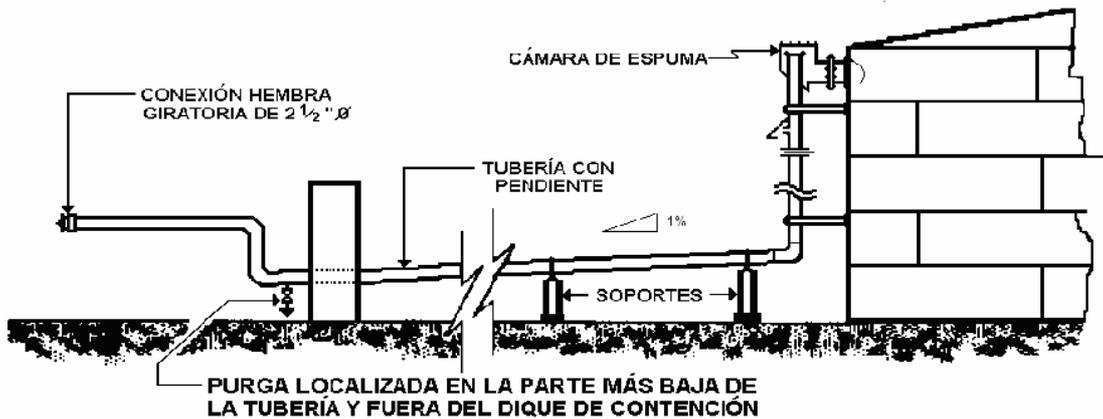


Fig.41: vista en alzado de s.c.i. por espuma

### 10.3.3. Selección de equipos para el Sistema de cámaras de espuma

A continuación describimos la cámara generadora de espuma de baja expansión seleccionada que formará parte de nuestro sistema de protección. Se trata de la cámara modelo MCS 17 del fabricante KIDDE, ya que es la recomendada para sistemas con dos cámaras en tanques de 24 metros de diámetro y para el caudal de espumógeno necesario calculado.

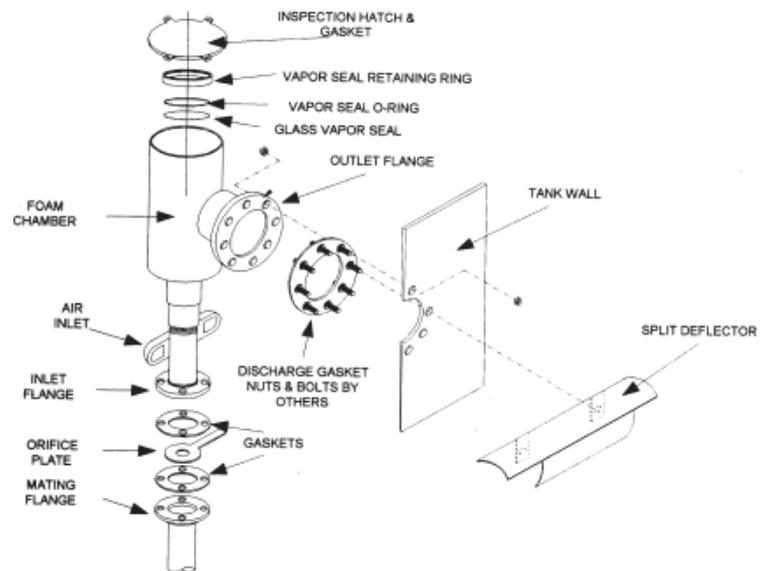
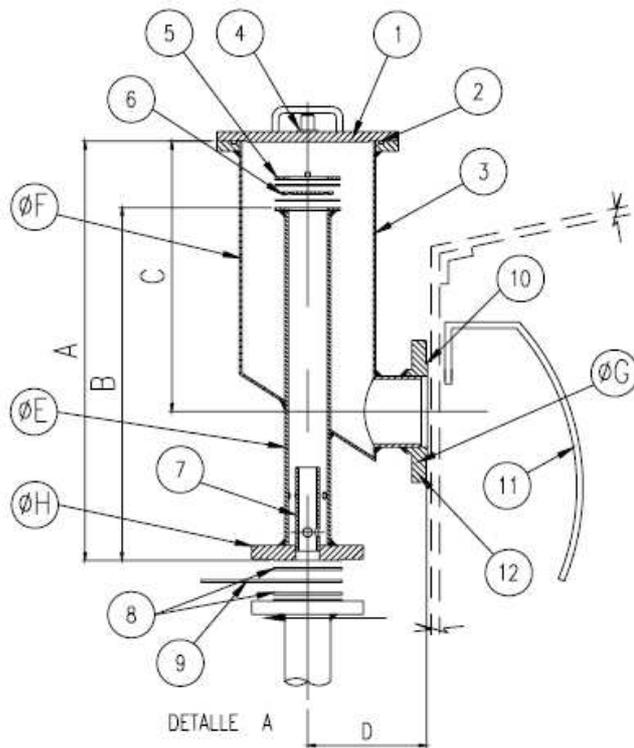


Fig.42: imagen de la cámara generadora de espuma KIDDE MCS 17

A continuación pasamos a describir sus características:

- Cámara especialmente indicada para sofocar fuegos en tanques de almacenamiento de líquidos combustibles.
- Capacidad de generación hasta 5000 LPM de espuma formada.
- Cuerpo en caño ASTM A53 Gr B liviano con costura.
- Tapa bridada de 12 mm de espesor, mecanizada en SAE 1020, con tornillo de sujeción en bronce y tuerca zincada.
- Terminación superficial exterior e interior: Pintura Poliéster en Polvo Termoconvertible RAL-3000.
- Deflector para colocación en el interior del tanque, fabricado en acero al carbono, espesor 4.76 mm con pintura Poliéster en Polvo Termoconvertible RAL-3000
- Conexión bridada ASTM A105 SORF #150. ANSI 16.5
- Placa orificio de bronce para colocación entre bridas.
- Disco de ruptura de grafito.

- Presión mínima de operación es de 2.7 Bar, logrando relaciones de expansión de hasta 10 con una dosificaciones de 3% o 6%.
- Aptas para operar con cualquier tipo de emulsor de baja expansión proteínico o sintético.
- Placa de identificación con datos de presión, caudal y diámetro de placa orificio.



POS.	CANT.	DESCRIPCION
1	1	Tapa de Inspección
2	1	Junta
3	1	Cuerpo de cámara (Acero)
4	4	Mariposa de bronce
5	1	Aro fijación de disco
6	1	Disco de ruptura
7	1	Generador de espuma
8	2	Junta de goma
9	1	Placa orificio
10	1	Junta de brida
11	1	Deflector
12	1	Brida ASA #150

Caudal de Espuma LPM	Modelo	A	B	C	D	E	F	G	H
3000-5000	MCS 17	844	821	454	224	3"	10"	6"	3"

Fig.43: dimensiones y detalle de montaje

El sistema de protección contra incendio por espuma que estamos diseñando, también requiere de dotar a la instalación de un depósito que contenga el concentrado de espuma. En este caso, hemos seleccionado un depósito de espumógeno modelo SE-DA del fabricante SABO española.

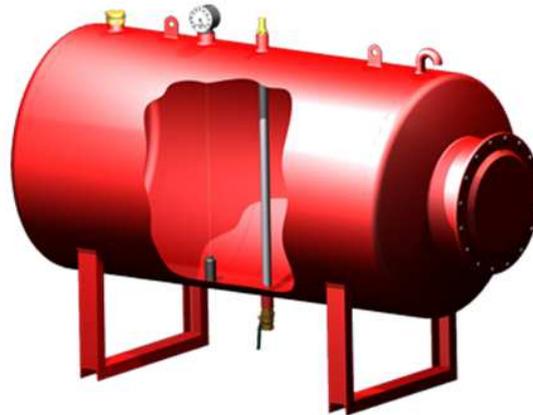
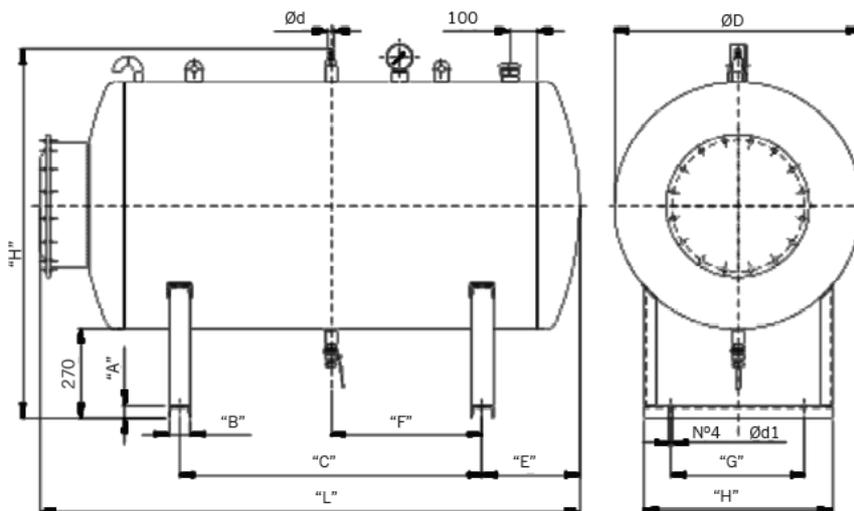


Fig.44: depósito de espumógenos SE-DA de SABO española.

