



# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## Estación de bombeo y depósito de almacenamiento de agua contra incendios en instalación de almacenamiento de líquidos inflamables

**TRABAJO FIN DE GRADO**

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL

**Autor:** María del Carmen García Manrubia  
**Director:** Salvador Díaz Martínez

Cartagena a septiembre de 2016



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

## **INDICE**

1. Estación de bombeo y depósito de almacenamiento de agua contra incendios en instalación de combustible para distribución de 80.000 m<sup>3</sup> de capacidad.

1.1. Marco legal

1.1.1. Normativa general

1.1.2. Normativa para agua pulverizada

1.1.3. Normativa para espuma física

1.1.4. Normativa para abastecimiento de agua

1.1.5. Normativa para bombas contra incendios

1.1.6. Normativa para hidrantes

1.2. Condiciones previas de entorno

1.2.1. Cubeto y tanques almacén para GO y GNA: 2x2 de 20.000 m<sup>3</sup>

1.2.1.1. Tanques

1.2.1.2. Cubeto de contención

1.2.2. Estación de bombeo

1.2.3. Cargadero de cisternas

1.2.4. Depósitos auxiliares

1.2.4.1. Aditivos

1.2.4.2. Espumógeno

1.2.5. Equipamiento eléctrico para media y baja tensión

1.3. Dimensionado del depósito de agua contra incendios

1.3.1. Capacidad nominal y geométrica

1.3.1.1. Agua de refrigeración en tanques

1.3.1.2. Demanda de espumante en tanques

1.3.1.3. Bocas fijas

1.3.1.4. Medios auxiliares

1.3.1.5. Reserva de espumógeno

1.3.1.6. Demanda de agua para espuma

1.3.1.7. Demanda de agua para hidrantes exteriores

1.3.1.8. Abastecimiento de agua

1.3.1.9. Geométrica

- 1.3.2. Construcción
- 1.3.3. Acometida de servicio
- 1.3.4. Sistema de Impulsión
  - 1.3.4.1. Selección de la unidad de bombeo
  - 1.3.4.2. Caudal nominal de la bomba
  - 1.3.4.3. Circuito de aspiración
  - 1.3.4.4. Cálculo del NPSH
  - 1.3.4.5. Cálculo del circuito de impulsión
  - 1.3.4.6. Altura útil, efectiva o manométrica total de la bomba
  - 1.3.4.7. Sistema de arranque del grupo de bombeo
  - 1.3.4.8. Instalación
- 1.4. Red de tuberías
  - 1.4.1. Tuberías de agua
  - 1.4.2. Tuberías de espumante
- 1.5. Puestos de control
- 1.6. Resumen de la instalación contra incendios diseñada
- 1.7. Conclusiones
- 1.8. Bibliografía

## **1. Estación de bombeo y depósito de almacenamiento de agua contra incendios en instalación de combustible para distribución de 80.000 m<sup>3</sup> de capacidad.**

### **Introducción**

El desarrollo de actividades en un Parque de Almacenamiento de Combustible, tiene un alto riesgo de producción y propagación de un incendio. En todas las actividades tal riesgo existe con mayor o menor probabilidad, y una vez que se inicia el incendio, éste siempre conlleva una gran amenaza de daños tanto humanos como materiales.

Normalmente cuando se produce un incendio, existe muchas acciones con las que se pueden proceder para limitar su propagación y proceder a su extinción, pero la más importante de todas sería la tarea que tienen los sistemas fijos y semifijos diseñados para la protección contra incendios, la propiedad primordial de los mismos es su capacidad de disparar sobre el fuego más sustancia extintora en menos tiempo.

Dichos sistemas aportan una respuesta rápida y eficaz para la disminución o eliminación por completo del incendio. Por lo cual, las entidades reguladoras han considerado una gran importancia al desarrollo de las medidas obligatorias por las que se deben proyectar los diferentes sistemas de protección.

### **Objetivos y alcance**

El presente proyecto tiene por objetivo definir y diseñar la estación de bombeo y depósito de almacenamiento de agua contra incendios de la nueva instalación de almacenamiento que la Compañía Logística de Hidrocarburos posee en Cartagena, provincia de Murcia, basándose en lo dispuesto en las diferentes normas de aplicación.

La planta objeto de estudio almacena gasóleo, gasolina sin plomo 95 y 98, en cuatro tanques distribuidos en un cubeto de contención. El Sistema de Protección Contra Incendios se define para trabajar en la zona de almacenamiento de tanques, utilizando la espuma física para extinción de incendios y agua para refrigeración de los tanques.

El alcance de este diseño es el dimensionamiento completo de la estación de bombeo y depósito de almacenamiento de agua contra incendios:

- El cálculo de las demandas de agua para refrigeración y de espuma.
- El dimensionamiento del depósito y de las bombas de impulsión de agua.

### **Justificación del proyecto**

Las numerosas normas de referencia existentes no presentan una solución para cada caso en concreto; tan solo marcan las condiciones mínimas de obligado cumplimiento para muchas aplicaciones.

Por tanto, basándonos en las prescripciones recogidas en las normas correspondientes, en este proyecto se trata de adoptar soluciones, a un coste razonable, en la planta estudiada teniendo como objetivos principales: la seguridad de las personas, de las instalaciones y del medio ambiente.

## 1.1. Marco legal

El Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI), establece los sistemas de protección contra incendios de que deben disponer los establecimientos industriales.

Los cálculos y el diseño de los distintos elementos que componen los sistemas, deben cumplir las bases establecidas en las normas UNE, en el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios y en las Instrucciones Técnicas Complementarias convenientes.

Debido a ello, se recoge la siguiente relación de reglamentos y normas vigentes:

### 1.1.1 Normativa general

- Real Decreto 2267 “Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales” (RSCIEI).
- Real Decreto 1942 “Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios” (RIPCI).
- Real Decreto 2085 “Reglamento de Instalaciones Petrolíferas” y las pertinentes ITC.
- Real Decreto 1562 por el que se modifica la ITC MI-IP-02 “Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos”
- Real Decreto 379 “Reglamento de almacenamiento de productos químicos” y las correspondientes ITC.
- ITC MIE-APQ1 “Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles”
- UNE 23010 “Clases de fuego”
- UNE 23600 “Agentes extintores de incendios. Clasificación”
- UNE-EN 60079 “Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas”
- Real Decreto 948 por el que se modifica el RD 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los Accidentes Graves en los que intervengan Sustancias Peligrosas.

### 1.1.2 Normativa para agua pulverizada

- UNE 23501 “Sistemas fijos de agua pulverizada. Generalidades”
- UNE 23502 “Sistemas fijos de agua pulverizada. Componentes del sistema”
- UNE 23503 “Sistemas fijos de agua pulverizada. Diseño e instalaciones”
- UNE 23504 “Sistemas fijos de agua pulverizada. Ensayos de recepción”
- UNE 23505 “Sistemas fijos de agua pulverizada. Ensayos periódicos y mantenimiento”
- UNE 23506 “Sistemas fijos de agua pulverizada. Planos, especificaciones y cálculos hidráulicos”
- UNE 23507 “Sistemas fijos de agua pulverizada. Equipos de detección automática”
- NFPA 15 “Water spray fixed systems”

### 1.1.3 Normativa para espuma física

- UNE 23603 “Seguridad contra incendios. espuma física extintora. Generalidades”
- UNE 23521 “Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Generalidades”
- UNE 23522 “Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas fijos para protección de riesgos interiores”
- UNE 23523 “Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas fijos para protección de riesgos exteriores. Tanques de almacenamiento de combustibles líquidos”

- UNE 23524 “Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. sistemas fijos para protección de riesgos exteriores. Espuma pulverizada”
- UNE 23525 “Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Sistemas para protección de riesgos exteriores. Monitores, lanzas y torres de espuma”
- UNE 23526 “Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión. Ensayos de recepción y mantenimiento”
- NFPA 11 “Low Expansion foam”

#### 1.1.4 Normativa para abastecimiento de agua

- UNE 23500 “Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios”

#### 1.1.5 Normativa para bombas contra incendios

- NFPA 20 “Installation of centrifugal pumps”

#### 1.1.6 Normativa para hidrantes

- UNE EN 14384 “Hidrantes de columna”
- UNE 23400 “Material de lucha contra incendios”

### 1.2. Condiciones previas de entorno

La instalación objeto de este proyecto está ubicada en el término municipal de Cartagena, provincia de Murcia. La instalación objeto de estudio ocupa una superficie de aproximadamente 50.000 m<sup>2</sup>, de los 200.000 m<sup>2</sup>, propiedad de la compañía en ese terreno.



*Imágenes de la situación*

Las áreas que componen el parque son:

- Zona para el almacenamiento de combustibles.
- Líneas de combustible que conectan la estación de bombeo de combustible con cada uno de los tanques.
- Cargadero de camiones.
- Sistema de Protección Contra Incendios a base de agua y espuma, con estación de bombeo.
- Depósito de almacenamiento de Agua DCI con autonomía para 5 horas a caudal máximo.
- Red de aguas pluviales con evacuación a cuneta perimetral de la carretera próxima.
- Sistema de purgas para tanques.

- Edificio administrativo (zona de oficinas, servicios, taller-almacén, aparcamiento y sala de control)
- Estación transformadora, cuadros eléctricos y grupo electrógeno para satisfacer la demanda de energía eléctrica de la instalación.
- Vallado perimetral.

### 1.2.1. Cubeto y tanques almacén para GO y GNA: 2x2 de 20.000 m<sup>3</sup>

#### 1.2.1.1. Tanques

Almacenamiento de los productos (GO Y GNA) en tanques verticales de techo fijo y techo fijo con pantalla flotante.

Durante el período de almacenaje no se produce transformación intermedia del producto, tan sólo se producen los controles habituales tales como nivel, purgas, etc.

La instalación estudiada almacena los siguientes combustibles:

- Gasóleo (GO)
- Gasolina sin plomo (GA), 95 Y 98.

La capacidad nominal de almacenamiento para cada producto en la instalación es:

- Gasóleo (GO): 40.000 m<sup>3</sup>
- Gasolina sin plomo (GA): 40.000 m<sup>3</sup>
- TOTAL: 80.000 m<sup>3</sup>

Sus características y propiedades principales se resumen en la siguiente tabla:

Producto	Densidad <sup>1</sup> (tn/m <sup>3</sup> )	Punto de Inflamación (°C)	Punto de auto-inflamación (°C)	Calor de combustión (kJ/kg)	Clasificación <sup>2</sup>
Gasóleo (GO)	0,82 - 0,85	Mín. 55	338	-43.960	Clase C
Gasolina sin plomo (GA) <sup>3</sup>	0,72 - 0,78	≤45,6	279,8	-42 210	Clase B1

<sup>1</sup> Densidad a 15 °C (1)

<sup>2</sup> Clasificación según el RD 2085/1994 "Reglamento de Instalaciones Petrolíferas"

<sup>3</sup> Gasolina sin plomo de 95 y 98 de Índice de Octano (I.O)

Los combustibles son almacenados en cuatro tanques, con las características siguientes:

Producto	Tanque	Diámetro (m)	Altura (m)	V geométrico (m <sup>3</sup> )	V nominal (m <sup>3</sup> )	Tipo
Gasóleo (GO)	T-110	36	20	20.357,52	20.000	Techo fijo
	T-111	36	20	20.357,52	20.000	Techo fijo
Gasolina sin plomo (GA) 95	T-120	36	20	20.357,52	20.000	Techo fijo con pantalla flotante
Gasolina sin plomo (GA) 98	T-121	36	20	20.357,52	20.000	Techo fijo con pantalla flotante
<b>TOTAL</b>				<b>81.430,08</b>	<b>80.000</b>	

Se instalan tanques de superficie cilíndricos verticales, de techo fijo, tipo cúpula, para los productos de la clase C; y para los de la clase B, tanques cilíndricos verticales de techo fijo con pantalla flotante y doble sello (cierres primario y secundario), para evitar la fuga de volátiles.

Debido a que la zona de almacenamiento forma un sector de incendio con riesgo alto, se dispone de escalera helicoidal y pasarelas de interconexión entre tanques, a nivel del techo, con el fin de que, en cumplimiento con el apartado 6 del Anexo II del RSCIEI, se dispongan de dos salidas alternativas en caso de accidente.

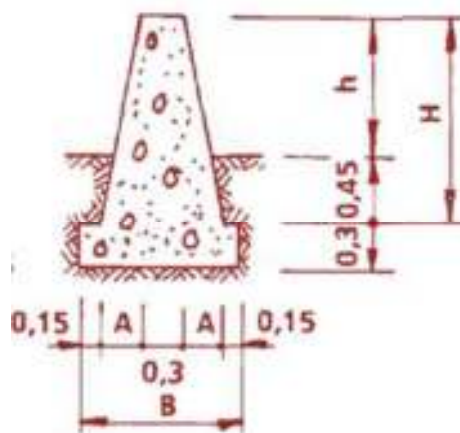
En el establecimiento de los tanques se siguió escrupulosamente la norma ITC MI-IP-02 en las distancias mínimas de seguridad y las características de los cubetos, tanto entre las paredes de tanques adyacentes, como entre los tanques y el resto de instalaciones existentes.

### 1.2.1.2. Cubeto de contención

Según la ITC MI-IP-02 en su Art. 29 los tanques de superficie deberán estar contenidos en cubetos. En este apartado se procede a la descripción de los cubetos de contención, según lo indicado en dicha ITC "Parque de almacenamiento de líquidos petrolíferos", para retener los posibles derrames de producto en caso de rotura o de un mal funcionamiento.

El número y capacidad de los cubetos de una instalación van definidos por los tanques a emplear y los productos a almacenar. La restricción marcada por la ITC MI-IP-02 (artículo 19) para hidrocarburos de la clase B o C, indica que la capacidad total de producto almacenado en el cubeto, no puede ser superior a los 200.000 m<sup>3</sup>, cuando éste contiene dos o más tanques. Si el cubeto contiene varios tanques, éste debe estar compartimentado con diques de tierra o muretes de 0,70 m de altura, de forma que cada uno de estos compartimentos no contenga más de un solo tanque de una capacidad igual o superior a 20.000 m<sup>3</sup>, o un cierto número de tanques de capacidad global inferior o igual a 20.000 m<sup>3</sup>.

En función de lo anterior se diseñó un único cubeto (C-1), que contiene tanto los productos de la clase B como los de la clase C, almacenados en los cuatro tanques de producto: dos de gasolina y dos de gasóleo, separados en cuatro zonas, por muretes interiores de 0,70 m de altura, y 0,3 metros de ancho (ver Figura siguiente, UNE 23503). La inclinación de las paredes del cubeto deberá ser del 2% para facilitar el drenaje hacia una arqueta de recogida y evacuación de vertidos (ITC MI-IP-02 Art. 29). Al almacenar productos de las clases B y C simultáneamente, el diseño del cubeto contempla las distancias mínimas de seguridad entre las paredes de los mismos.



Perfil muretes de separación de secciones en el cubeto ( $A=0,25m$ ;  $B=0,3m$ ;  $h=0,70m$ ;  $H=1,15m$ )

Las paredes de los cubetos de contención son de hormigón, dicho material no es combustible, de 20 cm de ancho (ver Figura siguiente, UNE 23503), y armado de tal forma que sea capaz de resistir la presión ejercida por el producto almacenado, por si se produjera un derrame.



El cubeto posee las esquinas reforzadas y las paredes laterales impermeabilizadas mediante revestimiento elástico a base de polímeros y pigmentos aplicado en tres manos, sobre una imprimación a base de resinas acrílicas.



Perfil muro de cubeto

La altura de los muros del cubeto no sobrepasan los 3 m, nivel exterior de las vías de acceso al mismo. Para el caso que nos ocupa, la altura es de 2,50 m, tanto interior como exterior del muro.

El fondo del cubeto se impermeabilizó con un firme rígido de hormigón armado, para impedir filtraciones de productos al subsuelo. Posee una pendiente del 1%, que arrastra el producto derramado y las aguas pluviales hacia una arqueta con rejilla para recogida de sólidos, que lo canalizará eficazmente, a través de un juego de válvulas de corte, hacia la red general de drenajes del cubeto.

Las válvulas de corte se encuentran situadas en la parte exterior del cubeto, e inicialmente están cerradas para poder retener los derrames antes de que pasen al sistema de drenaje. Los drenajes de aguas sin contaminar serán por tubería de 200 mm de diámetro (mínimo), que cruzará el muro del cubeto en el punto más bajo del mismo.

Las tuberías que no se encuentran enterradas no atraviesan más cubeto que el de los tanques a los cuales están conectadas y salen lo más directas posible. Para asegurar la estanqueidad del paso de las tuberías a través de los muros de los cubetos se utilizaron dispositivos de material incombustibles y que permiten la libre dilatación de las tuberías.

