

Diseño y dimensionamiento de una red
contra incendios y sistema de bombeo para
campo de depósitos de refinería localizada en la
costa mediterránea.

Autor: Mario Muñoz Barbero

Tutor: Sergio Chiva Vicent

09 de Mayo de 2019

Índice

Índice de ilustraciones.....	7
Índice de tablas.....	10
Palabras clave.....	14
Estructura del documento.....	16
Memoria.....	18
Introducción:	19
Alcance:	20
Aspectos Generales:	21
Punto de partida:	23
Productos almacenados	24
Justificación:	29
Descripción de la instalación diseñada	30
Sistemas contra incendios	30
Sistemas fijos de espuma	31
Sistemas de agua pulverizada	32
Hidrantes exteriores	34
Sistemas adicionales	35
Sistema de bombeo	35
Red de agua	36
Reservas de agua y espumógeno	37
Presupuesto	38
Conclusión:	39
Fundamentos Teóricos:	41
Clasificación de los productos petrolíferos e inflamables:	41

Tipos de Tanques:	42
Medios de Protección Contra Incendios en tanques:	46
Normativa aplicable	53
Referencias	55
Anexos	59
Anexo complementario a los cálculos hidráulicos	60
Ecuación de Bernoulli y Ley de la Termodinámica:	60
Anexo A: Análisis de Riesgos y medios de protección	73
Introducción	73
Estrategias de seguridad, escenarios de incendio y riesgos	73
Nivel de riesgo intrínseco y carga de fuego del establecimiento industrial	81
Sistemas de lucha contra incendios	92
Mantenimiento de los equipos y revisiones	109
Resumen	117
Anexo B: Demandas de agua y espumógeno	118
Introducción	118
Demandas de agua y espumógeno	119
Reservas	147
Resumen	156
Anexo C: Sistemas de bombeo	158
Introducción	158
Selección del grupo de bombeo	160
Cámara y foso de aspiración de la fuente inagotable	170
Circuito de impulsión y aspiración	176
Arranque del grupo de bombeo	184
NPSH requerido/disponible	185
Instalación	199
Resumen	201

Anexo D: Canalizaciones principales de la red contra incendios	203
Introducción	203
Consideraciones previas al dimensionado	203
Presiones disponibles por escenario de incendio	206
Resumen	224
Anexo E: Sistemas de agua pulverizada	225
Introducción	225
Boquillas de agua pulverizada	226
Canalización principal	247
Canalización principal de los cuartos de anillo	259
Anillos y ¼ de anillos	270
Esferas	287
Resumen	301
Anexo F: Sistemas de espuma fijos	303
Introducción	303
Bocas de descarga/cámaras de espuma	304
Conductos de espuma y anillo	313
Conductos desde anillo a bocas	314
Resumen	329
Anexo G: Hidrantes	331
Introducción	331
Número de hidrantes	331
Accesorios	336
Resumen	341
Anexo H: Simulación en EPANET	342
Introducción	342
Simulación de los escenarios	344
Comprobación sistema anillos de las esferas	355

Pliego De Condiciones	358
1 Pliego de condiciones administrativas particulares	359
2 Pliego de cláusulas económicas particulares	381
3 Pliego de condiciones técnicas particulares	392
4 Instalación de protección contra incendios	397
5 Actuaciones a cargo del adjudicatario de mantenimiento	413
Presupuesto	416
Introducción	417
Presupuesto de la instalación	417
Honorarios de ingeniería	420
Presupuesto total de la instalación	420
Planos	421
Catálogos y Fichas Técnicas	432

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Disposición en planta de la refinería. Fuente: Google Maps.....	21
Ilustración 2: Barco Cisterna. Fuente: Ken Hodge. CC.....	45
Ilustración 3: Ejemplo de la relación termodinámica. Fuente: Elaboración propia.....	61
Ilustración 4: Cambio de sección con entrada de C (Caudal). Fuente: Elaboración Propia	62
Ilustración 5: Modelo simplificado tubería. Fuente: Elaboración propia	64
Ilustración 6: Balance de presiones en el tubo. Fuente: Propia	65
Ilustración 7: Ejemplo del factor f función del Reynolds en el diagrama de Moody. Fuente:Usuario Af3 colaboración en Wikipedia . CC.....	69
Ilustración 8: Evolución de los escenarios de incendio en tanques. Fuente:[14].	77
Ilustración 9: Ejemplo de hidrante con monitor de espuma aspirando de bidón de espumógeno.	96
Ilustración 10: Señalización de los sistemas de canalización de la RCI. Fuente: UNE EN 23033-2:2018	106
Ilustración 11: Radios de influencia esferas	122
Ilustración 12: Depósito atmosférico de espumógeno modelo SE-A. Fuente: Catálogo SABO.	148
Ilustración 13: Posición relativa de la reserva de agua (rojo) y los grupos de bombeo (verde).	152
Ilustración 14: Disposición tubos de aspiración en el depósito. Fuente: UNE-EN 23500.	154
Ilustración 15: Distancias mínimas entre tuberías de aspiración a la salida de los depósitos. Fuente: UNE-EN 23500:2018.....	154
Ilustración 16: Vista en alzado para depósito sin pozo ni codo de aspiración. Fuente: UNE-EN 23500:2018.....	155
Ilustración 17: Esquema de conexionado del equipo de bombeo. Fuente: UNE-EN 23500:2018.	159
Ilustración 18: Número y tipos de accionamiento del grupo de bombeo. Fuente: UNE-EN 23500.....	159
Ilustración 19: Ejemplo del módulo integrado para soluciones industriales de KSB. Fuente: KSB página web.....	163
Ilustración 20: Carta de selección del tamaño de la bomba. Fuente: Catálogo de KSB.....	164

Ilustración 21: Curvas de rendimiento y eficiencia bomba CPKN; n=1450 rpm. Fuente: catálogo KSB.....	166
Ilustración 22: Diámetros mínimos de tubo de aspiración. Fuente: UNE-EN 23500:2018. ...	173
Ilustración 23: Cámaras y fosos de aspiración en fuentes inagotables. Abastecimiento por conducto. Fuente: UNE-EN 23500:2018.	175
Ilustración 24: Reducción excéntrica del circuito de aspiración. Fuente: UNE-EN 23500:2018.	177
Ilustración 25: Tubo ampliador del circuito de impulsión. Fuente: UNE-EN 23500:2018.....	180
Ilustración 26: Ejemplo de equipo doble de bombeo con 2 grupos de bombeo y elementos del circuito de aspiración/impulsión. Fuente: UNE-EN 23500:2018.....	181
Ilustración 27: Cuadro de control y arranque módulo EDS. Fuente: Catálogo KSB.....	184
Ilustración 28: Representación simplificada del circuito de aspiración con cotas. Fuente: Elaboración propia.	188
Ilustración 29: Pérdidas de carga en centímetros columna de agua en la válvula de pie. Fuente: IBAPOL [36]	189
Ilustración 30: Valores de la variable K y longitud equivalente para accesorios en tubería. Fuente: [13].	189
Ilustración 31: Reducción brusca, valores de K y longitud equivalente. Fuente: [13].	190
Ilustración 32: Relación presión de vapor en m.c.a según su temperatura. Fuente: UNE-EN 23500:2018.....	192
Ilustración 33: Diagrama simplificado de la conexión del depósito por equipo de bombeo. Fuente: Elaboración propia.	194
Ilustración 34: Tubo ampliador gradual con valores de λ . Fuente:[13].....	210
Ilustración 35: Puntos de análisis del circuito de la bomba.	212
Ilustración 36: Boquilla pulverizadora modelo E. Fuente: Catálogo de VIKING.....	226
Ilustración 37: Perfil de descarga de la boquilla modelo E. Fuente:[40].....	229
Ilustración 38: Distancias radiales y axiales modelo E. Fuente:[40].....	230
Ilustración 39: Distancias axiales máximas en metros y ángulos de pulverización de 140°,160° y 180° modelo E. Fuente: Catálogo modelo E de VIKING [40].	231
Ilustración 40: Esquema simplificado de la derivación del anillo principal del sistema de agua pulverizada.	249
Ilustración 41: Esquema de conexión de anillos principales y cuartos de anillo.....	259
Ilustración 42: Tanque con anillo principal de refrigeración dividido.	271
Ilustración 43: Diagrama simplificado del anillo de boquillas.....	272
Ilustración 44: Evolución de la presión en las boquillas tanque 3702.....	280

Ilustración 45: Ejemplo distribución de los anillos en esfera 766.....	288
Ilustración 46: Esquema de los ángulos de instalación en las esferas.	292
Ilustración 47: Cámara de espuma modelo SE-CS. Fuente:[27]	304
Ilustración 48: Vertedera de espuma modelo SE-VF. Fuente: Catálogo de SABO [27].....	305
Ilustración 49: Vertedera de espuma en el tanque fijo modelo SE-VKS. Fuente: Catálogo SABO [27].	305
Ilustración 50: Relación número de hidrantes según el área de incendio.	332
Ilustración 51: Monitor por palanca SE-KM-L. Fuente: Catálogo SABO.	337
Ilustración 52: Lanza SE-FX-A. Fuente: Catálogo SABO.....	338
Ilustración 53: Lanza SE-FX-A-BZ. Fuente: Catálogo SABO.....	339
Ilustración 54: Red mallada de canalizaciones principales de la RCI.	343
Ilustración 55: Modelo general de EPANET incluyendo todos los tanques.	344
Ilustración 56: Recorrido de bombeo en incendio de la esfera 705.....	345
Ilustración 57: Esquema de bombeo del incendio de la esfera 705 en EPANET.....	346
Ilustración 58: Presiones disponibles en incendio sector 28.	346
Ilustración 59: Trazado más largo del escenario de incendio de la esfera 705.....	347
Ilustración 60: Presión disponible en el trazado largo del incendio de la esfera 705.	348
Ilustración 61: Presión disponible con el cambio de diámetro en esfera 705.....	349
Ilustración 62: Recorrido de bombeo desde el grupo de bombeo.	350
Ilustración 63: Presión disponible en incendio del tanque 3703.	351
Ilustración 64: Trazado largo del incendio del tanque 3703.....	352
Ilustración 65: Presión disponible en el trazado largo del incendio del tanque 3703.....	353
Ilustración 66: Recorrido de bombeo del escenario conjunto.	354
Ilustración 67: Escenario de incendio conjunto esferas 705 y 766.....	355
Ilustración 68: Modelo del sistema de agua pulverizada de la esfera 704.....	356

Índice de tablas

Tabla 1: Listado de tanques con productos y dimensiones	27
Tabla 2: Productos clase A.....	86
Tabla 3: Productos clase B.....	87
Tabla 4: Productos clase C y D.....	87
Tabla 5: Áreas de incendios de los tanques.....	88
Tabla 6: Sectores de incendio y sus áreas	89
Tabla 7: Densidades de carga de fuego de las áreas de incendio	90
Tabla 8: Demandas agua refrigeración Clase A. Fuente RD 2085/1994.....	119
Tabla 9: Demandas agua refrigeración Clase B y C. Fuente RD 2085/1994.....	120
Tabla 10: Demandas de agua de refrigeración productos clase B y C. Fuente: ITC MIE-APQ 1	121
Tabla 11: Productos afectados por normativa APQ.....	121
Tabla 12: Esferas afectadas en caso de incendio por esfera.....	123
Tabla 13: Demandas de agua de refrigeración productos clase A	124
Tabla 14: Clase B y C de techo fijo con puntos de inflamación.	126
Tabla 15: Clase B y C de techo flotante con sus volúmenes de producto en m ³	127
Tabla 16: Escenario de incendio y número de tanques afectados	128
Tabla 17: Necesidades de agua de refrigeración tanques de techo fijo.....	130
Tabla 18: Necesidades de agua de refrigeración tanques de techo flotante.	131
Tabla 19: Necesidades de agua de refrigeración tanques normativa APQ.	132
Tabla 20: Caudales de solución espumante de los tanques	135
Tabla 21: Características espumógeno Hydral AR 3-6 M. Fuente: Catálogo espumógenos SABO.....	136
Tabla 22: Caudales de agua y espumógeno para sistemas de espuma.	139
Tabla 23: Número de monitores y sus caudales totales de solución espumante.	141
Tabla 24: Necesidades de espumógeno y agua de los sistemas manuales de espuma.	143
Tabla 25: Necesidades totales de agua para cada sector de incendio.....	145
Tabla 26: Necesidades totales de espumógeno para cada sector de incendio.	147
Tabla 27: Cantidad de agua para el dimensionamiento de la reserva.....	151
Tabla 28: Distancias mínimas del tubo de aspiración en reserva de agua.....	154
Tabla 29: Dimensiones del depósito para la reserva de agua.	155

Tabla 30: Requisitos del grupo de bombeo.	161
Tabla 31: Dimensiones del foso de captación.	174
Tabla 32: Dimensiones del tubo reductor.	178
Tabla 33: Dimensiones del tubo amplificador.....	180
Tabla 34: Escenarios de incendio y sus características de bombeo.	208
Tabla 35: Valores de K de los accesorios en el circuito de impulsión.	209
Tabla 36: Velocidades en los circuitos para los escenarios de incendio.	215
Tabla 37: Presiones disponibles en diferentes puntos del sistema de bombeo.	218
Tabla 38: Presiones disponibles en los puestos de control de cada sector de incendio.....	223
Tabla 39: Modelos de dispersor del modelo E de las boquillas. Fuente: Catálogo VIKING modelo E [40].....	233
Tabla 40: Número de boquillas por tanque.	236
Tabla 41: Modelos de boquilla y presiones necesarias.	238
Tabla 42: Separación entre las boquillas en el anillo principal.	239
Tabla 43: Número de boquillas en los cuartos de anillo.	244
Tabla 44: Valores de K y presiones necesarias en boquillas de los cuartos de anillos.	245
Tabla 45: Separación entre boquillas en los cuartos de anillo.	246
Tabla 46: Necesidades totales de boquillas modelo E, marca VIKING.	247
Tabla 47: Datos iniciales dimensionamiento conexión a anillo.	250
Tabla 48: Rango de diámetros en conductos agua pulverizada.....	254
Tabla 49: Diámetros normalizados con espesores para espesor STD (Sch 40). Fuente:[33]...	254
Tabla 50: Elementos localizados. Fuente:[13].	255
Tabla 51: Presiones en lo alto del anillo y pérdidas en la válvula.....	258
Tabla 52: Diámetros de los colectores de cuartos de anillos.....	262
Tabla 53: Tanques incendiados y los tanques que afectan.	264
Tabla 54: Datos iniciales del dimensionamiento de la conexión a los cuartos de anillo desde colector.	266
Tabla 55: Diámetros normalizados de las desviaciones del 1/4 anillo.....	268
Tabla 56: Presiones y pérdidas en los cuartos de anillos.	270
Tabla 57: Pre-dimensionamiento de los diámetros en anillos principales.	278
Tabla 58: Diámetros seleccionados en las ramas de los anillos principales.	279
Tabla 59: Presiones necesarias en la entrada de las ramas del anillo principal.....	282
Tabla 60: Pre-dimensionamiento de los diámetros en los cuartos de anillo..	284
Tabla 61: Diámetros seleccionados en los cuartos de anillo.	285

Tabla 62: Presiones necesarias en la entrada de los cuartos de anillo.....	287
Tabla 63: Datos constructivos de las esferas y sector de incendio.....	289
Tabla 64: Radio de los anillos de las esferas.....	293
Tabla 65: Número de boquillas en los anillos de las esferas.....	294
Tabla 66: K seleccionadas y presiones nominales de las boquillas de las esferas.....	294
Tabla 67: Ángulos de instalación de las boquillas de las esferas.....	294
Tabla 68: Caudales por boquillas y caudales por los anillos de las esferas.....	295
Tabla 69: Datos iniciales dimensionamiento conexión principales en esferas.....	296
Tabla 70: Diámetros de las conexiones desde puesto de control a alto esfera.....	296
Tabla 71: Diámetros normalizados de bajante a anillo 1 de las esferas.....	297
Tabla 72: Diámetros normalizados de bajante a anillo 2 de las esfera.....	297
Tabla 73: Diámetros normalizados de bajante a anillo 3 de las esfera.....	298
Tabla 74: Diámetros normalizados de bajante a anillo 4 de las esfera.....	298
Tabla 75: Diámetros de las ramas del anillo 1 de las esferas.....	299
Tabla 76: Diámetros de las ramas del anillo 2 de las esferas.....	299
Tabla 77: Diámetros de las ramas del anillo 3 de las esferas.....	300
Tabla 78: Diámetros de las ramas del anillo 4 de las esferas.....	300
Tabla 79: Variación de la presión respecto a entrada en las ramas de los anillos en las esferas.	300
Tabla 80: Número de salidas de espuma en función del diámetro de tanque de techo fijo. Fuente: [42]......	306
Tabla 81: Modelos disponibles de cámara de descarga.....	308
Tabla 82: Número de bocas de descarga y su distanciamiento.....	310
Tabla 83: Modelos de las cámaras de espuma para los tanques.....	311
Tabla 84: Vertedoras de espuma modelos y número.....	312
Tabla 85: Datos iniciales dimensionamiento conductos de solución espumante.....	316
Tabla 86: Umbral de diámetros del conducto principal sistema espuma.....	319
Tabla 87: Elementos localizados canalización principal espumante. Fuente: [13]......	319
Tabla 88: Diámetros normalizados seleccionados para el conducto principal del sistema espumante.....	321
Tabla 89: Diámetros normalizados de las ramas de los anillos del sistema espumante.....	323
Tabla 90: Presiones disponibles en las bases de las bocas de descarga de espuma.....	324
Tabla 91: Pérdidas por fricción para cumplir 5 bar en cabeza de la boca.....	325
Tabla 92: Diámetros para cumplir condición de 5 bar en línea ascendente.....	326
Tabla 93: Diámetros normalizados seleccionados para las líneas ascendentes.....	327

Tabla 94: Número de hidrantes en función del área de incendio.	335
Tabla 95: Hidrantes totales en función del sector de incendio.....	336
Tabla 96: Accesorios y monitores de los hidrantes en función del sector de incendio.	340
Tabla 97: Presupuesto total de la instalación.	420

Palabras clave y abreviaturas

- 1 **RSCIE** – Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales
- 2 **RIPCI** – Reglamento de Instalaciones de Protecciones Contra Incendio
- 3 **RCI** – Red Contra Incendios
- 4 **m.c.a** – Metros Columna de Agua
- 5 **NPSH_r**- Net Positive Suction Head Requerido
- 6 **NPSH_d** – Net Positive Suction Head Disponible
- 7 **RD** – Real Decreto
- 8 **ITC** – Instrucción Técnica Complementaria
- 9 **NFPA** – National Fire Protection Association
- 10 **DN** – Diámetro nominal
- 11 **Cubeto** – Recipiente estanco cuya misión es retener los productos almacenados en caso de rotura del depósito u otra causa que cause una fuga
- 12 **Presión absoluta** – Suma de la presión relativa y la atmosférica
- 13 **Presión atmosférica** – Es la presión que ejerce la atmósfera por unidad de superficie. Con valor de 10,33 metros columna de agua a nivel del mar o 1,033 kg/cm²

Estructura del documento

El presente documento se estructura en tres bloques:

- **Primer bloque:**

Se definirán los puntos de partida del proyecto, el alcance de este y otros aspectos generales que puedan influir en la toma de decisiones. Los dimensionamientos de los siguientes apartados se basarán en los datos de partida definidos en este apartado con un marco de fundamentos teóricos que complementará la labor que se llevará a cabo en los anexos.

- **Segundo bloque:**

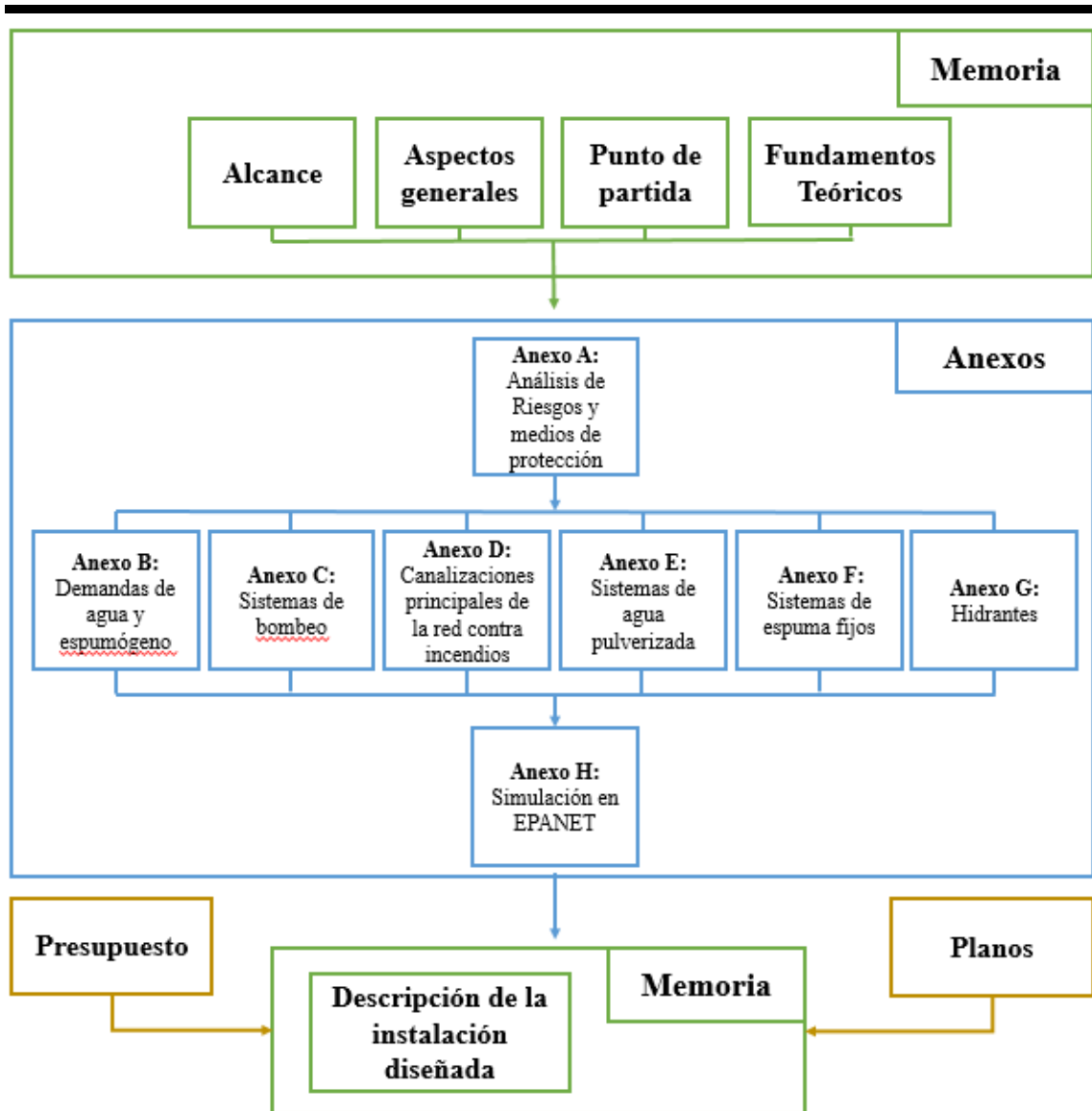
Con los datos de partida definidos, en los anexos de este proyecto se lleva a cabo el dimensionamiento de los principales sistemas contra incendios. En el "*Anexo A: Análisis de Riesgos y medios de protección*" se definirán los sistemas contra incendios, siendo este anexo el inicio del resto de anexos del B al G donde se dimensionarán hidráulicamente y se seleccionaran los componentes correspondientes en estos.

Por último en el "*Anexo H: Simulación en EPANET*" se simularán con el software de cálculos hidráulicos EPANET y se comprobarán los resultados obtenidos

- **Tercer bloque:**

De todos los anexos se extraen la lista de elementos seleccionados a instalar en la instalación contra incendios de refinería y en el apartado "*Descripción de la instalación diseñada*" se describirá el completo de la instalación como resultado.

Complementando a la descripción final del proyecto están el desglose del presupuesto total del sistema y los planos.