A continuación procedemos a indicar sus características constructivas:

- Cuerpo en acero al carbono.
- Tubo de aspiración en acero inox con conexión en goma, conexión roscada hembra rosca GAS ó BSP (ver "Ød") o rúcord (Barcelona, Storz, UNI, BSP, etc.).
- Indicador de Nivel.
- Venteo.
- Asas para desplazar el depósito.
- Tapón y tubo de llenado de 2".
- Boca de hombre.
- Válvula de vaciado de 1" Gas/BSP – H.
- Pintura externa: una capa de epoxi y dos capas de esmalte poliuretánico rojo RAL 3000.



CAPACIDAD CAPACITY L	"A" mm.	"B" mm.	"C" mm.	"ØD" mm.	"Ød" Gas/Bsp Ø PIPE OR	"Ød1" mm.	"E" mm.	"F" mm.	"G" mm.	"H" mm.	"L" mm.	"M" mm.	PESO WEIGHT kg
4000	50	100	1300	1600	1"	13	544	650	900	1986	2556	1250	522

Fig.45: dimensiones de depósito de espumógeno atmosférico

#### 10.4. Diseño de sistema de enfriamiento por agua

Como ya comentamos en apartados anteriores, la aplicación de agua de enfriamiento sobre la envolvente de tanques atmosféricos verticales, se debe llevar a cabo con densidades no menores de  $4,1 \text{ lpm}/\text{m}^2$  de superficie lateral del tanque.

En nuestro caso, el cálculo sería:

Superficie lateral del tanque:  $2\pi r \times \text{altura} = 2\pi \times 12 \times 12,6 = 950,02 \text{ m}^2$

$950 \text{ m}^2 \times 4,1 \text{ lpm}/\text{m}^2 = 3895 \text{ lpm}$

Considerando la altura del tanque de almacenamiento de combustible, 12,6m, nuestro diseño debe contar con un mínimo de dos anillos de enfriamiento:

1. Uno a una altura de aproximadamente 7 metros medidos a partir de la base del tanque.
2. Un segundo en la parte superior del recipiente, cuyas boquillas descarguen en el último anillo de la envolvente.

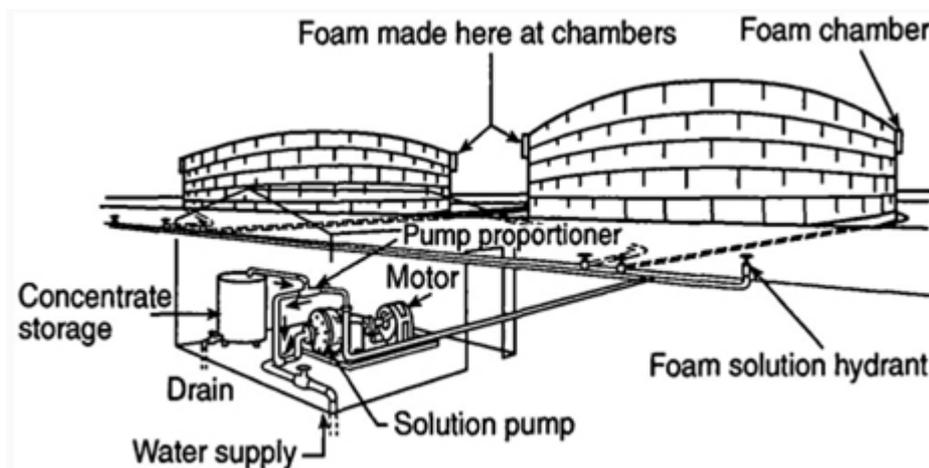


Fig.46: esquema del sistema c.i. por espuma

Los anillos dividirán en dos secciones de manera que la sección superior e inferior de un mismo lado, tenga una alimentación común de agua, por lo que para este caso, se debe disponer de dos alimentaciones de agua.

El suministro de agua a cada uno de las dos secciones del anillo de enfriamiento se llevará a cabo mediante una tubería de alimentación independiente conectada a la red de agua C.I.



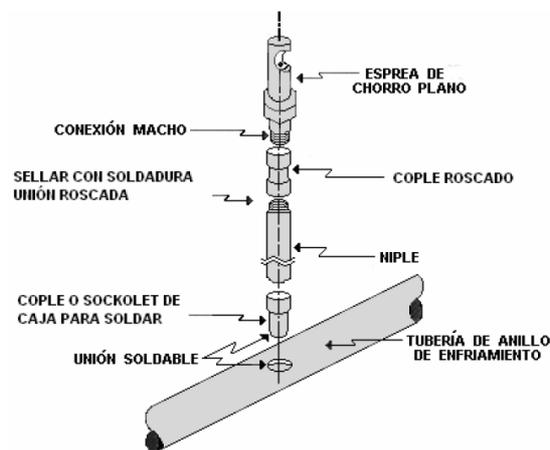
La tubería estará provista de una válvula de control automático para servicio C.I. y otra diametralmente opuesta operada manualmente con filtros tipo Y para retener partículas de 3 mm de diámetro y mayores.

Se dotará al circuito de un manómetro y válvula para prueba (al menos cada cinco años según NFPA-25), de la red de agua contra incendio, para verificar que ésta garantice la demanda de agua requerida para el riesgo de un área o equipo a proteger.

El diámetro de la válvula garantizará un flujo representativo del estado de la red y este se refleje en la presión registrada por el manómetro de prueba.

Todos los anillos o sectores de anillo de enfriamiento, estarán provistos de purgas de 2,54 mm de diámetro, localizadas en la parte más baja de las tuberías, fuera del dique de contención y que garanticen el drenado total de dicha tubería.

Para el enfriamiento de la envolvente de los tanques atmosféricos de almacenamiento, se emplearán boquillas de aspersión de chorro plano, conexión macho NPT, colocadas en la parte superior de la tubería de alimentación para evitar obstrucciones. El arreglo debe considerar sockolet o medio cople de clase 3000  $lb/pulg^2$ , niple con un extremo plano y otro cople clase 3000  $lb/pulg^2$  y con ambos extremos roscados.



v 0,2 – 355 l/min.  
P 0,2 – 4 bar  
( 73° - 150°  
1/8", 1/4", 3/8", 1/2", 3/4", 1"  
Material: SS, 316SS, PVC, PP

#### Boquillas de chorro plano con deflector (Cód. W)

Caudales medianos  
Ángulos de pulverización grande (hasta 150°)  
Gran sección de paso libre  
Reduce las obstrucciones

Fig.47: información de boquillas de chorro plano con deflector

El número de boquillas de aspersión, se debe determinar dividiendo el perímetro del tanque entre la longitud de cobertura que proporciona la pulverización, considerando un 15 por ciento de traslape a cada lado, según indica el gráfico:

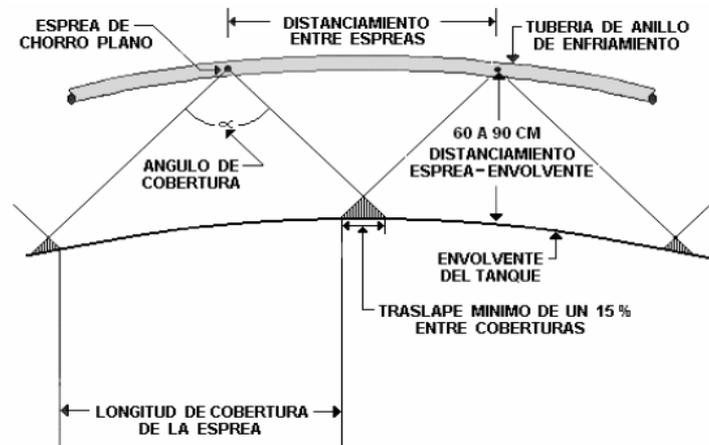


Fig.48: espaciado de boquillas de aspersión

Las boquillas de aspersión estarán separadas de la pared del tanque a 70 cm. La longitud de cobertura de las boquillas de aspersión, se determinará con base en el ángulo de cobertura y la distancia entre la descarga de la boquilla y la envoltorio del tanque.