La distancia horizontal que se respetó entre las paredes de los tanques y el borde interior del muro del cubeto fue de 4 m, siendo esa la distancia mínima marcada por la normativa, lo cual permite la adecuada intervención de los medios de lucha contra incendios desde cualquier ángulo del tanque.

Para poder tener acceso a todos los tanques del cubeto, el mismo está rodeado en su totalidad por vías con una anchura de 6 m con una altura libre de 4,5 m, y así facilitar el acceso de vehículos de servicios y contra incendios.

El cubeto permite su acceso y evacuación por los cuatro lados de su perímetro minimizando así la distancia a recorrer en caso de evacuación. Y cumpliendo el apartado 6 del Anexo II del RSCIEI, siendo la zona de almacenamiento un sector de incendio con riesgo alto, ésta debe disponer de al menos dos salidas alternativas para una evacuación rápida en caso de incendio.

La capacidad útil de contención del cubeto es (Cálculo según ITC MI-IP-02 "Parque de almacenamiento de líquidos petrolíferos" (RD 2085/1994)), como mínimo, igual al mayor de los dos valores siguientes:

OPCIÓN A: 100% de la capacidad del tanque mayor, considerando que no existe éste, pero sí los demás.

OPCIÓN B: 30% de la capacidad global de los tanques en él contenidos, considerando que no existe ningún recipiente en su interior.

	CAPACIDAD (m <sup>3</sup> )
Opción A	20.000
Opción B	<b><u>24.000</u></b>

Capacidad nominal mínima del cubeto de contención

En función de los valores de la anterior tabla, el cubeto tendrá una capacidad mínima nominal de 24.000 m<sup>3</sup>.

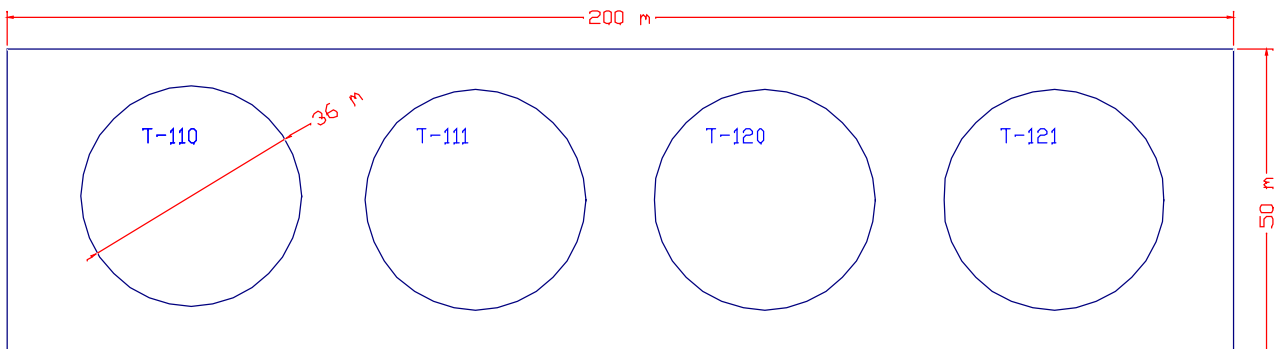
Las dimensiones y características del cubeto se muestran a continuación:

Cubeto	Forma	Anchura (m)	Longitud (m)	Altura (m)	Altura con Coeficiente de Seguridad del 10% (m)	Material muro
C-1	Rectangular	50	200	2.3	2.5	Hormigón armado

Dimensiones del cubeto de contención

Las dimensiones del cubeto se calcularon teniendo en cuenta las distancias mínimas de seguridad entre las paredes de los tanques y la distancia de estos con la pared del cubeto, resultando un cubeto de 50 m x 200 m y 2.3 m de altura interior. Siendo el espesor de las paredes del cubeto de 0.2 m.

Como medida adicional para poder retener también la espuma que pueda caer en el cubeto en caso de incendio, se tuvo en cuenta un coeficiente de seguridad del 10% sobre la altura del cubeto, resultando una altura final del cubeto de 2.5 m, y un volumen del cubeto de 25.000 m<sup>3</sup>, capaces de retener los 24.000 m<sup>3</sup> de producto y hasta 1.000 m<sup>3</sup> adicionales.



### 1.2.2. Estación de bombeo

Las bombas de combustible están situadas fuera del cubeto de los tanques, sobre bancadas de hormigón armado. Se dispone de cuatro bombas de desplazamiento positivo, accionadas con motores de corriente alterna que están regulados con variadores de velocidad. Tienen como función el trasiego entre tanques y la carga de camiones cisterna, y su accionamiento está centralizado en la sala de control.

Las cuatro bombas disponen de bypass para permitir una eventual descarga de cisternas hacia los tanques de almacenamiento.

Están localizadas bajo una cubierta para protegerlas de las inclemencias del tiempo y sin paredes alrededor para que tengan la máxima ventilación.

### **1.2.3. Cargadero de cisternas**

El cargadero de camiones permite la carga simultánea de cuatro vehículos cisterna a la vez, tanto de la clase B como de la clase C.

Cada isleta de cuenta con los siguientes dispositivos:

Isletas: CA-1 y CA-2:

- 1 Brazo de carga de 4"Ø para GO
- 1 Brazo de carga de 4"Ø para GO
- 1 Brazo de carga de 4"Ø para GA-95
- 1 Brazo de carga de 4"Ø para GA-98
- 1 Brazo de carga de 4"Ø para recuperación de vapores de gasolina

Isletas: CA-3 y CA-4:

- 1 Brazo de carga de 4"Ø para GO
- 1 Brazo de carga de 4"Ø para GO
- 1 Brazo de carga de 4"Ø para GA-95
- 1 Brazo de carga de 4"Ø para GA-98
- 1 Brazo de carga de 4"Ø para recuperación de vapores de gasolina

Cada isleta de carga viene equipada con:

- 1 unidad de puesta a tierra electrónica incluyendo devanadera de cable y pinza auto desconectable en material anti chispa.
- 1 unidad de detección de sobrellenado por efecto térmico.

### **1.2.4. Depósitos auxiliares**

#### **1.2.4.1. Aditivos**

Depósito de aditivos cilíndrico horizontal de 1000 litros, en acero inoxidable con todas las conexiones de explotación necesarias:

- 1 aspiración de bomba
- 1 retorno de bomba
- 2 conexiones laterales para nivel
- 1 tubo sifón para ventilación

#### **1.2.4.2. Espumógeno**

Depósito de membrana o diafragma, su característica fundamental de tener una bolsa o membrana elástica en su interior donde se almacena el espumógeno. La cavidad entre la membrana y las paredes del depósito está llena de agua para presurizar el interior y así forzar la salida del espumógeno.



*Tanque de membrana horizontal*

### **1.2.5. Equipamiento eléctrico para media y baja tensión**

Estación transformadora, cuadros eléctricos y grupo electrógeno.

Para satisfacer la demanda de energía eléctrica de la instalación, se dispone de una línea eléctrica aérea de Media Tensión (30 kV) desde una subestación eléctrica de Cartagena (propiedad de la Compañía Iberdrola), con una longitud de 4 km. Además, de transformadores de 3000 kVA de potencia nominal.

### **1.3. Dimensionado del depósito de agua contra incendios**

Además del tanque incendiado, todos los tanques que pudieran ser alcanzados por la radiación producida por el incendio, para evitar el aumento de temperatura provocado por el calor del incendio deben tener su superficie refrigerada.

Según ITC MI IP 02, Capítulo VIII, tabla I, la tasa de aplicación de agua para la refrigeración de los tanques es de 15 l/min x metro lineal de circunferencia, para el tanque incendiado, y de 3 l/m<sup>2</sup>/min sobre un cuarto de la superficie del tanque afectado, para tanques de techo fijo con punto de inflamación  $\geq 21$  °C, a mantener durante un mínimo de 5 horas con una presión exigida de 7,5 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **1.3.1. Capacidad nominal y geométrica**

##### **1.3.1.1. Agua de refrigeración en tanques**

En cumplimiento con la ITC MI-IP-02, el caudal teórico de agua de refrigeración demandada por los tanques, en caso de incendio en cada uno de ellos, se calcula multiplicando la tasa de aplicación de agua del tanque incendiado, por la longitud de circunferencia del tanque.

Se considera un 10% de gradiente hidráulico, recomendado de forma general para nuevas instalaciones. Dicho porcentaje se refiere al % de sobredimensionado por encima del caudal teórico, debido a la diferencia de presión en el punto de consumo con respecto a la presión teórica.

Los valores se presentan en la siguiente tabla:

Producto	Tanque	Diámetro (m)	Altura (m)	Longitud circunferencia (m)	CAUDAL diseño (l/min x m)	CAUDAL teórico (l/min)	CAUDAL + 10% gradiente hidráulico (l/min)
Gasóleo (GO)	T-110	36	20	113,1	15	1696,5	1866,15
	T-111	36	20	113,1		1696,5	1866,15
Gasolina sin plomo (GA) 95	T-120	36	20	113,1		1696,5	1866,15
Gasolina sin plomo (GA) 98	T-121	36	20	113,1		1696,5	1866,15

*Caudal de agua de refrigeración en tanque incendiado*

También se calcula la demanda de agua de refrigeración de los tanques afectados por el tanque incendiado según la ITC MI-IP-02, multiplicando la tasa de aplicación indicada para los tanques afectados, por un cuarto del área de superficie lateral visible de los tanques expuestos a la radiación. Estos valores se recogen en la siguiente tabla:

Tanque incendiado	Tanques afectados	¼ Superficie Lateral tanque afectado (m <sup>2</sup> )	CAUDAL diseño tanque afectado (l/m <sup>2</sup> /min)	CAUDAL teórico tanque afectado (l/min)	CAUDAL teórico tanque afectado + 10% gradiente hidráulico (l/min)
T-110	T-111	565,5	3	1696,5	1866,15
T-111	T-110	565,5	3	1696,5	1866,15
	T-120	565,5	5	2827,5	3110,25
T-120	T-111	565,5	3	1696,5	1866,15
	T-121	565,5	5	2827,5	3110,25
T-121	T-120	565,5	5	2827,5	3110,25

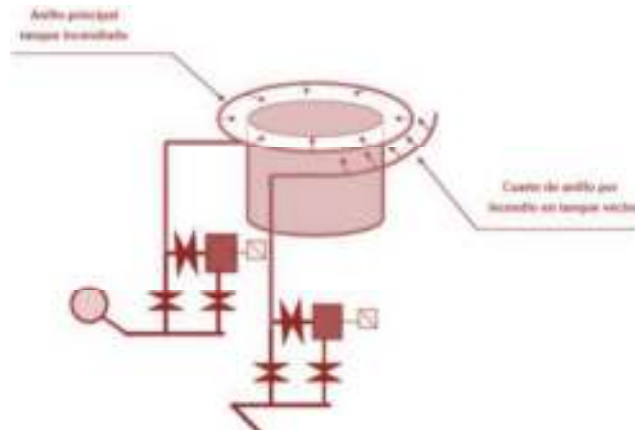
*Caudal de agua de refrigeración en tanques afectados*

Tanque incendiado	Tanques afectados	CAUDAL de refrigeración tanque incendiado (l/min)	CAUDAL de refrigeración tanques afectados (l/min)	CAUDAL TOTAL DEMANDADO (l/min)
T-110	T-111	1866,15	1866,15	3732,30
T-111	T-110	1866,15	1866,15	6842,55
	T-120		3110,25	
T-120	T-111	1866,15	1866,15	6842,55
	T-121		3110,25	
T-121	T-120	1866,15	3110,25	4976,40

*Demanda total de agua para refrigeración de tanques*

Para proteger los tanques incendiados se utilizará un sistema de anillos con boquillas de agua pulverizada en su parte superior externa. Este sistema servirá para refrigerar cada área de la envolvente según requiera cada tanque. Su diseño se realizará siguiendo escrupulosamente indicado por las normas UNE 23503 y la NFPA 15.

Y para resguardar los tanques afectados se utilizarán cuartos de anillo que descargarán el caudal necesario para su refrigeración en caso de incendiarse un tanque vecino. El cuarto de anillo para el tanque afectado se instalará en el mismo, y estará conectado a la red del anillo principal del tanque incendiado, de tal forma que al incendiarse éste, se active la refrigeración del mismo y la de sus tanques vecinos afectados.



Anillo principal y cuartos de anillo para refrigeración de tanques

Para los tanques afectados por un solo tanque se instalará un cuarto de anillo, cuya longitud corresponderá con un cuarto de la longitud de la circunferencia del tanque; si pudieran estar afectados por el incendio de dos tanques, se instalarán dos cuartos de anillo en los lados correspondientes, y así sucesivamente.

Tanque incendiado	Tanques afectados	CAUDAL TOTAL DEMANDADO (l/min)
T-110	T-111	3732,30
T-111	T-110	6842,55
	T-120	
T-120	T-111	6842,55
	T-121	
T-121	T-120	4976,40
<b>TOTAL CAUDAL NECESARIO EN EL CASO MAS DESFAVORABLE (l/min)</b>		<b>6842,55</b>

Demanda total de agua

Demanda de agua para refrigeración en tanques:

Total caudal necesario = 6842,55 l/min = 410,55 m<sup>3</sup>/h

V necesario para suministrar 5h = 6842,55 × 300 = 2052765 l = **2052,76 m<sup>3</sup>**

### 1.3.1.2. Demanda de espumante en tanques

En cumplimiento con la ITC MI-IP-02, todos los tanques atmosféricos verticales que almacenen productos inflamables o combustibles, deben protegerse con sistemas fijos y/o semifijos de suministro de espuma física para extinción de incendios, de aplicación superficial y/o sub-superficial dependiendo del producto contenido.

Según la norma UNE-23603, y debido a que si se produjera un incendio sería un fuego de clase B, se empleará una espuma física de baja expansión en inyección superficial en el tanque siniestrado. El diseño del sistema a base de espuma se realiza siguiendo las indicaciones de las normas UNE-23521/22/23/24/25/26 y las normas NFPA correspondientes.

La espuma es un resultante de los siguientes tres componentes: agua, espumógeno y aire. El agua se mezcla con el espumógeno en el proporcionador dando lugar al espumante, el cual se mezclará con aire en el mezclador, que en el instante de su proyección o salida de la red se convierte en espuma física que sofoca el fuego.

La demanda de los tres elementos que forman la espuma es fundamental para definir las características del sistema.

Procedemos a calcular la demanda de espumante en los tanques. Dicha se obtiene multiplicando el caudal mínimo de aplicación establecido por el artículo 39 en el apartado b de la ITC MI-IP-02, por el tiempo mínimo de descarga indicado por norma, siendo la cantidad final necesaria para el dimensionamiento del sistema, el mayor valor de entre los resultados.

El caudal mínimo de solución acuosa, debe ser 4 litros/minuto x metro cuadrado. El suministro será el necesario para mantener el sistema en funcionamiento durante 55 minutos.

Producto	Tanque	Diámetro (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	CAUDAL min (l/min x m <sup>2</sup> )	CAUDAL (l/min)	T. min Bocas descarga (min)	Volumen espumante (l)
Gasóleo (GO)	T-110	36	1017,87	4	4071,48	55	223931,4
	T-111	36	1017,87		4071,48	55	223931,4
Gasolina sin plomo (GA) 95	T-120	36	1017,87		4071,48	55	223931,4
Gasolina sin plomo (GA) 98	T-121	36	1017,87		4071,48	55	223931,4

*Demanda de espumante. Bocas fijas de descarga bajo el cierre*

La NFPA 11 y la norma UNE 23523 sobre espumas, establecen que se cuente de forma adicional con equipos auxiliares, tales como mangueras manuales, lanzas, formadores o monitores de espuma, para la protección de pequeños fuegos, producidos por derrames de producto en el cubeto de contención. La norma indica un caudal de solución de espuma para cada uno de los equipos auxiliares de 200 L/min.

La cantidad de equipos y el tiempo de descarga mínimos, para tanques de techo fijo, se obtiene en función de tanque de mayor diámetro contenido en el cubeto. Según se establece en las siguientes tablas:

Diámetro del tanque mayor (m)	Nº mínimo de equipos	Tiempo mínimo de funcionamiento (min)
Hasta 10	1	10
10 a 20	1	20
20 a 30	2	20
30 a 35	2	30
Más de 35	3	30

*Nº mínimo de equipos auxiliares y tiempo de funcionamiento (UNE 23523)*

Producto	Tanque	Diámetro (m)	Nº MÍN. EQUIPOS (según Tanque de >D)	Nº equipos usados	Tiempo mín. funcionamiento (min)	Tiempo descarga (min)	Caudal Total Equipos Auxiliares (l/min)	Volumen Total Equipos Auxiliares(l)
Gasóleo (GO)	T-110	36	3	4	30	55	800	44000
	T-111	36						
Gasolina sin plomo (GA) 95	T-120	36						
Gasolina sin plomo (GA) 98	T-121	36						

*Demanda de espumante. Equipos auxiliares (UNE 23523)*

Para cubetos que contienen tanques con diámetros superiores a 35 m, se requiere un mínimo de 3 equipos auxiliares para un tiempo mínimo de funcionamiento de 30 min. En este caso objeto de estudio utilizamos 4 equipos auxiliares en total para un tiempo de 55 minutos.