Memoria

Introducción:

Las industrias del refino de hidrocarburos trabajan con productos altamente volátiles, peligrosos y reactivos en general. Estas industrias producen productos a su vez productos como gasolinas, naftas, diésels etc... igual de inflamables. El riesgo de área sería menor si no fuere necesario el hecho de almacenar dichos productos en un área con ya altas cargas de fuego, pero es necesario almacenarlos ya sea por necesidades del proceso, almacenes temporales pre-transporte o cualquier otra función de otra índole.

La necesidad constante de agua por parte de las refinerías para su uso en la producción, hace que siempre o casi siempre se encuentren cerca de puntos de captación de agua públicos o privados como ríos, lagos, mares, hace especialmente delicada su situación y los escenarios que se plantean en caso de que un incidente ocurra, tales como derrames, incendios, escapes de gas, contaminación del abastecimiento de agua.

Con el fin de combatir y reducir las consecuencias de los posibles incendios en estos almacenes de productos derivado del crudo, las empresas deben disponer de los medios adecuados de prevención y combate de incendios, esto implica todo lo abarcado desde el abastecimiento de agua, canalizaciones/conductos, hasta los elementos finales tales como sistemas de agua pulverizada, sistemas de espuma o lanzas por poner unos ejemplos. Las diferentes características, materiales almacenados y condiciones de contorno de la instalación a proteger pueden condicionar los propios medios contra incendios.

Alcance:

El objetivo principal de este TFM es el dimensionamiento de la red contra incendios de una refinería localizada en la costa mediterránea. Por dimensionamiento entendemos el cálculo de las necesidades de agua, presión u otros sistemas de protección, el dimensionamiento del conexionado hasta los diferentes puntos de consumo y las etapas finales como rociadores/bocas de descarga. En resumidas cuantas el dimensionar las conexiones de tuberías necesarias y del sistema de bombeo.

Etapas intermedias de este dimensionamiento abarcan desde un primer paso con el análisis de los posibles riesgos que pueden ocurrir en los mencionados almacenes de productos derivados del crudo, con el fin de dar un una justificación y punto de vista de los supuestos y sistemas que se dimensionaran para la protección del sistema de almacenes anexo, hasta una última etapa con la simulación por ordenador de los resultados obtenidos para ver el cumplimiento con los parámetros de diseño impuestos y la simulación de un escenario hipotético para ver cómo reacciona el sistema a situaciones muy poco probables y estimar su flexibilidad.

Se incluirá una selección de los elementos básicos de la instalación con los catálogos de los fabricantes y una estimación del presupuesto del coste total de la instalación con la ayuda de programas con catálogo de precios con el fin de dar una visión lo más aproximada posible y una guía del mantenimiento de los equipos a instalar.

En este TFM no abarcará detalles como procedimientos de instalación, construcción de los sistemas en sí, es decir, todas las etapas necesarias de posible adecuación de las zonas fijadas para la ubicación de las tuberías, hormigonado, soldadura o trabajos relacionados, al igual que no abarcará flujos de funcionamiento/diagramas lógicos del sistema de bombeo, dejando esta responsabilidad en la empresa mantenedora, aunque si se marcarán unas directrices en este aspecto.

Aspectos Generales:

La refinería en la cual se focalizada este proyecto se localiza en la costa levante a orillas del mediterráneo en España. Por motivos de confidencialidad no se mencionará el nombre de la empresa propietaria de dicha refinería.

La distribución en planta de la refinería puede dividirse en dos partes: zona de proceso y zona de almacenamiento (Ver **Ilustración 1**), donde podemos ver marcado en verde la zona de proceso donde ocurre todo el proceso de tratamiento de crudo desde que se recibe hasta fases finales de eliminación del azufre, ajustes en el octanaje de las gasolinas y adición de aditivos. Todos estos productos son almacenados al igual que el propio crudo el cual se recibe por transporte naval. La parte marcada en rojo será el principal foco de este proyecto, en como ya hemos mencionado, el desarrollo del sistema contraincendios de dicha zona.



Ilustración 1: Disposición en planta de la refineria. Fuente: Google Maps

La zona de proceso y la zona de tanques no son independientes entre si, existe un gran entramado de tuberías y elementos entre ellos que forman parte de la ida y vuelta de materiales de dentro de estos.

La zona de tanques se encuentra distribuida sobre parcelas aplanadas sin pendientes, muy cercanas al nivel del mar, todo el conjunto se encuentra a una altura de entre 3-1 metros sobre el nivel del mar. El área de almacenamiento se extiende ocupando un área de 739.380 m² aproximadamente, teniendo en cuenta áreas de los cubetos, calles entre tanques y zonas de conexionado. La gran mayoría de los tanques se localizan contiguos a otros en agrupaciones por tipo de producto y el grosor de estos se encuentra cercano al mar, menos un conjunto de tanques de crudo más recientes, construidos en una concesión estatal, los cuales se encuentran más aislados del resto. En total la refinería cuenta con un total de 70 tanques de diferentes productos desde gases licuados, gasolinas o hasta más pesados como diéselos o breas y diferentes tipos de tanque, de techo fijo, flotante y esferas.

La refinería se encuentra localizada cerca de un núcleo urbano en dirección norte a menos de 5 km de distancia y un segundo núcleo urbano a dirección sur de esta, cuenta con acceso inmediato al mar en su lado este. Se encuentra localizada en un recinto industrial junto otras empresas con las que comparte ciertas instalaciones y servicios, como conexionados a redes públicas de agua, canales de desagüe, accesos y puntos de logística.

Punto de partida:

Con el fin de tener una vista global del punto de partida del proyecto cabe comentar desde que punto parte este proyecto, en respecto a aspectos que interesan como son aspectos constructivos y disposición de los tanques que hemos mencionado hasta la fecha.

Empezamos el proyecto con los tanques ya construidos, con su capacidad de almacenamiento ya estimada, separados y dispuestos. Cada tanque construido cumple con la normativa de seguridad que aplica a este tipo de industria al respecto que es en este en caso refinerías petrolíferas dedicadas al refino y almacenamiento la RD 2085/1992 “*Reglamento de Instalaciones Petrolíferas*” específicamente la instrucción técnica complementaria MI-IP “*Refinerías*” que marca los mínimos a cumplir por las empresas propietarias e instaladoras para garantizar un nivel adecuado de seguridad (Más información al respecto de la normativa aplicable en el apartado Pliego De Condiciones).

Los aspectos constructivos de los accesorios en los tanques cumplen lo indicado en el artículo 18 “*Construcción y accesorios de depósitos a presión*” del RD 2085, donde se indican las indicaciones a seguir por los sistemas de purga, tuberías de muestra, protecciones contra sobre-presiones etc.. Estos dispositivos ya se encuentran instalados/dimensionados y no forman parte del alcance de este proyecto.

Los tanques cuentan con cubetos exigidos por la normativa, todos ellos, algunos tanques comparten cubeto con tanques que contienen productos de misma clasificación, en el apartado cubetos es el caso espacial los productos tipo A (ver página 41 para más información de los tipos de productos) que deben contar con su propio cubeto. En refinería, las esferas de productos licuados tipo A se encuentran cada una de ellas con sus cubetos individuales y localizados cerca de las instalaciones marítimas. La función del cubeto es la de contener los derrames que puedan ocurrir en los tanques.

Las características constructivas de los cubetos cumplen con las indicaciones del RD 2085, en lo referido a muretes y la envolvente de los cubetos.

La disposición de los tanques y su separación entre ellos cumplen con lo marcado en el artículo 17 “*Disposición y separación de tanques y depósitos*” del RD 2085/94, con su respectivo espacio entre estos con vías de acceso para la acción de los medios contra incendios. Las distancias de seguridad entre paredes de tanques teniendo en cuenta las medidas de seguridad extra que permiten la reducción de las distancias como menciona la normativa, estos detalles serán comentados en mayor en el anexo de las medidas de prevención de incendios.

Las protecciones extra se dividen en diferentes niveles, en función del nivel y el número de protecciones la normativa indica unas reducciones en las distancias entre las paredes de los tanques de productos B, C y D. Las medidas de nivel 0 son las obligatorias según la instrucción técnica. Se disponen de las siguientes medidas extras nivel 1 en los tanques C y B:

1. Sistemas de agua pulverizada: En tanques de productos B y C.
2. Sistemas de extinción por espuma: En los tanques con productos B2
3. Brigada contra incendios de refinería: Aplicable a todos los tanques en planta.

Estas medidas extra permiten una reducción en la separación de los tanques de productos clase B y C de 0,8 veces lo indicado para tanques B y C sin ninguna medida extra de protección. Por lo que la separación entre estos es acuerdo a estas consideraciones.

Productos almacenados

Los productos almacenados van desde productos ya listos al final de la etapa de producción, hasta productos residuales que provienen de diferentes partes de planta, se pueden dividir en: Materias Primas/Aditivos, Productos acabados y Productos de proceso.

- **Materias Primas/Aditivos:**

Crudo, MTBE , ETBE y Aditivos (tipo lubricidad, paraflow y micet)

- **Productos acabados:**

Gasolinas (de 95 y 98 octanos); Gasoils (A, B ,C) , Butano , Propano, Propilenos y Gasolinas especiales anti spark fouling (ASF)

- **Productos de proceso:**

Naftas ligeras y pesadas, Light Coker Gasoils Oils (LGO), Heavy Coker Gasoil Oil (HKGO). Heavy Sulphur Gas Oils (HSGO), Fatty-Acids Methyl Esters (FAME) y aceite vegetal (aceite de palma).

Tanques	Producto	Diámetro Exterior (m)	Altura (m)
Techo flotante			
3702	Crudo	86.86	18.58
3703	Crudo	86.86	18.58
755	Crudo	80.46	19.50
756	Crudo	88.50	19.50
3700	Crudo	82.20	19.50
3701	Crudo	92.20	19.50
750	Crudo	80.46	19.50
751	Crudo	80.46	19.50
752	Crudo	80.46	19.50
702	GOL A	67.50	16.50
703	HSGO	67.50	16.50
701	GNA 95	48.80	14.60
760	GNA 95	41.14	15.20
700	GNA 95	69.00	16.50
737	GOL C	67.50	16.50
1270	Agua Desalador	10.98	10.98
1271	Agua Desalador	10.80	10.98
732	AGUAS API	22.60	14.60
706	Nafta Ligera	9.00	7.30
712	Nafta Pesada	9.50	9.10
719	Nafta Pesada	11.30	11.00
720	Nafta Ligera	11.30	11.00

745	Nafta Ligerera	22.86	14.65
711	GNA 95	41.00	14.60
717	ETBE	18.30	14.60
718	MTBE	18.30	14.60
740	ETBE	26.21	14.60
741	ECO 95 BP	26.21	14.60
762	ETBE	21.00	16.89
716	GNA 95	33.00	14.60
713	GNA 98	33.00	14.60
721	Keroseno	26.20	14.60
743	LGO	26.21	14.60
715	GNA 98	18.30	14.60
714	GNA	18.30	14.60
722	LGO	15.00	12.80
744	Keroseno	56.08	14.60
746	GNA 98	36.75	16.46
747	Keroseno	36.60	20.46
Techo Fijo			
1401	ASF 40/50	33.52	14.63
1400	ASF 150 / 200	16.76	14.63
1403	ASF VGO	9.45	9.75
1404	ASF 110/120	9.45	9.75
1402	ASF 60/70	26.51	14.63
763	FUEL OIL	39.00	20.79
765	FAME	18.20	18.48
764	HKGO	39.00	20.79
727	GOL A	69.00	16.50
731 A	POZOS API	22.60	14.60
731 B	POZOS API	22.60	14.60
735	POZOS API	9.75	7.30
708	R321 INFINIUM (Adit)	7.60	9.10
724	GOL B/C	13.40	14.60
726	GOL A	13.40	14.60
739	GOL C	31.10	14.60
725	GOL A	50.00	14.60
742	FAME	24.38	16.50
723	GOL A	50.00	14.60

707	ADIT MICET	9.10	9.10
734	INFINIUM R-650 (Adit)	3.05	5.50
738	GOL C	31.10	14.60
728	FUEL OIL	69.00	16.50
729	FUEL OIL	56.00	14.60
730	Aceite Vegetal	10.00	12.80
Esferas			
704	Butano	14.60	16.81
705	Butano	14.60	16.83
736	Propano	16.80	19.03
748	Butano	16.85	19.04
761	Propileno	16.85	19.43
766	Propileno	24.10	27.10

Tabla 1: Listado de tanques con productos y dimensiones

Justificación:

Este proyecto nació en una etapa inicial como una propuesta por parte de la empresa propietaria para observar el comportamiento del campo de esferas frente a cambios en los sistemas de bombeo, ya que debido a la antigüedad de ciertos elementos de la instalación, algunos fechan de los años 60-70, para el cumplimiento de las condiciones de trabajo adecuadas hace falta usar ciertos medios que con un replanteamiento podrían usarse para otros fines en refinería. Más tarde evolucionó en el actual proyecto, en el cual se plantea el diseño global de todo el sistema contra incendios desde cero dando un punto de vista alternativo del sistema al actual.

A parte de una justificación académica este proyecto sirve como una base a la empresa propietaria para poder en un futuro disponer de alternativas y modelos de diseño. La obligación legal de la existencia de un sistema de contra incendios en una industria de alta peligrosidad como es una refinería, ya es una justificación en si para realizar revisiones periódicas del estado y posibles ampliaciones que cambien y mejoren las condiciones de trabajo de los equipos.

Descripción de la instalación diseñada

Sistemas contra incendios

La instalación diseñada abarca una serie de sistemas de protección contra incendios tanto activos como pasivos. En un primer paso, en el “*Anexo A: Análisis de Riesgos y medios de protección*” se han definido una serie de sistemas de seguridad contra incendios, en función de lo definido por la normativa aplicable a este tipo de instalaciones (en este caso la RD 2085:1994 y el RSCIE) y los resultados del análisis de riesgos de dicho anexo, siendo estos sistemas:

1. Sistemas manuales de alarma
2. Sistemas de la comunicación de alarma
3. Hidrantes exteriores
4. Extintores de incendio
5. Sistemas de agua pulverizada
6. Sistemas de espuma física
7. Sistemas de abastecimiento de agua
8. Alumbrado de emergencia
9. Señalización
10. Protecciones individuales
11. Sistemas extras

El principal foco de este proyecto ha sido el dimensionamiento de los sistemas activos de protección contra incendio y el sistema de bombeo y canalización que permite el funcionamiento de estos. Estos sistemas activos son:

- Sistemas fijos de espuma
- Sistemas de agua pulverizada
- Hidrantes exteriores

Sistemas fijos de espuma

El primer sistema es un sistema de extinción por espuma a instalar en los tanques de almacenado de productos clase B (B1 y B2), la espuma se descarga a través de unas bocas de descarga situadas en lo alto de los tanques. La solución espumante se introducirá a través de bocas conectadas a los sistemas fijos de conducción de espuma, donde el espumógeno principal de extinción será transportado mediante equipos móviles disponibles en refinería y el aporte de agua por acoples de este mismo sistema a la red general de contra incendios que recorrerá toda la planta. Del total de tanque, 41 de 70 tanques dispondrán de sistema fijo de espuma.

El sistema de espuma se compone de los conductos que conducen la solución espumante desde el punto de toma de la RCI y conexión del medio móvil de espumógeno hasta la base de los tanques, a partir de ahí un anillo que envuelve a los tanques y de este anillo tuberías individuales que ascienden hasta lo alto de estos, donde se localizan las bocas de descarga que generan la espuma a partir de la solución espumante.

Las bocas de descarga/cámaras de espuma seleccionadas a instalar varían en sus complementos según si el tanque donde se instala es de techo fijo o techo flotante. En ambas categorías la boca de descarga seleccionada es el modelo SE-CS de la marca SABO. El número de bocas modelo SE-CS por cada uno de los tanques se muestran en la Tabla 82.

En los tanques de techo fijo las bocas de descarga se localizarán por debajo de la unión del techo con el cuerpo del tanque, y las bocas de descarga irán instaladas en la pared del tanque con un accesorio de la marca SABO modelo SE-VKS (vertedera de espuma).

En los tanques de techo flotante las bocas de descarga irán localizadas a lo largo del perímetro del tanque y en lo alto del borde de estos. La bocas elevadas contarán con acople en la boca modelo SE-VF de la marca SABO que permite descargar espuma desde lo alto en el área del anillo que forma el sello del tanque.

Las dimensiones de las conducciones desde el punto de inyección de la solución espumante hasta la base del anillo de distribución se pueden encontrar en la Tabla 88. Las dimensiones de las ramas del anillo del que parten las desviaciones individuales se pueden encontrar en la Tabla 89. Las ascendentes individuales que conectan con las bocas de descarga y que parten del anillo, sus dimensiones se pueden encontrar en Tabla 93.

Sistemas de agua pulverizada

El segundo sistema es el de agua pulverizada, este sistema de activación automática, mojará la superficie del tanque incendiado y de los tanques circundantes afectados por el incendio de este. La función principal de este sistema es la de proteger la integridad estructural del tanque incendiado, aliviando mediante la evaporación de agua la energía térmica transmitida a está proyectando agua en la superficie lateral del tanque y, el evitar la extensión del incendio a los tanques próximos afectados, mojando porciones de sus caras laterales que encaran al incendiado mediante cuartos de anillos.

Se instalará este sistema de agua pulverizada en los tanques de almacenamiento de productos clase A, B y C. En los clase B y C debido a su forma cilíndrica, el sistema de agua pulverizada consiste en un anillo que se bifurca en dos ramas, cada rama, cubre la mitad de la circunferencia del tanque, las boquillas pulverizadas se disponen en estos anillos proyectando el agua en la superficie lateral del tanque. En las esferas de gas licuado, que almacenan productos clase A, el sistema de agua pulverizada principal varía en el sentido en que habrá un total de 4 anillos por esfera, proyectando el agua en toda su superficie, por encima y por debajo del ecuador de estas. En total 65 de 70 tanques dispondrán de sistema fijo de agua pulverizada para protección del propio tanque incendiado. Dispondrán de cuartos de anillos de agua pulverizada 56 de los 70 tanques.

Las boquillas pulverizadoras seleccionadas son el modelo E de la marca VIKING. En general la separación de estas boquillas con la pared será de 0,6 metros, separación entre boquillas de 3 metros y el ángulo de instalación será de tal manera que sea perpendicular a la pared del tanque donde en los tanques de cuerpo cilíndrico es un

ángulo de 90°, caso especial de esto son las esferas donde su geometría requiere diferentes ángulos de montajes (ver Tabla 67).

Los modelos de boquillas y el número de ellas a instalar en cada uno de los anillos:

- Anillo principal de los tanques de cuerpo cilíndrico --> Tabla 41 y Tabla 40
- Cuartos de anillos de los tanques de cuerpo cilíndrico --> Tabla 44 y Tabla 43
- Esferas --> Tabla 66 y Tabla 65

Donde las demandas totales de cada versión del modelo E de las boquillas pueden verse en la Tabla 46.

Los sistemas de agua pulverizada en los tanques de cuerpo cilíndrico se componen de una conducción principal que va desde la conexión a la RCI hasta lo alto del anillo y el anillo en sí. Este esquema es igual tanto para los anillos completos como para los cuartos de anillo. Las dimensiones de los conductos principales desde la toma de la RCI a lo alto del anillo se pueden ver en la Tabla 51 para los conductos de los anillos completos, y en la Tabla 55.

Los diámetros de cada una de las ramas de los anillos de los tanques de cuerpo cilíndrico, se pueden observar para cada uno de ellos en la Tabla 58 para los anillos completos y en la Tabla 61 para los cuartos de anillos.

Las esferas, cuentan con 4 anillos con boquillas, una conducción desde la RCI hasta lo alto de la esfera y una serie de bajantes que conectan los anillos.

- Conducción principal desde RCI --> Tabla 70
- Bajantes --> Tabla 71, Tabla 72, Tabla 73 y Tabla 74
- Anillos --> Tabla 75, Tabla 76, Tabla 77 y Tabla 78

Hidrantes exteriores

El tercer sistema son los hidrantes repartidos por refinería alrededor del área de los cubetos de los tanques cubriendo cada uno de ellos un área circular con un radio de 40 metros. Algunos de los hidrantes dispondrán de monitores de espuma, dispuestos en los tanques donde a la vez existan sistemas de espuma fijos. La función de los hidrantes es la de proteger el propio área del cubeto, como por ejemplo en el caso de derrames de combustible dentro de este y donde los sistemas fijos no puedan actuar debido a su posición fija. Además los hidrantes servirán como toma para los medios móviles de refinería o para el cuerpo de bomberos en el caso de una emergencia, dimensionado de tal manera que el sistema permita proveer el caudal de agua necesaria. En total se instalarán un total de 236 hidrantes de agua de los cuales 117 de ellos dispondrán de monitores con lanzas de espuma. Los hidrantes con lanzas de espuma dispondrán de bidones de espumógeno de 200 litros, para el funcionamiento de las lanzas las cuales funcionan mediante auto-aspiración.

El número de hidrantes de agua a instalar en refinería alrededor de cada uno perímetros de los tanques se puede consultar en la Tabla 95, donde además se indican que total de esos hidrantes deberán disponer de monitores de espuma o no.

Los monitores de espuma seleccionados son de la marca SABO, modelo SE-KM-L, el cual es un monitor de espuma por palanca. Estos monitores no generan espuma de por sí, solo la proyectan, por lo que a estos monitores se acoplarán unas lanzas auto-aspirantes que generen dicha espuma para ser proyectada. Estas lanzas son de la marca SABO también y son los modelos SE-FX-A y SE-FX-A-BZ, los cuales se instalará un modelo u otro según el tamaño de la boca del monitor.

En la Tabla 96 se pueden consultar por cada uno de los sectores de incendio que deberán contar con monitores de espuma y los modelos de lanza a instalar en función del tamaño del monitor de espuma.

Sistemas adicionales

Junto a los sistemas principales de protección, alrededor de planta en el perímetro de los cubetos se dispondrán de extintores de 50 kg de polvo ABC, separados entre ellos 25 metros. Un total de 332 extintores en carrito localizados en los perímetros de los tanques. Estos extintores actuarán en conjunto al sistema de hidrantes localizado también alrededor del área de estos en la protección perimetral y de área.

Sistema de bombeo

La impulsión de agua para el uso en la red contra incendios se llevará a cabo mediante 4 bombas instaladas por parejas, 3 de ellas accionadas mediante motores diésel de 500 kW y una de ellas mediante un motor eléctrico de la misma potencia. El dimensionamiento del grupo de bombeo es en base al peor escenario esperado del incendio de la esfera 705, la cual requiere un caudal total de bombeo de 2080 m³/h considerando la simultaneidad de los diferentes sistemas de protección. El modo de las bombas será de dos bombas funcionando simultáneamente bombeando el 50 % del caudal.

Estas bombas son de la **marca KSB modelo CPKN 300-630 con impulsor de acero de alta aleación Noridur 1.4593 de 573 mm** las 4 bombas. Las bombas seleccionadas dan una presión de 95 metros columna de agua para un caudal de 1040 m³/h. Las bombas van montadas por parejas, en módulos junto al resto de sistemas auxiliares y sistemas de operación y control como los paneles de control, circuito de pruebas, presostatos o bombas jockey. Se instalarán las bombas CPKN en dos módulos EDS, con todos los sistemas, válvulas y bombas juntos sus sistemas de accionamiento y todos los requerimientos indicados en la normativa UNE 23500, los cuales el fabricante garantiza el cumplimiento con dicha normativa en sus módulos compactos.

Ambas parejas de bombas contarán con su pozo de captación y aspiración, estando ubicadas cada pareja en edificios protegidos y separados entre ellos, con el fin de evitar la afectación simultánea de ambos medios de bombeo en caso de accidente. Se ubicarán

cerca de la dársena este de refinería, captando agua los pozos de aspiración del mar cercano a su ubicación.