Según los valores considerados para el tanque considerado, el diámetro de nuestro anillo de enfriamiento por agua será de:  $24\text{m} + 2 \times 0,7\text{m} = 25,4\text{m}$

Considerando un ángulo de pulverización de  $110^\circ$  (ángulo que se encuentra entre los  $73^\circ$  y los  $150^\circ$  que permite la boquilla) y una distancia de separación de 70 cm, podemos calcular:

$$\text{longitud pulverizada} = 2 \times (70\text{cm} \times \tan 55^\circ) = 199\text{cm}$$

Teniendo en cuenta el 15% de traslape, cada boquilla cubriría una distancia lineal de:

$$199\text{cm} \times 85\% = 170\text{cm}$$

La longitud lineal a cubrir por la aspersión de agua por las boquillas será de  $2\pi r = 2\pi \times 1200 = 7540\text{cm}$

Luego necesitaríamos un total de  $7540\text{ cm} / 170\text{ cm} \approx 44$  boquillas



Se selecciona una boquilla de aspersión de 1/2 pulgada de diámetro

La suma de los gastos de las boquillas de aspersión, debe proporcionar una cobertura de 3895 *lpm*, es decir, el resultado de multiplicar la superficie de la envolvente (950,02  $m^2$ ) por la densidad de aplicación especificada: 4,1 *lpm/m<sup>2</sup>*

Las tuberías de los anillos de enfriamiento, se dimensionarán con un diámetro de 3" y de acero al carbono (API 5L B) con recubrimiento galvanizado.

### 10.5. Descripción del sistema de tuberías del sistema C.I.

A continuación indicamos las especificaciones del sistema de tuberías seleccionado para abastecer de agua tanto al sistema de protección contra incendio por espumógeno como del sistema de enfriamiento por agua.

La instalación de las tuberías deberá efectuarse según las normas NFPA.

La tubería será de acero al carbono según API 5L Gr.B, sin costura, Sch-80 para diámetros inferiores a 2" y Sch-40 para diámetros de 2" a 8" inclusive:

Descripción	Ø nominal	Bridas	Esp. Tub.
Sistema C.I. por espumógeno	3"	SO 150# RF	SCH.
Sistema de enfriamiento por agua	4"	SO 150# RF	SCH.
Sistema de enfriamiento por agua (anillo)	3"	SO 150# RF	SCH.
Sistema de enfriamiento por agua (boquillas)	1/2"	SO 150# RF	SCH.

### Tuberías aéreas húmedas

Los accesorios para diámetros de 2" y mayores serán de material ASTM A-234 WPB para soldar a tope y del mismo espesor de la tubería, con dimensiones según ANSI B-16.9. Los accesorios de diámetro menores de 2" serán en material A-105 Gr.II.

### Tuberías aéreas secas

- Para diámetros de 2" y mayores se utilizarán acoplamientos y accesorios ranurados tipo "Victaulis" UL/FM o similar, galvanizados.
- Las tuberías menores de 2" serán conectadas mediante accesorios roscados 3000 Lbs. A-150 Gr.II, también galvanizados.



- Las tuberías aguas debajo de las válvulas de apertura y cierre del sistema estarán normalmente secas y por ello serán galvanizadas en caliente según la norma ASTM-A 123/78 y pintadas exteriormente

Las bridas serán de clase 150#, con resalte RF, de acuerdo con la norma ASTM A-105, dimensiones según ANSI B.16.5 Las juntas serán de asbesto comprimido grafitado ambas caras, tipo Klingerit universal 400 equivalente, de espesor 1/16".

#### **10.6. Valvulería de los sistemas de protección C.I.**

Las válvulas de seccionamiento serán de compuerta, husillo ascendente y volante estacionario, clase 150#, bridas con resalte RF, cuerpo en acero al carbono ASTM A-216 Gr.WCB/trim F6. Marca "Saidi" fig. XU.

Las válvulas de diámetros menores a 3" serán de bola, clase 800#, roscadas según ANSI B.2.1, cuerpo en acero forjado A-105 Gr.2.

#### **10.7. Pintura y recubrimientos.**

Las tuberías de acero al carbono húmedas aéreas y sus accesorios respectivos se tratarán y pintarán exteriormente de la siguiente manera:

- Decapado mediante chorro de arena hasta alcanzar el grado SA 21/2 según norma SIS/05-59-00-1967.
- Aplicación de una capa de silicato de zinc de 75 micras de espesor de película seca.
- Aplicación de una capa de epoxi HEMPEL 4515 de 100 micras de espesor de película seca.
- Aplicación de dos capas de acabado de poliuretano HEMPEL 5510 de 35-40 micras de espesor de película seca por capa, color rojo.

Las tuberías de acero al carbono secas aéreas y sus accesorios, así como los soportes, al ser galvanizados, sólo requieren pintura exterior en cuanto a su identificación como tubería de incendios.

El procedimiento será:

- Limpieza general y desengrasado de la superficie galvanizada.
- Imprimación para fijación sobre el galvanizado tipo epoxi HEMPADUR PRIMER 1530 con un espesor de 50 micras de película seca.
- Aplicación de dos capas de esmalte HEMPALIN POLYENAMEL 5510 de 30 micras cada una, con RAL 3000 (rojo incendio)



## **Bloque 3:**

## **ANEXOS**



## ANEXO 1: CENTRAL TÉRMICA DE C.C. DE ESCOMBRERAS

# Central térmica de ciclo combinado de Escombreras (Cartagena), de Iberdrola

■ La Central Térmica de Escombreras, propiedad de IBERDROLA GENERACIÓN S.A.U., está ubicada en el término municipal de Cartagena, en la Comunidad Autónoma de Murcia. La central está situada junto a la costa, enfrente de la terminal de gránulos líquidos de la dársena de Escombreras del Puerto de Cartagena. La central se compone de cinco grupos que funcionan con fuel-oil como combustible, representando una potencia total instalada de 858 MWe:

Grupo 1 de 70 MWe de potencia del año 1956

Grupo 2 de 70 MWe de potencia del año 1956

Grupo 3 de 140 MWe de potencia del año 1957

Grupo 4 de 289 MWe de potencia del año 1966

Grupo 5 de 289 MWe de potencia del año 1968

IBERDROLA GENERACIÓN, S.A.U., dentro de su programa de construcción de nueva capacidad de generación de energía eléctrica, incluye la reordenación de las instalaciones ubicadas en el emplazamiento de la Central Térmica de Escombreras:

#### *Primera fase*

Desmantelamiento de los grupos de fuel-oil 1, 2 y 3, incluyendo la explanación de los terrenos liberados y la sustentación de las laderas que los rodean.

Construcción de nueva planta de tratamiento de agua desmineralizada en la zona del aparcamiento.

especial Iberdrola

Por Iberdrola Ingeniería y Construcción (IBERINCO)

72 → especial Iberdrola 2008



En 2004, IBERDROLA puso en servicio ciclos combinados por 1.200 MW en España (central de Santurtzi de 400 MW, en Vizcaya, y los grupos I y II de Arcos de la Frontera de 800 MW, en Cádiz).

En 2005, entraron en operación los ciclos de Aceca, en Toledo, de 400 MW, y el grupo III de Arcos de la Frontera de 800 MW, en Cádiz.

En noviembre de 2006, se aportaron al sistema 800 MW más con la puesta en marcha del ciclo combinado de Escombreras.

# 07

## artículo técnico

especial Iberdrola 2008 ← 73

Sustitución de las subestaciones de intermedia de 220, 132, 66, 20 y 11 kV, por la nueva subestación encapsulada de La Fausita.