Se dimensiona el caudal de espumante en función del tiempo mínimo de autonomía de espumante marcado por la norma (55 min), cumpliéndose en todos los casos, el tiempo mínimo requerido para el funcionamiento de los equipos auxiliares. Se obtienen los siguientes valores de espumante:

- Un caudal total de espumante de 800 L/min (200 L/min por equipo)
- Un volumen total de espumante de 44 000 L (11 000 L por equipo)

### 1.3.1.3. Bocas fijas

En este el caso más desfavorable corresponde a cualquiera de los tanques ya que todos son de 36 m de diámetro; con un volumen total de espumante, para las 4 bocas de descarga necesarias, de 223931,4 L. El 3% de este valor es espumógeno, lo que resulta ser 6717,9 L.

### 1.3.1.4. Medios auxiliares

En un cubeto que contiene tanques con diámetros superiores a 35 m, como es nuestro caso, se requiere un volumen de espumante para medios auxiliares de 44 000 L. Lo que hace un total de 1320 L de espumógeno.



### 1.3.1.5. Reserva de espumógeno

Aparte del volumen necesario de espumógeno para el funcionamiento del sistema de protección por espuma, según se indican en el apartado 1.2.1.2, se deberá disponer de una reserva de espumógeno, que será como mínimo, la suficiente para poder proteger nuevamente el tanque que requiera más espumógeno.

Para el caso más desfavorable, en el que se requiera el empleo simultáneo del sistema de protección con espuma y el equipo auxiliar, se necesita un volumen total de espumante de 267931,4 L; lo que hace una cantidad de espumógeno resultante de 8037,9 L.

La reserva de espumógeno para que el sistema funcione una segunda vez a plena capacidad protegiendo el tanque con más riesgo, debe ser como mínimo de 8037,9 L.

### 1.3.1.6. Demanda de agua para espuma

Se forma espuma física de baja expansión a partir de un concentrado de espuma con un 3% de espumógeno; el 97% del espumante restante es agua. El total de agua necesaria para generar espuma se recoge en la siguiente tabla:

Equipo	Caudal espumante (l/min)	Volumen espumante (l)	% Agua en la mezcla de espumante	Caudal teórico Agua (l/min)	Caudal teórico Agua + 10% Grad. H. (l/min)	Volumen teórico Agua + 10% Grad. H. (l)
Bocas fijas	4071,48	223931,4	97%	3949,33	4344,26	238934,3
Medios auxiliares	800,0	44000,0		776,0	853,60	46948,0
Reserva de espumante	4871,48	267931,4		4725,33	5197,86	285882,3
TOTAL	9742,96	535862,8		9450,66	10395,72	571764,6

*Demanda de agua para espuma (caso + desfavorable)*

Se necesita un volumen de agua de **571,76 m<sup>3</sup>** para un tiempo mínimo de aplicación de espuma de 55 minutos.

### 1.3.1.7. Demanda de agua para hidrantes exteriores

Las características y normas establecidas para el diseño de los sistemas de hidrantes exteriores, vendrán impuestas por el RSCIEI, las normas UNE 23523, UNE 14384 y la MIE APQ-01.

Para establecer la cantidad de hidrantes necesarios, se debe contar con lo siguiente:

- I. N° mínimo → 2
- II. Distancia a las virolas de los tanques a proteger → min. 5 m - máx. 15 m
- III. Distancia máxima entre hidrantes → 80 m
- IV. Radio de cobertura → 40 m

También, según el RSCIEI se requiere un caudal de 3 500 L/min (210 m<sup>3</sup>/h) para instalaciones de tipo E de riesgo intrínseco alto. El tiempo mínimo de autonomía es de 90 min y la presión mínima es de 5 bar.

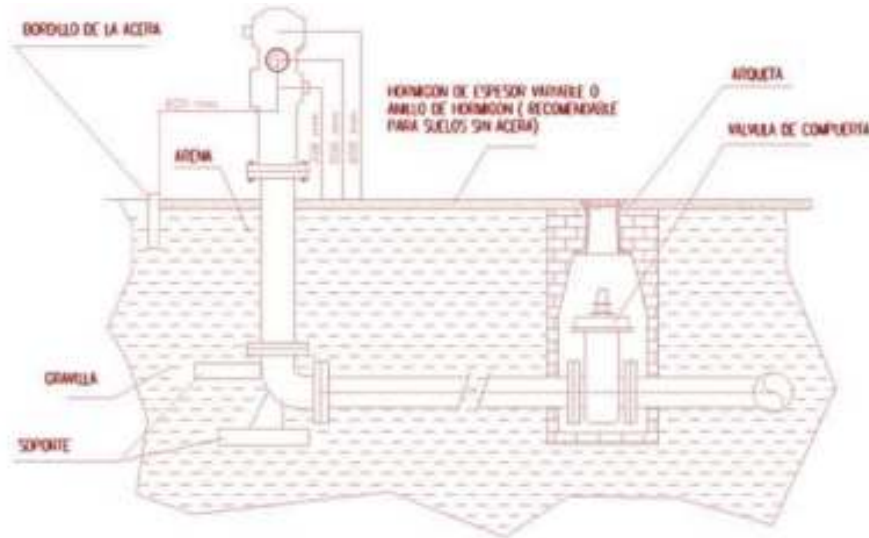
Con lo anteriormente expuesto y emplazando la red de hidrantes a 3 m de la pared del cubeto, se obtiene el número de hidrantes necesarios y el caudal requerido en cada uno ellos.

Según los cálculos, para poder proteger completamente toda el área de incendio serán necesarios 6 hidrantes de columna húmeda.

Se selecciona el tipo de hidrante DN-100 ( $\varnothing$  4").

Cada hidrante, fabricado según UNE 14384, descarga 350 L/min ( $21 \text{ m}^3/\text{h}$ ) y dispone de tres salidas; dos de  $\varnothing 70 \text{ mm}$  (2,5") con racores y tapones de aluminio fundido tipo Barcelona, según UNE 23400-3; y una salida central de  $\varnothing 100 \text{ mm}$  (4") con racor y tapón de aluminio fundido tipo Bombero, según UNE 23400-4. Todas las salidas disponen de válvula de asiento incorporadas en el interior del cuerpo del hidrante, con apertura y cierre independiente de cada boca.

El centro de cada hidrante se colocará a menos de 100 cm del bordillo de la acera.



Instalación hidrante. Distancia al bordillo de la acera

Nº Hidrantes necesarios → 6		+10% GRADIENTE HIDRÁULICO	TIEMPO (min)	VOLUMEN DE AGUA (l)	VOLUMEN DE AGUA ( $\text{m}^3$ )
Caudal Total requerido del sistema ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	126	138,6	90	207 900	<b>207,9</b>
Caudal por Hidrante ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	21	23,1	90	34 650	34,65

Caudal y nº de hidrantes exteriores

### 1.3.1.8. Abastecimiento de agua

El sistema de abastecimiento de agua necesario para satisfacer las necesidades de los sistemas de extinción de incendios utilizados, debe ser de categoría I según la norma UNE 23500, correspondiente al sistema más estricto y a la combinación de todos los sistemas utilizados.

Según la norma UNE 23500, a cada sistema de protección se le exige una clase de abastecimiento mínimo admisible, que para sistemas combinados deben ser abastecimientos superiores o dobles, diseñados para suministrar agua a más de un sistema de lucha contra incendios.

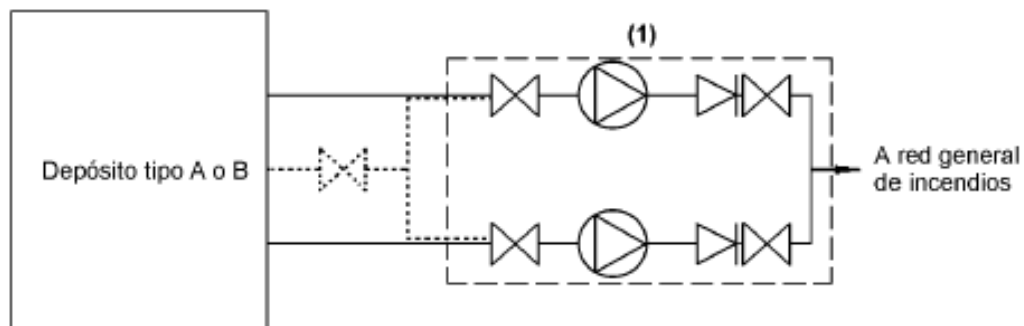
Conforme a la ITC-MI-IP-02, la instalación deberá disponer de una red de suministro de agua interior, en forma de malla, con al menos dos bombas en la estación de bombeo accionado por dos fuentes de energía distintas. Y que así pueda garantizar el suministro de agua a  $7,5 \text{ kg}/\text{cm}^2$  en todos los puntos de la red.

Con el fin de elegir la clase de abastecimiento utilizado, lo primero que se tiene que seleccionar es el tipo de fuente de agua adecuado a la instalación protegida. Las fuentes de agua pueden ser de tipo A (red de uso público), B (fuente inagotable) y C (depósitos), según la norma UNE 23500.

Para suministros de categoría I con las condiciones mínimas tratadas por la ITC MI-IP-02, es necesario un suministro de clase SUPERIOR C (fuente de agua tipo C, en depósito de tipo B para alimentación de bombas y/o aljibes, con dos o más equipos de bombeo). Para los hidrantes se utilizará la fuente tipo A.

Los caudales y tiempos de autonomía que debe asegurar un abastecimiento de agua contra incendio se establece en función de los sistemas específicos de protección a los que haya que alimentar, por lo que se convierte en sistema combinado. Para los dos sistemas de protección contra incendios principales, el caudal total requerido se obtiene como la suma de caudales para agua pulverizada y para espuma.

El tiempo de autonomía para el sistema de espuma es el correspondiente a la suma del tiempo de autonomía del sistema y el tiempo necesario para la reserva de espumante, que equivale a poner el sistema en funcionamiento una segunda vez 55 min x 2 (110 min).



Leyenda

(1) Grupo de bombeo

NOTA 1 Se admite la variante indicada en línea de puntos como solución alternativa.

NOTA 2 Los anexos A y B incluyen figuras más detalladas de estas disposiciones.

Abastecimiento superior C. Depósito A o B con dos o más equipos de bombeo

SISTEMA	CAUDAL AGUA NECESARIO (m <sup>3</sup> /min)	TIEMPO DE AUTONOMÍA (min)	CAUDAL ABASTECIMIENTO (m <sup>3</sup> /min)	CAUDAL ABASTECIMIENTO (m <sup>3</sup> /h)	VOLUMEN DE AGUA (m <sup>3</sup> )
REFRIGERACIÓN	6,842	300	6,842	410,52	2052,60
ESPUMA	5,197	110	5,197	311,82	571,67
<b>TOTAL</b>			<b>12,039</b>	<b>722,34</b>	<b>2624,27</b>

Volumen del depósito de agua

El caudal total necesario es de **12,039 m<sup>3</sup>/min** (722,34 m<sup>3</sup>/h), y la reserva necesaria son **2624,27 m<sup>3</sup>**. La presión mínima necesaria por la norma en toda la red es de 7,5 kg/cm<sup>2</sup>.

### 1.3.1.9. Geométrica

El depósito utilizado, debe ser de uso exclusivo de la instalación contra incendios. El depósito empleado es de tipo B, por lo que debe cumplir las características siguientes:

- Poseer una capacidad efectiva mínima de 100% del volumen de agua especificado o calculado para el sistema en cuestión.
- La fuente de agua debe ser capaz de rellenar el depósito en un periodo inferior o igual a 36 horas.
- La construcción del depósito debe asegurar su uso ininterrumpido, sin mantenimiento, durante al menos 3 años.
- Utilizar forzosamente agua dulce no contaminada o tratada adecuadamente.
- Añadir filtros en la conexión de llenado cuando las características del agua lo hagan necesario.
- El agua estará protegida de la acción de la luz y de cualquier materia contaminante.
- El acceso de cualquier tubería de aportación de agua estará a una distancia, medida en horizontal, de la toma de aspiración de la bomba no menor de 2 m.

#### Capacidad efectiva del depósito de agua

Dónde:

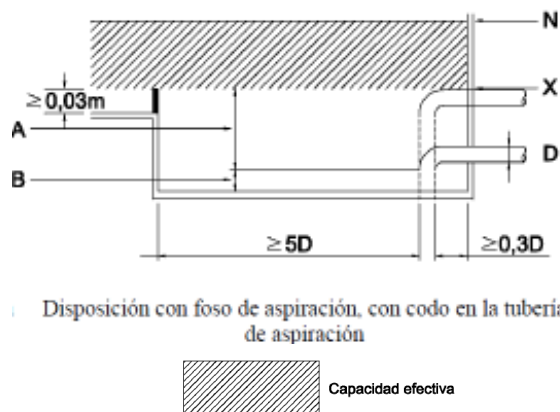
$N$  → Nivel normal de agua

$X$  → Nivel mínimo de agua

$D$  → Diámetro de la tubería de aspiración

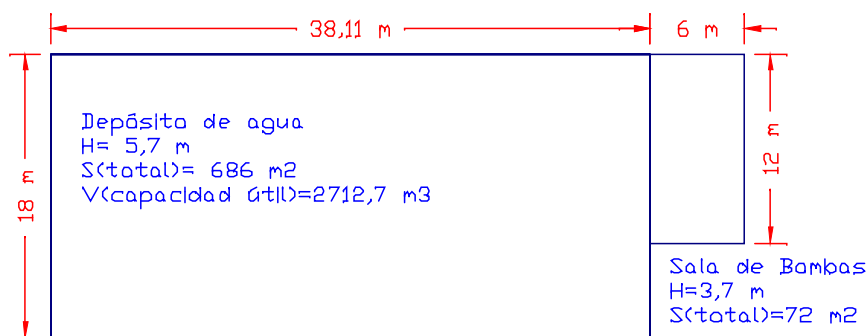
$A$  → Distancia entre la tubería de aspiración y el nivel más bajo de agua  $X$

$B$  → Distancia entre la tubería de aspiración y el fondo del foso de aspiración



Para albergar el volumen de agua requerido por el conjunto de sistemas de incendio de la instalación ( $2624,27 \text{ m}^3$ ), se construirá un vaso de sección rectangular con dimensiones exteriores de 38,11 m de largo y 18 m de ancho, con muros de 5,7 m de altura desde losa de fondo a coronación. Resultando una capacidad máxima de almacenamiento de  $2712,7 \text{ m}^3$ , para una capacidad geométrica interior de  $3280,5 \text{ m}^3$ .

Al depósito se adosa una construcción destinada a contener los equipos de bombeo, con unas dimensiones exteriores de 12 x 6 m, y una altura exterior de 3,7 m.



### **1.3.2. Construcción**

Las obras a realizar tendrán el contenido y alcance que para cada una de ellas se establece, por su contenido, tal como se describen en el presente documento.

#### **Movimientos de Tierras**

Alcanzan a las operaciones de desbroce y limpieza del terreno, a las excavaciones para cimentación, y al volumen bajo rasante del depósito. Asimismo, a la sub base de mejora para elementos resistentes superficiales o para el vial de acceso, y a los rellenos o extendidos de material granular:

- Desbroce de la cubierta vegetal hasta una profundidad no inferior a 30 cm y retirada de los materiales extraídos.
- Vaciado del terreno en el área interesada por la losa de fondo del depósito, hasta las profundidades máximas indicadas en los planos de sección respecto de la cota de terreno natural.
- Vaciado del terreno bajo la zona destinada a Sala de Bombas, en una profundidad total de 0,80 m para la cimentación continua de muro, y de 0,50 m para el área interior.
- Relleno y compactado (P95 m) con zahorra natural, tanto en la base de depósito como en la Sala de Bombas y en las áreas de tránsito rodado.
- Relleno de grava/gravilla (mezcla gravilla 20/40 y grava 40/80 al 50%) en el área interior entre depósito y el vallado perimetral, en todas las zonas no aptas para tránsito rodado.
- Relleno del trasdós de depósito hasta la cota de reposición de nivel inicial del terreno, utilizando como material final de aporte grava 20/50 de luz de malla.
- Excavación en zanja para tendido de tuberías de traída y distribución de aguas, red de recogida de pluviales y de aguas procedentes de rebosadero, en el interior de la zona vallada.
- Excavación en pozos para la formación de arquetas de conexión y entronque de las redes de recogida de pluviales con las procedentes de rebose o vaciado de depósito.
- Reparación y acondicionamiento de taludes modificados para la ejecución de la obra o afectados ocasionalmente durante la ejecución.