El modo de funcionamiento de las bombas será doble, podrán funcionar temporalmente bombeando agua dulce del depósito de agua cercano a ambas parejas de bombas o bombeando agua de mar desde los pozos de captación. En modo rutinario se bombeará agua de mar, siendo fuente inagotable y estando los sistemas pensados para funcionar con los posibles riesgos de corrosión que presenta este elemento. El agua dulce de reserva cumple doble función, primero cumple con lo indicado por la normativa de la necesidad de disponer de dicho depósito y segundo el agua de este depósito puede emplearse como fuente de agua dulce para tareas de limpieza post-uso de agua salada en la RCI y los sistemas derivados.

Red de agua

La red principal de agua mallada tendrá un diámetro de 400 mm de espesor estándar STD (Sch 40), siendo un tubo de acero con recubrimiento interno resistente a la corrosión. En total la longitud total de la red será de 8900 metros para poder mallar todo el circuito.

No toda la red contará con el mismo diámetro de tuberías, en base a las simulaciones realizadas, el anillo marcado en la **Ilustración 2**: Anillo de 450 mm de la RCI. tendrá un diámetro superior de 450 mm STD, mediante este aumento se asegura, en caso de fallo del tramo más directo, el 80 % de la presión mínima exigible de 7.5 kg/cm^2 en la RCI para el escenario más crítico presente en refinería (incendio de la esfera 705). El resto de escenarios con el diámetro inferior cumplen las condiciones de bombeo.



Ilustración 2: Anillo de 450 mm de la RCI.

La instalación de las canalizaciones será exterior y recorrerá el trazado marcado por las vías de comunicación y las calles principales. A lo largo del recorrido de la red por las calles, habrá puestos de control de donde partirán las desviaciones a los sistemas individuales de cada tanque, tanto sistemas de agua pulverizada como fijos de espuma. Cada cuatro de estos puestos de control existirán válvulas de compuertas que permitan la sectorización del sistema en caso de daños en la red o fugas.

Reservas de agua y espumógeno

La reserva de agua dulce se ubicará cerca de los grupos de bombeo, en la dársena este de refinería. El volumen del depósito es de 11718,15 m³, con una altura de 20 metros y un diámetro de 27,31 metros. Contará el depósito con doble conexión para cada una de las parejas de bombas y unas bifurcaciones que conectarán a las bridas de aspiración de cada una de las parejas de bombas.

La reserva de espumógeno tendrá dos partes, una centralizada localizada en el taller de la brigada contraincendios, ubicada en un depósito atmosférico modelo SE-A de la marca SABO con capacidad de 6000 litros de espumógeno y otra localizada en los

medios móviles de refinería de los cuales dispone de camiones usados por la brigada contra incendios. En los 117 hidrantes con monitor repartidos por refinería, se ubicarán bidones de 200 litros de espumógeno. El espumógeno seleccionado es el Hydral AR 3-6 M de la marca SABO, es un espumógeno resistente al alcohol y a líquidos polares en función de la concentración en la que se dosifique.

Presupuesto

Los elementos básicos de la instalación contra incendios suman un coste total de **5.233.091,71 €** con IVA. Incluyendo los honorarios de ingeniería, los cuales suman un 4% del presupuesto total de la instalación, el presupuesto total necesario para hacer frente los costes de compra de materiales, pagos de personal etc... suman un total de **5.442.415,38 €**

Conclusión:

La gran cantidad de material inflamable y la alta carga de fuego presente en sectores como el petroquímico justifica el no escatimar en protecciones o cualquier posible inversión extra que pueda evitar un posible accidente o al menos acotar, atacarlo y controlarlo. Los riesgos de un incendio incontrolado y sus consecuencias son incalculables en cuanto a posibles pérdidas de material e incluso pérdidas humanas, no solo posiblemente afectando a la propia refinería, si no la presencia de poblaciones cercanas o la contaminación de fuentes cercanas de agua/cultivos también es un riesgo.

La normativa aplicable a esta clase de sectores exige protecciones mínimas de protección contra incendios pasivas/activas. Con este proyecto se han dimensionado los elementos generales de protección contra incendio de una refinería, en concreto del campo de depósitos de esta, cumpliendo con la normativa aplicable. Existen factores especialmente condicionantes en el dimensionamiento del sistema de contra incendios como el incendio de las esferas de gas licuado o la longitud de bombeo desde la localización desde los grupos de bombeo hasta el sector de incendio más alejado, los cuales han determinado el tamaño de los grupos de bombeo o el tamaño de las tuberías generales de la RCI. Se considera que el dimensionamiento se ha realizado con los suficientes coeficientes de seguridad y holgura para dotar el sistema de flexibilidad y tolerar posibles ampliaciones futuras o cambios en esta.

Además se considera que este proyecto cumple con su otro objetivo inicial de partida, el dotar a la empresa propietaria de un diseño alternativo al que actualmente se dispone en planta, en especial en la configuración y modos de funcionamiento de los grupos de bombeo.

Este proyecto, como conclusión, sirve de guía para el desarrollo de este y elaborar aquellos factores que han quedado fuera del alcance de este proyecto, como la instalación de todos estos sistemas, selección total de los accesorios etc...

Fundamentos Teóricos:

Clasificación de los productos petrolíferos e inflamables:

Según el RD 2085 de 1992 y la normativa de almacenamiento de productos de líquidos inflamables y combustibles la ITC MIE-APQ 1, esta clasificación se basa principalmente en su punto de inflamación y su modo de almacenamiento para los clase A, los productos petrolíferos usados por y producidos por esta se pueden clasificar en:

- **Clase A**

Productos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15 °C sea superior a 98 kPa.

Según la temperatura a que se los almacena pueden ser considerados como:

- **Subclase A1:**

Productos de la clase A que se almacenan licuados a una temperatura inferior a 0°C.

- **Subclase A2:**

Productos de la clase A que se almacenan licuados en otras condiciones.

Ejemplos: Butano, propano y otros hidrocarburos licuables

- **Clase B**

Productos cuyo punto de inflamación es inferior a 55 °C y no están comprendidos en la clase A. Según su punto de inflamación pueden ser considerados como:

- **Subclase B1:**

Productos de la clase B cuyo punto de inflamación es inferior a 38 °C.

- **Subclase B2:**

Productos de la clase B cuyo punto de inflamación es igual o superior a 38°C e inferior a 55°C.

Ejemplos: Gasolinas, Naftas, Petróleo

- **Clase C**

Productos cuyo punto de inflamación está comprendido entre 55 °C y

100 °C.

Ejemplos: Gasoils, Fuel-Oils, Diesels

- **Clase D**

Productos cuyo punto de inflamación es superior a 100 °C.

Ejemplos: Parafinas y Lubricantes

Para la determinación del punto de inflamación arriba mencionado se aplicarán los procedimientos prescritos en la norma UNE 51.024, para los productos de la clase B; en la norma UNE 51.022, para los de la clase C, y en la norma UNE 51.023 para los de la clase D. Si los productos de las clases C o D están almacenados a temperatura superior a su punto de inflamación, deberán cumplir las condiciones de almacenamiento prescritas para los de la subclase B2, según la norma ITC MIE-APQ 1.

Tipos de Tanques:

Los diferentes tanques que se emplean en las refinerías de petróleo varían dependiendo del producto que almacenen, desde productos orgánicos, inorgánicos hasta vapores. Los líquidos inflamables como la gasolina ,por ejemplo, liberan gases al estar almacenados ya que en almacenamiento atmosférico su presión de vapor es elevada a temperatura ambiente respecto a la atmosférica, lo cual aumenta la presión interna de los tanques por el continuo flujo de evaporación hasta alcanzar el equilibrio, esto se soluciona con tanques que varíen su actual volumen interno, es decir, con un techo flotante o presurizando el material para evitar dicha fase gas como en el caso de productos tales como el butano y propileno (gases a temperatura ambiente y presión atmosférica). Los tamaños de los tanques oscilan entre los más pequeños con 2 metros de diámetro hasta los más grandes de 60 m de diámetro o incluso superior [1]

Podemos distinguir 8 tipos de tanques para el almacenamiento en refinerías de líquidos:

- **Tanques de techo fijo**

De los diferentes diseños de tanques es el tipo de tanque más barato de construir, en respecto a almacenamiento de líquidos son los tanques de menor nivel a la hora de almacenar líquidos inflamables. El cuerpo del tanque se compone de un anillo

cilíndrico de acero cerrado por arriba por una tapa en forma de cono o cúpula fijada de manera permanente entre ellas mediante soldadura normalmente y sellada (para vapores). Esta clase de tanques cuentan con mecanismos de alivio de la presión, debido a que estos tanques su presión interna es función de la temperatura exterior a falta de un mecanismo regulación de la temperatura.

- **Tanques de techo flotante externo**

Estos tanques consisten en cuerpos cilíndricos carentes de tapa fija, con un techo que sube y bajo con el nivel de líquido, de ahí la definición de flotante. El techo flotante cuenta de un cuerpo rígido, acoples y el sello del borde. Existen diversos diseño de cómo estos elementos están dispuestos o contruidos, techo flotante tipo pontón, doble techo... pero los elementos básicos se mantienen.

El sello está unido al perímetro del tanque en contacto con la pared de este. El sistema del sello deslizada con la subida y bajada del nivel. Este tipo de tanques está diseñado para limitar las pérdidas evaporativas, dentro de lo que cabe, ya que deja un espacio mínimo entre la fase líquida y la fase gas el propio techo, limitando la evaporación [2]. Existen las esperadas pérdidas de vapor en el propio sello y los acoples del techo debido a la imposibilidad de conseguir un 100 % de la estanqueidad.

- **Tanques de techo flotante interno**

Este tipo de tanques junto los dos conceptos que hemos visto anteriormente, un techo fijo unido permanentemente al cuerpo del tanque y un sistema de techo flotante interno con sello de borde que sube y baja a lo largo del interior del tanque. El cómo se fija la tapa fija al tanque puede ser autoportante o con soportado por pilares verticales extra.

La función del techo fijo extra en esta clase de tanques al igual que en los tipo cúpula no están to el hecho de hacer función de barrera de los gases si no proteger del viento el sistema techo flotante.

- **Tanques de techo flotante con techado cupular**

Los tanques de techo cupular o domo son menos usados que otro tipo de tanque con diseños de tapa fija más sencillos debido a la labor extra que implica el realizar el cuerpo curvo [3]. Normalmente esta clase tanques resultan de la conversión de un tanque de techo flotante externo mediante la adición de la tapa tipo cúpula posteriormente. Cuentan con venteos en la tapa fija al igual que los techo flotante interno.

- **Tanques horizontales**

Estos tanque ya entran en una nueva posible categoría a diferencia de los que hemos visto hasta ahora pues pueden ser localizados al aire libre o soterrados. No suelen ser tanques de grandes dimensiones y se imponen usualmente en la práctica limitaciones en sus dimensiones, poniendo ciertas longitudes en función de otras, como no tener una longitud seis veces mayor al diámetro del cilindro para garantizar la seguridad estructural. Cuentan con venteos, accesos y protecciones catódicas para proteger la carcasa del tanque.

- **Tanques a presión horizontales**

Son tanques más baratos de producir que sus parientes las esferas, pero son menos resistentes en sus extremos a diferencia de las esferas que su forma uniforme distribuye uniformemente la presión por su superficie [4]. Las cabezas de los finales de los tanques horizontales a presión varían en forma, desde elipsoidales, hemisféricas o torisféricas. La forma de la cabeza afecta directamente a la resistencia interna del tanque, siendo cabezas tendiendo a esféricas o hemisféricas más resistentes.

- **Esferas de gas licuado**

Son tanques especiales, ya que su forma es completamente diferente al resto y se usan exclusivamente para almacenar gases licuados a muy bajas temperaturas. Contienen los gases licuados en su interior llegando a temperaturas de $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$, para ello cuentan con doble capa, una capa interna donde se alberga el producto en sí y después una capa exterior de aislante térmico para reducir las pérdidas por convección al exterior a un mínimo. Es necesario ventear los gases generados internamente por el gas licuado para mantener así una presión constante y que la temperatura no suba [1]. Por supuesto para la labor de refrigerar el producto hasta tan bajas temperaturas cuentan con sistemas de refrigeración formado por intercambiadores o similar.

Las esferas se pueden encontrar tanto al aire libre son patas de soporte, bajo tierra o instaladas en barcos cisterna de transporte.



Ilustración 3: Barco Cisterna. Fuente: Ken Hodge. CC

- **Tanques de vapor de espacio variable**

Son tanques que incorporan reserva de vapores que se pueden expandir tipo fuelle ante cambio en la temperatura o la presión. Este tipo de tanques se suelen usar conectados a otros tanques tipo techo fijo a su parte superior con el fin de alojar los gases producidos aunque también se usan de manera individual.

Existen dos modelos constructivos de tanques de espacio variable, los tipo fuelle con unas membranas flexibles que se expanden y los tipo techo flotante, similares a los anteriormente vistos, en los cuales el techo va suelto y tiene juego con la pared del tanque, la unión entre la pared y el cuerpo rígido se sella con sellos húmedos con líquidos o secos, con un elemento flexible de unión.

Los cuales además se pueden dividir en dos categorías, los tanques de cuerpo cilíndrico y el resto. Los tanques usualmente se encuentran sobre la superficie, dentro de los ya mencionados cubetos, aunque también existen tanques localizados bajo tierra como ya hemos mencionado.

Medios de Protección Contra Incendios en tanques:

En la lucha contra incendios se integran una serie de componentes que actúan como un todo conjunto, estos sistemas de protección contra incendios pueden dividirse en dos categorías, no sólo en el ámbito de protección de tanques de productos líquidos inflamables, sino en general. Estas dos categorías son:

- **Protecciones Pasivas**

Las protecciones pasivas engloba todo los sistema que se usan para la mitigación de las consecuencias de los incendios. Juega el papel de medio preventivo, estando en constante estado de protección, esto quiere decir que no requieren de interacción humana o acción externa y mantienen contenido el incendio durante el mayor tiempo posible dando manga a los equipos de extinción y tiempo de reacción. En la protección pasiva contraincendios existen dos categorías [5] :

- **Protección estructural:**

Todas aquellas medidas que aseguren la resistencia al fuego de los elementos estructurales. Esto pueden ser desde usar recubrimientos resistentes sobre materiales sensibles al fuego o aislamiento en general, el objetivo es mejorar las características frente al incendio del material estructural o limitar su absorción de energía térmica mediante un aumento de la resistencia a la transmisión.

- **Compartimentación:**

Son aquellas medidas que permiten cerrar los pasos que conectan el área donde estalló el fuego a las áreas cercanas. Un ejemplo de estos medios de protección compartimenta ya han sido mencionados y son los cubetos, estos son delimitaciones del terreno que protegen de posibles derrames que pueden incendiar o no y los delimitan a un área controlada donde los medios de extinción y control pueden actuar.

Estas medidas constructivas están destinadas tanto a detener la progresión de los humos como a evitar la propagación de las llamas, así como a contener los

efectos térmicos en el área del desastre y a mantener la estabilidad al fuego de los elementos estructurales.

- **Protecciones Activas**

Los medios de protección activa son los que controlan directamente la situación en caso de incendio, incluye todos los componentes desde la detección hasta la extinción en sí. Podemos distinguir tres categorías:

- **Detección**

El fuego se detecta mediante la colocación de detectores de humo, llamas y calor. Gracias a la señal enviada por los detectores se puede poner en marcha el protocolo evacuación de emergencia y/o activar los diferentes sistemas automáticos de protección de elementos.

- **Supresión del fuego o extinción**

Incluye todos procesos y actividades enfocados a apagar el fuego por una acción directa. En esta categoría hay una gran categoría de elementos de supresión del fuego algunos de ellos multi-propósito. La manera como se extingue el incendio depende del producto incendiado en sí, de las condiciones ambientales o estructurales por decir unas cuantas, de ahí, que hay que elegir el sistema de supresión más adecuado. Los sistemas de extinción pueden ser automáticos o manuales [6].

- **Manuales**

Ejemplos de métodos de extinción manuales serían extintores, bocas de incendio (BIE), hidrantes, Columna seca.

- **Automáticos**

- 1. Protección mediante agua**

Incluyen sistemas tales como sprinklers (rociadores), cortinas de agua, espumas o agua pulverizada. Su función va más allá que de extinción, también cumplen funciones de refrigeración y protección estructural de los tanques [7]. Varían en como dispersan el agua además y los componentes que forman sus sistemas operativos, aunque el principio de funcionamiento es el mismo.

2. Protección mediante espuma

Los sistemas de espuma son sistemas de extinción en el cual una mezcla de agua y espumógeno da lugar a una solución espumante, la cual posteriormente expandida en espuma. Veremos más en detalle esta clase de sistemas en mayor detalle (Ver página 49).

3. Protección mediante gases

Se usa un medio gaseoso para la extinción del incendio ahogándolo. Se emplea actualmente especialmente sistemas como el dióxido de carbono y halones (actualmente en desuso). Los sistemas de CO₂ son de especial aplicación en protección de incendios de salas con equipamiento sensible de ser mojado, como sala de ordenadores, servidores y similares.

4. Protección mediante polvo

Sistemas de uso de polvos polivalentes o normales. Estos sistemas en el ahogamiento de las llamas, impidiendo las reacciones que ocurren durante el incendio mediante la disipación de un polvo fino que actúa como agente extintor

- **Ventilación mecánica**

Incluye todos los procesos actividades enfocadas a mantener libres de humo las rutas de evacuación y otras zonas específicas mediante el uso de ventiladores mecánicos resistentes al fuego.

- **Sistemas de rociado:**

Los sistemas de rociado de agua, no son un solo sistema, si no se componen de 3 modalidades principales [8] con sus diferencias y aplicaciones. Ya sea en uso en interiores o en exteriores.

1. Rociadores automáticos

Es un método de extinción en el cual el el agua sale propulsada por un orificio al activar los sistemas de detección. Se puede aplicar en cualquier tipo de edificio. Extingue el incendio sofocándolo y refrigerando el ambiente, las presiones usuales de trabajos en las boquillas son entre 3 a 10 bares de presión. Se pueden complementar con sistemas de espuma a baja presión.

2. Agua nebulizada

Los sistemas de agua nebulizada se diferencian de simplemente rociar el agua en que tienen unas boquillas que atomizan el agua formando gotas de muy pequeño tamaño, esto facilita la evaporación de dichas gotas y el enfriamiento efectivo.

Sus aplicaciones son más concretas que los otros sistemas, como en estaciones de tren o zonas donde la protección con gas no sería efectiva. Trabajan entre presiones desde menor a 12 bar a mayor de 34,5 bar, divididos en 3 categorías: Alta, Media y Baja presión.

3. Agua pulverizada

No disponen de ningún tipo de fusible térmico que libere el orificio ya que la boquilla ya tiene un orificio hecho. Son indicados en aplicaciones de almacenamiento de productos químicos, centros de transformación y/o zonas concretas de establecimientos industriales. Extinguen el fuego por los mismos métodos de sofocación y refrigeración que los rociadores y pueden también complementarse con sistemas de espuma a baja presión.

Una nota con los sistemas de extinción por rociadores de agua es que en el ámbito de los depósitos de hidrocarburos no suelen usarse, no porque los productos puedan reaccionar con el agua en sí, sino que son insuficientes en depósitos de median/gran tamaño y además el arrojar agua al fuego puede causar posibles salpicaduras de producto. Cumplen funciones de refrigeración estructural en las caras laterales de los tanques complementados con sistemas espumantes que se encargan de la extinción

- **Sistemas espumantes:**

Son uno de los sistemas más eficaces para la extinción de incendios que han sido provocados o involucran líquidos inflamables y combustibles clase B (ver página 41). Debido que la espuma es más ligera que los líquidos inflamables, esta espuma flota y al extenderse por el combustible crea una capa continua de material acuoso que desplaza el aire y evita la emisión de gases/vapores impidiendo el reencendido. Pese a no ser muy común, es posible su uso en incendios de materiales tipo sólido u otros líquidos [9]

Como se ha comentado anteriormente, los sistemas espumantes son un sistema extintor el cual se compone de 3 componentes principales: agua, aire y espumógeno. La mezcla de agua y el espumógeno da lugar a una solución espumante, dependiendo de la relación de expansión esta solución espumante es expandida en los generadores de espuma y se

convierte en espuma. Normalmente estos sistemas tienen una fuente de suministro de agua, sea de la índole que sea, y un dosificador del espumógeno o proporcionador. Respecto a las relaciones de expansión hay tres categorías:

- **Baja expansión**

Cuando la relación de la solución espumante en volumen a espuma es inferior a 20:1 se considera de baja expansión. En estas la proporción de agua es mayor que en el resto de razones de expansión, la solución se comporta más líquidamente y se desplaza mejor por las superficies. Ventajas que tiene esta expansión es que se consigue un mayor enfriamiento, mayor proyección, mayor resistencia al calor y mayor resistencia a la reignición.

- **Media expansión**

La relación de expansión está comprendida entre 20:1 y 100:1. Estos sistemas son útiles para hacer llegar el agua a lugares donde es difícil llegar por inundación total en espacios confinados, también desplazan volumétricamente vapores, calor y humo. Es un sistema muy versátil que minimiza la cantidad de agua utilizada ya que la cantidad de espuma producida es mayor que en los de baja expansión y por su rápida cobertura del lugar incendiado. Es especialmente efectivo en la supresión de vapores o humos tóxicos [9]

- **Alta expansión**

Expansiones comprendidas entre los 200:1 hasta los 2000:1. Su pasa a ser más un uso tridimensional en el cual se inunda el riesgo a proteger. La espuma actúa como una capa de protección térmica que protege las estructuras. Debido al volumen de espuma generado, las burbujas en directo contacto con las llamas o debajo de la gran columna de espuma generada rompen, liberando micro-gotas que se evaporan absorbiendo calor, ayudando con el enfriamiento y a sofocar el incendio.

Son especialmente recomendados la extinción por espuma de alta expansión cuando donde se vierta la espuma se pueda contener esta, por esa misma razón no se recomienda su uso en espacios abiertos donde entran otros factores en juego como el viento u otros factores ambientales.

Sistemas para la aplicación de la espuma hay muchos y al igual que sus uso, sistemas como rociadores automáticos, lanzas, monitores, cámaras de espuma para depósitos etc... Dependiendo del producto donde se vaya a aplicar la espuma y el ámbito de aplicación, el tipo de espumógeno y los elementos de control y operación pueden variar.

- **Tipos de espumógeno**

Existen dos categorías de espumogeno según su origen de forma muy general:

Espumógenos proteínicos

Estas espumas están fabricadas a partir de fuentes naturales de proteína, como harina de pezuña, cuerno o pluma. Están diseñados para su uso en incendios de hidrocarburos solamente [10]. Deben tener una aspiración adecuada y no se deben utilizar con boquillas de neblina sin aspiración de aire. Tienden a sumergirse en el combustible.

- Proteínico
- Fluorproteínico
- Fluorproteínico AFFF (Genera capa de espuma sobre superficie líquido inflamable y bloquea vapores)
- Fluorproteínico AFFF-R (Genera capa de espuma sobre superficie líquido inflamable y bloquea vapores, resistentes a líquidos polares y alcoholes)

Espumógenos sintéticos

Estas espumas se basan en una mezcla de tensoactivos y disolventes, tanto fluorados como libres de fluorotensioactivos y fluoropoliméricos. Pueden o no formar películas o membranas sobre el combustible a proteger, depende del espumógeno.

- Sintéticos para alta expansión (para fuegos de Clase A para líquidos inflamables)
- Sintéticos para Clase A (se les añade ciertos aditivos a este tipo de espumógenos que reduce la tensión superficial del agua y ayuda a la extensión de la espuma sobre el combustible y se adhiere mejor y penetra mejor en el combustible)
- Sintético AFFF (Genera capa de espuma sobre superficie líquido inflamable y bloquea vapores)
- Sintético AFFF-AR (Genera capa de espuma sobre superficie líquido inflamable y bloquea vapores, resistentes a líquidos polares y alcoholes)

Estos mismo espumógenos además de sus características individuales pueden trabajar a diferentes proporciones, siendo comunes proporciones de 1%, 3% o 6% en volumen de

agua. La selección del tipo de espumógeno es en base a la naturaleza del fuego y cómo reacciona la espuma con el propio espumógeno, ciertos elementos como el etil-tert butil éter (ETBE) o el metil tert-butil éter (MTBE), aditivos típicos de la gasolina requieren de espumas resistentes al alcohol si no la espuma no durará mucho [10] por ejemplo. El criterio de ver si se requiere de un espumógeno resistente al alcohol es también en base a si el combustible es soluble en agua o no, aquellos que son solubles en agua necesitaran de espumas resistentes al alcohol.