#### *Segunda fase*

Construcción de un nuevo grupo de ciclo combinado con gas natural, grupo 6, con una potencia en torno a los 800 MWe, en los terrenos liberados por el desmantelamiento de los grupos de fuel-oil.

La sustitución de los tres grupos de fuel-oil más antiguos por un nuevo grupo con tecnología de ciclo combinado se justifica plenamente por los mismos objetivos que se persiguen:

- Incrementar la capacidad de generación para atender eficazmente las crecientes necesidades de suministro eléctrico a nivel nacional.
- Mejorar la fiabilidad y calidad del suministro eléctrico de la Región de Murcia, lo que permitirá incrementar la atención de Iberdrola a los clientes de la región, dentro del plan de creciente liberalización del sector.
- Aumentar la eficiencia media de las instalaciones de producción.
- Disminuir el impacto ambiental ocasionado por la actividad de generación de electricidad.

El Ciclo Combinado de Iberdrola, que inició su construcción en el mes de junio de 2004, realizó la primera sincronización y acoplamiento a la red el 22 de junio de 2006, y en el mes de noviembre ha entrado en operación comercial.

Iberdrola Ingeniería y Construcción ha realizado para Iberdrola la gestión del proyecto en todas sus fases de dirección, ingeniería, aprovisionamiento de equipos, construcción y puesta en marcha de la central, siendo responsable de GE, el diseño y suministro de los equipos principales de la isla de potencia.

## 01. Características generales del ciclo combinado de Escombreras

### 01.1. Disposición general

La central de ciclo combinado de Escombreras, está formada por dos grupos de gas y uno de vapor en configuración 2 x 1 de potencia nominal conjunta de 800 MW.

La central consta básicamente de los siguientes edificios y estructura, cuya disposición general se muestra en las fotos 1 y 2.

- Edificio de turbinas (2 turbinas de gas y 1 turbina de vapor).
- Edificio eléctrico y de control.
- Calderas de recuperación de calor con sus correspondientes chimeneas (2).
- Área de transformadores.
- Sistema de refrigeración en circuito abierto con agua de mar (se aprovecha la infraestructura de toma y parte de las conducciones de impulsión de los desmantelados grupos 1, 2 y 3, así como parte de la conducción de descarga de los grupos de 4 y 5).
- Estación de regulación y medida de gas natural (ERM).
- Calentadores de gas.
- Tomas de aire de las turbinas de gas.
- Caldera auxiliar.
- Edificio de compresores de aire.
- Generador diésel.
- Edificio de dosificación química y de muestreo.
- Almacén de grasas y gases.
- Separador de aceite.
- Tanque de condensado.



- Edificio de tratamiento de agua (se aprovecha la planta de tratamiento de agua existente en la Central).
- Tanques de aditivos químicos.
- Tanques de agua desmineralizada.
- Tanques de agua potable.
- Balsa de recogida de efluentes.
- Planta de tratamiento de efluentes (se aprovecha la planta de tratamiento de efluentes de la central existente, realizando las reformas oportunas).
- Tanque de almacenamiento de fuel-oil.
- Laboratorios.
- Vestuarios.
- Edificio de administración y oficinas.
- Talleres y almacenes.

## 01.2. Ciclo

El funcionamiento de la central de ciclo combinado está basado en la integración de dos tipos de ciclo a distintas temperaturas, uno abierto de aire-gases (Brayton) y otro cerrado de agua-vapor (Rankine), con el fin de generar potencia eléctrica mediante la transformación de la energía termodinámica de los fluidos en energía mecánica (en turbinas) y ésta en eléctrica (en el generador).

Cada turbina de gas acciona el compresor que aporta el aire para el proceso de combustión, lo filtra y lo introduce en las cámaras de combustión junto con el combustible. Los gases de combustión, a muy alta temperatura y presión, se expanden accionando la turbina de gas que reparte el trabajo mecánico al compresor de aire y al generador eléctrico, donde finalmente se produce electricidad.

Los gases que salen de la turbina de gas (a unos 625°C) que no se pueden aprovechar para generar más energía directa, se introducen en una caldera de recuperación de calor, que transforma el agua del ciclo agua-vapor en



vapor a alta temperatura. El vapor generado en la caldera de recuperación se expande en la turbina de vapor. Los gases, finalmente son evacuados por una chimenea cuya cota de coronación es +120 msnm (altura aproximada de 115,8 m) a unos 90°C.

El vapor de descarga de la turbina de vapor se condensa en el condensador, y el agua condensada se bombea de nuevo a la caldera de recuperación.

La refrigeración del condensador se realiza mediante circuito abierto con agua de mar.

## 01.3. Producción y consumos

### *Producción*

La potencia eléctrica del grupo multiteje es de 820.300 kW. Se consumen 14.000 kW en usos internos, por lo que la potencia eléctrica neta suministrada a la red eléctrica española es de 806.300 kW.

El rendimiento térmico neto (PCI) es del 57,65%.

La Central está diseñada para poder operar a plena carga 8.500 horas al año. Su producción dependerá de la demanda externa de energía y de la estrategia del propietario de la central en la venta de energía al sistema.

### *Consumos de combustible*

La Central opera con gas natural, con un consumo de 133.620 Nm<sup>3</sup>/h operando en las condiciones de diseño, en el grupo multiteje.

La Central está diseñada para operar utilizando gasóleo, como combustible alternativo en las turbinas de gas, con un contenido máximo en azufre del 0,2% en peso.

### *Otros consumos*

El agua potable, de servicios y agua desmineralizada se toma de las instalaciones existentes en la Central Térmica de Escombreras, grupos 4 y 5.

Los caudales de agua de circulación (agua de mar) se ajustan a lo dispuesto en la Autorización del Dominio Público Marítimo Terrestre, concedido por la Autoridad Portuaria.

La central consume otros gases y líquidos en cantidades mucho menores tales como hidrógeno y anhídrido carbónico para los generadores eléctricos, nitrógeno en operaciones de inertización, aceites y grasas para lubricación y diversos compuestos químicos para los tratamientos del agua y vapor.

## 02. Combustibles

La central utiliza como combustible principal gas natural para alimentar a las turbinas de gas, siendo el gasóleo el combustible de reserva en caso de interrupción del suministro de gas natural. El gasóleo es también el combustible de reserva para las calderas auxiliares y para el generador diésel de emergencia.

### 02.1. Gas Natural

El suministro de gas natural procede de la planta regasificadora que Enagás posee en la dársena de Escombreras, en las proximidades del emplazamiento de la Central actual. El gas aún pudiendo provenir de las diferentes fuentes de suministro que pueden recepcionarse en dicha regasificadora, tiene unas características adecuadas para su utilización en esta central.

El ciclo combinado recibirá el combustible a utilizar en las turbinas de gas a través de un nuevo gasoducto de transporte que promueve Iberdrola Gas, S.A.U., que conectará la Central con el gasoducto de Alta Presión B (40 - 72 bar) Cartagena - Orihuela, de 16" de diámetro, en la nueva posición 15.33 que Enagás proyecta construir en las inmediaciones para dar servicio a las centrales de ciclo combinado proyectadas en la zona y que ya está autorizada.

La cantidad de gas a suministrar para que la central trabaje a plena carga será de 133.620 Nm<sup>3</sup>/h para una potencia instalada de 800 MWe (cada una de las turbinas 66.810 Nm<sup>3</sup>/h).

Aunque la procedencia del suministro puede variar, las características técnicas del gas que estará disponible en el gasoducto, estarán dentro de los rangos que aparecen en la Tabla I.

**TABLA I**

Características			
Propiedades	Unidad	Mínimo	Máximo
Poder Calorífico Superior (PCS)	kcal/Nm <sup>3</sup>	8.820	11.400
Índice de Wobbe Superior	kcal/Nm <sup>3</sup>	11.520	13.810
<b>CONTENIDO EN GASES INERTES</b>			
Nitrógeno	% molar	0,0	7,5
CO <sub>2</sub>	% molar	0,0	3,0
<b>CONTENIDO EN AZUFRE Y AGUA</b>			
S total*	mg/Nm <sup>3</sup>	5,45	10,9**
H <sub>2</sub> O	mg/Nm <sup>3</sup>	0,0	80,0

\*El bajo contenido de azufre del gas natural se deberá únicamente a la pequeña concentración de odorizante, un mercaptano que contiene azufre (Tetrahidroftaleno - TH) que por motivos de seguridad se añade al gas natural para facilitar su detección. La concentración de este compuesto viene a ser del orden de 15 - 30 mg/Nm<sup>3</sup> de gas natural.