#### **Obras de Hormigón**

Alcanzan a todas las que se realicen con hormigones en masa o armados, vertidos en obra, elaborados in situ o prefabricados.

- Hormigones en masa para limpieza y tendido de hormigón armado, formación de macizos, o relleno de huecos de difícil compactación por otros materiales de aporte. La definición para estos hormigones será H15, consistencia plástica, y tamaño máximo de árido 40 mm.
- Hormigones armados en cimentación y muros. Para estos hormigones se seguirán las siguientes especificaciones básicas:
  - a- H25 para cimentación de Sala de Bombas. Consistencia plástica; tamaño máximo de árido 40 mm.
  - b- H25 para cimentación, muros de Sala de Bombas, y muros de depósito de almacenamiento. Consistencia plástica; tamaño máximo de árido 20 mm.
- Hormigón en placas alveolares pretensadas, prefabricadas para luz de 9,30 m (depósito de almacenamiento) y canto de 20 cm, y para luz de 5,80 m, con canto 16 cm para forjado de sala de bombas. La sobrecarga máxima en ambos casos será de 0,4 T/m<sup>2</sup>.

### Obras de Albañilería

Su contenido se limita a la construcción de elementos auxiliares o a la preparación de acabado de los construidos en hormigón:

- Construcción de arquetas para descarga de reboses y desagües, con fábrica de ladrillo macizo y revocos de cemento.
- Asiento de tuberías enterradas y formación de macizados de hormigón en masa para anclajes de tuberías, basamentos de vallado o de columnas de alumbrado y rellenos de huecos constructivos.
- Fábrica de bloque prefabricado 15.20.40 en el interior de Sala de Bombas.
- Formación de pendientes en fondo y cubierta de depósito y cubierta de sala de bombas.
- Recibidos de carpinterías interiores y exteriores.
- Soleras interiores y exteriores y su tratamiento antes de pintura.
- Encintado de bordillos.
- Entubados de seguridad para el cruce de canalizaciones bajo viales.

### Obras de Impermeabilización y Tratamientos Superficiales

Su contenido y alcance se establece para todas las obras de recubrimiento de pintura o de tratamiento de paramentos con una finalidad hidráulica o sanitaria:

- Protección con pintura monocomponente de paramentos exteriores de depósito y sala de bombas.
- Impermeabilización de superficies, ya sea con pinturas bicomponente, membranas o láminas cuya eficacia de servicio deba estar respaldada por garantías de materiales y de aplicadores. Fondo y paramentos interiores del depósito y solera de sala de bombas con pinturas epoxi bicomponente; cubierta de depósito y sala de bombas para formación de láminas a base de pinturas de poliuretano; láminas geotextil y de pvc para recubrimientos impermeabilizantes bajo cimentación.
- Aplicación de sellantes expansivos en la formación de juntas de hormigonado o juntas de dilatación.

### Carpinterías

Este apartado se concreta en las requeridas por las edificaciones y por la urbanización:

- Carpintería metálica en puertas de chapa lacada o galvanizada de sala de bombas.
- Rejas y rejillas de ventilación formadas por lamas orientadas y malla mosquitera, galvanizadas.
- Escalas exteriores de seguridad para acceso a cubierta, construidas con perfilera íntegramente galvanizada.
- Escalas interiores de acceso a fondo de depósito construidas íntegramente en acero inoxidable AISI 316.
- Registros de acceso a depósito en chapa galvanizada y cerrajería de seguridad.
- Carpintería de aluminio en ventanas de sala de bombas.
- Rejillas de seguridad sobre huecos acristalados de sala de bombas, mediante emparrillado galvanizado pletina-varilla, de luz de malla 30.30, pletina de 25.3 y redondo entregirado de D5.
- Formación de vallado con malla galvanizada de simple torsión, pies de tubo galvanizado de 2" y tornapuntas de tubo galvanizado de 1".
- Formación de puerta de acceso desde vallado con bastidor y montantes de tubo galvanizado de 2" y malla s/t.
- Vidriería en sala de bombas.

- Formación de elementos de perfilería metálica galvanizada para el soportado de tuberías en caminos aéreos, interiores (sala de bombas) o exteriores (paramentos del depósito).

### 1.3.3. Acometida de servicio

Las tuberías de acometida a depósito, recirculación y bypass de bombeo, estarán situadas en posición adosada al paramento vertical exterior del depósito, a una elevación sobre el firme exterior de +1,50 m la generatriz inferior del tubo de menor cota. La evacuación de aguas de vaciado de depósito discurrirán a una elevación máxima de -1,00 m, debido a que las descargas de evacuación y saneamiento se producirán siempre por gravedad desde la cota de fondo de depósito.

### 1.3.4. Sistema de Impulsión

La norma UNE 23500 establece que a cada fuente de agua le corresponde un sistema de impulsión que permita mover el líquido del depósito de agua contra incendios a los diferentes sistemas de protección, manteniendo las condiciones de presión y de caudal requeridos. Los sistemas de impulsión inyectan la energía que necesita el fluido para que éste se desplace por los diferentes sistemas hasta el punto o altura requerida.

La cantidad de energía necesaria para mover al fluido depende de diversos factores. Con la ecuación de Bernoulli aplicada a los extremos del sistema, se puede calcular la energía ( $W$ ) que se debe transmitir a la unidad de masa del fluido en movimiento. Con dicha energía y el caudal másico de flujo a mover ( $m$ ), se obtiene la potencia teórica necesaria ( $P$ ) para el fluido en cuestión.

$$P = m \times W$$

En la norma UNE 23500 se especifica el tipo de sistemas de impulsión requeridos según la fuente de agua; y para la instalación que estamos tratando el equipo de impulsión adecuado es un equipo de bombeo automático (ver tabla siguiente extraída de la UNE 23500).

Fuente de agua	Equipo de impulsión
Red de uso publico	El de la propia red (eventualmente equipo de bombeo automático)
Fuentes inagotables	
Naturales	Equipo de bombeo automático
Artificiales	Equipo de bombeo automático
Depósitos	
Alimentación bombas	Equipo de bombeo automático
De gravedad	Gravedad (eventualmente equipo de bombeo)
De presión	Agua presurizada con aire o gas

Los equipos de bombeo están constituidos por:

- **Uno o varios grupos de bombeo principales.**

Los grupos de bombeo principales no se pueden utilizar con otro fin distinto que a la protección contra incendios ya que deben responder a las exigencias de caudal y presión de agua requeridos por los sistemas de protección contra incendios a los que abastecen.

Además, deben ser de arranque automático (por caída de presión o por demanda de flujo) o manual a través del cuadro de control y la parada será exclusivamente manual (acatando órdenes del responsable de la instalación).

En cualquiera instalación de estas características, las bombas principales deben tener propiedades compatibles y ser capaces de funcionar en paralelo a cualquier caudal, independientemente de su régimen de revoluciones.

Estos grupos principales no se pueden emplear para mantener la presión del sistema debiéndose instalar para ello una bomba jockey.

- **Una bomba mantenedora de presión (Bomba jockey).**

Bomba con arranque y parada automática, cuya misión es reponer las fugas que se produzcan en la red general contra incendios. Es necesaria para caudales y longitudes grandes de las líneas de flujo.

Son bombas con motor eléctrico. Deben ser capaces de suministrar a la red la presión mínima de 7.5 kg/cm<sup>2</sup> y un caudal mínimo de 6 m<sup>3</sup>/h.

- **Material diverso (valvulería, controles, etc.).**

Los elementos de la instalación de protección contra incendios deben estar calculados para soportar la presión correspondiente a caudal cero de las bombas, significando eso que la presión a caudal cero de la bomba debe ser menor al 120% de la presión nominal.

El sistema de impulsión se define en la tabla siguiente según la norma UNE 23500, para depósitos de alimentación a bombas. En ésta se indica que, cuando se instala más de un grupo de bombeo en un abastecimiento de agua superior o doble, no más de uno debe tener motor eléctrico.

Para el caso de abastecimiento superior, seleccionado, los dos equipos de bombeo pueden estar formados por tres grupos de bombeo, cada uno capaz de dar el 50% del caudal nominal especificado para el sistema ( $Q_n$ ), al 100% de la presión nominal, siempre que cada uno de los equipos cumpla lo especificado en el apartado 6.4 de la misma norma, o por dos grupos de bombeo suministrando, de forma independiente, el 100% del caudal nominal y la presión especificados para el sistema.

Nº EQUIPOS DE BOMBEO REQUERIDOS	Nº GRUPOS DE BOMBEO ADMITIDOS	ACCIONAMIENTO POR MOTORES	
		SOLUCIÓN A	SOLUCIÓN B
2	2 (del 100% de $Q_n$ cada uno)	1 diésel + 1 eléctrico	2 diésel
2	3 (del 50% de $Q_n$ cada uno)	2 diésel +1 eléctrico	3 diésel

*Possibilidades de accionamiento de los sistemas de bombeo*

De acuerdo con esta tabla, vamos a utilizar dos equipos de bombeos independientes, que a su vez cuentan con dos grupos de bombeo cada uno:

- 2 bombas principales, una con motor diésel y otra con motor eléctrico, capaces de suministrar, cada una, el 100% del caudal nominal requerido.
- Además de 1 bomba mantenedora de presión (bomba jockey de presurización), con motor eléctrico, para mantener la presión del sistema en 7,5 kg/cm<sup>2</sup> como mínimo. En el momento en que caiga la presión, por la activación de un sistema, arrancará la bomba jockey para reponer dicha presión, hasta que se necesite la entrada en funcionamiento de la bomba principal.



### 1.3.4.1. Selección de la unidad de bombeo

La selección de la unidad de bombeo se ejecuta en base a tres factores fundamentales:

- El caudal que debe impulsar.
- La altura neta de succión positiva (NPSH, por sus siglas en inglés). La NPSH es la altura que necesita la bomba para realizar la aspiración del fluido.
- La altura útil de la bomba, en la que se tienen en cuenta las pérdidas de presión máximas en la red. Dicha altura es una medida de la potencia que se debe obtener de la bomba.

Ambas alturas se calculan aplicando la ecuación de Bernoulli. En el cálculo de la NPSH, la ecuación se aplica entre el punto desde el que se produce la aspiración y la entrada de la bomba. Y para el cálculo de la altura útil, la ecuación se aplica entre el punto inicial de aspiración y el punto final más alto de descarga del sistema de protección.

Para calcular el NPSH se define y calcula primero el circuito de aspiración de la bomba, y para calcular la altura útil es necesario a su vez, definir y calcular el circuito de impulsión de la bomba.

Tras tener estos valores, conjuntamente con el caudal, se eligen las bombas en función del catálogo y las curvas de los fabricantes.

### 1.3.4.2. Caudal nominal de la bomba

Los caudales nominales de las bombas principales y la presión mínima en la red se recogen en la siguiente tabla:

Qn CAUDAL NOMINAL DEL SISTEMA (m <sup>3</sup> /h)	722,34	CAUDAL NOMINAL BOMBA (Q <sub>nb</sub> ) m <sup>3</sup> /h	PRESIÓN MÍNIMA DEL SISTEMA		
			kg/cm <sup>2</sup>	m.c.a	bar
EQUIPO					
Grupo de bombeo 1		722,34	7,5	75	7,35
Grupo de bombeo 2		722,34			

Para este caso se instalarán dos bombas principales horizontales en carga que cumplirán las siguientes características establecidas en la norma UNE 23500:

- El grupo de bombeo debe ser capaz de impulsar el 140% del caudal nominal de la bomba (Q<sub>nb</sub>) a una presión no inferior al 70% de la presión nominal (P).
- EL NPSH requerido por la bomba para caudales comprendidos entre 0,3xQ<sub>nb</sub> y Q<sub>nb</sub> debe ser ≤ 5 m.
- Al instalarse más de una bomba, los tubos de aspiración únicamente pueden interconectarse si están provistos de válvulas de cierre que permitan que cada bomba pueda continuar funcionando cuando la otra esté desmontada para mantenimiento o fuera de funcionamiento.
- El diámetro de las tuberías de aspiración deben ser ≥ 65 mm, y ser suficientes para que no se supere una velocidad de 1,8 m/s con la bomba funcionando a caudal nominal.

### 1.3.4.3. Circuito de aspiración

El circuito de aspiración de cada bomba principal consta, en este orden, de:

#### - Válvula de compuerta

Se recomienda su utilización completamente abierta o completamente cerrada para impedir problemas de cavitación en la bomba. No se debe instalar ninguna válvula directamente en la brida de aspiración de la bomba.

#### - Dispositivo anti-stress

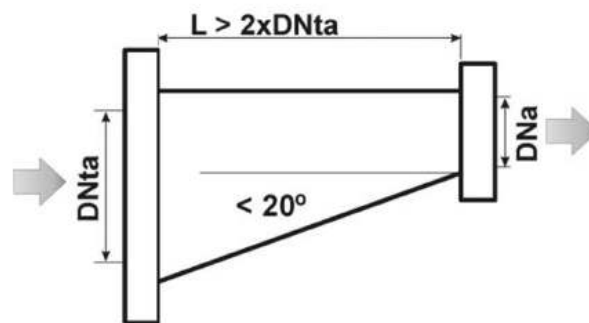
Formado por dos conexiones flexibles ranuradas distanciadas dos diámetros entre sí, o elemento equivalente, siempre que esté garantizado que no se reduzca o se colapse por efecto de la succión de las bombas.

#### - Manovacuómetro

Que contenga válvula para su bloqueo con rango adecuado a la altura manométrica de la reserva de agua.

#### - Tubo recto o reductor (reducción excéntrica)

Debe tener una longitud superior al doble del diámetro calculado para la tubería de aspiración. Al ser excéntrica deben situarse de tal forma que la parte superior del tubo sea horizontal, y la parte inferior tenga una pequeña subida continua hacia la bomba para evitar la posibilidad de formación de bolsas de aire en el tubo. El ángulo de reducción no debe ser superior a  $20^\circ$  (ver Figura siguiente).



#### Leyenda

- DNta Diámetro nominal de la tubería de aspiración
- DNa Diámetro nominal de la aspiración de la bomba

#### Reducción excéntrica

A partir del valor conocido del diámetro nominal de la tubería de aspiración, y con simples reglas generales de trigonometría, se calcula el valor del diámetro nominal requerido para la aspiración de la bomba.

#### - Purgador automático de aire

Situado en la parte superior del cuerpo de la bomba, a excepción que el diseño de la bomba sea auto venteante.

Las condiciones de aspiración establecidas por la UNE 23500, recogen que:

- Al menos 2/3 de la capacidad efectividad del depósito de aspiración deben estar situados por encima del eje de la bomba.
- El eje de la bomba debe estar situado a menos de 2 m por encima del nivel más bajo de agua (nivel X).

Para el caso estudiado, se situará el eje de la bomba a 1 m por encima del nivel más bajo de agua (nivel X).

El diámetro de la tubería de aspiración se determina según UNE 23500 teniendo en cuenta la velocidad de la siguiente manera:

Para determinar la velocidad se empleará la fórmula:

$$v = 21,22 \times Q/d^2$$

donde

$v$  es la velocidad (m/s);

$Q$  es el caudal (l/m);

$d$  es el diámetro interior de la tubería (mm).

Cálculo del diámetro de tubería de admisión:

DIÁMETRO MÍNIMO D (mm)	VELOCIDAD (m/s) CALCULADA CON CAUDAL D (mm) $Q_n = 722,34 \text{ m}^3/\text{h}$
65	60,47
80	39,92
100	25,55
150	11,35
200	6,39
250	4,09
300	2,84
350	2,09
400	<b>1,60</b>
450	1,26
500	1,02

El valor mínimo con el que se cumple la restricción impuesta para la velocidad es un diámetro de 400 mm para una velocidad de 1,6 m/s, que es menor a 1,8 m/s. Éste es el valor seleccionado para la tubería de aspiración de la bomba, ya que velocidades menores implicarían valores mayores del diámetro, lo cual resultaría en mayores costes.

A partir del valor obtenido del diámetro nominal de la tubería de aspiración de DN- 400 mm (16"), de una longitud del tramo de tubo reductor estimada en 1,5 m y de las relaciones trigonométricas básicas, se calcula un ángulo de reducción de 8°, y un diámetro nominal de la tubería de aspiración de la bomba de 189 mm, normalizado a DN- 200 mm (8").

#### 1.3.4.4. Cálculo del NPSH

La altura de succión neta positiva (NPSH) especifica la diferencia entre la presión del líquido en el eje impulsor y su presión de vapor a la temperatura que se realiza el bombeo. Para su cálculo se cogerá la cota de la bomba como origen de alturas.