Normativa aplicable

A continuación se hará un resumen de la normativa aplicable al proyecto de manera generalizada para tener una visión general de que afectará al proyecto y donde encontrarlo para cada aspecto de la instalación, se entrará en mayor detalle respecto a las condiciones en los anexos.

• Normativa general

RD 2267/2004 Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (RSCIEI).

RD 1942 Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI).

RD 2085/1992 Reglamento de Instalaciones Petrolíferas.

RD 379/2001 Reglamento de almacenamiento de productos químicos.

RD 840/2015 Medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves que intervengan sustancias peligrosas.

UNE 23600 Agentes Extintores de Incendio. Clasificación.

UNE EN 2:1994 Clases de Fuego.

• Sistemas de abastecimiento

UNE 23500: 2018 Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios.

• Agua pulverizada

UNE 23501 Sistemas de agua pulverizada. Generalidades.

UNE 23502 Sistemas de agua pulverizada. Componentes del sistema.

UNE 23503 Sistemas de agua pulverizada. Diseño e instalaciones.

UNE 23504 Sistemas de agua pulverizada. Ensayos de recepción.

UNE 23505 Sistemas de agua pulverizada. Ensayos periódicos y mantenimiento.

UNE 23506 Sistemas de agua pulverizada. Planos, especificaciones y cálculos hidráulicos.

UNE 23507 Sistemas de agua pulverizada. Equipos de detección automática.

• **Sistemas de espuma**

UNE EN 13565-1: 2005 + A1 Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 1: Requisitos y métodos de ensayo de los componentes.

UNE-EN 13565-2:2010 Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento.

UNE-EN 1568-3:2009 Agentes extintores. Concentrados de espuma. Parte 3: Especificación para concentrados de espuma de baja expansión para aplicación sobre la superficie de líquidos no miscibles con agua.

• **Hidrantes**

UNE EN 14384:2006 Hidrantes de columna.

• **Extintores de incendios**

UNE-EN 3-7:2004+A1:2008 Extintores portátiles de incendios. Parte 7: Características, requisitos de funcionamiento y métodos de ensayo.

• **Señalización**

UNE 23033-1:1981 Seguridad contra incendios. Señalización.

Referencias

- [1] “Storage tanks, Fixed-roof tanks, Floating roof tanks, Spherical Storage Vessel (Spheres), Pressure tanks, LNG (Liquefied Natural Gas) tanks.” [Online]. Available: http://www.wermac.org/equipment/storage_tanks_vessels_general.html. [Accessed: 13-May-2019].
- [2] “Oil and Gas Storage Tank Applications and Design Features • Honiron Manufacturing.” [Online]. Available: <https://www.honiron.com/oil-gas-storage-tank-applications-design-features/>. [Accessed: 13-May-2019].
- [3] T. De Almacenamiento, P. Iii - Instructor, and J. Tirenti....., “Training Engineering Connecting Dots.”
- [4] “Pressure Vessels, Spherical Pressure vessels (Pressure Spheres), Cylindrical Pressure Vessels.” [Online]. Available: <http://www.wermac.org/equipment/pressurevessel.html>. [Accessed: 13-May-2019].
- [5] “Protección Activa y Pasiva contra incendios en el plan de seguridad.” [Online]. Available: <https://www.grupopointex.com/proteccion-activa-y-pasiva-contra-incendios/>. [Accessed: 14-May-2019].
- [6] “CAPÍTULO 11 SISTEMAS DE AGUA CONTRA INCENDIOS 1. INTRODUCCIÓN.”
- [7] D. E. I. Y. Energia, “Ministerio de industria y energia - RD 2085/1994,” pp. 29406–29473, 1990.
- [8] “Diferencias entre agua nebulizada y agua pulverizada | Semamcoin.” [Online]. Available: <http://semamcoin.com/diferencias-entre-agua-nebulizada-y-agua-pulverizada/>. [Accessed: 15-May-2019].
- [9] Q. D. S. Sistemas and D. De, “QDS ¿ Qué debería saber? Sistemas de extinción de incendios . ESPUMA.”

-
- [10] E. C. Incendios, “Espuma contra incendios,” pp. 2013–2015, 2014.
- [11] S. de las Heras, *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. 2011.
- [12] *Hazen–Williams equation in fire protection systems*. Canute LLP, 2009.
- [13] Escuela Universitaria Técnica Agrícola de Ciudad Real, “Tema 9. Pérdidas de carga localizadas o accidentales. Cátedra de Ingeniería Rural,” pp. 1–8, 2011.
- [14] N. L. Ryder and S. A. Sme, “Preparing For Large Atmospheric Storage Tank Fires.”
- [15] C. García *et al.*, “Título: Riesgos debidos a la electricidad estática.”
- [16] “Boilover and Slopover Phenomena During a Fire of Storage Tanks,” 2003.
- [17] “Propane Tank Explosions, Accidents and BLEVE’s.” [Online]. Available: <https://www.propane101.com/explodingpropanetanks.htm>. [Accessed: 05-Jul-2019].
- [18] “Case Details > Explosion and fire of LPG tanks.” [Online]. Available: <http://www.shippai.org/fkd/en/cfen/CC1300001.html>. [Accessed: 05-Jul-2019].
- [19] J. Spouge, P. Consultant, D. N. V Gl, V. Building, S. Street, and L. Se, “Storage Tank Explosion Frequencies on FPSOs,” no. 162, pp. 1–5, 2017.
- [20] R. De Seguridad, “Guía técnica de aplicación del RSCIEL.”
- [21] A. P. Guerrero and E. T. Sierra, “NTP 420: Instalaciones de abastecimiento de agua contra incendios.”
- [22] “ITC MIE-APQ 1: «Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles».”
- [23] D. E. S. Independientes and D. E. C. D. E. Ahorros, “Reglamento De Instalaciones De Protección Contra Incendios Que Se Aprueba El Reglamento De Instalaciones,” pp. 1–18, 1993.
- [24] J. M^a, N. Sisquella, and A. Técnico, “NTP 35: Señalización de equipos de lucha contra incendios Safety signs. Fire equipment Signalisation de sécurité. Equipement contre
-

-
- incendie Redactor.”
- [25] I. Nacional de Seguridad Higiene en el Trabajo - INSHT, “Nota técnica de prevención - NTP 888.”
- [26] F. C. C, “Catálogo Espumógeno - Marca SABO,” 2018.
- [27] F. F. Equipment, “Material contra incendios | Fire fighting equipment | Marca SABO catálogo,” 2018.
- [28] “UNE-EN 13565-2:2010, ‘Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento.’” 2010.
- [29] A. Autoriza, E. L. Uso, D. E. E. Documento, and A. N. Prosegur, “UNE-EN 23500:2018 | Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios,” 2012.
- [30] “KSB Cast Materials Data.”
- [31] “075 – Norwegian Oil and Gas recommended guidelines for water- based firefighting systems.”
- [32] “Corrosion Prevention for Water Pumps, Valves, Impellers and Fittings.” [Online]. Available: <https://www.corrosionpedia.com/corrosion-prevention-for-water-pumps-valves-impellers-and-fittings/2/6512>. [Accessed: 03-Jun-2019].
- [33] VEMACERO, “TUBERIA DE ACERO AL CARBONO API 5L / ASTM A53 / A106 TUBERIA DE ACERO AL CARBONO API 5L / ASTM A53 / A106 Peso del Tubo,” no. 0251, pp. 2–7.
- [34] D. Cpk, “Standardized Chemical Pumps - CPKN - KSB,” pp. 1–4.
- [35] “Equipos de bombeo para protección contra incendios La fiabilidad de una marca para las más altas exigencias | KSB.”
- [36] “Válvula de pie características válvula de pie dimensiones | IBAPOL,” 2008.
- [37] “OMK Pipe Production Catalogue,” 2014.
-

- [38] “MEPS - Steel Prices Definitions.” [Online]. Available: <http://www.meps.co.uk/definitions.htm>. [Accessed: 08-Jun-2019].
- [39] “UNE-23503:1989- "Sistemas de agua pulverizada. Diseño e instalaciones”.”
- [40] B. Pulverizadoras, “Boquillas pulverizadoras modelo E | VIKING,” pp. 1–10.
- [41] T. Newson, “Stainless Steel Applications-Marine.”
- [42] UNE, “UNE-EN 13565-2:2010 - ‘Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento.’” vol. 2, 2010.

Anexos

Anexo complementario a los cálculos hidráulicos

Ecuación de Bernoulli y Ley de la Termodinámica:

La ecuación de Bernoulli describe el comportamiento de un líquido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Esta ecuación se desarrolla de la aplicación de la ley de la conservación de la energía. La ecuación de Bernoulli es la base utilizada para ver el comportamiento del sistema, dimensionarlo y simularlo.

Primer principio de la termodinámica

En un sistema aislado, es decir un sistema en el cual no entra ni sale masa de este, no adiabático en el que existe intercambio de calor con los alrededores, una variación de la energía interna del sistema ocasiona un cambio en el calor intercambiado y el trabajo ejercido por el sistema a sus alrededores (Ver Ecuación (1)).

$$\Delta U = Q + W \quad (1)$$

Donde:

ΔU : Es la variación de la energía interna del sistema

Q : Es el calor intercambiado por el sistema con sus alrededores

W : Es el trabajo intercambiado por el sistema a sus alrededores

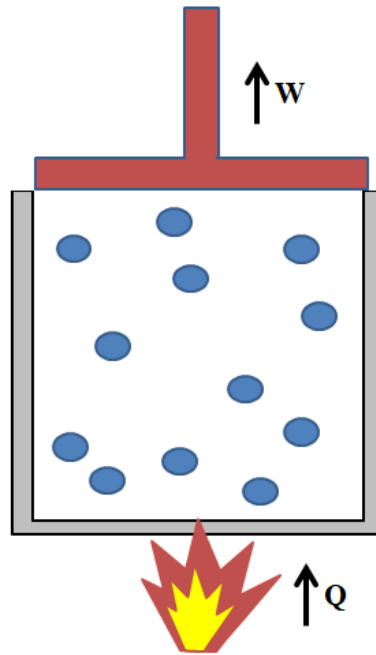


Ilustración 4: Ejemplo de la relación termodinámica. Fuente: Elaboración propia

Los signos de los miembros de la ecuación (1) son significativos en la termodinámica, por convenio de signos cuando la calor y/o el trabajo es ejercido por el ambiente al sistema son de símbolo positivo y viceversa. Así por ejemplo, en la **Ilustración 4** vemos que al calentar un gas atrapado dentro de un cilindro con un pistón adherido, al calentarlo su energía interna aumentará lo cual hace que para mantener interna al mismo estado previo de equilibrio ejerza un trabajo a través del pistón equilibrando la relación. La transmisión de energía térmica se dirige del foco térmico de mayor temperatura al de menor, de una manera similar a como en el caso de la energía potencial gravitacional los objetos van desde puntos de mayor potencial a puntos de menor potencial, por ejemplo una pelota rodando por una cuesta hasta llegar a un llano.

Ahora en el caso de hacer las siguientes suposiciones: el sistema hidráulico es adiabático y el líquido empleado es agua, ocasiona grandes cambios en la ecuación de Bernoulli y la conservación de la energía. Si el sistema es adiabático esto significa que el término Q de la ecuación (1) se desprecia y se supone que el sistema no intercambiará calor con el exterior, esto causa que las variaciones en la energía del sistema correlacione directamente con el trabajo intercambiado y viceversa, un trabajo realizado al sistema supondría un aumento de su energía interna:

$$\Delta U = W \quad (2)$$

Ecuación de la continuidad

Ahora bien en la suposición de que el líquido de trabajo siempre será agua, el agua a efectos prácticos es incomprensible a diferencia de por ejemplo agua en fase gas donde es compresible. Esta condición es especialmente importante por lo siguiente; supongamos dos líquidos de trabajo, uno es agua y el otro un líquido compresible. Si ambos líquidos llegasen a un cambio de sección de una tubería obtendríamos la siguiente relación de entrada y salida:

La cantidad de masa en la entrada será igual a la cantidad de masa a la salida del cambio de sección, ya que se supone que el sistema es aislado y no existe ni entrada ni salida de líquido.

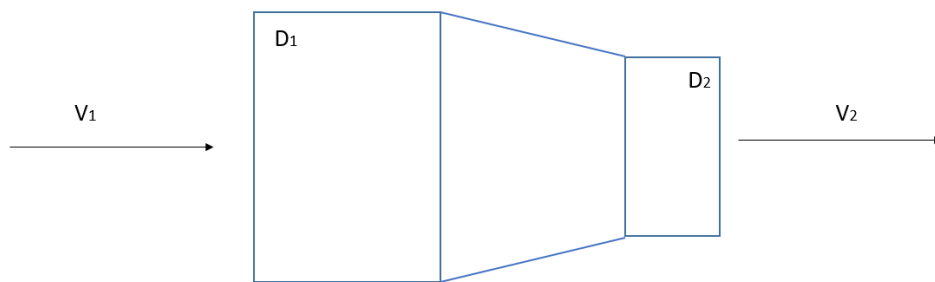


Ilustración 5: Cambio de sección con entrada de C (Caudal). Fuente: Elaboración Propia

Así pues según la Ilustración 5, si la masa de líquido que entra es igual a la que sale se cumple que:

$$m_{entrada} = m_{salida}$$

Desarrollando la ecuación y poniéndola en función del volumen obtenemos:

$$\rho_1 * Volumen_1 = \rho_2 * Volumen_2 \quad (3)$$

Donde:

ρ_n : Es la densidad del líquido en kg/m^3

$Volumen_n$: Es el volumen del líquido que entra o sale de la reducción de sección en m^3

El volumen por unidad de tiempo que entra por un cuerpo es función del área de la cara perpendicular al flujo de agua o líquido del cuerpo que atraviesa el mismo y la velocidad de este (suponemos que Ilustración 5 tiene forma cilíndrica)

$$\text{Velocidad} * \text{Area} * \Delta t = \text{Volumen} \quad (4)$$

Donde:

Velocidad: La velocidad del líquido en m/s

Área : Es el área cilíndrica del cambio de sección en m²

Volumen: Es la cantidad de volumen por unidad de tiempo en m³/s

Δt : Es un periodo de tiempo determinado en segundos

Así que sustituyendo la ecuación (4) en la ecuación (3) obtenemos la relación de la ecuación (5).

$$\rho_1 * \frac{\pi}{4} * D_1^2 * V_1 = \rho_2 * \frac{\pi}{4} * D_2^2 * V_2$$

$$\rho_1 * A_1 * V_1 * \Delta t = \rho_2 * A_2 * V_2 * \Delta t \quad (5)$$

Donde:

ρ_n : Es la densidad del fluido en la entrada y la salida en kg/m³

A_n : Es el area de la cara de entrada y salida al cambio de sección en m²

V_n : Es la velocidad del líquido en la entrada y salida del cambio de sección en m/s

De los dos fluidos que habíamos considerado previamente, uno siendo agua (incompresible) y otro siendo un líquido compresible, la ecuación (5) para el fluido compresible quedaría tal como está, pero para el caso del agua, ya que es incompresible su densidad a la entrada será igual que a la salida cumpliéndose que $\rho_1 = \rho_2$, así la ecuación se puede simplificar como:

$$V_1 * A_1 = V_2 * A_2$$

Que pone en función del área de entrada y salida del cambio de sección las velocidades del fluido al entrar o salir. Esta relación es especialmente interesante pues indica que un fluido al pasar por una reducción de sección su velocidad aumenta. Si $A_1 = 2 * A_2$ por ejemplo, la relación de velocidades queda que $V_2 = 2 * V_1$, que confirma la afirmación previamente hecha. Esta relación de variación de velocidades ante cambios de sección es especialmente interesante como veremos a continuación en la ecuación de Bernoulli donde el líquido de trabajo es el agua.

Veamos en

Ilustración 6 un modelo simplificado de una tubería para ver mejor lo que acabamos de comentar, consideremos dos puntos de la tubería 1 y 2, donde cada punto tiene vinculadas unas variables de velocidad del líquido, diámetro de la tubería y elevación de la tubería respecto al suelo. La energía interna del líquido en cada punto será despreciando la influencia de la temperatura:

$$\frac{1}{2} * m_n * V_n^2 + m_n * g * z_n \quad (6)$$

Donde:

m_n : Es la masa de agua en cada punto en kg

V_n : Es la velocidad del agua en ese punto en m/s

g : es la aceleración gravitatoria con valor $9,81 \text{ m/s}^2$

z_n : Es la elevación del punto de tubería respecto al suelo en metros

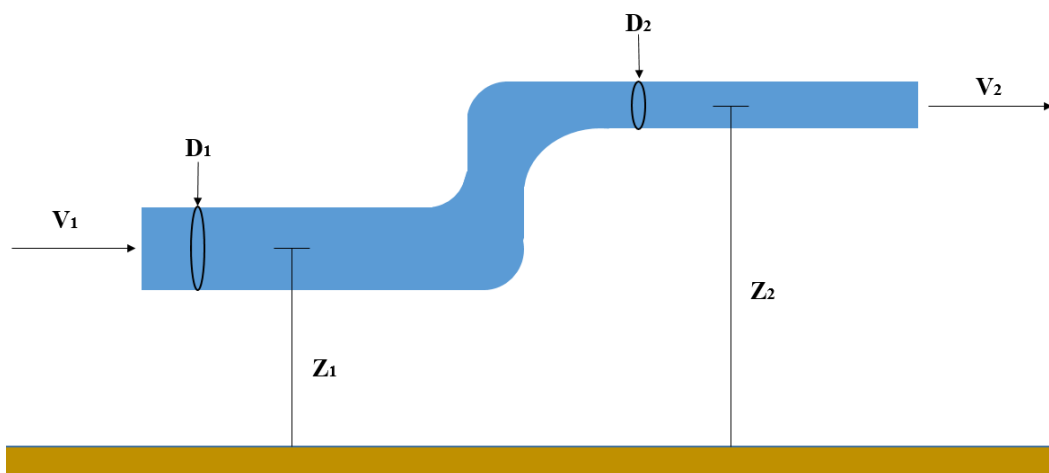


Ilustración 6: Modelo simplificado tubería. Fuente: Elaboración propia

Así pues si una fuerza moviese el agua a través del tubo desde el punto 1 al 2 (

Ilustración 6) desplazaría el agua un valor Δx_n en cada punto del tubo. El desplazamiento Δx_n no sería igual en el punto 1 como en el 2, y sería función de la relación establecida en la ecuación (5) para agua, ya que el agua es incompresible, el volumen desplazado por la fuerza en el punto 1 es igual a la que sale en el punto 2, relacionado también con la relación de conservación de la masa $m_{entrada} = m_{salida}$.

$$Volumen\ 1 = Volumen\ 2$$

$$Area_1 * \Delta x_1 = Area_2 * \Delta x_2 = Volumen \quad (7)$$

El trabajo realizado por la fuerza será igual a la energía necesaria para desplazar el fluido a lo largo de la tubería, donde cogiendo una porción del elemento líquido en la tubería, la parte que se desplaza desde la izquierda a derecha recibirá una presión P_1 y la porción del líquido que sale recibirá una presión P_2 desde el segmento de líquido a su derecha que se opone al movimiento (ver

Ilustración 7)

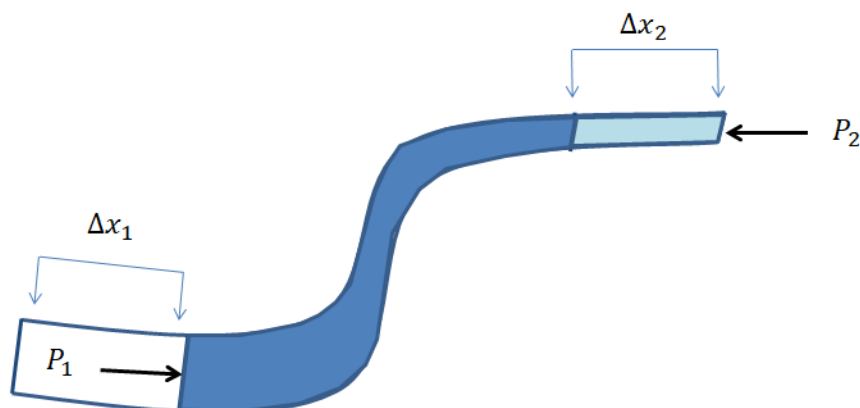


Ilustración 7: Balance de presiones en el tubo. Fuente: Propia

Así el trabajo hecho será la diferencia del hecho por las fuerzas presentes, tal que siendo $F_n = A_n * P_n$ y el trabajo realizado por una fuerza es igual a $W_n = F_n * \Delta x_n$. Se calcula el trabajo global hecho en el agua fluyente como:

$$W_1 = F_1 * \Delta x_1$$

$$W_2 = -F_2 * \Delta x_2$$

$$W_{total} = W_1 + W_2$$

Siendo $W_n = P_n * A_n * \Delta x_n$ y según lo obtenido anteriormente en la ecuación (7) donde $Volumen = A_n * \Delta x_n$, resolvemos el trabajo total como:

$$W_{total} = P_1 * A_1 * \Delta x_1 - P_2 * A_2 * \Delta x_2$$

$$W_{total} = P_1 * Volumen - P_2 * Volumen$$

$$W_{total} = (P_1 - P_2) * Volumen \quad (8)$$

Ahora substituyendo la ecuación (8) en la ecuación (2) obtendremos cómo evolucionará la energía interna del agua entre los puntos 1 al 2, así pues la variación de energía interna substituyendo en la ecuación (6) y restando, se obtiene:

$$\Delta U = \frac{1}{2} * m_2 * V_2^2 + m_2 * g * z_2 - \frac{1}{2} * m_1 * V_1^2 - m_1 * g * z_1$$

Siendo $m_2 = m_1 = masa$ se simplifica en :

$$\Delta U = \left(\frac{1}{2} * (V_2^2 - V_1^2) + g * (z_2 - z_1) \right) * masa \quad (9)$$

Sustituyendo las ecuaciones (9) y (8) en la (2) se obtiene:

$$(P_1 - P_2) * Volumen = \left(\frac{1}{2} * (V_2^2 - V_1^2) + g * (z_2 - z_1) \right) * masa$$

Substituyendo del término de la derecha masa por la ecuación $masa = \rho_{agua} * Volumen$ donde ρ_{agua} es la densidad del agua se obtiene la ecuación de Bernoulli entre dos puntos:

$$P_1 + \frac{1}{2} * \rho_{agua} * V_1^2 + g * \rho_{agua} * z_1 = P_2 + \frac{1}{2} * \rho_{agua} * V_2^2 + g * \rho_{agua} * z_2 \quad (10)$$

Donde:

P_n : Es la presión en el líquido en el punto n en Pa

ρ_{agua} : Es la densidad del agua en kg/m³

V_n : Es la velocidad del líquido en el punto n en m/s

g : Es la aceleración de la gravedad con valor 9,81 m/s²

z_n : Es la elevación del punto n respecto al punto de referencia en metros

La ecuación (10) suele expresarse en metros columna de agua (mca) pues es una forma mucho más visual respecto al mundo real de ver la ecuación:

$$\frac{P_1}{\gamma_{agua}} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_{agua}} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2 \quad (11)$$

Donde:

γ_{agua} : Es el peso específico del agua producto de su densidad y la gravedad en N/m³

Pérdidas en la tubería

Existen desde una visión generalizada dos clases de pérdidas: Pérdidas por fricción y pérdidas localizadas, estas se producen en la circulación del líquido a través de la tubería, donde este o atraviesa un tramo recto de tubería o atraviesa un elemento singular.

• Pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción son las que ocurren en la cara interna de la tubería al fluir el fluido a través de ella, son función de la longitud del segmento de tubería, de su diámetro, la velocidad del líquido y el factor de fricción con la cara interna de la tubería. Las pérdidas hidráulicas por fricción son obtenidas por fórmulas empíricas, donde la fórmula de Darcy-Weisbach y la de Hazen-Williams.