En condiciones excepcionales debidas a averías en el sistema de suministro, el gas natural puede llegar durante periodos cortos de tiempo con contenidos mayores de azufre. Bajo estas circunstancias, el contenido máximo admisible de azufre será de 160 mg/Nm<sup>3</sup> de gas natural.

\*\* Corresponde a una concentración de mercaptano de 30 mg/Nm<sup>3</sup> de gas natural.

El sistema está compuesto por una línea de conexión de alta presión, una Estación de Regulación y Medida (ERM) y las líneas de distribución y alimentación a las turbinas y calderas auxiliares de arranque.

El sistema de gas natural suministra el gas combustible para la operación continua de las turbinas a una presión máxima de 32,75 barg y a una temperatura máxima de 185°C, libre de humedad y de impurezas.

La Tabla 2 resume las principales características de suministro del gas natural a las turbinas:

**TABLA II**

Componente	Valor
Sistema de combustión	Sistema de combustión seco con baja emisión de NO <sub>x</sub>
Temperatura de suministro	26,67°C
Temperatura entrada turbina gas	185°C
Presión máxima entrada turbina gas	32,75 barg

## 02.2. Gasóleo

Como combustible alternativo para funcionamiento esporádico durante los periodos de interrupción del suministro de gas natural, se podría disponer de almacenamiento de gasoil con capacidad suficiente para de almacenamiento de gasoil con capacidad suficiente para la plena carga de la instalación durante un periodo de 24 horas.

El consumo de gasoil a plena carga, en las situaciones esporádicas de fallo de suministro del gas natural, será del orden de 132.235 kg/h.

En la Tabla 3 se presentan las características medias del gasoil que podrá ser suministrado a la central, y los valores especificados en la legislación.

**TABLA III**

Características	Unidad	Media	Especificado
Densidad a 15°C	ton/m <sup>3</sup>	0,849	<0,9
Color		Azul	Azul
Azúfre	%		<0,05
Destilación			
65%	°C	306	>250
80%	°C	332	<390
95%	°C	378	Anotar
Viscosidad a 40°C		3,03	<7
P. Infamación	°C	67	>60
P.O.F.F.	°C	-13,5	-6
Punto enturbiamiento	°C	2,3	4
R. Carbonoso MCRT	%	0,09	<0,35% peso
Agua y sedimentos	% v/v	0,07	<0,1
Agua	mg/kg	0,07	
Poder calorífico superior	kcal/kg	10.860	
Poder calorífico inferior	kcal/kg	10.209	

El sistema de gasoil está compuesto principalmente por una estación de descarga de los camiones cisterna un tanque de almacenamiento de gasoil sin tratar y una estación de transferencia del gasoil hasta las turbinas de gas.

El gasoil, además de para alimentar a las turbinas de gas, también se utiliza como combustible en los generadores diésel de emergencia; en la bomba diésel contra incendios y en la caldera auxiliar.

La estación de descarga está compuesta por dos bombas y sus accesorios, con las que se llenarán el tanque de almacenamiento de gasoil. Mediante las bombas de trasego el gasoil es conducido, a las cuatro turbinas de gas. Con el gasoil almacenado en los depósitos, se puede alimentar a dos de las cuatro turbinas de gas a plena carga durante 24 horas.

## 03. Configuración de la Central

### 03.1. General

La central de ciclo combinado de Escombreras está formada por un grupo multieje compuesto por dos turbinas de gas, cuyos gases de escape se conducen a un generador de vapor de recuperación de calor (caldera) donde se genera vapor a tres niveles de presión (alta, media y baja) que alimenta a una turbina de vapor de condensación, con calentamiento intermedio. La potencia nominal de la instalación es de 806 MW.

El grupo multieje formado por las dos turbinas de gas, turbina de vapor y alternadores, se encuentra protegido



de la intemperie, en el interior de un edificio. Dentro de este edificio, se encuentra asimismo el condensador, situado debajo de la turbina de vapor, y el resto de equipos del ciclo agua/vapor. La admisión de aire de la turbina de Gas se sitúa en una estructura independiente en la zona norte del edificio. Anexo a dicho edificio y solidario al mismo, se encuentra el edificio eléctrico donde se encuentran los sistemas eléctricos de la planta, sala de baterías, diésel de emergencia, transformadores, cuadros, sala de cables y las cabinas del sistema de control distribuido de la planta (DCS) y del sistema de control de las turbinas de gas y de vapor (Mark VI). Los consumos auxiliares de la planta se realizan desde un transformador auxiliar 17/ 6,6 kV conectado a las barras de salida del generador después del interruptor de acoplamiento. La central dispone además de una alimentación de emergencia que sirve de redundancia para la alimentación de los sistema auxiliares en caso de fallo de la alimentación auxiliar principal.

El generador de vapor o caldera de recuperación de calor se sitúa en el extremo opuesto al generador eléctrico y a lo largo del eje de salida de los gases de combustión de la turbina de gas.

La caldera consta de tres calderines, correspondientes a los tres niveles de presión, situados en la parte superior. La evacuación de los gases a la atmósfera se efectúa a través de dos chimeneas metálicas de 116 metros.

Junto a la caldera se dispone de "racks" de tuberías que conectan el edificio de turbina con la caldera de recuperación y por las que circulan el agua/vapor del ciclo.

La central dispone además de las siguientes instalaciones auxiliares necesarias para su funcionamiento:

Edificio de control, oficinas y taller-almacén, que forman un solo conjunto y desde el cual se controla la operación del grupo de potencia y los sistemas auxiliares de la central.

Edificio de calderas auxiliares formado por unas calderas de vapor que producen el vapor necesario para el arranque del grupo multi-je.

Estación de Regulación y Medida (ERM) donde se regula y mide el gas natural que alimenta a las turbinas de gas y a las calderas auxiliares.

Conjunto de edificios, equipos y tanques de almacenamiento donde se produce agua desmineralizada para el aporte al ciclo agua-vapor y se realiza el tratamiento de los efluentes y fangos generados en los distintos procesos.

La central dispone también de un sistema de protección contra incendios, que comprende sistema de gases inertes (p.e. botellas de CO<sub>2</sub>), red de hidrantes, dispositivos fijos (extintores), y una red de rociadores en zona de almacenamiento de gasóleo, en el edificio de administración y en las áreas de los transformadores principales.

## 03.2. Equipos principales

### *Turbinas de gas (ciclo aire-gas)*

La turbina de gas es la parte esencial del ciclo aire-gas de generación de energía eléctrica en la central de ciclo combinado. El equipo turbina de gas está compuesto por álabes guía de entrada, un compresor de etapas de flujo axial, un sistema de combustión formado por 18 cámaras, un sistema de inyección de agua para control del NO<sub>x</sub>; una turbina de tres etapas, el sistema de combustible (gas natural y gasóleo); e instrumentación de control (sensores de vibración, termopares de medida de temperatura, etc..).

La turbina de gas dispone además de los siguientes sistemas auxiliares:

- Sistema de arranque y virador.
- Sistema de aceite de lubricación.
- Sistema de refrigeración.
- Sistema de aire.
- Módulo de inyección de aire
- Conductos de extracción de gases.
- Sistema de protección contra incendios.
- Sistema de agua de lavado del compresor.

### *Turbina de vapor (ciclo agua-vapor)*

Las turbinas de vapor están compuestas por dos cuerpos: uno de alta/media presión de flujos opuestos y un cuerpo de baja presión de doble flujo, con sus correspondientes válvulas de corte y control en cada uno de las tres etapas (alta, media y baja).

Las etapas de alta y media presión disponen de un sistema de derivación (bypass) de turbina que permite mediante atemperación del vapor su descarga al condensador. La operación de este sistema es automática cuando la presión cae por debajo de su punto de consigna y se utiliza durante los arranques y operaciones a baja carga para derivar vapor al condensador.

Las turbinas disponen de:

- Sistema de aceite de lubricación.
- Sistema de sellado del eje.
- Sistema de control.
- Protecciones por sobrevelocidad, vibración, presión y temperatura en la admisión y escape.