Se consideran dos tipos:

- NPSH requerido ( $NPSH_r$ )

Es la NPSH mínima que se necesita para impedir la cavitación en la bomba, porque proporciona el valor en que la presión absoluta, en el punto de succión de la bomba, debe exceder a la presión de vapor del líquido. Es un parámetro característico de la bomba, por lo que viene normalmente dado por el fabricante.

Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$NPSH_r = H_z + \frac{v_a^2}{2g}$$

Dónde:

$H_z$  → Es la presión mínima absoluta necesaria en la zona inmediatamente anterior a los álabes del rodete de la bomba, medida en m.c.a.

$v_a$  → Es la velocidad de entrada del líquido en la bomba, medido en m/s.

$g$  → Aceleración de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

$\frac{v_a^2}{2g}$  → Representa la altura dinámica (presión) que tiene el líquido a la entrada de la bomba, medida en metros.

Para la instalación que tratamos, este valor se obtendrá partir del caudal a impulsar, con la curva del fabricante.

- NPSH disponible ( $NPSH_d$ )

El NPSH disponible a la entrada de la bomba depende de las características de la instalación y del líquido a bombear. Esta es independiente del tipo de bomba y se calcula de acuerdo a las condiciones atmosféricas y de la instalación u operación.

Debe calcularse con el nivel mínimo de agua y teniendo en cuenta la temperatura máxima de la misma. Su valor debe ser superior a 5 m cuando circula el caudal nominal ( $Q_{nb}$ ), y también superior al NPSH requerido por la bomba más 1 m cuando circula el 140% del caudal nominal ( $1,4 \times Q_{nb}$ ), para evitar problemas de cavitación en la bomba y deterioros severos en la instalación.

Para calcular la carga neta de aspiración o NPSH disponible a la entrada de la bomba, se resta a la carga de aspiración total obtenida en la succión de la bomba ( $h_a$ ), la presión de vapor del líquido a la temperatura que circula ( $P_v$ ), ambas en metros.

$$NPSH_d = h_a - \frac{P_v}{\rho g}$$

Dónde:

$NPSH_d$  → Altura neta de succión positiva, medida en m.c.l.

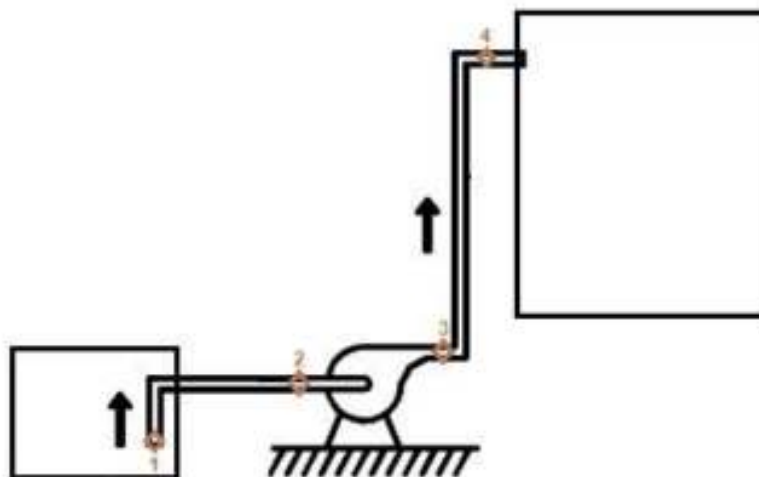
$h_a$  → Altura o carga de aspiración total, medida en m.c.l.

$P_v$  → Presión de vapor del líquido a la temperatura de circulación, en pascales.

$\rho$  → Densidad del líquido en  $\text{kg/m}^3$  (Densidad del agua  $1000 \text{ kg/m}^3$ ).

$g$  → Aceleración de la gravedad en  $\text{m/s}^2$  ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

El sistema se define como el observado en la Figura siguiente, donde la boca de la tubería de succión se denomina como el punto 1, la boca de succión de la bomba como el punto 2, la boca de impulsión de la bomba como el punto 3 y el punto final más alto al que se debe llevar el líquido como el punto 4.



Aspiración e impulsión de la bomba

La carga o altura de aspiración total se define con la ecuación siguiente:

$$h_a = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

Dónde:

$H_a$  → Altura o carga de aspiración total, medida en m.c.l.

$P_2$  → Presión a la entrada de la bomba, en pascales.

$v_2$  → Velocidad a la entrada de la bomba, medida m/s.

$z_2$  → Cota geométrica de la bomba, medida m.

$\rho$  → Densidad del líquido en  $\text{kg/m}^3$  (Densidad del agua  $1000 \text{ kg/m}^3$ ).

$g$  → Aceleración de la gravedad en  $\text{m/s}^2$  ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

La carga o altura de aspiración total es el valor de la energía que posee el fluido al llegar a la boca de aspiración de la bomba, medida en metros de columna de líquido. Se define como la suma de la carga o altura de presión, la carga cinética y la altura geográfica o cota en la boca de succión de la bomba (punto 2).

Planteando la ecuación de Bernoulli para el bombeo de líquidos incompresibles, desde el punto 1, con nivel de agua por debajo del eje impulsor (cota negativa tomando la cota de la bomba como origen de cotas), hasta el punto 2 (eje impulsor), se obtiene:

$$\frac{P_1}{\rho g} + (-z_1) + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{\sum F_a}{g}$$

Dónde:

$\frac{\sum F_a}{g}$  → Es la pérdida de carga por fricción del sistema en la zona de aspiración, medida en metros.

$\rho$  → Densidad del líquido en  $\text{kg/m}^3$  (Densidad del agua  $1000 \text{ kg/m}^3$ ).

$g$  → Aceleración de la gravedad en  $\text{m/s}^2$  ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

$v$  → Velocidad del fluido en los puntos 1 y 2, medida en m/s.

$z_1$  → Es la cota geométrica de aspiración del fluido, medida en metros.

$z_2 \rightarrow$  Es la cota geométrica de la bomba, medida en metros.

$P_1 \rightarrow$  Es la carga por presión atmosférica en la aspiración, medida en pascales.

$P_2 \rightarrow$  Es la presión a la entrada de la bomba, en pascales.

De dónde:

$$h_a = \frac{P_a}{\rho g} + (-z_1) + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{\sum F_a}{g}$$

Y el NPSH disponible resulta:

$$NPSH_d = \frac{P_a - P_v}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{\sum F_a}{g} - H_s$$

También puede calcularse el  $NPSH_d$ , con todas las unidades en metros y despreciando la pérdida de presión debida a la velocidad recogidas en la *ecuación siguiente*:

$$NPSH_d = H_a - H_s - H_v - H_f$$

Dónde:

$H_a \rightarrow$  Es la altura de la presión atmosférica, en metros.

$H_s \rightarrow$  Es la altura de succión o distancia vertical entre el nivel mínimo de agua y el eje de la bomba, en metros de columna de líquido ( $Z_2 - Z_1$ ).

$H_v \rightarrow$  Es la altura de la presión de vapor, en metros de columna de líquido, que depende de la temperatura del líquido. Valor obtenido de la tabla 12 de la norma UNE 23500.

$H_f \rightarrow$  Son las pérdidas de fricción de la tubería y accesorios del circuito de aspiración, en metros de columna de líquido.

La altura de succión, la altura de presión de vapor y las pérdidas de carga, son factores que reducen la NPSH disponible de la bomba. Se definen como sigue:

- Presión atmosférica ( $H_a$ )

Se parte de una presión atmosférica equivalente a 10 m.c.a. absolutos positivos a nivel del mar. Se aplica una reducción en el NPSH disponible de 1 m por cada 800 m de altitud sobre el nivel del mar.

La zona del almacenamiento está al nivel del mar. Por lo que la altura por presión atmosférica será de 10 m.c.a.

- Altura geométrica ( $H_s$ )

Es la altura vertical entre el nivel mínimo de aspiración agua en el depósito y el punto central a la entrada de aspiración de la bomba, con su signo correspondiente (positivo "+" si está en carga con el nivel de agua por encima de la entrada de aspiración de la bomba, o negativo "-" si está en aspiración negativa, con el nivel de agua por debajo de la entrada de aspiración de la bomba). Según se recoge en el apartado anterior Circuito de aspiración, esta distancia es de 1 m.

- La temperatura del agua ( $H_v$ )

La temperatura del agua no debe superar los 40 °C. Se estima una temperatura de 20 °C (Temperatura estándar), por lo que se aplica el caso de reducción mínima de 0,24 m.

- Las pérdidas de carga ( $H_f$ )

Las resistencias por rozamiento o fricción que ofrecen los fluidos a su paso por las tuberías y accesorios. Las pérdidas de carga por fricción en la tubería de aspiración, reducirá el NPSH disponible.

Esta reducción se obtiene con la fórmula de Hazen-Williams (ver ecuación siguiente).

$$p = \frac{6,05 \times 10^5 \times (L_t + L_e) \times Q^{1,85} \times 10,2}{C^{1,85} \times d^{4,87}}$$

Dónde:

p → Es la pérdida de carga en m.c.a

Q → Es el caudal que circula en l/min

d → es el diámetro interior medio del tubo en mm

C → Es una constante para el tipo y condición del tubo, y se determina según la tabla 14 de la norma UNE 23500. En caso de que el material de la tubería no esté incluido en dicha tabla, se justificará el valor de C a aplicar. Para tuberías de acero al carbono este valor es 120, según la tabla 14 de la norma UNE 23500.

$L_t$  → Es la longitud total del tubo de aspiración en metros, obtenido de las siguientes estimaciones y cálculos:

	Valor calculado distancia entre pared depósito a eje codo (m)	Longitud tramos (m)
Longitud A del depósito-Tramo recto desde entrada agua a codo tubo de aspiración	1,2	1,5
Tramo de tubo de codo a pared depósito	0,18	0,2
Tramo de tubo de pared de depósito a válvula de cierre 1	-	0,15
Tramo de tubo de pared de depósito a válvula de cierre 2	-	2
Tramo dispositivo anti estrés	1,2	1,2
Tramo tubo reductor	1,5	1,5
<b>TOTAL</b>		<b>6,55</b>

*Longitud total de la tubería de aspiración*

$L_e$  → Es la longitud equivalente en metros de tubo, según los accesorios y válvulas que haya en el recorrido de aspiración (según la tabla 15 de la norma UNE 23500).

Las longitudes equivalentes constituyen la longitud de una tubería recta del mismo diámetro nominal que la válvula o accesorio, la cual tendría la misma resistencia que ésta.

Las longitudes equivalentes de los accesorios y válvulas de la tubería se han obtenido de las tablas que se adjuntan posteriores a la tabla de una estimación de la tabla 15 de la norma UNE 23500, para el tubo recto o reductor.

ACCESORIOS Y VÁLVULAS	CANTIDAD	LONGITUD EQUIVALENTE (m)
Válvula de pie	1	90
Codo de 90°	1	19,2
Válvula de compuerta o cierre completamente abierta	1	4,3
Tubo recto o reductor con reducción excéntrica soldada o con bridas	1	8
<b>TOTAL</b>	<b>4</b>	<b>125,8</b>

*Longitudes equivalentes de accesorios y válvulas en tubería de aspiración*

Pérdidas por Fricción en longitudes equivalentes de tubo estándar					
Calibre Tubo	Codo Estándar de 90°	Codo de Radio Largo	Codo de 45°	T	Sifón
1/2"	1.5	1.1	0.77	3.4	3.8
3/4"	2.2	1.4	1	4.5	5
1"	2.7	1.7	1.3	5.8	6.1
1-1/4"	3.7	2.4	1.8	7.8	8.5
1-1/2"	4.3	2.8	2	9	10
2"	5.5	3.5	2.5	11	13
2-1/2"	6.5	4.2	3	14	15
3"	8.1	5.1	3.8	17	18
3-1/2"	9.5	6	4.4	19	21
4"	11	7	5	22	24
4-1/2"	12	7.9	5.6	24	27
5"	14	8.9	6.1	27	31
6"	16	11	7.7	33	37
8"	21	14	10	43	40
10"	26	17	13	56	61
12"	32	20	15	68	73
14"	36	23	17	78	85
16"	42	27	19	87	100
18"	46	30	21	100	119
20"	52	34	23	110	120
22"	58	37	25	130	140
24"	63	40	28	140	150
30"	79	50	35	165	190
36"	94	60	43	200	220
42"	120	72	50	240	260
48"	135	82	58	275	300

Pérdidas por Fricción en longitudes equivalentes de tubo estándar				
Calibre Tubo	Válvula de Compuerta Abierta	Válvula de Globo Abierta	Válvula Angular Abierta	Válvula de Retención Giratoria
1/2"	0.35	15	8.4	4
3/4"	0.47	22	12	5
1"	0.6	27	16	7
1-1/4"	0.8	37	18	9
1-1/2"	0.95	44	22	11
2"	1.2	57	28	13
2-1/2"	1.4	66	33	16
3"	1.7	85	42	20
3-1/2"	2	99	50	
4"	2.3	110	58	26
4-1/2"	2.6	130	61	
5"	2.9	140	70	33
6"	3.5	160	83	39
8"	4.5	220	110	52
10"	5.7	290	140	65
12"	6.7	340	170	
14"	8	390	190	
16"	9	430	220	
18"	10.2	500	250	
20"	12	560	280	
22"	13	610	310	
24"	14	680	340	
30"	17	860	420	
36"	20	1000	500	
42"	23	1200	600	
48"	26	1400	680	

## Accesorios de tuberías



Con estos valores, y los datos de la tabla siguiente, se obtienen unas pérdidas de carga de 0,876 m.c.a, en la tubería de aspiración.

Q (l/min)	d (mm)	C	Lt (m)	Le (m)	p (m.c.a)
12039	400	120	6,55	125,8	<b>0,876</b>

*Cálculo de la pérdida de carga en la tubería de aspiración*

A partir de todos los datos calculados, el NPSH disponible a la entrada de la tubería calculado resulta en lo siguiente:

$$NPSH_d = H_a - H_s - H_v - H_f$$

$$NPSH_d = 10 - 1 - 0,240 - 0,876 = 7,884 \text{ m.c.a} > 5m$$

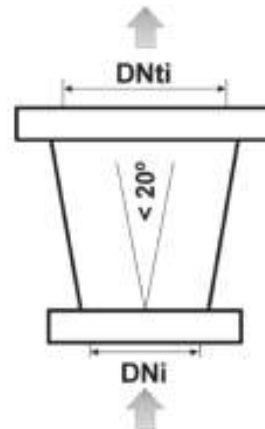
La norma indica que se desprecian las pérdidas de carga por velocidad, por lo que el valor del NPSH disponible de la bomba seleccionada debe ser menor o igual que **7,884 m.c.a.**

#### 1.3.4.5. Cálculo del circuito de impulsión

El circuito de impulsión de cada bomba principal consta, en este orden, de:

- **Cono difusor concéntrico o tubo ampliador** (ampliación concéntrica).

Si se instala un tubo ampliador en la impulsión de la bomba, debe abrirse en la dirección de flujo con un ángulo de apertura no superior a 20° (ver figura siguiente). Las válvulas de impulsión deben situarse aguas abajo del tubo ampliador, si lo hay.



LEYENDA  
 DNti : Diámetro nominal de la tubería de impulsión  
 DNi : Diámetro nominal de la impulsión de la bomba

*Ampliación concéntrica*

- **Conjunto de manómetro y presostato**

Para confirmación de presión en la impulsión.

- **Sistema automático de circulación de agua.**

Conexión fundamental para mantener un caudal mínimo que impida el sobrecalentamiento de la bomba al funcionar contra válvula cerrada.

Se admite como tal la conexión en la impulsión, entre la bomba y la válvula de retención, de una válvula de alivio, de diámetro suficiente para desalojar dicho caudal mínimo, tarada a una presión ligeramente inferior de la de caudal cero, con escape visible y conducido hacia un drenaje del recinto de bombas.

### - Línea de refrigeración.

En caso de ser accionada por motor diésel refrigerado por agua con intercambiador, se instala la conexión al sistema de refrigeración.

### - Válvula de retención.

### - Presostatos.

Se deben situar dos presostatos para el arranque de cada grupo de bombeo principal, conectados en serie y con contactos normalmente cerrados por encima de la presión de arranque, de tal manera que la apertura del contacto de cualquiera de los dos presostatos arranque la bomba.

La tubería de presostatos tendrá que ser galvanizada, de cobre o acero inoxidable y su diámetro debe ser mayor a DN-15 (1/2").

### - Conexión a circuito de pruebas.

El circuito de pruebas parte, según el sentido del flujo, de una conexión tomada entre válvula de retención y la de bloqueo de cada bomba, situado en este mismo sentido una válvula de bloqueo, un caudalímetro y una válvula de regulación de caudal para descargar a la reserva de agua.