La fórmula de Darcy-Weisbach no es exclusiva de los conductos circulares a presión sino que puede usarse para cualquier otro conducto sin más que utilizar el diámetro hidráulico equivalente para secciones no circulares [11]. La ecuación de Hazen-Williams sólo tiene aplicación para agua pero esta última es más cómoda para usar en los cálculos ya que es independiente del número de Reynolds y suele ser de las más usadas en diseño de tuberías de agua y sistemas de rociadores [12]. La ecuación de Darcy-Weisbach toma la siguiente forma:

$$hf = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \quad (12)$$

Donde:

hf : Son las pérdidas en mca por fricción en el segmento de tubería considerado

f : Es un factor adimensional de fricción de Darcy en la tubería

L : es la longitud en metros del segmento de tubería considerado

D : es el diámetro en metros del segmento de tubería considerado

V : es la velocidad del fluido en ese segmento de la tubería en m/s

g : es la aceleración de la gravedad con valor 9,81 m/s²

El factor f en la ecuación de Darcy-Weisbach es función del número de Reynolds en un primer filtro, este número determina si el fluido fluye de manera laminar o turbulenta. El número de Reynolds es un factor adimensional que relaciona las fuerzas inerciales del fluidos con las viscosas, cuanto mayor “relevancia” tengan las fuerzas viscosas el flujo tenderá a ser laminar, en cambio cuanto mayor influencia tengan las inerciales el flujo tender a ser turbulento. La laminaridad implica orden en el fluir y menores pérdidas, la turbulencia implica desorden al fluir donde no todas las

líneas de flujo siguen el trazado de la tubería y ocasionan pérdidas adicionales, ruidos etc... Lo preferible es que el fluido siempre fluyese laminarmente obviamente, pero en la gran mayoría de casos el flujo es turbulento.

El Reynolds para un fluido que circula por una tubería de diámetro D es:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad (13)$$

Donde:

ρ : es la densidad del fluido que fluye por la tubería en kg/m^3

V : es la velocidad del fluido que fluye por la tubería en m/s

D : es el diámetro en metros de la tubería

μ : es el factor viscosidad dinámica del fluido en pascales segundo $\text{Pa}\cdot\text{s}$

Del resultado del número de Reynolds si es menor a 2100 el flujo será laminar, si el valor está entre 2100 y 4000 el flujo será transitorio, se caracteriza por ser un punto intermedio entre el laminar y el turbulento donde se comporta como laminar pero empiezan a aparecer oscilaciones. Si el Reynolds es mayor o igual a 4000 el flujo será turbulento. Una vez se tiene el Reynolds y definido el régimen se puede obtener el factor de fricción por diversos métodos: fórmula de Darcy, ecuación de Colebrook-White la cual se usa para sacar los factores en la zona de transición entre laminar y turbulento, diagrama de Moody por poner unos ejemplos. En el caso de ser turbulento hay matices en función de la rugosidad de la tubería puede ser turbulento rugoso, intermedio o liso.

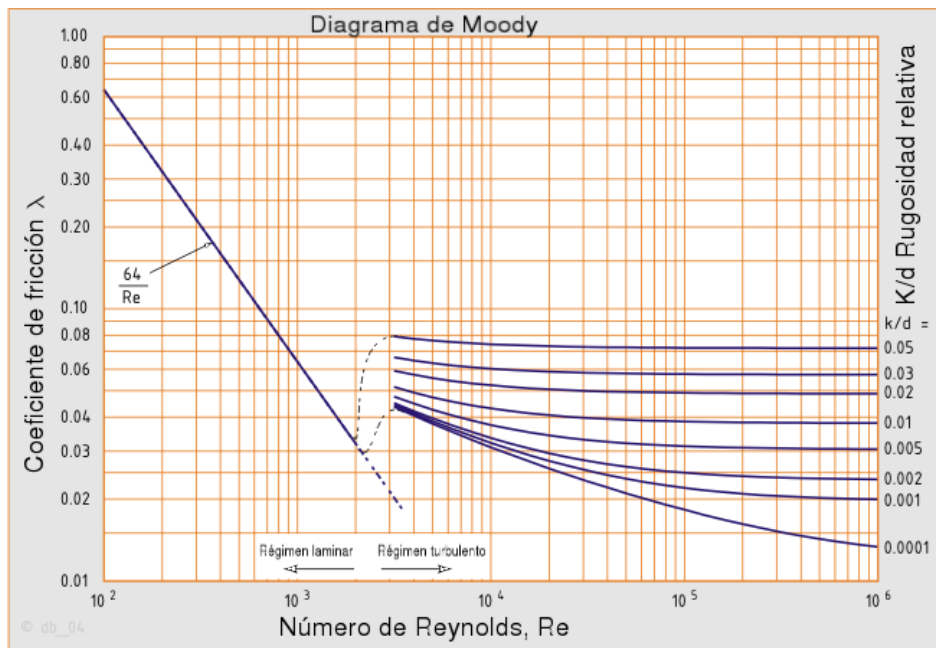


Ilustración 8: Ejemplo del factor f función del Reynolds en el diagrama de Moody. Fuente: Usuario Af3 colaboración en Wikipedia . CC

Por otra parte, la ecuación de las pérdidas hidráulicas de Hazen-Williams en unidades del sistema internacional es:

$$hf = \frac{10.67 * Q^{1.852}}{C^{1.852} * d^{4.8704}} * L \quad (14)$$

Donde:

hf : son las pérdidas en metros columna de agua (mca) por fricción en el segmento de tubería considerado.

Q : es el caudal en m^3/s que circula por la tubería

C : es el coeficiente de fricción de la tubería es adimensional y depende del material

d : es el diámetro en metros de la tubería

L : es la longitud de la tubería en metros

• Pérdidas localizadas

Las pérdidas localizadas son aquellas que tienen lugar en los elementos singulares previamente comentados, por elemento singular en una tubería se entiende componentes tales como válvulas, codos, cambios de sección y relacionados. La

ecuación generalizada de las pérdidas localizadas toma la forma:

$$hl = K * \frac{V^2}{2 * g} \quad (15)$$

Donde:

hl : Son las pérdidas en metros columna de agua en el elemento singular

K : Es un coeficiente adimensional y depende del tipo de singularidad.

V : Es la velocidad característica del fluido en m/s

g : es la aceleración de la gravedad con valor de 9,81 m/s²

Usualmente las pérdidas por fricción son más importantes que las singulares, pudiendo despreciarse cuando supongan menos del 5% de las totales [13]. Las pérdidas locales suelen expresarse e incluirse dentro de las pérdidas con el concepto de longitud equivalente, este concepto se refiere a cuantos metros de tubería recta, producirían las mismas pérdidas por fricción que en la singularidad, igualando las ecuaciones de pérdidas locales (15) y por fricción (12):

$$hl = hf$$

$$K * \frac{V^2}{2 * g} = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Aislando la longitud se obtiene la relación de longitud equivalente:

$$L_{equivalente} = \frac{K * D}{f} \quad (16)$$

Estas pérdidas en el trayecto ocurren en todos los casos en diferentes magnitudes, así que la ecuación (11) no se corresponde a la realidad si no se tienen en consideración las dichas pérdidas, así que, la ecuación de Bernoulli entre dos puntos de la tubería, con indefinidos segmentos de tramo recto de tubería de diámetros constantes o variantes y un número indefinido de elementos singulares tomará la forma:

$$\frac{P_1}{\gamma_{agua}} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_{agua}} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2 + \sum_{i=1}^n hf_i + \sum_{i=1}^m hl_i \quad (17)$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n hf_i$: Son la suma de las pérdidas por fricción en metros columna de agua en la longitud de tubería considerada donde n es el número de segmentos con diámetros diferentes.

$\sum_{i=1}^m hl_i$: Son la suma de las pérdidas localizadas en metros columna de agua en la longitud de tubería considerada donde m es el número de elementos singulares.

Anexo A: Análisis de Riesgos y medios de protección

Introducción

En el siguiente anexo se incluirán los siguientes apartados:

1. Análisis de los riesgos presentes en los tanques, los escenarios a evitar y la estrategia en la prevención de los incendios.
2. Análisis de nivel de riesgo intrínseco de los sectores de incendio y las cargas de incendio, con el fin de determinar las protecciones exigibles y necesarias por la normativa aplicable.
3. Descripción detallada de los diferentes sistemas de lucha contra incendios que se considerarán en este proyecto.

4. Mantenimiento y revisiones de los diferentes equipos según las exigencias de la normativa aplicable.

Estrategias de seguridad, escenarios de incendio y riesgos

Los tanques de almacenamiento de productos como hidrocarburos presentan unos riesgos intrínsecos por la propia naturaleza de los productos almacenados. Los campos de depósitos presentan esta clase de riesgos, la eliminación total de los riesgos no es posible, la única solución es la evaluación de estos e intentar minimizarlos al máximo.

La proximidad física entre los tanques conlleva riesgos adicionales por el posible efecto dominó, sobretodo en el caso de explosión los efectos se pueden ver rápidamente extendidos y la situación escalar fuera de nuestro control. En caso de incendio de un tanque, la radiación emitida en el incendio afecta a sus tanques vecinos, esta radiación térmica es absorbida por los tanques puede ocasionar una serie de escenarios, entre ellos la ignición de los tanques cercanos y ocasionar la no deseada cadena de sucesos que se ha mencionado previamente.

Las principales causas de fallos y errores en los depósitos de hidrocarburos son los siguientes [14]:

1. Operacionales

Estos son aquellos sucesos derivados de malas decisiones o condiciones de trabajo no correcto en el aspecto del almacenado de hidrocarburos. Estos ejemplos de causas de error abarcan sucesos tales como:

- Válvula de drenaje abierta accidentalmente
- Sobrellenado del tanque
- Alta temperatura del producto a la entrada al depósito
- Venteos bloqueados durante descarga/carga de producto

2. Fallos en equipamiento e instrumentación

Todo suceso no deseado derivado de un error de los propios equipos/instrumentación montada en los tanques y que por diferentes razones no ha cumplido su función. Ejemplo de estos fallos son:

- Hundimiento del techo de tanques flotantes
- Indicaciones de nivel erróneas
- Rotura de válvula de descarga
- Válvula oxidada bloqueada

3. Rayos

Cuando ocurren tormentas eléctricas, es probable que estas descargas alcancen la estructura de los tanques. En su recorrido a tierra es clave el poder conducir de manera correcta a tierra esta corriente, esta corriente puede producir chispas en diferentes partes del tanque y causar un fuego. Fallos derivados de rayos suelen implicar o tener causa en:

- Mal aislamiento o dañado
- Fugas en los sellos de los tanques
- Golpe directo del rayo en la estructura

4. Electricidad estática

La electricidad estática se puede producir por dos procesos por conducción (fricción o contacto) o bien por inducción [15]. En diferentes procesos que se realizan en refinería como carga y descarga de producto en los tanques, conducción de agua/producto por tuberías o por ejemplo el propio movimiento de vehículos o personal generan grandes cantidades de carga estática. La carga estática se acumula y se descarga en modo de chispa a tierra o a otro material. Esta chispa en áreas con atmosfera explosiva pueden llegar a ser fuente de ignición y conducir al incendio de este, de la misma manera que las descargas atmosféricas de rayos causan el mismo efecto. Causas de fallos debido a esto pueden ser:

- Rotura en aislantes en el sello de los tanques
- Aislamiento deficiente
- No seguir procedimiento de procesos con riesgo de acumulación estática

5. Errores de mantenimiento

Errores humanos derivados de tareas de mantenimiento como:

- Material de soldadura no aislado correctamente
- Corto circuitos de equipos
- Uso de material no apto para atmosferas explosivas ATEX

6. Rotura o grietas del cuerpo del tanque

Fallos en el cuerpo del tanque. Derivados de la construcción de este, tareas de mantenimiento incorrectas u otras causas. Ejemplos de estas causas son:

- Soldadura pobre en juntas del tanque u otros
- Distorsión del cuerpo del tanque
- Corrosión

7. Rotura de conexiones o conductos

Fallos estructurales o de otra índole en los conductos, válvulas, bombas etc... Estos fallos ocasionan el vertido de producto a la atmosfera, proporcionado las condiciones de que ocurra un incendio.

- Fugas en válvula
- Fallo en tuberías
- Fugas en bombas de producto

8. Sistemas de soporte de seguridad

Fallos en los propios sistemas de seguridad que garantizan la seguridad en la operación de los tanques, o fallos en los sistemas contra incendio en si y que ocasionen que los escenarios empeoren o no sean controlables. Ejemplo de esto son:

- Apagón eléctrico
- Refrigeración de tanque insuficiente
- Pérdida de presión en sistemas contra incendio o fugas que lo hagan inoperativo

9. Otros

Estos fallos son aquellos fallos principalmente naturales como terremotos, clima extremo etc... También se incluirán otras causas como impacto de vehículos contra los tanques.

Estas causas individual o colectivamente pueden ocasionar una serie de escenarios de incendio de mayor o menor gravedad. Los diferentes escenarios pueden evolucionar a otros, tendiendo los incendios de tanques dadas las condiciones oportunas al escenario último de mayor gravedad como el boilover o rebosamiento por ebullición o slopover.

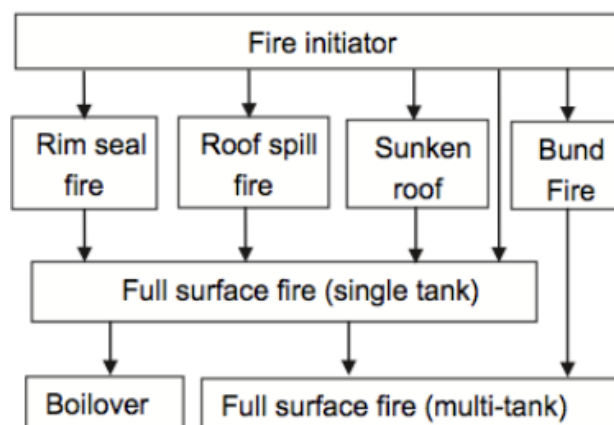


Ilustración 9: Evolución de los escenarios de incendio en tanques. Fuente:[14].

El boilover es un fenómeno el cual ocurre durante el incendio de ciertos tanques de almacenamiento de productos derivados del petróleo u otra clase de productos inflamables viscosos [16]. Este fenómeno ocurre en tanques de techo abierto o flotante principalmente, consiste en un súbito incremento de la intensidad de las llamas de un incendio constante ya iniciado y un rebose de estas de los límites del tanque hacia afuera. Ocurre debido a que al quemarse el producto superficial en el tanque, los residuos de ese fuego, los cuales son más densos que el producto por debajo, se hunden rápidamente hacia el fondo del tanque. Estos residuos calientes forman en el fondo una capa caliente que irradia calor, al hundirse, si esta alcanza una capa de agua en el fondo del tanque, esta agua se calienta muy rápidamente y bulle violentamente de forma explosiva, desbordando producto caliente y producto inflamado fuera del tanque [16]. El boilover requiere de tres condiciones para ocurrir:

- Tanque abierto o de techo flotante
- Capa de agua en el fondo del tanque
- Ondas térmicas que sobrecalientan y se propagan a través del material.

El slopover en cambio es un fenómeno no tan violento como el boilover, en este caso, al calentarse el material debido al incendio, se separa el producto inflamable del agua de la misma manera que en el boilover, en esta caso el agua se precipita de manera similar al boilover, se calienta progresivamente y se evapora cambiando de fase. El vapor crea una emulsión con el producto de gran volumen que se eleva y rebosa por un lado del tanque dicha emulsión.

La capa de agua en el fondo de los tanques se forma debido a que durante el incendio el producto inflamable se calienta reduciendo su densidad y se separa el agua presente en el producto del propio producto, esta agua en un modo de funcionamiento normal se encuentra atrapada en el material en rangos del 0,3% al 4,5% [16]. Esta separación de los diferentes elementos es lo que ocasiona que la capa de agua se encuentre en el fondo y ocasione fenómenos como el slopover y el boilover.

Siendo el boilover y el slopover los peores escenarios a presentarse en un tanque incendiado a parte del propio incendio en sí. Es clave que la lucha justo cuando se declara el incendio sea rápida y efectiva. Como se comentó el proyectar agua

directamente en el foco de incendio no es la estrategia más efectiva, como se ha comentado el agua presente en el producto incendiado es la responsable de causar estos escenarios fuera de control como el boilover/sloper.

Otros escenarios que se pueden presentar antes del propio incendio, entendiéndose por incendio al incendio total de la superficie expuesta al aire de este, son fugas o pequeños incendios en las juntas de unión o pequeños incendios alrededor del tanque debido a fugas de material incendiado o a material fugado que posteriormente se incendia.

En el caso de las esferas de gas los riesgos de incendio y sus características difieren a los de los tanques de derivados o crudo líquidos. En estos se almacena gas licuado refrigerado a presión. La estructura de la esfera, el sistema de refrigeración y los sistemas de seguridad son los encargados de mantener las esferas en condiciones de trabajo rutinarias. Los gases almacenados en estas esferas son altamente inflamables y presentan fase gas a temperatura ambiente. En esta clase de tanques el peor escenario que se puede presentar derivado de un incendio u otras causas es el fenómeno BLEVE acrónimo inglés de "*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*".

El BLEVE consiste en una explosión catastrófica del gas dentro del tanque afectado. El BLEVE ocurre cuando el incremento de la presión interna dentro de este excede el ritmo al cual la válvula de venteo de seguridad puede disipar y aliviar la presión de la esfera, este exceso de presión dentro de la esfera eleva la temperatura del material y en caso de un fallo mecánico, por el motivo que sea, de la estructura de esta. La ruptura de la contención que contiene el gas sobrecalentado, es liberado súbitamente a la atmosfera, el gas al ya no estar presionado a alta presión y su alta temperatura causa que ante la menor fuente de ignición combusta o incluso combusta sin fuente de ignición si ha alcanzado su temperatura de auto-ignición en presencia de oxígeno [17] .

La causa típica de los BLEVE suele ser a raíz de un incendio ocurrido en las cercanías de la esfera y que afecta a la estructura de esta, este incendio debilita la estructura de la esfera y calienta el producto almacenado en su interior, el cual se calienta y expande aumentando su presión interna. Esta combinación de debilitamiento de la estructura y alta presión interna es la que causa la ruptura y además estando el incendio en sus cercanías

actúa como fuente de ignición en la ruptura de la esfera ocasionando un BLEVE [17];[18].

La eliminación completa de todos los riesgos es, como se ha comentado anteriormente imposible y el objetivo es minimizarlo lo máximo posible. Los riesgos en las instalaciones tienen vinculados una probabilidad de que ese algo negativo ocurra y unas consecuencias de que aquello negativo ocurra. Toda operación industrial de cualquier tipo implica algún tipo de riesgo el cual varía en probabilidad y consecuencias, con el fin de obtener un resultado/meta/logro.

Es clave definir que riesgos son tolerables y cuales no lo son a la hora de operar. Siempre existirá un mínimo de riesgo, incluso con la presencia de todos los sistemas de seguridad oportunos encargados de disminuirlo. A la hora de operar existen ciertos riesgos que los operadores o todas aquellas personas expuestas aceptan, la clave en la estrategia de seguridad será siempre garantizar el mínimo riesgo posible para las personas que pueden ser afectadas.

En el contexto de los depósitos de tanques, las consecuencias de un incendio en un tanque de hidrocarburos pueden ser altísimas, pudiendo perderse vidas humanas, grandes pérdidas materiales contaminación... por poner unos ejemplos. La probabilidad de que estos incendios ocurran en cambio, son bajísimas, alrededor de 15-20 tanques en refinerías se incendian al año en el mundo [14], con probabilidades de incendio por tanque de entre $0,362 \times 10^{-3}$ al año para tanques en refinerías [14] y de $2,2 \times 10^{-3}$ al año para depósitos flotantes en barcos cargueros [19].

Aunque las probabilidades de incendio sean mínimas estadísticamente, debido a las consecuencias el riesgo resultante de un incendio descontrolado sin los sistemas adecuados para poder sofocarlo o controlarlo no es tolerable. Un incendio descontrolado en uno de los tanques de hidrocarburos puede ocasionar fenómenos tan violentos como el boiler, afectar y extender las llamas a tanques cercanos ocasionando un efecto dominó que en el caso de afectar a las esferas de gas puede ocasionar un BLEVE que destruya gran partes de las instalaciones.

Los sistemas contra incendios que se dispongan en los tanques su principal objetivo será el de combatir estas primeras etapas de un incendio único de un tanque y evitar la evolución a peores escenarios, mediante sistemas de agua pulverizada que refrigeraran las estructuras de los tanques garantizando una disipación de la temperatura de las paredes de estos y sistemas de extinción por espuma especialmente compatible para esta clase de materiales. Junto a estos sistemas activos existe otra serie de dispositivos pasivos como el cubeto, aislamientos, sistemas de drenaje que también colaboran en esta lucha contra incendios. Todos estos sistemas activos se comentaran en mayor detalle en los siguientes apartados, donde se dimensionarán.

El sistema contra incendios de refinería estará dimensionado para el control y extinción del escenario de incendio más crítico de un único tanque del total presente en refinería. La probabilidad de que se incendien dos tanques independientemente el uno del otro en lugares diferentes de refinería a la vez sería de $1,31 \cdot 10^{-7}$ (tomando la probabilidad del incendio de un tanque anual), lo cual es un escenario casi imposible y aunque las consecuencias son muy graves, debido a lo improbable del escenario se considera como un riesgo “tolerable”.

En el caso de un incendio en más de uno de los tanques, refinería deberá contar con los medios conjuntos de protección civil para poder combatir el incendio, siendo clave la temprana comunicación y la buena coordinación entre los medios de lucha de refinería y de los servicios públicos.

Nivel de riesgo intrínseco y carga de fuego del establecimiento industrial

Una vez definidos los riesgos que nos podemos encontrar en los tipos de depósitos que se encuentran en refinería, se definirá el nivel de riesgo según la normativa que aplica (ver apartado Normativa aplicable), específicamente donde se define el nivel de riesgo es el *RSCIEI* donde concretamente en su anexo I define la caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad contra incendios, y el nivel de riesgo intrínseco. Las medidas de protección pasiva y activa se determinan en cada

sector o área de incendio dependiendo de su “nivel de riesgo intrínseco” y la configuración del edificio donde se encuentra [20].

Como nota, las disposiciones del *RSCIE* son complementarias a las especificadas en el *RD 2085/1994 “Reglamento de instalaciones petrolíferas”* donde las disposiciones de este último son de completa aplicación para el cumplimiento de los requisitos de seguridad [20]. Se verán en mayor detalle las disposiciones del RD 2085/94 en futuros apartados de los anexos.

En primer lugar se clasificará el establecimiento industrial, el RSCIEI determina las siguientes configuraciones de establecimiento industrial:

1. **Tipo A:** El establecimiento industrial ocupa parcialmente un edificio que tiene, además, otros establecimientos, ya sean estos de uso industrial ya de otros usos.
2. **Tipo B:** El establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio que está adosado a otro u otros edificios, o a una distancia igual o inferior a tres metros de otro u otros edificios, de otro establecimiento, ya sean estos de uso industrial o bien de otros usos.
3. **Tipo C:** El establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio.
4. **Tipo D:** El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, que puede estar totalmente cubierto, alguna de cuyas fachadas carece totalmente de cerramiento lateral.
5. **Tipo E:** El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede estar parcialmente cubierto (hasta un 50 por ciento de su superficie), alguna de sus fachadas en la parte cubierta carece totalmente de cerramiento lateral.

En nuestro caso el establecimiento industrial es un área llana abierta con prácticamente ninguna zona cubierta aparte de casos muy concretos, así que entraría dentro de la categoría tipo E en todos los casos, todos los tanques como ya se ha comentado están dentro de su cubeto, distanciados entre ellos cumpliendo las distancias de seguridad y al aire libre.