#### *Generador*

El alternador modelo de GE 330 H, trifásico, de 319 MVA (en el caso de los 2 de los grupos de gas) y 355 MVA (en el de vapor), conectado en estrella, refrigerado por hidrógeno y fabricado de acuerdo con normas IEC. El aislamiento de rotor y estator del generador es de clase "F". Genera electricidad a 17 kV, 3000 r.p.m. y 50 Hz, con un factor de potencia de 0.85.

Dispone de un sistema de excitación de tipo estático y regulador de tensión automático. Asimismo, dispone de sistemas de sincronización manual y automático.

El sistema de arranque es estático y está montado en cabinas independientes. Consiste en un transformador de aislamiento y un módulo de control.

#### *Caldera de generación de vapor por recuperación de calor*

La caldera de recuperación de calor está especialmente diseñada para optimizar el funcionamiento del ciclo combinado.

Las características principales de la caldera son:

- Corto periodo de instalación.
- Gran capacidad de parada o puesta en marcha rápida.
- Flexibilidad operacional.
- Alta fiabilidad y disponibilidad.
- Flexibilidad de combustible en turbinas de gas.

La caldera de recuperación es un generador de vapor con tres niveles de presión con circulación natural de los gases de escape de la turbina en sentido horizontal a través de los tubos verticales de circulación de agua de alimentación a la caldera. Las secciones de transferencia de calor están configuradas en la dirección del flujo de los gases para obtener la transmisión de calor óptima.

El agua de alimentación es progresivamente calentada en el economizador y evaporada en el evaporador. El vapor saturado de alta presión deja el calderín de alta presión y se recalienta en la sección de sobrecalentamiento. El vapor saturado de media presión sale del calderín de media presión, y es primeramente calentado en el sobrecalentador de presión intermedia y después combinado con el vapor proveniente de la descarga de la etapa de alta presión de la turbina, obteniéndose las características finales en el recalentador de la caldera.

#### *Transformadores*

La central dispone de tres transformadores principales para elevar de tensión de salida del generador de 17 kV hasta la tensión requerida para su conexión a la red nacional de transporte en alta tensión de 400 kV y de dos transformadores de auxiliares.

- Los 3 transformadores de unidad son 222/296/370 MVA, ONAN/ONAF1/ONAF2, 415±3% / 17 kV.
- Los 2 transformadores auxiliares de grupo de 21/28 MVA, ONAN/ONAF, 17/6,9 kV

## 03.3. Sistemas del ciclo agua-vapor

#### *Agua-vapor de la caldera de recuperación*

La caldera de recuperación produce vapor a tres presiones diferentes. Las condiciones de vapor en cada presión corresponden a temperaturas superiores a las de saturación, regulándose dicha temperatura en alta y media



presión mediante atemperadores de mezcla con agua procedente de la impulsión de las bombas de agua de alimentación (alta y media respectivamente).

La turbina de vapor está compuesta de tres cuerpos unidos por un único eje, al que se acopla el generador eléctrico. El cuerpo de baja presión tiene doble escape hacia el condensador.

El cuerpo de alta presión admite el vapor de alta presión del sobrecalentador de la caldera de recuperación expandiéndose hasta media presión. El vapor sobrecalentado de media presión de la caldera y el vapor de escape del cuerpo de alta presión de turbina (recalentado frío) se mezclan y se calientan en un recalentador de la caldera con atemperación intermedia. El vapor generado a presión intermedia (recalentado caliente) se introduce en el cuerpo de media presión de la turbina de vapor.

El vapor de descarga del cuerpo de media presión, junto con el vapor sobrecalentado de baja presión que genera la caldera, se introduce en el cuerpo de baja presión de la turbina repartiéndose el flujo al 50% en el doble cuerpo. La descarga de la turbina de baja se dirige a un condensador bajo la turbina donde el refrigerante que pasa por los tubos del condensador absorbe el calor de condensación del vapor, obteniéndose un condensado que se recoge, en fase líquida, en el pozo del condensador.

Desde el condensador, el agua del ciclo se bombea mediante dos bombas de condensado del 100% hacia la parte de baja presión de la caldera.

Un economizador situado en la zona de baja temperatura de cada caldera aprovecha el calor de los gases antes de ser evacuados por la chimenea. Este economizador dispone de "by-pass" y recirculación de agua que controlan la temperatura de entrada y salida del economizador reduciendo el riesgo de corrosión por rocío ácido de los tubos del economizador y variando la temperatura de gases en chimeneas según su composición, en función del modo de operación de la planta.

Parte del agua que llega al calderín de baja presión se dirige al evaporador volviendo al calderín en forma de vapor. Otra parte del agua del calderín de baja presión es enviada al calderín de MP a la presión correspondiente, previo paso por un economizador. El vapor saturado de MP se separa del agua en el calderín y pasa por el sobrecalentador de MP; se mezcla con el vapor de escape del cuerpo de alta presión de turbina, y finalmente entra al recalentador para alimentar al cuerpo de MP de la turbina de vapor.



También desde el calderín de baja presión, se envía agua hasta el calderín de AP a la presión correspondiente, previo paso por un economizador. El vapor saturado de AP se separa del agua en el calderín y pasa por el sobrecalentador de AP para alimentar al cuerpo de AP de la turbina de vapor.

#### *Sistema de condensado*

El sistema de condensado se diseña para trasegar el agua almacenada en el pozo caliente del condensador hasta los economizadores de baja presión de las calderas de recuperación. Para ello, el sistema dispone de dos bombas de condensado (del 100% de capacidad) una reserva de la otra. Las líneas de impulsión de dichas bombas se unen en un colector común de descarga que posteriormente se bifurca en dos ramales, cada uno de los cuales se dirigen a una de las dos (2) calderas de recuperación.

De la parte inicial del colector común salen diferentes ramales cuya función es aportar condensado a otros sistemas:

Otra de las funciones del sistema es mantener el nivel de agua en el condensador de forma controlada. Para ello el sistema está dotado con una línea de exceso que, partiendo del colector de descarga, trasega el excedente de condensado almacenado en el pozo del condensador al tanque de almacenamiento de condensado.

La reposición de las posibles pérdidas que se producen en el ciclo se realiza por medio de las tres (3) bombas de aporte. Dichas bombas trasegan agua desde el tanque de almacenamiento de condensado al condensador. El nivel en el tanque de almacenamiento de condensado se repone mediante el aporte de agua desmineralizada.

El condensado que se aporta a la caldera debe tener el pH y la concentración de oxígeno adecuados. Para ello el condensador está dotado de un desaireador cuya función es reducir la concentración de oxígeno disuelto en el condensado. Para comprobar la calidad del condensado se tiene un punto de muestreo en el colector de descarga de las bombas de condensado. Si la calidad del condensado no es adecuada se dispone de unas líneas dosificadoras de amoníaco e hidracina para adecuar el pH y la concentración de oxígeno en el agua. Aguas abajo de estas dosificaciones se tiene otra línea de muestreo.

#### *Sistema de vacío del condensador*

El sistema de vacío del condensador está formado por dos módulos ("skids") del 100% de capacidad, es decir, en operación normal sólo estará funcionando uno de ellos y el otro permanecerá de reserva.

La bomba de vacío que esté en operación aspirará los gases incondensables acompañados de vapor desde las conexiones de las cámaras de incondensables del condensador. Los enviará a un depósito separador aire/vapor en donde el aire es evacuado al exterior por la línea de venteo del depósito. El condensado que se va formando en el separador servirá para reponer las pérdidas que se produzcan en el anillo líquido de las bombas de vacío. Cuando se alcance un cierto nivel de condensado en el separador, este condensado será enviado mediante la línea de rebose del tanque a la red de drenajes no acritosos de la zona del condensador.

El sistema de vacío está dotado, además de los dos "skids" de las bombas de vacío, con la válvula rompedora de vacío.

#### *Sistema de agua de alimentación*

El sistema suministra agua al calderín de media presión, con dos bombas de media presión del 100% de capacidad, y al calderín de alta presión, con dos bombas de alta presión del 100% de capacidad, desde el calderín de baja presión.

Estas cuatro bombas anteriormente mencionadas, están situadas en el suelo, mientras que los calderines se encuentran en la parte superior de caldera sobre la plataforma. Las bombas están diseñadas para dar la altura suficiente que permita alimentar a los calderines en las condiciones de máxima presión de operación de los mismos y teniendo en cuenta las pérdidas de carga en los economizadores y las tuberías.

Podemos dividir, por tanto, el sistema en dos subsistemas, uno de alta presión y otro de media presión.