En el caso de bombas múltiples, el caudalímetro y la válvula de regulación pueden ser comunes para todas ellas. El rango de lectura del caudalímetro debe estar entre el 20% y el 160% del caudal nominal de la bomba ( $Q_{nb}$ ).

La velocidad del flujo, en el circuito de pruebas, no debe ser superior a 4 m/s en el punto del caudal nominal.

Solamente se puede utilizar la prueba simultáneamente de una bomba principal, de manera que las restantes bombas principales, estén dispuestas en automático para poder arrancar e intervenir en caso de bajada de presión en el colector general de impulsión por una posible emergencia real.

### - Válvula de seccionamiento.

Para calcular el diámetro nominal de la tubería de impulsión se tiene en cuenta una velocidad máxima recomendada para la tubería de impulsión de 3 m/s. Esta velocidad proporciona un diámetro nominal DN-450.

$$D = \sqrt{(4 \times Q) \div (v \times \pi)} = \sqrt{(4 \times (722,34 \div 3600)) \div (3 \times \pi)} = 0,292 \text{ m} \\ \approx 292 \text{ mm normalizado a DN} - 300$$

Para reducir la velocidad del fluido, se calcula la velocidad con el diámetro nominal inmediatamente superior (DN-350).

$$v = (4 \times Q) \div (\pi \times D^2) = (4 \times (722,34 \div 3600)) \div (\pi \times D^2) = 2,08 \text{ m/s}$$

Se obtiene una velocidad de **2,08 m/s** para un diámetro normalizado DN-350 (14"). Para el cálculo del diámetro nominal de la brida de impulsión de la bomba, se tiene en cuenta el ángulo máximo de 20° impuesto por la norma para el cono difusor concéntrico de la bomba. Con este dato y considerando una longitud del cono difusor de 1,5 m (el mínimo recomendado es 4 veces la longitud del diámetro nominal de la tubería de impulsión), se calcula un diámetro nominal de 166 mm normalizado a DN-200 (8") para la brida de impulsión de la bomba para un ángulo de reducción de 7°.

### 1.3.4.6. Altura útil, efectiva o manométrica total de la bomba

La altura útil o efectiva de la bomba es la carga total del sistema. Y se puede definir como la energía necesaria por unidad de peso para que circule el líquido del punto 1 al 4, es decir, la energía que necesita la bomba para impulsar el fluido.

Para su cálculo se aplica la ecuación de Bernoulli para líquidos incompresibles, entre el punto 1 de aspiración y el punto 4 del depósito más alto a proteger:

$$\left(\frac{P_1}{\rho g}\right) + z_1 + \left(\frac{v_1^2}{2g}\right) + H_{UTIL} = \left(\frac{P_4}{\rho g}\right) + z_4 + \left(\frac{v_4^2}{2g}\right) + \frac{\sum F_{a+i}}{g}$$

$$H_{UTIL} = \left(\frac{v_4^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}\right) + (z_4 - z_1) + \left(\frac{P_4 - P_1}{\rho g}\right) + \frac{\sum F_{a+i}}{g}$$

Dónde:

H → Equivale a energía/masa, y es la altura, en m.c.a., proporcionada por la bomba.

$\sum \frac{F_{a+i}}{g}$  → Es la pérdida de carga total del sistema (aspiración e impulsión), medida en m.c.l.

g → Aceleración de la gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>).

v → Velocidad del fluido en los puntos 1 y 2, medida en m/s .

z1 → Es la cota inicial de impulsión del fluido, medida en m.c.l.

z4 → Es la cota final a la que se quiere enviar el fluido, medida en m.c.l.

Se desprecia la pérdida de carga por velocidad, por lo que la ecuación se puede exponer como:

$$H_{UTIL} = \left(\frac{P_4 - P_1}{\rho g}\right) + H_g + H_T$$

Dónde:

H<sub>T</sub> → Pérdida de carga total del sistema, medido en m.c.l.

H<sub>G</sub> → Altura geométrica entre el punto mínimo de aspiración y el punto más alto de impulsión, medido en metros.

P<sub>1</sub> → Presión en la superficie del líquido en la aspiración, medido en pascales (Se considera la carga por presión atmosférica calculado como 10 m.c.a).

P<sub>4</sub> → Presión en la superficie del líquido en la impulsión, medido en pascales (Para el caso estudiado debe ser como mínimo 75 m.c.a).

Las pérdidas totales del sistema (H<sub>T</sub>) se calculan desde el punto de inicio de la aspiración, hasta el punto más desfavorable de descarga, que en este caso corresponde con las boquillas de descarga del tanque más alto. Incluyen las pérdidas por fricción del fluido por los tubos y las pérdidas en los accesorios tanto en la aspiración como en la impulsión. Para ello se divide la línea en tramos donde cambia el diámetro de tubería. Se pueden calcular a partir de la siguiente ecuación:

$$H_T = H_i + H_a$$

Dónde:

$H_a$  → Pérdidas en la aspiración, medido en metros de columna de líquido.

$H_i$  → Pérdidas en la impulsión, medido en metros de columna de líquido.

Para calcular ambos tipos de pérdidas se emplean las ecuaciones siguientes, que incluyen las usualmente llamadas pérdidas menores:

$$H_a = H_{a,tub} + H_{a,acces}$$

$$H_i = H_{i,tub} + H_{i,acces}$$

Las pérdidas de presión en tuberías o pérdidas primarias ( $H_{tub}$ ) son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería y de las partículas del fluido entre sí.

Tienen lugar en los tramos rectos de tuberías de diversos diámetros, variando la velocidad media al variar el diámetro de la tubería. Para su cálculo se usan habitualmente los métodos de Hazen-Williams y el de Darcy-Weisbach. Este último se considera más exacto que el primero, sin embargo el método de Hazen-Williams es el más popular debido a que su coeficiente de fricción (C) no es una función de la velocidad o del diámetro del conducto.

Para el agua y otros líquidos y gases, se puede usar para el cálculo de pérdida de carga por fricción el método de Darcy-Weisbach. En este caso se utiliza la ecuación Darcy-Weisbach para el cálculo de las pérdidas primarias y secundarias:

$$H_{tub} = f_p \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

$H_{tub}$  → Pérdidas en tubería o primarias, medido en metros de columna de líquido.

$f_p$  → Factor de fricción de Darcy o Coeficiente adimensional de pérdida de carga.

L → Longitud de tubería, medido en metros.

D → Diámetro de la tubería, medido en metros.

v → Velocidad media del fluido, medido en m/s.

g → Aceleración de la gravedad, medido en  $m/s^2$  (9,8  $m/s^2$ ).

El factor de fricción de Darcy se obtiene de forma adimensional, en función del número de Reynolds (Re) y de la rugosidad relativa de la pared del tubo ( $\epsilon/D$ ), ambas variables adimensionales.

El procedimiento para su cálculo incluye cálculo de la rugosidad relativa de la pared del tubo ( $\epsilon/D$ ), cálculo del número de Reynolds (Re) y obtención del valor del factor de fricción ( $f_p$ ) del diagrama de Moody.

Para calcular el Reynolds se utiliza la *ecuación* siguiente:

$$Re = \frac{\rho \times v \times D}{\mu}$$

Dónde:

Re → Número de Reynolds.

$\rho$  → Densidad del fluido, medido en  $\text{kg/m}^3$  ( $1000 \text{ kg/m}^3$  para el agua).

D → Diámetro de la tubería, medido en metros.

v → Velocidad media del fluido, medido en m/s.

$\mu$  → Viscosidad cinemática del fluido, medido en cSt ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) (aproximadamente  $1 \text{ cSt} = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$  para el agua).

También puede utilizarse la ecuación de Blasius para obtener el factor de fricción en tuberías lisas en régimen laminar ( $Re < 4000$ ), y en tuberías rugosas en régimen laminar ( $Re < 4000$ ) o lisas en régimen muy turbulento ( $Re > 100\,000$ ), la ecuación de Prandtl, de White-Colebrook, el diagrama de Moody, entre otras.

$$\text{Blasius: } f_p = 0,316 \times Re^{-0,25}$$

$$\text{Prandtl: } \frac{1}{\sqrt{f_p}} = \left[ 2 \log_{10} \left( \frac{Re \times \sqrt{f_p}}{2,51} \right) \right]$$

$$\text{White-Colebrook: } f_p = \left[ -2 \log_{10} \left( \frac{\frac{\epsilon}{D}}{3,7} + \frac{2,51}{Re \times \sqrt{f_p}} \right) \right]$$

En tuberías lisas con valores de Re muy altos, la ecuación de Colebrook y la de Prandtl modelizan con precisión el factor de fricción. En base a eso, se va a utilizar la ecuación Prandtl, para el desarrollo de los cálculos que siguen, ya que es igualmente válida para las condiciones de flujo dadas.

Las pérdidas de carga en accesorios o pérdidas secundarias ( $H_{\text{acces}}$ ) son proporcionales a la energía cinética del flujo. Generalmente se tratan como discontinuidades discretas en la línea de declive hidráulico y en la línea de nivel de energía. Se calculan con la *ecuación siguiente*:

$$H_{\text{acces}} = k_0 \times \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

$H_{\text{acces}}$  → Pérdidas de carga en accesorios o pérdidas secundarias.

$k_0$  → Coeficiente adimensional de la pérdida de carga.

v → Velocidad media del fluido, medido en m/s.

g → Aceleración de la gravedad, medido en  $\text{m/s}^2$  ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

El coeficiente  $k_0$  depende del tipo de accesorio, del factor de fricción, del diámetro y de la longitud equivalente de la tubería antes del accesorio. Se obtiene generalmente de tablas o curvas.

$$H_{\text{acces}} = \frac{f_p L_{eq}}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

$L_{eq}/D$  es la relación de longitud equivalente, y se considera constante para un tipo dado de válvula o accesorio.

Los valores comunes a la aspiración y a la impulsión se muestran en la siguiente tabla:

Densidad agua (kg/m <sup>3</sup> )	1 000		
Viscosidad cinemática agua (kg/m s)	0,001		
<b>ASPIRACIÓN</b>			
Aspiración (m/s)	1,60		
Diámetro tubería aspiración (mm)	400		
Reynolds	640000	> 4000	Régimen turbulento
f <sub>p</sub> para tubo liso	0,012578		
<b>ACCESORIOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>K</b>	<b>K<sub>a</sub></b>
Válvula de pie	1	0,0041685	0,0041685
Codo de 90° de radio largo	1	20fp	0,25156
Válvula de compuerta	2	8fp	0,201248
Tubo recto o reductor con reducción excéntrica	1	0,00041685	0,00041685
<b>TOTAL</b>			<b>0,45739335</b>
<b>PÉRDIDAS PRIMARIAS (m.c.a)</b>	0,0287	0,088	
<b>PÉRDIDAS SECUNDARIAS (m.c.a)</b>	0,0597		
<b>IMPULSIÓN</b>			
Velocidad en la impulsión (m/s)	2,08		
Diámetro tubería de impulsión (mm)	350		
Reynolds	728000	> 4000	Régimen turbulento
f <sub>p</sub> para tubo liso	0,01230		
<b>ACCESORIOS</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>K</b>	<b>K<sub>i</sub></b>
Cono difusor concéntrico	1	0,0002709	0,0002709
Válvula de retención	1	3fp	0,0369
Tubo en T	2	20fp	0,492
Válvula de compuerta completamente abierta	1	8fp	0,0984
Codo de 90° de radio largo	3	20fp	0,738
<b>TOTAL</b>			<b>1,3655709</b>
<b>PÉRDIDAS PRIMARIAS (m.c.a)</b>	1,1636	1,465	
<b>PÉRDIDAS SECUNDARIAS (m.c.a)</b>	0,3014		
<b>H<sub>Total</sub> (m.c.a)</b>	<b>1,553</b>		
<b>H<sub>ÚTIL</sub> (m.c.a)</b>	<b>86,879</b>		

*Características del cálculo pérdidas de carga*

Se obtiene una altura útil o manométrica total de:

$$H_{\text{ÚTIL}} = \frac{750000 \text{ pa} - 100000 \text{ pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + (20 - 1) + 1,553 \text{ m.c.a} = \mathbf{86,879 \text{ m.c.a}}$$

Con los datos de caudal igual  $730 \text{ m}^3/\text{h}$  y de altura manométrica total de  $90 \text{ m.c.a.}$  se selecciona un grupo de presión eléctrico-diésel, equipado con dos bomba centrífugas principales eléctricas tipo NCH 125-250/278 seleccionadas de la gama del fabricante Caprari, dos bombas centrífugas auxiliares diésel con las mismas características, y una bomba de presurización tipo Jockey.

### Bombas centrífugas mono rodete normalizadas

Las bombas normalizadas serie NCH

Normativas de referencia:

Serie NCH - EN 22858 - ISO 2858

Límites de empleo	
Temperatura máx.	+ 90° C
Temperatura mín.	- 10° C
Presión nominal (con bridas según UNI 2223 PN16)	10 bar (16 bar)*
Velocidad de rotación máx.	g/min 3000

#### CUERPO BOMBA

Fundición

CARCASA

Fundición

RODETE

Fundición / inox. AISI 316

EJE

Acero inox. AISI 420

BUJE DEL EJE

Acero inox.

SOPORTE

Fundición

ANILLO SEDE RODETE

Fundición

PIE DE APOYO

Acero al carbono

TUERCA BLOQUEO RODETE

Acero inox.