El nivel de riesgo intrínseco se calcula mediante las ecuaciones definidas en el anexo I del *RSCIEI* donde se diferencia los conceptos de “sector de incendio” o “área de incendio” donde el establecimiento industrial se ven constituidos en varias configuraciones de las anteriormente mencionadas. En los tipo D y E el área de incendio es aquella superficie ocupada delimitada por su perímetro, por esto se refiere al área delimitada por el cubeto [21] donde cada uno de estos bloques presenta unos riesgos de diferente magnitud y dentro de la labor del proyectista está el establecer dentro de cada bloque de incendio cual será el peor escenario. Así el establecimiento industrial está compuesto en su totalidad de los diferentes sectores de incendio de los cubetos de los 70 tanques del proyecto, todos ellos configuración E.

La normativa propone dos fórmulas para el cálculo del nivel de riesgo intrínseco de cada área de incendio o sector de incendio:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i G_i * q_i * C_i}{A} * R_a \quad \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \text{ o } \left(\frac{Mcal}{m^2} \right) \quad (18)$$

Donde:

Q_s : es la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio en MJ/m² o Mcal/m².

G_i : masa, en kg de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector o área de incendio (incluidos los materiales constructivos combustibles).

q_i : poder calorífico, en MJ/kg o Mcal/kg de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio

C_i : coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

R_a : coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc.

A : superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m², en este caso como se ha comentado previamente es el área del cubeto.

Como alternativa a la ecuación anterior se puede evaluar la densidad la carga de fuego, ponderada y corregida con la siguiente ecuación para el caso de actividades de almacenamiento como es el caso.

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} * C_i * h_i * s_i}{A} * R_a \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \text{ o } \left(\frac{Mcal}{m^2} \right) \quad (19)$$

Donde:

Q_s , C_i , R_a y tienen el mismo significado que en la ecuación anterior.

q_{vi} : carga de fuego aportada por cada m^3 de cada zona con diferente almacenamiento (i) existente en el sector de incendio, en MJ/m^3 o $Mcal/m^3$.

h : altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles (i) en metros.

S_i : superficie ocupada en planta por cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio en m^2 .

Como consideraciones previas, en caso de existencia de varias actividades en el sector, el factor de riesgo de activación (R_a) se tomará el inherente a la actividad con mayor riesgo de activación siempre que esta ocupe al menos un 10% de la superficie del sector de incendio. El área de los sectores de incendio ya se conoce, debido a que es el área de cada uno de los cubetos. La superficie ocupada en planta por cada uno de los depósitos en todos los casos será una proyección circular en el suelo calculada con la ecuación:

$$\text{Área Proyección} = \frac{\pi}{4} * D^2 \quad (20)$$

Donde:

Área proyección: es el área de la proyección circular en planta del depósito en la superficie del cubeto en m^2

D : es el diámetro del depósito en metros

Para los productos que se almacenan en los tanques, se pueden considerar todos ellos derivados de hidrocarburos menos el caso del aceite vegetal (más información del contenido de los tanques en apartado Punto de partida), algunos de los productos almacenados como el tanque de las desaladoras y el agua de la planta de tratamiento de

aguas residuales contienen grandes cantidades de crudo e hidrocarburos, por lo que aunque a simple vista son inertes no lo son. El coeficiente adimensional de peligrosidad C_i la tabla 1.1 del *RSCIEI* categoriza según producto almacenado el valor de este coeficiente y el valor de R_a se especifica en la extensa tabla 1.2 del *RSCIEI* al igual que el coeficiente q_{vi} de carga de fuego aportada por m^3 .

Para Depósitos de hidrocarburos:

- $R_a = 2$
- $q_v = 43700 \frac{MJ}{m^3}$ o $10505 \frac{Mcal}{m^3}$

Para Aceites: mineral, vegetal y animal:

- $R_a = 2$
- $q_v = 18900 \frac{MJ}{m^3}$ o $4543 \frac{Mcal}{m^3}$

El coeficiente de peligrosidad C_i toma los valores de peligrosidad: alta, media y baja si el producto almacenado en el depósito cumple con alguna de las siguientes clasificaciones:

- **Alta - $C_i = 1,6$**
 - Líquidos clasificados como clase A.
 - Líquidos clasificados como subclase B1.
 - Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100°C.
 - Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente.
 - Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.
- **Media - $C_i = 1,3$**
 - Líquidos clasificados como clase B2.
 - Líquidos clasificados como clase C.
 - Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100°C y 200 °C.
 - Sólidos que emiten gases inflamables.

- **Baja - $C_i = 1,00$**

- Líquidos clasificados como clase D.
- Sólidos que empiezan su ignición a una temperatura superior a 200 °C.

Se clasifican los diferentes productos contenidos en los tanques en productos A, B, C o D (ver apartado **Clasificación de los productos petrolíferos e inflamables:**), para saber el coeficiente de peligrosidad a aplicar en cada caso. De las fichas de seguridad de cada producto derivado de hidrocarburos o químicos se obtiene sus características químicas como la temperatura de inflamación que son las que caracterizan su clasificación.

Tanques	Producto	Clase
704	Butano	A
705	Butano	A
736	Propano	A
748	Butano	A
761	Propileno	A
766	Propileno	A

Tabla 2: Productos clase A

Tanques ID (TK -)	Producto	Clase
3702	Crudo	B1
3703	Crudo	B1
1401	ASF 40/50	B1
1400	ASF 150 / 200	B1
1403	ASF VGO	B1
1404	ASF 110/120	B1
1402	ASF 60/70	B1
755	Crudo	B1
756	Crudo	B1
3700	Crudo	B1
3701	Crudo	B1
750	Crudo	B1
751	Crudo	B1
752	Crudo	B1
701	GNA 95	B1
760	GNA 95	B1
700	GNA 95	B1
1270	Agua Desalador (D-151)	B1
1271	Agua Desalador (D-151)	B1

731 A	POZOS API	B1
731 B	POZOS API	B1
732	AGUAS API	B1
712	SLOPS FCC (Nafta Pesada)	B1
719	SLOPS FCC (Nafta Pesada)	B1
711	GNA 95	B1
717	ETBE	B1
718	MTBE	B1
740	ETBE	B1
741	ECO 95	B1
762	ETBE	B1
716	GNA 95	B1
713	GNA 98	B1
715	GNA 98	B1
714	GNA	B1
746	GNA 98	B1
706	Nafta Ligera	B2
720	Nafta Ligera	B2
745	Nafta Ligera	B2
721	Queroseno	B2
744	Queroseno	B2
747	Queroseno	B2

Tabla 3: Productos clase B

Tanques ID (TK -)	Producto	Clase
702	GOL A	C
703	HSGO	C
763	FUEL OIL	C
737	GOL C	C
764	HKGO	C
727	GOL A	C
708	ADIT PARAFLOW (R321 INFINIUM)	C
724	GOL B/C	C
726	GOL A	C
739	GOL C	C
725	GOL A	C
723	GOL A	C
743	LGO	C
707	ADIT MICET	C
722	LGO	C
738	GOL C	C

728	FUEL OIL	C
729	FUEL OIL	C
765	FAME	D
735	POZOS API	D
742	FAME	D
734	ADIT LUBRICIDAD (INFINIUM R-650)	D
730	Aceite Vegetal	D

Tabla 4: Productos clase C y D

Una vez clasificados todos los productos contenidos en los tanques nos falta sectorizar y agrupar todos los tanques en sus sectores de incendio, que como ya se ha comentado es simplemente el perímetro de sus cubetos. Algunos de ellos comparten cubeto por lo que la densidad de carga de fuego resultante será mayor que en otros escenarios. Así que se clasifican las áreas de incendio y se relacionan con los tanques que ocupan el cubeto:

Tanques (TK -)	Área de incendio	Tanques (TK -)	Área de incendio	Tanques (TK -)	Área de incendio	Tanques (TK -)	Área de incendio
3702	1	764	20	739	34	766	50
3703	1	727	21	725	35	728	51
1401	2	1270	22	742	36	729	52
1400	3	1271	23	723	37	730	53
1403	4	731 A	24	717	38		
1404	4	731 B	24	718	38		
1402	5	735	25	740	39		
755	6	732	26	741	39		
756	6	704	27	762	40		
3700	7	705	28	716	41		
3701	8	736	29	713	42		
750	9	748	30	721	43		
751	10	761	31	743	43		
752	11	706	32	707	44		
702	12	708	32	715	44		
703	13	712	32	734	44		
701	14	719	32	714	45		
760	15	720	32	722	45		
700	16	745	32	744	46		
763	17	711	33	746	47		
737	18	724	34	747	48		
765	19	726	34	738	49		

Tabla 5: Áreas de incendios de los tanques

El área delimitada por cada uno de los sectores de incendio es simplemente el área de cada cubeto hasta los muretes perimetrales o delimitadores con otros cubetos:

Sector	Áreas (m ²)	Sector	Áreas (m ²)
1	42309	28	1100
2	2600	29	1100
3	1000	30	1000
4	725	31	1400
5	2450	32	4450
6	47600	33	4300
7	32600	34	4300
8	32600	35	4200
9	24800	36	1500
10	22500	37	4430
11	36700	38	3300
12	18000	39	2800
13	18000	40	1100
14	8430	41	2825
15	8700	42	2900
16	14100	43	3400
17	3720	44	1600
18	9750	45	1700
19	1600	46	6300
20	3650	47	4200
21	10000	48	4200
22	750	49	1800
23	750	50	2850
24	2700	51	14000
25	800	52	7800
26	1750	53	700

Tabla 6: Sectores de incendio y sus áreas

Una vez sectorizados, se obtiene la densidad de carga de fuego ponderada de cada sector de incendio en MJ/m², empleando la ecuación (19) y con la ayuda de la tabla anterior se calcularán viendo el número de tanques que comparten sector y sus proyecciones. Por ejemplo se calcula la densidad de carga de fuego del sector 1:

- **Tanques en el sector 1:** TK 3702 y TK 3703
- **Clasificación y productos:** Crudo, producto clase B1, Depósito de hidrocarburos
- **Variables C_i , R_a y q_{vi} :**
 - $C_i = 1.6$
 - $R_a = 2$

- $q_{vi} = 43700 \text{ MJ/m}^3$
- **Tamaños:** Viendo la **Tabla 1**
 - TK 3702 : Altura = 18,58 metros ; Diámetro = 86,86 metros
 - TK 3703: Idéntico a TK 3702
 - Área de incendio = 42309 metros cuadrados

Se introducen todos los datos para los dos tanques en la ecuación (19) y se obtiene la densidad de carga de fuego del sector 1:

$$Q_{s1} = \frac{43700 * 2 * 1.6 * (2 * (18.58 * \frac{\pi}{4} * 86.86^2))}{42309} = 727.786,36 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

Siguiendo la misma metodología se calculan todas las densidades de carga de fuego de todos los sectores de incendio:

Sector	Carga de fuego ($\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$)	Sector	Carga de fuego ($\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$)
1	727786.33	28	358108.98
2	694384.94	29	536273.04
3	451565.68	30	593853.44
4	263748.26	31	432845.52
5	460913.04	32	259024.22
6	643678.56	33	626864.12
7	443896.73	34	401865.44
8	558470.39	35	775511.50
9	559067.55	36	448808.84
10	616216.68	37	735247.92
11	377789.51	38	325456.08
12	372703.65	39	786828.64
13	372703.65	40	743698.41
14	452987.50	41	618135.35
15	324768.73	42	602149.09
16	611905.43	43	526280.10
17	758552.13	44	379850.61
18	688068.29	45	467061.71
19	262618.96	46	650388.69
20	773099.70	47	581321.69
21	701014.16	48	582321.97
22	193850.56	49	700076.98

23	187546.90	50	606561.68
24	606676.63	51	500724.40
25	59544.74	52	523816.26
26	468007.68	53	54286.72
27	357662.03		

Tabla 7: Densidades de carga de fuego de las áreas de incendio

Con las densidades de carga de fuego de cada uno de los sectores se puede obtener las protecciones que serán necesarias en cada uno de los sectores y calcular la densidad de carga de fuego del establecimiento industrial el cual determinará las periodicidad de las inspecciones [20]. La densidad de carga del establecimiento industrial se obtiene con la siguiente fórmula obtenida del RSCIEI:

$$Q_e = \frac{\sum_1^i Q_{si} * A_i}{\sum_1^i A_i} \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \text{ o } \left(\frac{Mcal}{m^2} \right) \tag{21}$$

Donde:

Q_e : densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del edificio industrial, en MJ/m² o Mcal/m².

Q_{si} : densidad de carga de fuego, ponderada y corregida de cada uno de los sectores o áreas de incendio, (i), que componen el edificio industrial o establecimiento industrial en MJ/m² o Mcal/m².

A_i : superficie construida de cada uno de los sectores o áreas de incendio, (i), que componen el edificio industrial en m².

Se calcula así la densidad de carga de fuego del establecimiento industrial en su totalidad, esto es el área de tanques dejando de lado la zona de proceso, pues a efectos del diseño se consideran como dos bloques separados como se ha comentado en la introducción a este proyecto. Se obtiene introduciendo todos los valores de la **Tabla 7** en la ecuación (21) el valor de la Q_e del establecimiento:

$$Q_e = 546249,05 \frac{MJ}{m^2}$$

Con todas las densidades de carga de los sectores y del establecimiento calculadas, se definen las protecciones complementarias indicadas en el *RSCIEI* a las de obligatorio cumplimiento del *RD 2085/1994*. De la tabla 1.3 del *RSCIEI* se obtienen los niveles de riesgo intrínseco de cada sector en función de la carga de fuego ponderada y corregida. Los niveles de riesgo se clasifican en tres categorías general: Alto, Medio y Bajo, y en 8 niveles de riesgo intrínseco. Para la unidad de cálculo usada de MJ/m^2 , todos los sectores mirando la **Tabla 7** todos los sectores superan el umbral máximo de 13600 MJ/m^2 para nivel alto nivel 8, así que todos ellos serán **nivel 8 alto**.

El hecho de que todas las áreas de incendio tengan el mismo nivel de riesgo intrínseco facilita la definición de las protecciones activas a instalar en estas, definidas en el Anexo III “*Requisitos De Las Instalaciones De Protección Contra Incendios De Los Establecimientos Industriales*” del *RSCIEI* y las definidas en el *RD 2085/1994*. En lo respecto a las protecciones pasivas contra incendio mencionadas en el Anexo II del *RSCIE* y en el *RD 2085/1994*, como ya se ha mencionado en la introducción a este proyecto, el dimensionamiento del sistema contra incendios comienza con los tanques ya dispuestos y construidos, con sus protecciones pasivas tales como separación, cubetos o de otra índole ya construidas, por lo que el dimensionamiento de las protecciones pasivas no será objeto de este proyecto.

Todos los aparatos, equipos, sistemas y componentes de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales, así como el diseño, la ejecución, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento de sus instalaciones, cumplirán lo preceptuado en el *Reglamento de instalaciones de protección contra incendios* (de ahora en adelante *RIPCI*), aprobado por el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, y en la Orden de 16 de abril de 1998, sobre normas de procedimiento y desarrollo de aquel. Así los instaladores y mantenedores de la instalación (en este caso la empresa propietaria de la refinería) cumplirán con lo establecido en el *RIPCI*. Así los sistemas a instalar serán:

Sistemas de lucha contra incendios

1. Sistemas manuales de alarma

Constituidos por un conjunto de pulsadores distribuidos, que permitan transmitir voluntariamente ante la detección de un incendio o similar, una señal de alarma a una central de control, avisar al servicio de seguridad y que se sepa fácilmente desde el otro lado la zona donde ha ocurrido. Se instalarán sistemas manuales de alarma de incendio en los sectores de incendio de los establecimientos industriales cuando en el caso de actividades de almacenamiento [20]:

1. Superficie total construida es superior a 800 m² o superior o
2. No se requiere la instalación de sistemas automáticos de detección de incendios según el RSCIEI

La superficie construida de todas las áreas de incendio mirando la **Tabla 6** es superior a 800 m² menos en el sector 4, pero como en ninguno de los sectores de refinería se deberán instalar sistemas automáticos de alarma por no estar incluida la configuración E en ningún caso, por lo tanto en todos los sectores se instalarán sistemas de alarma manual.

La localización de los pulsadores se situará en paneles de control situados a lo largo del perímetro exterior de los cubetos de las áreas de incendio, la distancia máxima a recorrer hasta alcanzar un pulsador no debe superar los 300 metros [7] y localizar un pulsador junto a cada salida de evacuación del sector de incendio, que en este caso dependerá de la forma constructiva del cubeto, orientación y localización. Ejemplo de esto podría ser el sector de incendio número 1, uno de los más grandes en dimensiones que necesitará 4 pulsadores de alarma en los puntos medios de las aristas que forman el perímetro del cubeto para cumplir con la condición de máxima distancia de 300 metros.

Debido a las grandes dimensiones en planta, se instalarán pulsadores de alarma por cada área de incendio, en caso de áreas de incendio cuyos cubetos sean muy grandes, se instalará más de un pulsador de alarma, uno por cada cara del cubeto si es de muy grandes dimensiones siempre que cumpla con la condición de 300 metros de separación

máximos entre ellos, en caso negativo se aumentará el número de pulsadores. Es recomendable el uso de transmisores portátiles de radio por parte los vigilantes o personal de servicio.

2. Sistema de comunicación de alarma

Según el RSCIEI, se instalarán sistemas de comunicación de alarma en todos los sectores de incendio del establecimiento industrial, si la suma de la superficie construida de todos los sectores de incendio del establecimiento industrial es de **10000 m²** o superior. El área construida del establecimiento industrial teniendo en cuenta sólo los áreas de incendio y sin contar áreas de paso, comunicación o zonas auxiliares es de **438939 m²**, por lo que se instalaran sistemas de comunicación de alarma en todas las áreas de incendio.

La señal acústica transmitida por el sistema de comunicación de alarma de incendio ha de permitir diferenciar si se trata de una alarma por “emergencia parcial” o por “emergencia general” y será preferente el uso de un sistema de megafonía en planta [20].

3. Sistemas de hidrantes exteriores

Empezando por los requisitos indicados en el *RSCIEI* indica que se instalarán hidrantes si la disposiciones vigentes que regulan actividades industriales sectoriales o específicas lo exigen, en este caso el *RD 2085/1994*, o si cumplen con lo indicado en la tabla 3.1 del *RSCIEI* donde para la configuración tipo E y riesgo alto si el área de incendio construida es mayor a 5000 m² se instalarán hidrantes exteriores, los siguientes sectores cumplen la condición:

Sectores:

6, 1, 11, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 51, 21, 18, 15, 14, 52, 46,

Aunque también se indica que cuando se requiera un sistema de hidrantes, la instalación deberá proteger todas las zonas de incendio que constituyen el establecimiento [20].

El número de hidrantes es en función a cumplir a las siguientes condiciones:

- a) La zona protegida por cada uno de ellos es la cubierta por un radio de 40 metros, medidos desde el emplazamiento del hidrante.
- b) Al menos uno de los hidrantes deberá tener una salida de 100 mm.
- c) La distancia entre el emplazamiento de cada hidrante y el límite exterior del edificio o la zona protegidos, medida perpendicularmente a la fachada, debe ser al menos de 5 metros.

Si existen viales que dificulten cumplir con estas distancias se justificaran las realmente adoptadas. Se deberá justificar la no instalación de hidrantes exteriores.

Según el RD 2085/1994, las tomas de agua (hidrantes) estarán provistas de acoples normalizados según la UNE 23400. Se distribuirán estratégicamente por refinería, en particular a las zonas de almacenamiento de hidrocarburos, tratamiento o trasiego.

El *RSCIEI* también se indica los caudales y la autonomía que los hidrantes exteriores deberán cumplir. Para un establecimiento industrial **configuración E** y con **nivel de riesgo intrínseco alto**, como indicación extra, cuando un establecimiento industrial constituido por configuraciones tipo E existan almacenamientos de productos combustibles en el exterior (como es el caso), los caudales se incrementarán en 500 l/min. Las necesidades de agua a proveer según por los hidrantes será de 3000 + 500 l/min por 90 min

La solución elegida es la de combinar las funciones de los hidrantes distribuidos por refinería cumpliendo con lo indicado en el RD 2085/1994 que son de obligado cumplimiento con las de hidrantes exteriores indicados en el *RSCIEI* para el uso del cuerpo de bomberos y personal debidamente formado, como es el equipo de brigada contra incendios de refinería. Además como se verá en mayor detalle en el **Anexo B:** (detalles como el número de hidrantes, accesorios, presiones), acoplados a estos hidrantes existirán monitores de espuman, para la protección contra derrames, este

monitor deriva de lo indicado en la norma UNE EN 13565-2:2009 “*Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento*” donde indica que se debe contar con medios manuales que utilicen espuma. Estos medios manuales han de poder alcanzar cualquier punto dentro del área de riesgo, pudiendo estar incluidos en el sistema de espuma de extinción o separado, el caudal por corriente de mangueras ha de ser de al menos de 200 l/min durante 30 minutos.

Se ha opta por la segunda solución vinculado con lo ya comentado de acoplar un monitor para el uso de espuma mediante aspiración en los hidrantes repartidos por planta. Así que las necesidades de caudal y autonomía serán mayores que lo únicamente establecido en el *RSCIEI*, cada monitor ha de dar un caudal total de 3700 l/min para ambos uso como hidrantes y como monitor de espuma.



Ilustración 10: Ejemplo de hidrante con monitor de espuma aspirando de bidón de espumógeno.

4. Sistemas de bocas de incendio equipadas (BIE)

Aunque el RSCIEI indica la instalación de sistemas de bocas de incendio equipadas para la protección de las áreas de incendio configuración E si el riesgo intrínseco es alto y el área construida es mayor a 5000 m² en los sectores del apartado anterior, se indica que en aquellas áreas de incendio de almacenamiento donde se opere automáticamente, en los que la actividad impide el acceso de personas podrá justificarse la no instalación de incendio equipadas, es el caso de los cubetos, donde estos no son zona de paso, las vías de comunicación están claramente delimitadas en los exteriores de los cubetos cumpliendo con lo establecido en el RD 2085/1994.

El RD 2085/1994 no hace mención de la obligación de instalar dichos dispositivos en su apartado “*Medios generales de lucha contra incendios*” en la protección de las unidades tanto de proceso como de almacenamiento. Los dispositivos de protección BIE sí que existen en las zonas administrativas en los edificios pero esta fuera del alcance de este proyecto dicha zona.

5. Extintores de incendio

Se instalarán extintores de incendio portátiles en todos los sectores de incendio del establecimiento industrial. En los sectores clase D y E la distancia entre extintores puede ampliarse hasta los 25 m [20], en el “*Reglamento de Instalaciones Petrolíferas*” indica que la separación sea la apropiada según la legislación vigente. La norma APQ MIE 1, indica que en las zonas de manejo de líquidos inflamables, válvulas de uso frecuente o análogo, deberá haber extintores de la protección adecuada no a más de 15 metros de distancia [22]. El RD 2085/1994 indica que se instalarán extintores de polvo portátiles o sobre ruedas, del tipo adecuado al fuego prestando especial a casos especiales como:

1. Unidades de proceso
2. Postes de carga a granel en cargaderos de vehículos cisterna
3. Otros puntos de peligro tales como salas de compresores, zonas de bombas de productos petrolíferos, separadores etc...

La selección del tipo de extintor a utilizar dependerá del tipo de incendio, sus características del riesgo intrínseco del sector para productos clase A y B como se verá a continuación. Menciona el RSCIEI que cuando en el sector de incendio coexistan combustibles de la clase A y de la clase B, se considerará que la clase de fuego del sector de incendio es A o B cuando la carga de fuego aportada por los combustibles de clase A o de clase B, respectivamente, sea, al menos, el 90 por ciento de la carga de fuego del sector. En otro caso, la clase de fuego del sector de incendio se considerará A-B. En ninguno de los sectores de incendio ocurre esta situación todos los productos almacenados en los tanques producen fuegos tipo B.

Para la clase de fuego tipo B que será la que nos podamos encontrar en el perímetro de las áreas de incendio, los extintores con agente extintor ABC (polivalente) o BC (convencional) son muy adecuados para fuegos clase B [23]. Los extintores portátiles serán medios de protección adicionales a los encargados directos de la protección del área de incendio, la extinción del incendio en si se realizará por espuma y los monitores en los hidrantes anteriormente mencionados protegen el área de cubeto de derrames de pequeños fuegos que puedan aparecer y el agua pulverizada las unidades refrigerándolas. La instrucción técnica ITC MIE AP- 5 regula el diseño, fabricación, importación e instalación de los extintores.