#### *Sistema de derivación de vapor (by-pass)*

Se dispone de líneas de derivación de vapor que evitan el paso de éste por los diferentes cuerpos de la turbina (pudiendo aislarse alguno o todos los cuerpos de la misma) durante las operaciones de arranque y disparos de turbina.

## “La central de ciclo combinado de Escombreras está formada por dos grupos de gas y uno de vapor en configuración 2 x 1 de potencia nominal conjunta de 800 MW”

Los *by-pass* de vapor de los tres niveles de presión se dirigen al condensador una vez atemperados y laminados en las líneas de derivación respectivas.

### 03.4. Sistemas de refrigeración

#### *Sistema de agua de circulación*

Las funciones para las que ha sido diseñado el Sistema de Agua de Circulación son las que a continuación se indican:

Refrigerar el condensador principal de la central.

Limpiar los tubos del condensador para asegurar una buena transferencia de calor mediante un sistema de bolas circulantes.

Impulsar el agua desde la casa de bombas, hasta el condensador y posteriormente a la cámara de descarga.

Proporcionar agua al circuito abierto de refrigeración de componentes que es impulsada por bombas que no pertenecen a este sistema y llevada a la cámara de descarga de agua de circulación.

Extracción del aire acumulado en las cajas de agua de salida del condensador. Debido al incremento de temperatura que experimenta el agua de circulación a su paso por el condensador, la solubilidad del aire en el agua disminuye y éste se desprende. Una parte del aire desprendido es arrastrado por el agua de circulación mientras que el aire restante se acumula en la zona superior de las cajas de agua de salida.

El sistema de agua de circulación está constituido por un circuito que capta el agua de mar, la conduce a través de los tubos del condensador y la devuelve al mar mediante la obra de descarga.

El circuito de agua de circulación aprovecha la casa de bombas existente para los grupos 1, 2 y 3 y parte de las tuberías existentes. En la actualidad los grupos 1, 2 y 3 han sido desmantelados.

Debido a las características de la obra de toma existente se instalarán seis bombas de agua de circulación más una bomba auxiliar de refrigeración de menor tamaño. Cuatro de las seis bombas de agua de circulación serán del 12,5% de capacidad y descargarán dos a dos en las tuberías de impulsión de agua de circulación de los antiguos grupos 1 y 2. Se instalarán además de dos bombas del 25% de capacidad que descargarán en la tubería de impulsión del circuito de agua de circulación del antiguo grupo 3.

El sistema de limpieza de tubos del condensador en el circuito de agua de circulación permite resolver los problemas derivados del ensuciamiento y formación de incrustaciones en los tubos. En las tuberías de entrada al condensador están localizados los inyectores de bolas del sistema de limpieza de tubos. Las bolas son forzadas por el agua de circulación a pasar a través de los tubos del condensador, limpiándolos por frotamiento. En la salida del agua caliente desde las cajas de agua se disponen los captadores de bolas. A continuación una bomba de recirculación de bolas las vuelve a enviar al punto de inyección.

#### *Sistema de agua de refrigeración auxiliar*

El sistema de refrigeración de componentes proporciona agua para el enfriamiento de los equipos auxiliares del ciclo combinado.

El circuito abierto consta de dos bombas booster (100% de capacidad) de refrigeración que aspiran de la tubería de agua de circulación de entrada al condensador e impulsan el agua hacia tres intercambiadores de calor de placas para posteriormente verter el agua en la cámara de descarga de agua de circulación.

Al otro lado de los cambiadores se encuentra el circuito cerrado, que es el encargado de distribuir, en un bucle cerrado, el agua de refrigeración a todos y cada uno de los equipos auxiliares. Consta de tres bombas (50%) de refrigeración y de un tanque de compensación, que es el encargado de absorber las variaciones de volumen de agua debidas a la variación de temperatura.

## 03.5. Sistemas de combustible

### *Gas natural*

La función del sistema de gas es el suministro de dicho combustible a la turbina de gas a las condiciones adecuadas en cada momento. El sistema consiste en una línea de conexión, a alta presión, con el gasoducto (acometida interior), una estación de regulación y medida (ERM) y las líneas de distribución a la turbina y caldera auxiliar (líneas de distribución interior).

El gas es conducido desde el punto de conexión al gasoducto a través de la acometida interior hasta la Estación de Regulación y Medida, que dispone de dos líneas redundantes del 100% para regulación de presión, medida del consumo de gas, filtración y calentamiento. También dispone de otras dos líneas redundantes del 100% a baja presión de suministro a las calderas auxiliares. Las líneas disponen en el sentido del flujo de gas de válvula de aislamiento, filtro, calentadores, válvulas de seguridad, regulador monitor, regulador principal, válvula de alivio, filtro temporal, medidor, corrector de volumen y válvula de aislamiento.

Común a ambas líneas, hay una conexión de derivación para contrastación de contadores y cromatógrafo en el colector de salida de la ERM. Asimismo la ERM está dotada del sistema de supervisión y control, la instalación eléctrica, alumbrado y red de tierra, y el sistema de detección de gas e incendios.

A la salida de la ERM, el gas se dirige a la turbina de gas donde el gas es precalentado a 185 °C con el objetivo de mejorar el rendimiento del ciclo combinado y controlar la reducción de óxidos de nitrógeno en la combustión en un cambiador tipo carcasa-tubos. Como fluido caliente se utiliza agua tomada a la salida del economizador de media presión.

Antes de pasar al filtro separador, el gas pasa a través de un medidor que mide y registra el consumo de gas a la turbina.

Por último el gas pasa a través del módulo de inyección de gas que dispone de filtro, válvulas de regulación y parada, válvula de venteo a la atmósfera y toberas de inyección del combustible.

### *Sistema de combustible líquido (gasóleo)*

El sistema de combustible líquido consta de un tanque de almacenamiento y una red de distribución a los consumidores finales.

Dispone de almacenamiento (4.500 m<sup>3</sup>) capaz de alimentar a las turbinas de gas a plena carga durante 24 horas. Se dispone de tres bombas (50% de capacidad) de descarga de gasoil de camiones.

La red de distribución permite llevar el combustible hasta la turbina y a los demás servicios auxiliares (generador diésel y caldera auxiliar). Se dispone además, de un depósito para el grupo diésel de emergencia con una capacidad de suministro de 8 horas.

La distribución se realiza mediante tres bombas de trasiego del 50% de capacidad. Adicionalmente se dispone de una tercera bomba para suministro a servicios auxiliares.

El módulo de inyección de gasóleo a la turbina de gas está compuesto por un compresor de aire de atomización, filtro de 5 micras, válvula de parada, dos bombas de inyección de combustible, válvula electro-hidráulica de bypass, y divisor del caudal de combustible para su introducción en las 18 cámaras de combustión.

El depósito de gasóleo dispone de un cubeto de contención.

## 03.6. Sistemas auxiliares de la Planta

### *Sistema de vapor auxiliar*

Se dispone de una caldera auxiliar, de 21.950 kg/h de capacidad, alimentada con gas natural o gasoil con todos

sus equipos y accesorios para funcionamiento autónomo, con el fin de suministrar vapor auxiliar a los consumidores de cualquier unidad cuando la caldera de recuperación de calor esté indisponible y durante arranques y paradas.

El control de la caldera auxiliar está diseñado para un funcionamiento automático y permite la operación tanto desde el sistema de control distribuido como localmente.

- *Sistema de aire comprimido*

El aire comprimido es suministrado mediante dos motocompresores de tipo rotativo del 100% de capacidad.

El sistema de aire comprimido está dividido en un sistema de aire de instrumentos utilizado para suministro a válvulas neumáticas e instrumentos y un sistema de aire de servicios utilizado para herramientas y equipos neumáticos. El aire de instrumentos es secado mediante secadores de aire. El aire de instrumentos pasa a través de dos prefiltros y dos postfiltros de aire antes de su distribución.

Se dispone de dos depósitos de almacenamiento de aire independientes (uno de aire de servicios y otro de aire seco de instrumentos).

- *Sistema de gases de planta*

La función del hidrógeno es la refrigeración de los componentes internos del generador. Esta refrigeración se realiza por convección, por medio de la cual el hidrógeno transporta calor al intercambiador de calor de hidrógeno / agua del generador. Para este servicio se utiliza hidrógeno debido a las siguientes ventajas:

Las pérdidas por efecto del rozamiento entre el rotor y el fluido interno del generador se reducen respecto a la refrigeración por aire debido a que el hidrógeno tiene una densidad menor.