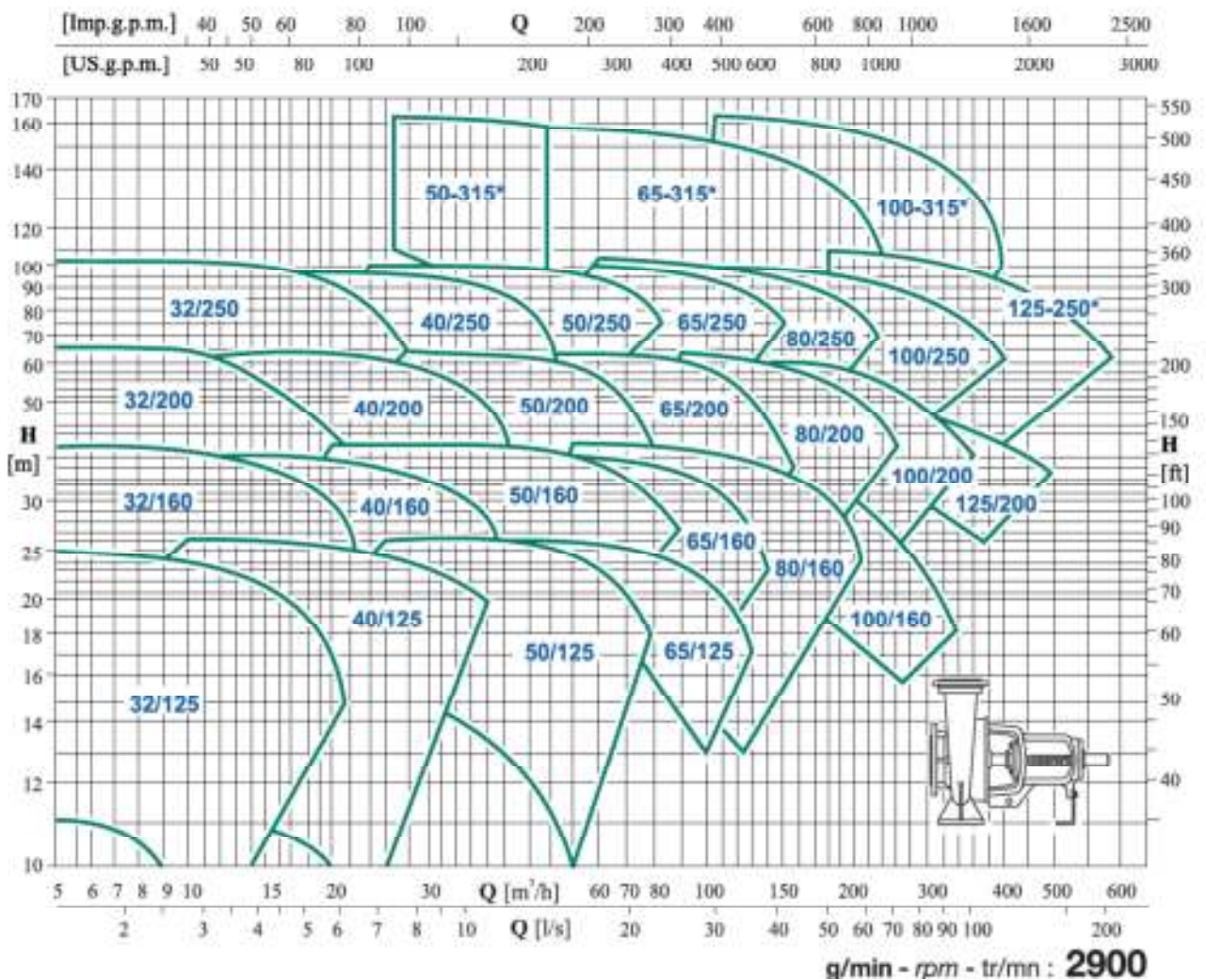
CIERRE MECANICO

Grafito/Carburo de silicio



2.900 g/min

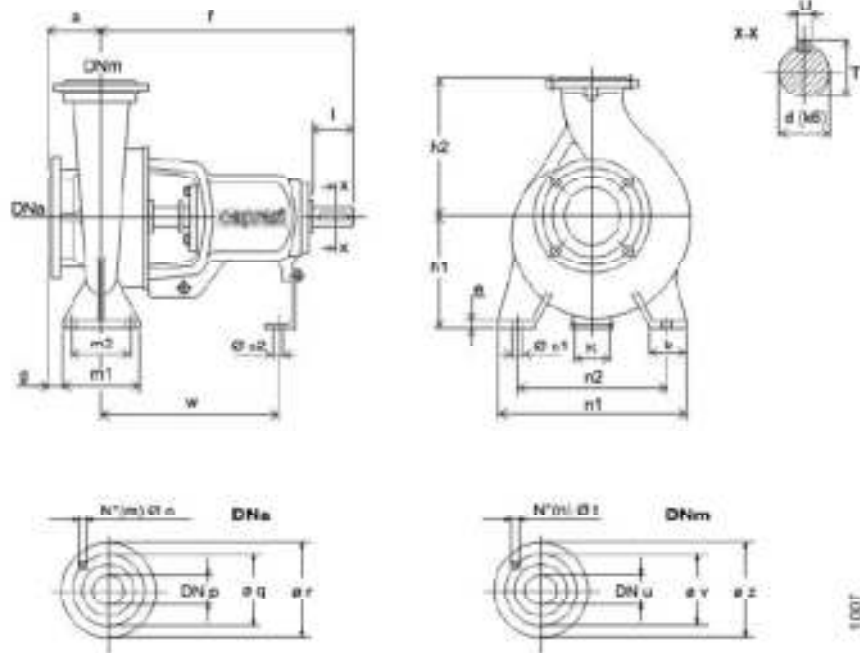
	DN m	DN a	Potencia absorbida NPSH 16 kW	Caudal $\frac{m^3/h}{l/s}$													
				0	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640		
				0	66,6	77,7	88,8	100	111	122	133	144	156	167	178		
				Total altura manométrica													
NCH125-250/222	125	150	59	57	55	52	47,5	43									
NCH125-250/236	125	150	69	67,5	66	62,5	59	54	48	44							
NCH125-250/250	125	150	80	79	77,5	75	72	67,5	62,5	58	52,5						
NCH125-250/264	125	150	91	90	89	87	84	80	75	72	67	61					
NCH125-250/278	125	150	102	101	100	99	97,5	95	91	87,5	83	77,5	71	62,5			
(los valores se refieren al rodete máximo) NPSH m				1,9	2	2	3	4	5,5	6,2	8	9	11	13			





Boca DNa (p)	φ r	φ q	Orificios
	[mm]		
32 (LNE PN16)	140	100	4
40 (LNE PN16)	150	110	
50 (LNE PN16)	165	125	
65 (LNE PN16)	185	145	
80 (LNE PN16)	200	160	8
100 (LNE PN16)	220	180	
125 (LNE PN16)	250	210	
150 (LNE PN16)	265	240	22
200 (LNE PN16)	340	295	
250 (LNE PN16)	405	355	26
300 (LNE PN16)	460	410	

Boca DNm (u)	φ z	φ v	Orificios
	[mm]		
32 (LNE PN16)	140	100	4
40 (LNE PN16)	150	110	
50 (LNE PN16)	165	125	
65 (LNE PN16)	185	145	
80 (LNE PN16)	200	160	8
100 (LNE PN16)	220	180	
125 (LNE PN16)	250	210	
150 (LNE PN16)	265	240	22
200 (LNE PN16)	340	295	
250 (LNE PN16)	405	355	26
300 (LNE PN16)	460	410	

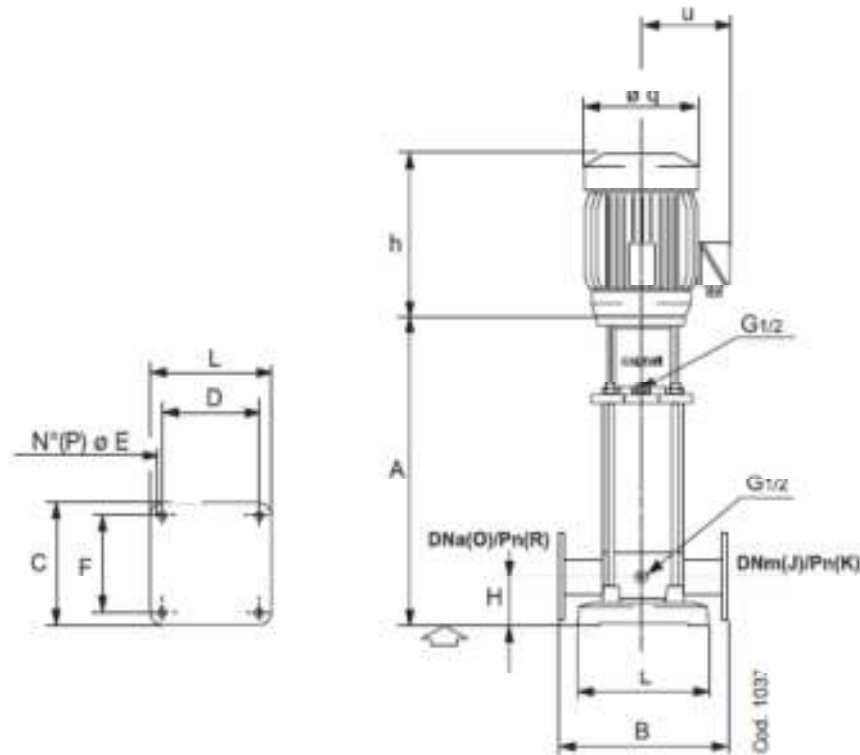
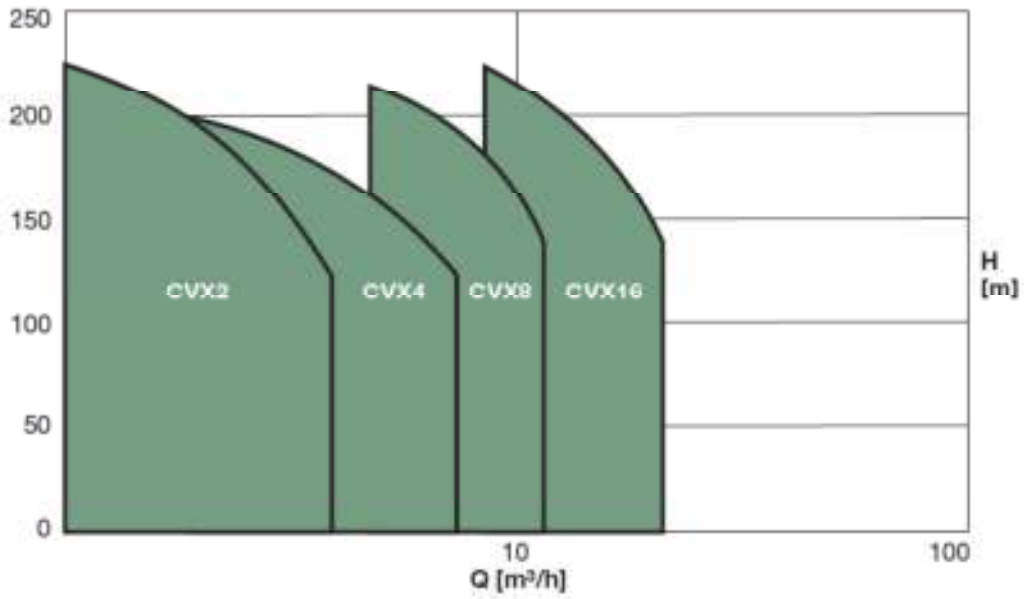


TIPO	DIMENSIONES BOMBA				DIMENSIONES PIE DE APOYO								SALIDA EJE				TAPONES	PE10					
	DNa	DNm	a	f	h1	h2	b	e	m1	m2	g	n1	n2	K	w	s1	s2	d	l	T	U	[kg]	
NC125-200	150	125	140	470	250	315	80	16	100	120	60	400	315	110	340	18	14	32	80	35	10	G3/8x3	100
NCH125-250	150	125	140	530	250	355	80	-	160	120	-	400	315	110	370	M16	M12	42	110	45	12	-	-

Se recomienda que el equipo jockey esté capacitado para suministrar del 2% al 10% del caudal de la bomba principal. En nuestro caso se ha optado por un caudal para la bomba jockey igual a 21,9 m<sup>3</sup>/h, que es el 3% del caudal de la bomba principal. Con lo cual, y para la misma altura útil (90 m.c.a.), se selecciona la bomba jockey CVX161/12 del fabricante Caprari con un caudal de 23,4 m<sup>3</sup>/h y 94 m.c.a.

### CVX 02 - 04 - 08 - 16

TIPO DE ELECTROBOMBA		POTENCIA MOTOR		CAUDAL																		
Monofase	Trifase	kW	CV	l/s m <sup>3</sup> /h l/min																		
				0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4	5	6	6,5
				0	0,7	1,4	2,2	2,9	3,6	4,3	5	5,8	6,5	7,2	8,6	10,1	11,5	13	14,4	16	21,6	23,4
				0	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	144	168	192	216	240	300	360	390
				ALTURA MANOMETRICA TOTAL EN METROS																		
CVX161Q-E0220M211	CVX161Q-E0220T211	2,2	3	28																		
	CVX161Q-F0300T211	3	4	42																		
	CVX161M-F0400T211	4	6,5	66																		
	CVX161M-F0550T221	5,5	7,5	75																		
	CVX161M-F0750T221	7,5	10	113																		
	CVX161Q-E1100T221	11	15	170																		
	CVX161V16-F1500T221	15	20	227																		
NPSH m				1,0																		
				1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,9	2,6	3,2										



Tipo	A	B	C	D	E	F	H	J	K	L	O	P	R	h	q	u	Peso
CVX051/5+E0220M211	490		250	130	14	215			25	200		4	25	410	190	155	52,5
CVX161/2+E0220T211	415													267	195	155	42
CVX161/3+F0300T211	455													346	215	170	64
CVX161/4+F0400T211	500													299	240	193	72
CVX161/6+F0550T221	615	300												426	275	213	99,5
CVX161/8+F0750T221	700						90	50			50			535	315	255	104,5
CVX161/12+F1100T221	905													535	315	255	104,5
CVX161/15+F1500T221	1085													535	315	255	104,5
CVX161/2+E0220M211	415													260	174	130	52

### 1.3.4.7. Sistema de arranque del grupo de bombeo

El arranque de los equipos de bombeo está gobernado por los presostatos que controlan la variación de presión en la red, la misma que se mantendrá continuamente presurizada por la bomba jockey, para prevenir la puesta en marcha de la bomba principal cuando no sea necesario.

La bomba jockey se pondrá en marcha y se detendrá de forma automática mediante una señal de presostato regulado entre dos valores de mínima y máxima presión. También hará frente a pequeñas demandas o posibles fugas de la red.

La bomba jockey se detendrá cuando exista necesidad grande de agua, por un incendio, y la presión descienda lo suficiente como para que entre en funcionamiento el presostato del grupo principal eléctrico, al actuar uno de los sistemas contra incendios.

En caso de que exista un corte del suministro eléctrico debido al incendio, la presión disminuirá hasta poner en funcionamiento el presostato del grupo diésel, que continuará con el suministro de agua a la red, por su autonomía energética.

A continuación se detallan las características de arranque de los grupos de bombeo:

- Arranque automático del primer grupo de bombeo cuando la presión en el colector general descienda a un valor no inferior a  $0,8 P_0$  (presión a caudal cero).
- Para dos o más grupos de bombeo, el último debe arrancar antes de que la presión baje a un valor no inferior a  $0,6 P_0$ .
- Cuando ya se encuentran arrancadas las bombas deben continuar trabajando hasta que se paren manualmente.
- La bomba Jockey debe tener un valor de arranque automático a  $0,9 P_0$ , y pararse automáticamente a una presión comprendida entre 0,8 bar y 1,5 bar por encima del arranque.
- La parada deberá estar retardada con una temporización de entre 10s y 20 s.

	ARRANQUE	Automático
	PARADA	Manual
Presión a caudal cero ( $P_0$ )	m.c.a	102
	bar	10
<b>UN GRUPO DE BOMBEO</b>		
Arranque primer grupo de bombeo a una presión mayor a	$0,8 P_0$	8
<b>DOS O MÁS GRUPOS DE BOMBEO</b>		
Arranque primer grupo de bombeo a una presión mayor a	$0,8 P_0$	8
Arranque del último grupo de bombeo a una presión mayor a	$0,6 P_0$	6
<b>BOMBA JOCKEY</b>		
Arranque a	$0,9 P_0$	9
Parada a	$0,9 P_0 + [0,8 \text{ bar} - 1,5 \text{ bar}]$	
Retardo parada bombas con una temporización entre 10 s y 20 s		

*Sistemas de arranque y parada de los grupos de bombeo seleccionados*

#### **1.3.4.8. Instalación**

El grupo de bombeo será emplazado en un edificio independiente con las siguientes características:

- De fácil acceso
- Destinado exclusivamente a la protección contra incendios
- Protegido contra incendios y otros riesgos
- Con instalación de sistema de drenaje

La sala de bombas ocupa una superficie de 50 m<sup>2</sup>. Y dicha sala se mantendrá a una temperatura no inferior a 4 °C y no superior a 40 °C. La temperatura del agua será siempre menor a 40 °C.

#### **1.4. Red de tuberías**

Las bases para las tuberías de la instalación contra incendios que serán de obligado cumplimiento se recopilan en diversas normas y se resumen de la manera siguiente:

- ITM MI IP-02

Las tuberías de la red de agua contra incendios serán de acero con o sin soldadura, y estarán protegidas contra la corrosión (UNE 23521), seguirán en la medida de lo posible el trazado de las calles, y la presión mínima de la conducción será de 7,5 kg/cm<sup>2</sup>.

- UNE 23500

Para sistemas con más de seis salidas, la instalación de la red de agua debe ser en anillo, con diámetro constante y con válvulas de seccionamiento cada seis salidas para el correcto aislamiento de las secciones (ITM MI IP-02).

Para redes en anillo, las impulsiones de las bombas deben conectarse a la red de forma independiente con válvulas de seccionamiento.

- UNE 23502

La presión mínima de trabajo de las tuberías será de 12 bar.

Se utilizarán tuberías galvanizadas excepto cuando este tipo de protección pueda ser atacado por atmósferas corrosivas, por el agua o por los aditivos de ésta.

Los accesorios serán de acero, fundición dúctil o maleables, y serán los aptos para usarse en sistemas contra incendios a una presión de trabajo mínima de 12 bar. Cuando las tuberías sean galvanizadas, los accesorios también lo serán.

Las válvulas serán del tipo normalizado. Y dicha norma recomienda que cualquier válvula cuyo cierre pueda suponer el bloqueo del paso de agua, lleve una supervisión de su posición, produciendo una alarma cuando esté cerrada.

- UNE 23503 / UNE 23506

La velocidad de las tuberías de conducción de agua no excederán los 8 m/s.

Las tuberías tendrán las calidades marcadas por la UNE 19045 y UNE 27650, con espesores II y III.

Para los cálculos hidráulicos de las tuberías se utilizará lo establecido en la *UNE 23506*.

- UNE 23521

Las tuberías de espumante tendrán una pendiente del 4% hacia el muro del cubeto, para que drenen, y una purga en su parte más baja que permitirá el vaciado total del sistema, localizada fuera del cubeto de contención.

Las tuberías del sistema de espuma deben estar normalmente vacías.

En la selección del diámetro de las tuberías que conducen solución espumante o agua, deberá tomarse en cuenta una presión mínima disponible a la entrada de la cámara de espuma de 3,5 bar. Deben seleccionarse de forma que permitan la salida del caudal adecuado en las bocas de descarga.

Las pérdidas de carga en tuberías de agua y espumante deben calcularse por la fórmula de Hazen-Williams, tomando un valor de C igual a 120, o cualquier otro método alternativo de igual efectividad.

- UNE 23523

Se recomienda enterrar las tuberías contenidas dentro de los cubetos de contención a una profundidad mínima de 0,30 m. Y si se instalan en el exterior para facilitar su inspección y mantenimiento, sólo pueden atravesar el cubeto del tanque o tanques que protegen.