La función de los extintores será la de apagar pequeños fuegos en el perímetro del área del incendio o relacionado con los puntos de especial atención mencionados en el RD 2085/1994, donde en el punto “*Unidades de proceso*” menciona la función de los extintores de proteger de riesgos derivados de válvulas de seguridad, bombas, drenajes y purgas, riesgos que podemos encontrar en la zona de tanques de almacenamiento de productos inflamables. El RSCIEI indica que en función del volumen para productos que producen fuegos clase B se instalen extintores de mayor o menor eficacia, para volúmenes muy altos como es el caso de los tanques , donde el volumen de combustible en el área de incendio es mayor a 200 m³ se recomienda extintores de 50 kg [20].

En resumen se instalarán extintores portátiles de carro de 50 kg de polvo ABC en los perímetros de los sectores de incendio, separados 25-40 metros entre sí con el fin de coordinar la protección con los hidrantes cuya separación también es de cada 40 metros y conseguir cierto solape permitiendo una acción rápida de los equipos de protección.

La función a acometer por los extintores es la protección de riesgos derivados de los elementos mencionados previamente y la extinción de pequeños fuegos localizados en esta área perimetral.

Siguiéndose la metodología del cálculo de número de hidrantes, utilizada en el apartado “*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*”, donde se aproximan las áreas de incendio de todos los cubetos a áreas cuadradas y con un radio de separación entre extintores de **25 metros**, se obtiene un total de **332 extintores de 50 kg de polvo ABC**, en total para cubrir el perímetro de todas las áreas de incendio.

6. Sistemas de agua pulverizada

Los sistemas de agua pulverizada se colocaran en la protección de los tanques, en garantizar la estabilidad estructural del tanque incendiado y evitar la propagación del incendio mojando los tanques dentro de su radio de afección. El RD 2085/1994 regula estas protecciones y su obligatoria disposición en los tanques, en función del tipo de producto que contengan. El RD 2085/1994 indica que deberán instalarse sistemas con dispositivos fijos de enfriamiento alimentado por agua en los depósitos de hidrocarburos clase A, esto son las esferas presentes en planta.

A parte de los sistemas de refrigeración en las esferas, se instalarán en los depósitos que almacenan productos clase B y C también como medidas adicionales de protección y evitar la propagación del supuesto incendiado en caso de incendio a sus tanques vecinos, ya que mucho de estos tanques comparten agrupados por clase de producto almacenado. Además dentro del RD 2085/1994 en el artículo 17 se indican las posibles medidas de protección adicionales para los depósitos de hidrocarburos clase B, C y D con el fin de reducir las distancias entre tanques aplicando coeficientes de reducción función de las medidas adoptadas, una de estas medidas incluyendo otras es la instalación de anillos de refrigeración en estos tanques, sistema de espuma y la existencia de brigada contra incendios propia.

En las esferas de producto clase A el sistema de refrigeración se dividirá en cuatro anillos divididos a lo largo de la altura de la esfera, en función de su tamaño, con el fin de mojar toda la esfera. En los tanques de productos clase B y C, siendo todos ellos de forma cilíndrica en su forma más simple, se dispondrá el sistema de refrigeración de un solo anillo localizado en la parte alta de estos, debido a que no existen elementos entre la parte alta hasta la base de los tanques, la cobertura con agua de toda la superficie es correcta y no quedarían partes sin mojar con un solo anillo. Para la protección de los tanques adyacentes al incendiado con el fin de evitar la expansión del incendio, se instalarán cuartos de anillos de refrigeración orientándolos en dirección al eje central de simetría del cuerpo del tanque incendiado a poder ser. Estos sistemas de cuartos de anillos funcionarán de manera automática al igual que los anillos principales, y se activarán cuando el anillo principal del incendiado que afecte a dichos anillos se active debido a señales por parte de los sensores.

Los detalles del sistema de refrigeración se verán en el **Anexo B:**, incluyendo caudales, boquillas, dimensionamiento de las conexiones etc... Los dispositivos de agua de pulverizada son regulados por la normativa UNE 23501 hasta la UNE 23507.

7. Sistemas de espuma física

Los sistemas de espuma se encargan de la extinción en si del incendio en el supuesto incendiado, según el RD 2085/1994 se deberá instalar sistemas fijos de extinción por espuma en los tanques de almacenado de hidrocarburos clase B1. Se instalarán sistemas de extinción fija en línea con lo comentado antes de los coeficientes de reducción de las distancias, en los todos los tanques tipo B (B1 y B2).

El vertido de la espuma podrá hacerse por encima de la superficie libre del producto o inyectándola por debajo. La alimentación del sistema puede ser fija o por medios móviles, sea un camión de espumógeno o relacionado. La inyección de la espuma se realiza a través de unas bocas de descarga de espuma situadas en pantallas en la parte alta del tanque en el caso de inyección por arriba. Se deberá disponer de una reserva de espumógeno a parte del necesario para hacer funcionar el sistema con las cantidades calculadas según el RD 2085 / 1994, esta reserva será suficiente para almacenar como mínimo la necesaria para proteger el tanque que requiera más espumógeno [7].

La solución que se aplicará es la inyección de espuma por encima sobre la superficie del combustible para los tanques de producto B1 y B2. La alimentación se llevará a cabo mediante medios móviles operados por la brigada contra incendios propia de refinería, en un sistema que se alimenta de agua por la red general contraincendios y el espumógeno lo aporta el medio móvil en cuestión. El dimensionamiento del sistema como por ejemplo, la elección del tipo de espuma, cantidades, conexiones o presiones se realizará en el siguiente **Anexo B** .

8. Sistema de abastecimiento de agua

El sistema de abastecimiento deberá proveer del caudal de agua en el escenario de incendio más desfavorable habiendo calculado para todos los sistemas de protección las necesidades de estos con el fin de proteger dicho escenario a la presión mínima de **7.5 kg/cm²** en todo el sistema de la red contra incendios.

La fuente desde donde se abastece el sistema puede ser única siempre que esta permita alimentar los caudales necesarios para la protección de la instalación, los suministros de agua pueden proceder de:

1. Redes públicas, con capacidad y presión de descarga adecuadas.
2. Depósitos, cerrados o abiertos, enterrados o de superficie, que suministren el caudal y la presión requeridas por la instalación.
3. El mar o ríos próximos

El RD 2085/1994 exige que existan dos grupos de bombeo independientes y localizados de tal manera que no se vean afectados durante la emergencia, pudiendo fallar cuando son necesarios. Como poco uno de los suministros deberá ser automático hasta que el suministro principal se ponga en marcha.

Por otro lado la refinería deberá contar con una reserva permanente de agua para el caso más desfavorable extraído de los cálculos durante 5 horas, de la misma manera que se dimensiona el propio sistema de bombeo.

El caudal a proveer por los grupos de bombeo y el tamaño de la reserva comentados deberá ser suficiente en el caso de que coexistan varios sistemas de protección contra incendios, considerando la simultaneidad de estos [20] , coexistirán 3 sistemas:

1. Sistemas de agua pulverizada
2. Sistemas de espuma fija
3. Sistemas de hidrantes

Indica el RSCIEI que el caudal a proveer deberá ser la suma de los caudales requeridos por el sistema de agua pulverizada (Q_{AP}), para espuma (Q_E), y en todo caso, como mínimo el caudal de los hidrantes. Respecto a la reserva, la reserva mínima exigible será la necesaria para la instalación del sistema que requiera más agua. En función de los sistemas de extinción adoptados se categorizará el abastecimiento, en este caso la categoría del abastecimiento necesario será un **Categoría I**, este aspecto se desarrollará en mayor detalle en el anexo de cálculos.

La solución adoptada como se verá más adelante en el anexo de cálculos consiste en dos grupos de bombeo con cuatro bombas, el sistema esta dimensionado para que funcione de manera regular en el caso más desfavorable con dos bombas en funcionamiento, estando las otras dos bombas en reserva. El sistema de agua contra incendios irá precargado de agua dulce obtenida de una conexión de la red pública ya existente en planta, como indica la UNE 23500: 2018 “Sistemas *de abastecimiento de agua contra incendios*” y estará dimensionado con el uso de agua salada de la fuente inagotable más cercana (el mar).

La reserva de agua existirá entre ambos grupos de bombeo y estará dimensionada de tal manera que pueda proveer del caudal de agua dulce a la presión mínima necesaria. Esta agua dulce de la reserva a parte de poder ser utilizada en el propio sistema puede cumplir funciones de limpieza para limpiar de agua salada el sistema post-uso en caso de emergencia. Ambos grupos de bombeo se localizarán en edificios protegidos contra incendios y con los complementos necesarios para permitir la operación y control del sistema, según lo indicado en la UNE 23500: 2018.

9. Sistemas de alumbrado de emergencia

El sistema de alumbrado de emergencia según lo indicado en el RSCIEI, se deberá instalar una sistema de alumbrado de emergencia aquellos locales o espacios donde estén instalados los sistemas los equipos centrales o los cuadro de control de los sistemas de protección contra incendios, los sistemas de agua pulverizada son automáticos en cambio los sistemas de espuma de espuma y los hidrantes distribuidos por planta no lo son, son manuales, por lo que estos deberán contar con un alumbrado de emergencia para poder operarlos/localizarlos en una emergencia.

Indica la norma que se deberá instalar una instalación de alumbrado de emergencia de las vías de evacuación en diversos escenarios función de su ocupación o si el sector de incendio se encuentra bajo rasante, en el caso de los sectores de incendio considerados en este proyecto, siendo estos la zona abarcada por los cubetos de los tanques, estos están rodeados por muretes que se elevan sobre el área del propio cubeto, por lo que si podemos decir que estos se encuentran bajo rasante así que se deberá instalar sistemas de alumbrado de emergencia con el fin de iluminar las vías de evacuación de cada uno de ellos con luces de emergencia elevadas facilitando su visibilidad. La ocupación esperada en los cubetos de los tanques es cero, no se realizan trabajos rutinarios en estos y son zonas despejadas de personal, el personal puede encontrarse transitando por vías de comunicaciones cercanas o similares.

Los edificios donde se localicen los grupos de bombeo deberán contar también con un sistema de alumbrado de emergencia con el fin de evacuar el edificio en un posible caso de incendio en la sala de bombas o en caso de corte eléctrico con el fin de poder operar los sistemas diésel.

Los sistemas de alumbrado deben cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Será fija, estará provista de fuente propia de energía y entrará automáticamente en funcionamiento al producirse un fallo del 70 por ciento de su tensión nominal de servicio.
- b) Mantendrá las condiciones de servicio durante una hora, como mínimo, desde el momento en que se produzca el fallo.
- c) Proporcionará una iluminancia de un lx, como mínimo, en el nivel del suelo en los recorridos de evacuación.

-
- d) La iluminancia será, como mínimo, de cinco lx en los espacios definidos en el apartado 16.2 de este anexo.
- e) La uniformidad de la iluminación proporcionada en los distintos puntos de cada zona será tal que el cociente entre la iluminancia máxima y la mínima sea menor que 40.
- f) Los niveles de iluminación establecidos deben obtenerse considerando nulo el factor de reflexión de paredes y techos y contemplando un factor de mantenimiento que comprenda la reducción del rendimiento luminoso debido al envejecimiento de las lámparas y a la suciedad de las luminarias [20].

10. Señalización

Indica el RSCIEI que se procederá a la señalización de las salidas de uso habitual o de emergencia, así como la de los medios de protección contra incendios de utilización manual, cuando no sean fácilmente localizables desde algún punto de la zona protegida, teniendo en cuenta lo dispuesto en el Reglamento de señalización de los centros de trabajo, aprobado por el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Las normas que regulan y deberán seguir dichas señalizaciones serán:

- UNE 23033-1-2: Seguridad contra incendios. Señalización de seguridad.
- UNE 23034: Seguridad contra incendios. Señalización de seguridad, vías de evacuación.
- UNE 23035-1-3: Seguridad contra incendios. Señalización foto luminiscente

Los mandos de todas las instalaciones fijas de lucha contra incendio, comprendidas las válvulas de retención de agua fuera del cubeto de retención deberán estar señalizados [7] y estar a una distancia mínima de 25 metros del tanque que protegen. Así que todos los sistemas de espuma de extinción fijos, cuyos acoples de espuma estarán dispuestos

de tal manera que den a las vías de comunicación para que los camiones de la brigada contra incendios puedan acceder, deberán estar señalizados al igual que los hidrantes con monitor.

Respecto a los extintores de 50 kg repartidos por el perímetro de los cubetos, su emplazamiento permitirá que sean fácilmente visible y accesibles. Se señalarán con soportes verticales [23] con carteles fijados, los extintores al ir sobre carrito se localizaran bajo las señales.

El color, símbolos y forma de las señales están marcados por la norma UNE 23033 previamente comentada, los diferentes colores ayudan a distinguir los componentes en la propia señal [24]:

- Color de seguridad: rojo
- Color de contraste: blanco
- Color de símbolo: blanco

La forma de las señales será cuadrada o rectangular. El símbolo debe representar el medio de extinción que señala sin exceso de detalles, teniendo un tamaño que garantice que el color de seguridad (rojo) ocupe al menos un 50% de la superficie de la señal [24], para garantizar el contraste y facilitar la identificación.

La distancia máxima en la que es posible leer e identificar las señales desde lejos, vendrán dadas por el tamaño de la señal en sí, la Nota Técnica de Prevención 888 indica que la forma de la señal ha de ser tal que garantice una buena compresión y visibilidad. Como recomendación para el cálculo de las dimensiones mínimas para la buena compresión de la señal en función se aplica una fórmula en función de la distancia a la que se va a leer [25]:

$$A \geq \frac{L^2}{2000} \quad (22)$$

Donde:

A: es el área mínima de la señal en metros cuadrados

L: es la distancia máxima desde donde se leerá en metros

*Nota: Ecuación válida hasta distancias menores a 50 metros

Las dimensiones de los carteles serán pues función de las máximas distancias esperadas en la que se pueda encontrar el personal de la emergencia o brigada contra incendios, las máximas distancias son las esperadas entre los hidrantes cuya distancia entre ambos puede llegar a ser hasta de 80 metros máximo dibujando cada hidrante un radio de 40 metros alrededor de ellos, por lo que como máximo el operario que vaya a accionar un hidrante, estando este operario localizado en la vía de comunicación que da accesos a las áreas de incendio, será de 40 metros, así que el tamaño del cartel de los hidrantes será de:





$$S = \frac{40^2}{2000} = 0.8 \text{ m}^2$$

Que equivale a una señal cuadrada de:

$$\text{Altura señal (m)} = \sqrt{S} = \sqrt{0.8} \approx 0.9 \text{ m}$$

Es decir una señal de 894 x 894 mm para los hidrantes con monitor. El resto de elementos como extintores, pulsadores de alarma y dispositivos fijos de espuma estarán como mucho a una distancia de entre 20-30 metros de distancia del operador al acercarse al cubeto incendiado, por lo que con señales de 560 x 560 mm cumple la distancia máxima de observación.

Además, en la norma UNE 23033-2: 2018, se indica cómo se deberán identificar las canalizaciones de la red contra incendios, estableciendo un sistema extra de señales para estas:

Nº	Señal	Significado	Forma y Color	Comentarios para su aplicación
1		Canalización de cableado de sistemas de protección contra incendios	- Color de seguridad rectangular - Fondo rojo - Laterales blanco - Diagonal blanco	Se utiliza para indicar que por dicha canalización discurre cableado de los sistemas de protección contra incendios
2		Canalización de redes generales de sistemas de protección contra incendios si hay varios sistemas asociados manuales y automáticos.	- Color de seguridad rectangular - Fondo rojo - Laterales blanco- Color interior agente*	Se utiliza para indicar que por dicha canalización discurre agente extintor de los sistemas de protección contra incendios
3		Canalización de sistemas manuales de protección contra incendios.	- Color de seguridad rectangular - Fondo rojo - Laterales blanco - Color interior agente*	Se utiliza para indicar que por dicha canalización discurre agente extintor de los sistemas de protección contra incendios
4		Canalización de sistemas automáticos de protección contra incendios.	- Color de seguridad rectangular - Fondo rojo - Laterales blanco- Color interior agente*	Se utiliza para indicar que por dicha canalización discurre agente extintor de los sistemas de protección contra incendios

* El color de la línea vertical, horizontal o cruz interior identifica el agente extintor que discurre por la canalización, según los colores del apartado 4.2.

Ilustración 11: Señalización de los sistemas de canalización de la RCI. Fuente: UNE EN 23033-2:2018

Donde el color de la línea en las señales cambia de color según el agente extintor que discurre por el siendo estos colores:

- Agua o agua con aditivos (espumógenos): Verde.
- Aire: Gris.
- Gas: Amarillo.
- Polvo químico: Azul.
- Químicos secos o húmedos: Marrón.

En todos los casos de la red contra incendios, esta funcionará con agua o con agua con espumógeno, así que el color dentro de las señales de las canalizaciones será siempre verde, los sistemas de agua pulverizada son sistemas automáticos y los sistemas de espuma e hidrantes manuales, por lo que para el agua pulverizada, sus canalizaciones se indicará con la señal número 4 de la tabla anterior y las canalizaciones de sistemas fijos de espuma e hidrantes con la señal número 3, ambas en verde. La canalización principal de la red contra incendios mallada que recorre todo el área de tanques irá señalizada con una señal de cruz con fondo verde (señal número 2 **Ilustración 11**).

Las señales de las canalizaciones se podrán colocar en cada puesto de control de la RCI, en estos puestos de control es donde se deriva a cada sistema de protección contra incendios e indicar el tipo de sistema con las señales previas.

Teniendo un total de 48 puestos de control (desviaciones desde la red principal hasta sistemas de protección de cada tanque), 332 extintores de 50 kg y, aproximando que para las 53 áreas de incendio, habrá 4 pulsadores de incendio, se necesitarán un total de 591 señales de 560 x 560 mm. Para los hidrantes e hidrantes con monitor, hay un total de 236 hidrantes de los cuales 117 hidrantes con monitor de espuma, por lo que se necesitarán un total de 236 señales de 894 x 894 mm.

11. Sistemas extras

A parte de lo especificado anteriormente, con el fin de garantizar una protección más completa de todos los escenarios que puedan aparecer, se recomienda la existencia de armarios con accesorios para los hidrantes repartidos por planta y la protección del propio personal.

11.1. Protección personal

Recogidos en el RD 2085/1994 en el apartado de "*medios contra incendios*", indica que en las unidades, centros de bombeo, postes de carga, balsas de sedimentación y en cuantos puntos pueda existir el peligro de quemaduras de personal existirán convenientemente repartidas mantas ignífugas. En un lugar adecuado de la refinería existirán, para uso del personal dedicado a la lucha contra incendios, trajes de aproximación al fuego, equipos respiratorios, pantallas anti-calóricas, guantes, gafas y demás elementos protectores.

Por lo tanto, en ambos edificios donde se localizan los grupos de bombeo existirán armarios con mantas ignífugas para proteger al personal, además, en caso de emergencia existirá un armario portátil transportado por el camión de la brigada contra incendios de refinería con mantas ignífugas y otros materiales para garantizar la protección del personal durante las tareas de extinción de las llamas. En los medios considerados en

este proyecto, esto es principalmente la red contra incendios, no existen riesgos mayores a quemaduras respecto a los presentes en las salas de bombas, pero, en refinería si existirán medios de protección personal en sus respectivos armarios pero estos medios de protección no formarán parte del alcance de este proyecto.

11.2. Accesorios extra

Se recomienda la existencia de accesorios para los hidrantes con monitor, como mangueras, lanzas de largo alcance o similares con fin de proteger de todos los posibles escenarios y poder alcanzar con estos todos los puntos dentro del sector de incendio. Se recomienda que estos accesorio o estén repartidos en armarios protegidos por la zona de tanques o localizados junto al almacén centralizado de protecciones personales en posesión de la brigada contra incendios con el fin de dotar de mayor flexibilidad al sistema y centralización.

Mantenimiento de los equipos y revisiones

El mantenimiento mínimo de los equipos contra incendios lo marca la normativa RIPCI *“Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios”*. Los equipos y sistemas de protección activa contra incendios, se someterán al programa de mantenimiento indicado por el fabricante, en cumplimiento con el mínimo indicado por la normativa RIPCI. El programa de mantenimiento mínimo indicado en el RIPCI abarca periodos semestrales, trimestrales y anuales.

Las operaciones de mantenimiento indicadas, se deberán efectuar por personal de la empresa mantenedora o bien por el personal del usuario o titular de la instalación. En

caso de refinería las tareas de mantenimiento y revisión de este, recaerá sobre el departamento de seguridad y salud en coordinación con la brigada contra incendios.

Se deberá llevar un registro documentado del cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo, tanto la empresa que realice el mantenimiento como el usuario titular de la instalación. Esta constancia documental se deberá mantener por un periodo de 5 años como mínimo. En el mencionado programa deberá figurar como mínimo, la operación y comprobaciones efectuadas, el resultado de las verificaciones y pruebas y la sustitución de elementos defectuosos que se hayan realizado.

Para los sistemas de detección, alarma y extinción, se acepta la conexión remota a un centro de gestión de servicios de mantenimiento. El fin de este sistema es el de facilitar las tareas de mantenimiento y gestión del sistema, y debe garantizar la integridad del sistema de detección y alarmas de incendios. El centro de control remoto deberá pertenecer a una empresa mantenedora de protección contra incendios habilitada.

1. Sistemas de detección y alarma de incendios

Cada 3 meses:

- Paso previo: revisión y/o implementación de medidas para evitar acciones o maniobras no deseadas durante las tareas de inspección.
- Verificar si se han realizado cambios o modificaciones en cualquiera de las componentes del sistema desde la última revisión realizada y proceder a su documentación.
- Comprobación de funcionamiento de las instalaciones (con cada fuente de suministro). Sustitución de pilotos, fusibles, y otros elementos defectuosos.
- Revisión de indicaciones luminosas de alarma, avería, desconexión e información en la central.
- Mantenimiento de acumuladores (limpieza de bornas, reposición de agua destilada, etc.).
- Verificar equipos de centralización y de transmisión de alarma.
- Revisión de sistemas de baterías: Prueba de conmutación del sistema en fallo de red, funcionamiento del sistema bajo baterías, detección de avería y restitución a modo norma

-
- Comprobación de la señalización de los pulsadores de alarma manuales.
 - Comprobar el funcionamiento de los avisadores luminosos y acústicos.

Cada 6 meses:

- Verificación de la ubicación, identificación, visibilidad y accesibilidad de los pulsadores
- Verificación del estado de los pulsadores (fijación, limpieza, corrosión, aspecto exterior).

Cada año:

- Comprobación del funcionamiento de maniobras programadas, en función de la zona de detección.
Verificación y actualización de la versión de “software” de la central, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- Comprobar todas las maniobras existentes: Avisadores luminosos y acústicos, paro de aire, paro de máquinas, paro de ascensores, extinción automática, compuertas cortafuego, equipos de extracción de humos y otras partes del sistema de protección contra incendios.
- Verificación del espacio libre, debajo del detector puntual y en todas las direcciones, como mínimo 500 mm.
- Verificación del estado de los detectores (fijación, limpieza, corrosión, aspecto exterior).
- Prueba individual de funcionamiento de todos los detectores automáticos, de acuerdo con las especificaciones de sus fabricantes.
- Verificación de la capacidad de alcanzar y activar el elemento sensor del interior de la cámara del detector. Deben emplearse métodos de verificación que no dañen o perjudiquen el rendimiento del detector.
- Prueba de funcionamiento de todos los pulsadores.