El hidrógeno posee mayores coeficientes de convección y conductividad térmica.

El hidrógeno, reduce en gran parte el deterioro del aislamiento del inducido.

El medio ambiente hermético necesario para contener hidrógeno posee el beneficio secundario de mantener las piezas del generador limpias.

La función del dióxido de carbono es evitar que el aire y el hidrógeno se mezclen en el interior del generador. Se utiliza dióxido de carbono como gas intermedio por ser inerte. En el procedimiento de purga del generador se introduce dióxido de carbono para desplazar al aire y luego hidrógeno para desplazar al dióxido de carbono.

El gas nitrógeno se emplea para la calibración de los instrumentos del subsistema del panel de control de hidrógeno y sobre todo para la inertización de las líneas de gas de la planta y para la conservación de la caldera o ERM durante paradas prolongadas.

- *Sistemas HVAC: calefacción, ventilación y aire acondicionado*

Las funciones principales de este sistema son:

- Mantener las condiciones ambientales adecuadas para el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos y para habitabilidad del personal.
- Impedir la formación de mezclas explosivas en los locales en que puedan producirse fugas de gases combustibles.

- *Sistema de protección contra incendios (PCI)*

El conjunto de edificios e instalaciones del ciclo combinado de Escobrerías, se protege de forma preventiva y activa frente a la posible generación de incendios, por aplicación en el diseño, construcción y operación, de las normativas vigentes en materia de protección contra incendios (PCI), diseñado conforme a las regulaciones vigentes y normas industriales.

- *Sistema de dosificación química*

Su función consiste en mantener las propiedades del agua del ciclo entre ciertos valores para proteger los equipos principales, calderas, turbina de vapor y otros equipos asociados al ciclo.

- *Sistema de Toma de Muestras*

Las funciones para las que ha sido diseñado el Sistema de Muestreo y Análisis son las que se indican a continuación:

Obtener muestras de diferentes puntos del Ciclo Combinado.

Medir el pH, el secuestrante de oxígeno residual y el oxígeno residual en el Ciclo.

Medir el fosfato trisódico residual en los calderines de alta y baja presión para el control manual de la dosificación del fosfato a los calderines.

Medir el pH y el cloro residual en el agua de circulación a la salida del condensador.

Medir la conductividad específica en el Sistema de Refrigeración de Componentes para vigilar la calidad del agua de este circuito.



- Sistema de agua de aportación

Además del agua de mar para refrigeración de la central, se necesita un suministro de agua dulce para el funcionamiento de la central, que una vez tratada se utiliza en el proceso, limpiezas, el sistema contra incendios, servicios del personal...

El suministro actual de la Central Térmica de Escombreras procede del servicio municipal de aguas, entregado en el depósito de almacenamiento de Alumbres, propiedad de la Mancomunidad de Canales del Taibilla, de acuerdo con la concesión de aguas para uso industrial de 2000 m<sup>3</sup>/día que posee la Central Térmica.

- Planta de tratamiento de agua.

La planta de tratamiento de agua proporciona agua desmineralizada de la calidad requerida para su empleo como aporte al ciclo de agua-vapor de la central en la caldera de recuperación, así como para su uso como agua de inyección para el control de las emisiones de NO<sub>x</sub> durante la operación de la central con gasoil como combustible. El agua desmineralizada se almacena en dos (2) depósitos, cada uno de 3000 m<sup>3</sup> de capacidad.

- *Sistemas eléctricos*

Las funciones del sistema eléctrico de la Central son:

• Generar energía eléctrica en el turbogenerador y transformarla a 400 kV en los transformadores principales, para su evacuación a la red nacional a través de una línea eléctrica conectada a la subestación de REE.

• Suministrar alimentación a los sistemas auxiliares de la Central para la operación de los equipos, control, vigilancia, protección, alumbrado y cualquier otra actividad que lo requiera durante el arranque, operación normal o parada de la Central.

El sistema eléctrico está compuesto a su vez por los siguientes sistemas:

- Sistema de generación y transformación.

- Sistema de media tensión.

- Sistema de transformación y distribución en baja tensión.

- Sistemas de corriente continua.

- Sistema de tensión ininterrumpida.

- Sistema de servicios esenciales.

- Instalación de alumbrado.

- Sistema de puesta a tierra.

- Protección contra descargas atmosféricas.

- Un sistema de protección catódica para proteger los depósitos y tuberías metálicas enterradas de la Central

- Motores.

- Canalizaciones de cables (incluye bandejas, conduits, cables) para la distribución de fuerza, control, instrumentación y comunicaciones.

- Sistema de comunicaciones.

- *Sistema de control*

La central de ciclo combinado dispone de un sistema de control constituido por los equipos, programas y redes de comunicaciones que constituyen la interfase hombre - máquina y el control de la operación del grupo. El sistema de control está basado en tecnología digital, construida a partir de microprocesadores.

El sistema de control comprende:

- El equipamiento de la sala de control.

- El sistema de control distribuido (SCD).

- El sistema de parada de emergencia.

- La instrumentación de campo.

- Sistema de control y protecciones de las turbinas de gas, y de vapor (Mark V).

- Las islas de control (autómatas programables de plantas auxiliares).

- Infraestructura (cables, canalizaciones, bandejas).

El órgano central de control es el sistema de control distribuido que procesa todas las señales de cada grupo, incluidas las adquiridas en las islas de control, y las pone a disposición de las consolas de operación a través de una red de comunicaciones. ©



## ANEXO 2: ESPECIFICACIONES DEL GASOIL INDUSTRIAL

### Especificaciones de producto GASOLEO C/DMA

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LÍMITES (1)	MÉTODOS DE ENSAYO (2)		
			NORMAS EN/ISO/IP (3)	NORMAS UNE (3)	NORMAS ASTM (3)
Índice de cetano		mínimo 40	EN ISO 4264	UNE-EN ISO 4264	D 4737
Densidad a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	máximo 890,0	EN ISO 3675 EN ISO 12185	UNE-EN ISO 3675 UNE-EN ISO 12185	D 4052 D 1298
Contenido de azufre	mg/kg	máximo 1000	EN ISO 8754 EN ISO 14596 EN 24280	UNE-EN ISO 8754 UNE-EN ISO 14596 UNE-EN 24280	D 2622 D 4294
Destilación (4): 65 % V/V recogido 80 % V/V recogido 95 % V/V recogido	°C °C °C	mínimo 250 máximo 390 informar	EN ISO 3405	UNE-EN ISO 3405	D 88
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2,000 a 6,000	EN ISO 3104	UNE-EN ISO 3104	D 445
Punto de inflamación	°C	mínimo 60,0	EN ISO 2719	UNE-EN ISO 2719	D 93
Punto de obstrucción de filtro frío (POFF)	°C	máximo -6	EN 116	UNE-EN 116	
Punto de enturbiamiento	°C	máximo +4	EN 23015	UNE-EN 23015	D 2500 D 5772
Fluidez crítica superior: Invierno (1 de octubre a 31 de marzo) (5) Verano (1 de abril a 30 de septiembre) (5)	°C °C	máximo -6 máximo 0	ISO 3016		D 97
Residuo carbonoso (sobre el 10% final destilación)	% m/m	máximo 0,30	EN ISO 10370	UNE-EN ISO 10370	D 4530
Lubricidad (WSD corregido 1,4) a 60°C	µm	máximo 520	EN ISO 12156-1	UNE-EN ISO 12156-1	
Contenido de agua y sedimentos	% V/V	máximo 0,1		UNE 51083	D 2709
Contenido de cenizas	% m/m	máximo 0,010	EN ISO 6245	UNE-EN ISO 6245	D 482
Corrosión al cobre (3 h a 50°C)	escala ASTM	máximo 2e	EN ISO 2160	UNE-EN ISO 2160	D 130
Estabilidad a la oxidación	g/m <sup>3</sup>	máximo 25	EN ISO 12205	UNE-EN ISO 12205	D 2274
Acidez (número de ácido)	mg KOH/g	máximo 0,5			D 664
Contenido de FAME	% V/V	(6)	EN 14078	UNE-EN 14078	
Contenido de sulfuro de hidrogeno	mg/kg	máximo 2,00	IP 570		
Color		(7)		Visual	



## **Bloque 4:**

## **PLANOS**