En el caso de tanques atmosféricos de almacenamiento de cúpula fija con o sin membrana interna flotante y en los de cúpula flotante, la alimentación de solución espumante se llevará a cabo por medio de tuberías independientes para cada cámara de espuma, conectadas a sistemas de generación de solución espumante fijos o semi-fijos.

Basándonos en todas estas normas se procede a dimensionar las tuberías de la instalación.

Para la red de tuberías, se considera una distribución en anillo y dos flujos independientes: uno de tuberías de agua y otro flujo de tuberías de espumante.

Dicha red estará formada esencialmente por los tramos de tubería de diámetro constante vinculados en uniones a las válvulas o accesorios requeridos por la red (conexiones en T, codos, reductores, difusores, válvulas de compuerta, válvulas de retención, bombas, etc.).

La presencia de las válvulas y accesorios provocan pérdidas de carga en el sistema de tuberías. Estas pérdidas de carga se pueden diferenciar en las pérdidas debidas al esfuerzo cortante de la pared en los elementos de la tubería debido al movimiento del fluido de la tubería (pérdidas primarias) y las pérdidas debidas a los accesorios de la tubería (pérdidas secundarias).

En el apartado 1 1.2.4.6. Altura útil, efectiva o manométrica total de la bomba, se han calculado unas pérdidas totales en el sistema completo de 2,921 m.c.a (0,2921 bar), mediante aplicación de la ecuación de Darcy-Weisbach para el cálculo de las pérdidas primarias del sistema, ecuación de Blasius como método alternativo al ábaco de Moody, para el cálculo del factor de fricción en tuberías y la utilización del coeficiente adimensional de pérdida de carga ( $k_0$ ), para el cálculo de las pérdidas secundarias del sistema. De la suma de ambas (pérdidas primarias y secundarias), se obtienen las pérdidas totales del sistema.

#### **1.4.1. Tuberías de agua**

Para el trasiego de agua, la velocidad del flujo no debe ser mayor a 8 m/s.

Utilizando el caudal conducido y los cálculos hidráulicos recogidos en las norma UNE 23506 y NFPA 15, se obtendrá el valor del diámetro de las tuberías y de las velocidades en ellas.

Los tramos de tubería de la instalación se recogen en la siguiente tabla:

TRAMOS DE TUBERÍA	TUBERÍA
1-2	Aspiración
2-3	De cono reductor a brida de aspiración bomba
3-4	De brida impulsión a cono difusor
4-5	Impulsión
5-6	Puesto de control agua
6-7	De puesto de control a anillos
7-8	Anillos principales
8-9	Anillo hidrantes

*Tramos de tubería de la red de agua*

Se realizan los cálculos del valor del diámetro de tubería del anillo de refrigeración principal del tanque T-120 (uno de los más restrictivos), utilizando las ecuaciones siguientes, teniendo en cuenta, una velocidad máxima en la tubería de 8 m/s, marcada por la norma UNE 23503.

Ésta es la seleccionada para el diseño de la tubería, ya que de este modo, eligiendo el valor más grande posible, se obtiene un diámetro más pequeño y una reducción en el uso de material.

$$Q_{\text{flujo en tubería}} = S \times v$$

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{Q}{v}$$

Dónde:

S → Sección de tubería circular (m<sup>2</sup>)

v → velocidad de flujo en tubería (m/s)

Q → Caudal de flujo en la tubería (flujo en el anillo en L/min)

D → Diámetro de tubería (m)

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}} = \sqrt{\frac{4 \times 1866,15}{\pi \times 8 \times 60 \times 1000}} = 0,070 \text{ m} = 70 \text{ mm (2,75")}$$

Para este diámetro interior no existe valor normalizado estándar, por lo que se elige el valor superior correspondiente a un diámetro interior de 77,9 mm (3") y diámetro exterior igual a 88,9 mm (3,5") (DN-100, cédula (Schedule) 40 y tipo estándar). El espesor normalizado es 5,40 mm. Para este diámetro interior se obtiene una velocidad de 6,5 m/s.

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times \emptyset^2} = \frac{4 \times 1866,15}{\pi \times 60 \times 1000 \times 0,0779^2} = 6,5 \text{ m/s}$$

En la tabla siguiente se muestran los diámetros de tubería y las velocidades seleccionados para los anillos principales de todos los tanques.

Producto	Tanque	Número de anillos	CAUDAL + 10% gradiente hidráulico (l/min)	Diámetro Interno Mínimo Anillo		Diámetro Interno Utilizado Anillo		Espesor mm	Velocidad m/s
				mm	"	mm	"		
Gasóleo (GO)	T-110	1	1866.15	70	2,75	77,9	3	5,4	6,5
	T-111	1	1866.15	70	2,75	77,9	3	5,4	6,5
Gasolina sin plomo (GA) 95	T-120	1	1866.15	70	2,75	77,9	3	5,4	6,5
Gasolina sin plomo (GA) 98	T-121	1	1866.15	70	2,75	77,9	3	5,4	6,5

*Diámetros de tubería de los anillos principales en tanques incendiados*

Todas las tuberías seleccionadas son de tipo estándar con cédula (Schedule) 40.

El diámetro del puesto de control de agua se ha establecido en 8" teniendo en cuenta el caudal total necesario para el sistema de hidrantes y el de refrigeración de los tanques, además de la velocidad máxima de 8 m/s.

El valor de los diámetros de cada uno de los tramos de la red de agua se muestra en la tabla siguiente. Se han calculado teniendo en cuenta primero el caudal a mover por la tubería y después la velocidad máxima de 8 m/s.

TRAMOS DE TUBERÍA	TUBERÍA	Diámetro		Caudal	Velocidad
		mm	"	l/min	m/s
1-2	Aspiración	400	16"	12039	1,60
2-3	De cono reductor a brida de aspiración bomba	200	8"	12039	6,39
3-4	De brida impulsión a cono difusor	300	12"	12039	2,84
4-5	Impulsión	200	8"	12039	6,39
5-6	Puesto de control agua	200	8"	12039	6,39
6-7	De puesto de control a anillos	80	3"	1866,15	6,19
7-8	Anillos principales	80	3"	1866,15	6,19
8-9	Anillo hidrantes	80	3"	2310	7,66

*Diámetros de la red de agua contra incendios*

### 1.4.2. Tuberías de espumante

Los tramos de tubería de la instalación se recogen en la siguiente tabla:

TRAMOS DE TUBERÍA	TUBERÍA
1'-2'	Agua para espuma
2'-3'	Mezclador-Proporcionador 1
3'-4'	Mezclador-Proporcionador 2
4'-5'	Puesto de control de espumante
6'-7'	De puesto de control a cámaras de espuma
5'-6'	Anillo vertederas de espuma

*Tramos de tubería de la red de espuma*

El diámetro de los diferentes tramos, en base del caudal transportado y las especificaciones de los diferentes equipos se muestra en la tabla siguiente, donde el caudal de agua es mayor al caudal de espumante porque lleva incluido un 10% más por seguridad.

TRAMOS DE TUBERÍA	TUBERÍA	Diámetro interno		Caudal	Velocidad
		mm	"	l/min	m/s
1'-2'	Agua para espuma	200	8	5197,86	2,76
2'-3'	Mezclador-Proporcionador 1	200	8	2435,74	1,29
3'-4'	Mezclador-Proporcionador 2	200	8	2435,74	1,29
4'-5'	Puesto de control de espumante	200	8	4871,48	2,58
6'-7'	De puesto de control a cámaras de espuma	100	4	722,0	1,53
5'-6'	Anillo vertederas de espuma	100	4	800,0	1,70

*Diámetros de la red de espuma contra incendios*

La mezcla del espumógeno con el agua se realiza a través de un circuito formado por cuatro tanques de espumógeno distribuidos de dos en dos tanques en paralelo.

Del circuito de impulsión sale la tubería de agua para espuma (5197,86 L/min y 200 mm de diámetro a 2,76 m/s), que se divide en dos, enviando cada línea al proporcionador conectado a los tanques en paralelo.

De los proporcionadores sale la corriente de espumante, y al final ambas se unen para dar lugar a una única corriente de espumante que desemboca en los puestos de control de espumante. Para el caudal de salida de espumante en los proporcionadores (2435,74 L/min= 4871,48/2), se requiere un diámetro de 200 mm (8") y una velocidad de 1,29 m/s.

Las tuberías con diámetro DN-200 son de tipo estándar y tienen un espesor de 8,18 mm y un diámetro exterior de 219,1 mm.

Las tuberías con diámetro DN-100 son de tipo estándar y tienen un espesor de 6,02 mm y un diámetro exterior de 114,3 mm.



### 1.5. Puestos de control

Los diámetros de los puestos de control de agua y de espuma:

RED DE TUBERÍAS	Diámetros	
	mm	”
Agua	200	8
Espumante	200	8

*Diámetros puestos de control*

Los puestos de control son el conjunto de accesorios y valvulería que controlan la activación o descarga automática de los sistemas contra incendios instalados.

Poseen de una cámara de entrada, una de salida y una de cebado, que separa a las dos primeras con una válvula de retención con clapeta que, dependiendo de su posición permitirá o no el paso de agua entre las cámaras de entrada y de salida.

Se ubican aguas arriba del sistema de los aspersores de extinción, impidiendo el flujo de fluido al sistema en posición stand-by, reposo o cuando están en espera de la activación de alguna de las líneas de agua o espuma. Las válvulas están continuamente en carga hasta los colectores de agua y espuma por el funcionamiento de la bomba jockey.

Las electroválvulas de los puestos de control de agua y espuma se conectan a los colectores correspondientes, y son las que se encargan de recibir la señal generada por los dispositivos de detección, con la que se da paso a la activación de las líneas.

Las válvulas se abren instantáneamente cuando se aplica la señal eléctrica a la válvula solenoide o electroválvula y se cierran cuando la señal cesa. En caso de fallo del sistema automático, todas las electroválvulas permitirán la actuación manual del puesto de control.

El funcionamiento de un puesto de control es muy intuitivo. Cuando una o varias líneas se abren, el panel de control activa una alarma provocando que se abra la válvula solenoide. Se provoca, en ese instante, una despresurización de la cámara de diafragma, se abre la clapeta de la válvula de retención y el agua fluye hacia el sistema de extinción, al mismo tiempo que se activa el circuito auxiliar de alarma con el paso del agua.

El sistema se encuentra en reposo cuando la presión en la cámara del diafragma es igual a la presión a la entrada de la válvula y el paso del agua hacia el sistema de extinción permanece cerrado.

El sistema entra en funcionamiento cuando se emite la alarma. En aquel momento las electroválvulas o válvulas solenoides entran en funcionamiento y la presión en la cámara del diafragma se hace menor que en la entrada de la válvula (reduciéndose la presión hasta el mínimo tarado para la entrada en funcionamiento), produciendo que la clapeta se abra y permita el paso del agua hacia el sistema de protección en cuestión.

Los manómetros marcan las presiones antes y después de la clapeta. El manómetro superior debe tener más presión que el inferior.

## 1.6. Resumen de la instalación contra incendios diseñada

La instalación de protección contra incendios diseñada, se fundamenta en la protección superficial, con espuma física de baja expansión, del interior de los tanques de combustible y del cubeto, y en la refrigeración de la envolvente de los tanques incendiados y contiguos, aplicando agua pulverizada.

Al mismo tiempo, se dispone de una red de 6 hidrantes exteriores de columna húmeda, distribuidos alrededor de la zona de riesgo, con una cobertura de 40 m de radio desde el emplazamiento del equipo.

Las densidades de descarga, tiempos de aplicación de agua y espuma, y bases para el diseño de los diferentes sistemas, vienen recogidos en las normas, y calculados los apartados específicos anteriores.

El caudal total de agua necesario es de 722,34 m<sup>3</sup>/h, y la reserva mínima de agua es **2712,7 m<sup>3</sup>**. El depósito necesario para el abastecimiento del agua tiene dimensiones exteriores de 38,11 m de largo y 18,00 m de ancho, con muros de 5,7 m de altura desde losa de fondo a coronación, y capacidad geométrica de 3280,5 m<sup>3</sup>; y suministra agua al colector de aspiración de las bombas a través de una tubería DN 400 (16") Ø.

Para la impulsión del caudal de agua necesario, se ha seleccionado un grupo de bombeo compuesto por dos bombas principales eléctricas, centrífuga horizontal, de 730 m<sup>3</sup>/h de caudal nominal, dos bombas auxiliares diésel de características iguales y una bomba Jockey de presurización, de 23,4 m<sup>3</sup>/h y 11 kW, para hacer frente a las pequeñas pérdidas del sistema, y evitar la entrada en funcionamiento de la bomba principal. La bomba Jockey será capaz de mantener la red a la presión mínima de 7,5 kg/m<sup>2</sup> definida por la norma.

La generación de espuma, con relación de expansión 7, se realiza a partir de una mezcla al 3% v/v de espumógeno con un 97% v/v de agua. El espumógeno es almacenado en la caseta DCI, en cuatro depósitos verticales de 10 000 L cada uno, conectados en pares en paralelo, y suministrando líquido espumógeno a la red a través de un proporcionador de 200 mm de diámetro (8").

### - Red de Agua

La red de agua queda distribuida en anillo. Toda la red de suministro de agua a los diferentes equipos, desde el puesto de control, tiene un diámetro de tubería de 4".

La red parte de la tubería de aspiración del depósito de abastecimiento de agua al colector de aspiración de las bombas, desde las que sale el circuito de impulsión hacia el puesto de control de agua con válvulas de tipo diluvio, de activación automática o manual.

Desde el puesto de control de agua se distribuyen las líneas hacia el cubeto de contención, donde se produce la bifurcación y distribución en forma de anillo, hacia los boquillas pulverizadoras de agua en los tanques, y las bocas de descarga de los hidrantes exteriores en el cubeto. Los hidrantes seleccionados son de columna húmeda DN-100, con dos salidas de 70 mm (2,5") y una de 100 mm (4"), para la descarga de un caudal de 350 L/min.

### - Red de Espuma

La red de espuma comienza con la línea de agua que parte del colector de impulsión de las bombas hacia los proporcionadores de espumógeno, donde se produce la mezcla al 3% v/v de espumógeno con agua para producir espumante.

La red prosigue hacia el puesto de control de espumante, con válvulas tipo diluvio de activación automática o manual, con válvula de retención y corte cada una. Desde allí parten las líneas hacia la red de 4 monitores de espuma alrededor del cubeto, y hacia las cámaras de formación de espuma en cada uno de los tanques almacenados.

## **1.7. Conclusiones**

Hoy en día resultaría inexplicable que una instalación como la que nos ocupa, almacenamiento de productos petrolíferos, se pudiera plantear el mínimo resquicio como para renunciar a la protección contra incendios.

Esto no sería solo únicamente porque la ley obliga a disponer de medios de extinción de incendios en las instalaciones, sino porque las compañías son muy conscientes del gran coste humano, material, social y ambiental que supondría el desarrollo de un incendio, comparado con el coste irrisorio necesario para efectuar la protección.

Se ha diseñado un sistema para combatir el fuego desde un punto de vista lo más práctico posible, basándonos en las características de la instalación y todos los datos aportados por la normativa.

Las opciones elegidas nos llevan a que la solución del problema requiere caudales grandes de agua y espuma, imposibles de abastecer de forma inmediata, sin la intervención de los medios fijos de lucha contra incendios.

Teniendo en cuenta que, en el caso de no acudir a los sistemas fijos de extinción de incendios, las consecuencias se habrán vuelto innumerables, para el momento en que la comunicación de incendios llegue al puesto de bomberos más próximo.

## 1.8. Bibliografía

- ITC MI-IP02 "Parques de Almacenamiento de Líquidos petrolíferos". RD 1562/1998, de 17 de julio por el que se modifica la Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 "Parques de Almacenamiento de Líquidos petrolíferos". Madrid, España: Ministerio de Industria y Energía.
- UNE 23500 "Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios". AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).
- UNE 23503 "Sistemas fijos de agua pulverizada". AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).
- NFPA 15 "Standar for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection". National Fire Protection Association (NFPA).
- ITC MIE APQ-001 "Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles". Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.
- NBE-CPI/96 "Condiciones de Protección Contra Incendios en los edificios". RD 2177/1994, de 4 de octubre. Madrid, España: Ministerio de Fomento.
- Sistemas de Espuma – Baja Expansión, Media Expansión, Alta Expansión. Martin Workman.
- Guía técnica. Selección de equipos de transporte de fluidos. España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- ASME B36.10M-2004. Welded and Seamless Wrought Steel Pipe. The American Society of Mechanical Engineers.
- NFPA 11- Standar for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam. National Fire Protection Association.
- RD 2267 "Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Instalaciones Industriales". España: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- "Manual de Bombeo". Grundfos Industria.
- "Bombas y electrobombas para grupos contra incendio". Catálogo Caprari.