2. Extintores de incendio

Cada 3 meses:

- Realizar las siguientes verificaciones:
 - Que los extintores están en su lugar asignado y que no presentan muestras aparentes de daños.
 - Que son adecuados conforme al riesgo a proteger.
 - Que no tienen el acceso obstruido, son visibles o están señalizados y tienen sus instrucciones de manejo en la parte delantera.
 - Que las instrucciones de manejo son legibles.
 - Que el indicador de presión se encuentra en la zona de operación.
 - Que las partes metálicas (boquillas, válvula, manguera...) están en buen estado.
 - Que no faltan ni están rotos los precintos o los tapones indicadores de uso.
 - Que no han sido descargados total o parcialmente
- Comprobación de la señalización de los extintores.

Cada año:

- Realizar las operaciones de mantenimiento según lo establecido en el “Programa de Mantenimiento Anual” de la Norma UNE 23120.
- En extintores móviles, se comprobará, adicionalmente, el buen estado del sistema de traslado.

Cada 5 años:

- Realizar una prueba de nivel C (timbrado), de acuerdo a lo establecido en el anexo III, del Reglamento de Equipos a Presión, aprobado por Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre. A partir de la fecha de timbrado del extintor (y por tres veces) se procederá al re-timbrado del mismo de acuerdo a lo establecido en el anexo III del Reglamento de Equipos a Presión.

3. Hidrantes

Cada 3 meses:

- Comprobar la accesibilidad a su entorno y la señalización en los hidrantes enterrados.
- Inspección visual, comprobando la estanquidad del conjunto.
- Quitar las tapas de las salidas, engrasar las roscas y comprobar el estado de las juntas de los racores.
- Comprobación de la señalización de los hidrantes.

Cada 6 meses:

- Engrasar la tuerca de accionamiento o rellenar la cámara de aceite del mismo.
- Abrir y cerrar el hidrante, comprobando el funcionamiento correcto de la válvula principal y del sistema de drenaje.

Cada año:

- Verificar la estanquidad de los tapones.

Cada 5 años:

- Cambio de las juntas de los racores.

4. Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios

Cada 3 meses:

- Verificación por inspección de todos los elementos, depósitos, válvulas, mandos, alarmas motobombas, accesorios, señales, etc.
- Comprobación del funcionamiento automático y manual de la instalación, de acuerdo con las instrucciones del fabricante o instalador.

-
- Mantenimiento de acumuladores, limpieza de bornas (reposición de agua destilada, etc.). Verificación de niveles (combustible, agua, aceite, etc.).
 - Verificación de accesibilidad a los elementos, limpieza general, ventilación de salas de bombas, etc.

Cada 6 meses:

- Accionamiento y engrase de las válvulas. Verificación y ajuste de los prensaestopas.
- Verificación de la velocidad de los motores con diferentes cargas.
- Comprobación de la alimentación eléctrica, líneas y protecciones.

Cada año:

- Comprobación de la reserva de agua. Limpieza de filtros y elementos de retención de suciedad en la alimentación de agua. Comprobación del estado de carga de baterías y electrolito.
- Prueba, en las condiciones de recepción, con realización de curvas de abastecimiento con cada fuente de agua y de energía.

5. Sistemas fijos de extinción

Cada 3 meses:

- Comprobación de que los dispositivos de descarga del agente extintor (boquillas, rociadores, difusores,...) están en buen estado y libres de obstáculos para su funcionamiento correcto.
Comprobación visual del buen estado general de los componentes del sistema, especialmente de los dispositivos de puesta en marcha y las conexiones.
- Lectura de manómetros y comprobación de que los niveles de presión se encuentran dentro de los márgenes permitidos.

-
- Comprobación de los circuitos de señalización, pilotos, etc.; en los sistemas con indicaciones de control.
 - Comprobación de la señalización de los mandos manuales de paro y disparo.
 - Limpieza general de todos los componentes.

Cada 6 meses:

- Comprobación visual de las tuberías, depósitos y latiguillos contra la corrosión, deterioro o manipulación. En sistemas que utilizan agua, verificar que las válvulas, cuyo cierre podría impedir que el agua llegase a los rociadores o pudiera perjudicar el correcto funcionamiento de una alarma o dispositivo de indicación, se encuentran completamente abiertas.
- Verificar el suministro eléctrico a los grupos de bombeo eléctricos u otros equipos eléctricos críticos.

Cada año:

- Comprobación de la respuesta del sistema a las señales de activación manual y automáticas.
- En sistemas fijos de extinción por agua o por espuma, comprobar que el suministro de agua está garantizado, en las condiciones de presión y caudal previstas.
- En sistemas fijos de extinción por polvo, comprobar que la cantidad de agente extintor se encuentra dentro de los márgenes permitidos.
- En sistemas fijos de extinción por espuma, comprobar que el espumógeno no se ha degradado.
- Para sistemas fijos de inundación total de agentes extintores gaseosos, revisar la estanquidad de la sala protegida en condiciones de descarga.
- Los sistemas fijos de extinción mediante rociadores automáticos deben ser inspeccionados, según lo indicado en “Programa anual” de la UNE-EN 12845.

-
- Los sistemas fijos de extinción mediante rociadores automáticos deben ser inspeccionados cada 3 años, según lo indicado en “Programa cada 3 años” de la UNE-EN 12845.

Cada 5 años:

- Prueba de la instalación en las condiciones de su recepción.
- En sistemas fijos de extinción por espuma, determinación del coeficiente de expansión, tiempo de drenaje y concentración, según la parte de la norma UNE-EN 1568 que corresponda, de una muestra representativa de la instalación. Los valores obtenidos han de encontrarse dentro de los valores permitidos por el fabricante.
- Los sistemas fijos de extinción mediante rociadores automáticos deben ser inspeccionados cada 10 años, según lo indicado en “Programa de 10 años” de la UNEEN 12845.
- Los sistemas fijos de extinción mediante rociadores automáticos deben ser inspeccionados cada 25 años, según lo indicado en el anexo K, de la UNE-EN 12845.

6. Sistemas de señalización luminiscente.

Cada año:

- Comprobación visual de la existencia, correcta ubicación y buen estado en cuanto a limpieza, legibilidad e iluminación (en la oscuridad) de las señales, balizamientos y planos de evacuación.
- Verificación del estado de los elementos de sujeción (anclajes, varillas, angulares, tornillería, adhesivos, etc.).

Inspecciones

El RSCIE “Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos industriales” indican las revisiones periódicas en función del riesgo intrínseco del establecimiento industrial. Ser indica en el reglamento, que con independencia de lo

indicado en el RIPCI respecto a operaciones de mantenimiento o la función inspectora de la Administración pública competente, los titulares de los establecimientos industriales deberán solicitar a un organismo de control facultado para la aplicación del RSCIE en la inspección de sus instalaciones.

En la inspección se comprobará que:

- Que no se han producido cambios en la actividad ni ampliaciones.
- Que se sigue manteniendo la tipología del establecimiento, los sectores y/o áreas de incendio y el riesgo intrínseco de cada uno.
- Que los sistemas de protección contra incendios siguen siendo los exigidos y que se realizan las operaciones de mantenimiento conforme a lo recogido en el apéndice 2 del Reglamento de instalaciones de protección contra incendios (RIPCI).

El RSCIE indica que para establecimientos industriales con riesgo intrínseco alto, como es el caso del parque de depósitos abordado en este proyecto, cuyo riesgo intrínseco ha sido calculado en el apartado “*Nivel de riesgo intrínseco y carga de fuego del establecimiento industrial*”, la periodicidad de las revisiones será cada **dos años**.

De estas inspecciones se levantará un acta firmada por el técnico titulado competente del organismo de control que ha procedido a la inspección y por el titular o técnico del establecimiento industrial, los cuales conservaran una copia.

Resumen

En este anexo se han visto los diferentes escenarios a evitar en los tanques y como evitarlos. En los diferentes casos en el incendio los sistemas de agua pulverizada y de extinción por espuma deberán actuar, los primeros refrigerando la superficie del tanque

para evitar la evolución a escenarios como el boilover y el segundo en la extinción del incendios en si.

En el apartado de este mismo anexo “*Sistemas de lucha contra incendios*”, se describen los diferentes sistemas tanto activos como pasivos que se deberán instalar, incluyendo los sistemas de espuma y agua pulverizada mencionados.

Este anexo será la base de la que partan los siguientes apartados donde se dimensionarán los sistemas de agua pulverizada, espuma, hidrantes, canalizaciones de la red contraincendios y sistema de bombeo

Anexo B: Demandas de agua y espumógeno

Introducción

En el siguiente anexo se dimensionarán y calcularan los elementos componentes de los sistemas contra incendios definidos en el **Anexo A: Análisis de Riesgos y medios de protección**. En concreto se calcularán las necesidades de los siguientes sistemas:

- Agua pulverizada

-
- Espuma física fija
 - Canalizaciones
 - Sistema de bombeo
 - Hidrantes
 - Reservas

Una primera parte consistirá en una estimación de los caudales de agua y espuma que deberá proveer el sistema de abastecimiento, considerar los escenarios y dimensionar en función del peor escenario posible a esperar. Selección de un grupo de bombeo y por un proceso iterativo ver las presiones disponibles en el sistema en los diferentes puntos de la red, y dimensionar el sistema de conductos principales para que este cumpla en el peor escenario posible, como ya se verá.

Con la base establecida dimensionar las diferentes ramificaciones del sistema principal acoplados a este, es decir, los sistemas de agua pulverizada, sistemas de espuma fijos e hidrantes. Se dimensionaran los sistemas con holguras de seguridad con el fin de cumplir frente a variaciones esperables en un escenario real. Por último dimensionar las reservas de agua y espumógeno a disponer en planta para el funcionamiento de los equipos.

La normativa general que abarca este dimensionamiento será la del RD 2085/1994 “*Reglamento de instalaciones petrolíferas*” y la ITC MIE-APQ 1: “*Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles*” por la presencia de ciertos productos químicos no recogidos en el RD 2085/1994. En cada sub-apartado se indicarán las normativas específicas a cada sistema y se indicarán los requisitos e hipótesis de diseño que se plantean.

Demandas de agua y espumógeno

Las normativas RD 2085/1994 y la ITC MIE-APQ 1 indican las necesidades de agua de refrigeración en función del tanque incendiado, esta agua de refrigeración es la demanda de agua para los sistemas de agua pulverizada para cada escenario de incendio. Se

diferencia en la normativa dos supuestos de incendio: Hidrocarburos licuados (clase A) y crudo e hidrocarburos líquidos (clases B y C).

Para los productos clase A según el RD 2085/1994:

Tipo de tanque supuesto incendiado	Tanques a enfriar		Caudal de agua para enfriamiento	
			Depósitos de hidrocarburos de la clase A	Otros tanques
Clase A	Depósitos de capacidad hasta 200 m ³	El depósito supuesto incendiado y los situados a menos de 10 metros de las paredes de aquél.	10 l/m² /mín. sobre la superficie de los depósitos	
	Otros depósitos de radio R y capacidad superior a 200 m ³	a) Todos los depósitos total o parcialmente comprendidos dentro del cilindro vertical de radio R+30 metros, con eje coincidente con el del depósito supuesto incendiado	10 l/m² /mín. sobre la superficie de los depósitos	
		b) Los restantes depósitos contenidos en el mismo cubeto de retención que el depósito supuesto incendiado	3 l/m² /mín. sobre la superficie de los depósitos	

Tabla 8: Demandas agua refrigeración Clase A. Fuente RD 2085/1994

Para los productos clase B y C según el RD 2085/1994:

Tipo de tanque supuesto incendiado	Tanques a enfriar	Caudal de agua para enfriamiento	
		Depósitos de hidrocarburos de la clase A	Otros tanques
Clase B y C	a) El tanque incendiado de radio R y de superficie horizontal S.		15 litros/mín. por metro de circunferencia.

	b) Los tanques total o parcialmente comprendidos en el cilindro con eje común al del tanque supuesto incendiado y radio igual a 2,5 R.	3 l/m² /mín. sobre la superficie de los depósitos	Caudales sobre 1/4 de la superficie lateral en litros/m ² /mín. Techo fijo: Punto de inf. <21 °C:5 l/m ² /mín. Punto de inf. ≥21 °C:3 l/m ² /mín. Techo flotante: <7.500 m ³ : 3 l/m²/mín. ≥7.500 m ³ : 2 l/m²/mín.
--	--	---	--

Tabla 9: Demandas agua refrigeración Clase B y C. Fuente RD 2085/1994

Donde para ambas tablas:

R: es el radio en metros del tanque incendiado.

S: es la superficie en metro cuadrados del tanque. En el caso de los depósitos cilíndricos de eje horizontal y los esféricos es la superficie total del tanque. En el resto de tanques es la superficie lateral de estos (sin considerar la parte superior o inferior que cierran el volumen).

La ITC MIE-APQ 1: “Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles” demanda básicamente las mismas demandas de caudal con respecto al RD 2085/1994 con algunas diferencias, para supuesto incendiado de tanque de almacenamiento de productos B y C:

Tipo de tanque supuesto incendiado	Tanques a enfriar	Caudal de agua para enfriamiento	
		Depósitos de hidrocarburos de la clase A	Otros tanques
Líquidos clases B y C	a) El supuesto incendiado		15 litros/mín. por metro de circunferencia.

	b) Los situados a menos de 15 m de las paredes del supuesto incendiado o de 1,5 veces su radio, tomando la mayor de las dos desde las paredes.	0,18 m³/h (3 l/mín.) por metro de la superficie de los recipientes	Caudales por m ³ sobre 1/4 de la superficie de los recipientes Techo fijo: clase B1: 0,30 m³/h (5 l/min) , Clase B2 y C: 0,12 m³/h (2 l/min) Techo flotante: <7.500 m ³ : 0,18 m³/h (3 l/mín.) . ≥7.500 m ³ : 0,12 m³/h (2 l/m² / mín.)
--	--	--	---

Tabla 10: Demandas de agua de refrigeración productos clase B y C. Fuente: ITC MIE-APQ 1

Hacer la diferenciación de aquellos tanques a cuyos productos afectará la normativa APQ y no la usual de productos hidrocarburoados, es decir el RD 2085/1994, es el primer paso. Estos productos son los aditivos de la gasolina y/o productos usados en el proceso con diferentes fines, que son los siguientes:

Tanques ID (TK -)	Producto	APQ?
708	ADIT PARAFLOW (R321 INFINIUM)	SI
717	ETBE	SI
718	MTBE	SI
740	ETBE	SI
762	ETBE	SI
707	ADIT MICET	SI
734	ADIT LUBRICIDAD (INFINIUM R-650)	SI
730	Aceite Vegetal	SI

Tabla 11: Productos afectados por normativa APQ.

Así que se inicia el cálculo de las demandas de agua para cada escenario de incendio, cada tanque al incendiarse, tendrá un radio de influencia en sus tanques vecinos, producto de la emisión térmica esperada, con el fin de evitar la extensión del incendio a

sus tanques vecinos se mojarán también estos vecinos como ya se ha comentado en anteriores apartados. El radio de influencia se extrae de la **Tabla 8**, **Tabla 9** y **Tabla 10**.

- **Demanda agua clase A**

Se calculan primero las necesidades de agua de los productos clase A. Estos tanques están localizados cada uno de ellos en sus propios cubetos cerca del puerto. SU tamaño es en todos los casos mayor a 200 m³, por lo que basándose en la **Tabla 8**, el radio de influencia de cada uno de ellos será su radio **R + 30 m** a su alrededor, cada uno de los cubetos, incluyendo el incendiado, dentro del anillo dibujado por su radio de influencia en caso de incendio, deberán recibir un caudal de agua de **10 litros por minuto por metro cuadrado**, siendo en el caso de las esferas toda su superficie.

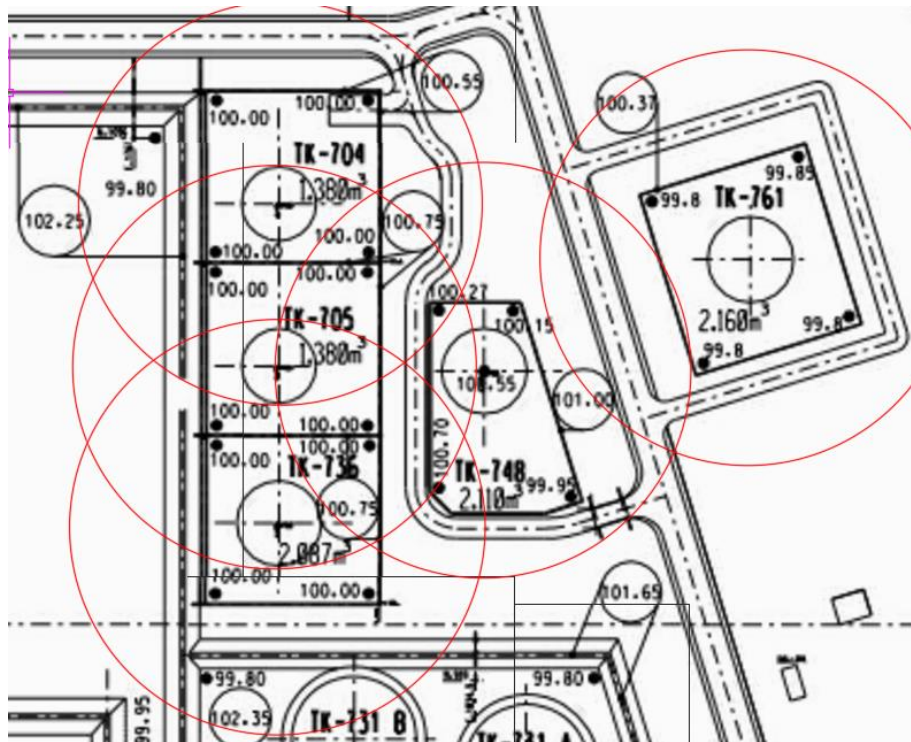


Ilustración 12: Radios de influencia esferas

Como ejemplo se muestra en la **Ilustración 12**, los radios de influencia en caso de incendio en cada una de las esferas, a excepción de la esfera 766, que se encuentra apartada del resto. Se sacan las afecciones y su número a los tanques adyacentes en cada caso de incendio de las esferas:

Tanque incendiado (TK-)	Tanques afectados (TK-)
704	705
705	704; 748; 736
736	705
748	705
761	-
766	-

Tabla 12: Esferas afectadas en caso de incendio por esfera.

Se observa que el escenario de incendio de la esfera 705, es el más crítico, afecta a tres de las otras esferas contiguas y por tanto el caudal de agua será muy elevado, se explica el a continuación el proceso de cálculo de los caudales.

- **Para el escenario de incendio de la esfera 704**

Esferas adyacentes afectadas: 705

Caudal de agua a aplicar en incendiado y adyacente: **10 litros/min/m²**

Diámetros esferas:

- 705: 14,60 metros
- 704: 14,60 metros

Superficie de las esferas, se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Superficie esfera } [m^2] = 4 * \pi * R^2 \quad (23)$$

Donde:

R: es el radio en metros de la esfera en cuestión.

Utilizando la ecuación (23), se calcula las superficies a mojar como:

$$\text{Superficie 704} = \text{Superficie 705} = \frac{4}{4} * \pi * (14,60)^2 = 669,66 \text{ m}^2$$

Por lo que el caudal necesario por unidad de tiempo en la esfera incendiada y en la esfera adyacente será:

$$\text{Caudal refrigeración } \left[\frac{l}{min} \right] = Q * S \quad (24)$$

Donde:

Q: es el valor demandado de agua de refrigeración por unidad de tiempo y superficie en l/min/m²

S: es la superficie del tanque en metros cuadrados. En esferas la superficie total y en el resto de tanque la superficie lateral.

Por lo tanto, utilizando la ecuación (24) con las variables previamente indicadas se obtiene:

Caudal refrigeración incendiado = Caudal refrigeración adyacentes

$$= \frac{10 * \frac{l}{min}}{m^2} * 669.66 \text{ m}^2 = 6696,6 \text{ l/min}$$

En este caso ambos caudales son iguales debido a que ambas esferas son idénticas en tamaño. El caudal total por lo tanto del escenario de incendio de la esfera 704 será:

$$\text{Caudal total} = \text{Caudal incendiado} + \text{Caudal adyacente} = 13393,23 \text{ l/min}$$

Procediendo de la misma manera al ejemplo que se ha mostrado se extraen el resto de caudales de refrigeración para las esferas de producto clase A:

Escenario Fuego	Caudal Adyacentes (l/min)	Caudal Enfriamiento (l/min)	Total (l/min)	Total (m ³ /h)
704	6696.61	6696.61	13393.2378	803.59
705	24483.13	6696.61	31179.75	1870.78
736	7474.06	8866.83	16340.89	980.45
748	6696.61	8919.68	15616.30	936.97
761	0	8919.68	8919.68	535.18
766	0	18246.54	18246.54	1094.79

Tabla 13: Demandas de agua de refrigeración productos clase A

- **Demanda agua clase B y C**

En este caso las demandas de caudales por parte de la normativa varían en función del tipo de tanque estemos considerando, su capacidad y el punto de inflamación del producto contenido. Las demandas de caudal por unidad de tiempo y por unidad de superficie lateral serán por lo tanto:

- En el tanque incendiado: **15 litros/min por metro de circunferencia**
- En los adyacentes:
 - Para los de techo fijo serán función de su temperatura de inflamación (producto):
 - Menor a 21 °C : **5 litros/min/m²**
 - Mayor o igual a 21 °C: **3 litros/min/m²**
 - Para los de techo flotante serán función de su volumen:
 - Menor a 7500 m³: **3 litros/min/m²**
 - Mayor o igual a 7500 m³: **2 litros/min/m²**

De los depósitos de techo fijo, sus puntos de inflamación en grados Celsius serán:

Tanques ID (TK -)	Producto	Clase	Tipo Tanque	T_Ignición (°C)	APQ?
1401	ASF 40/50	B1	Techo Fijo	-40	NO
1400	ASF 150 / 200	B1	Techo Fijo	-40	NO
1403	ASF VGO	B1	Techo Fijo	-40	NO
1404	ASF 110/120	B1	Techo Fijo	-40	NO
1402	ASF 60/70	B1	Techo Fijo	-40	NO
763	FUEL OIL	C	Techo Fijo	60	NO
764	HKGO	C	Techo Fijo	60	NO
727	GOL A	C	Techo Fijo	72	NO
731 A	POZOS API	B1	Techo Fijo	23	NO
731 B	POZOS API	B1	Techo Fijo	23	NO
724	GOL B/C	C	Techo Fijo	72	NO
726	GOL A	C	Techo Fijo	72	NO
739	GOL C	C	Techo Fijo	72	NO
725	GOL A	C	Techo Fijo	72	NO
723	GOL A	C	Techo Fijo	70	NO
738	GOL C	C	Techo Fijo	72	NO
728	FUEL OIL	C	Techo Fijo	60	NO
729	FUEL OIL	C	Techo Fijo	60	NO

Tabla 14: Clase B y C de techo fijo con puntos de inflamación.

Los depósitos de techo flotante con sus volúmenes sin tener en cuenta el grosor de las paredes del tanque en metros cúbicos serán:

Tanques ID (TK -)	Producto	Clase	Volumen Real (m ³)	Tipo Tanque	APQ?
3702	Crudo	B1	104592.09	Techo Flotante	NO
3703	Crudo	B1	104592.09	Techo Flotante	NO
755	Crudo	B1	94190.72	Techo Flotante	NO
756	Crudo	B1	113955.32	Techo Flotante	NO
3700	Crudo	B1	98308.65	Techo Flotante	NO
3701	Crudo	B1	123682.97	Techo Flotante	NO
750	Crudo	B1	94190.72	Techo Flotante	NO
751	Crudo	B1	94190.72	Techo Flotante	NO
752	Crudo	B1	94190.72	Techo Flotante	NO
702	GOL A	C	56092.52	Techo Flotante	NO
703	HSGO	C	56092.52	Techo Flotante	NO
701	GNA 95	B1	25942.15	Techo Flotante	NO
760	GNA 95	B1	19194.89	Techo Flotante	NO
700	GNA 95	B1	58613.22	Techo Flotante	NO
737	GOL C	C	56092.52	Techo Flotante	NO
1270	Agua	B1	987.68	Techo Flotante	NO

	Desalador (D-151)				
1271	Agua Desalador (D-151)	B1	955.57	Techo Flotante	NO
732	AGUAS API	B1	5563.95	Techo Flotante	NO
706	Nafta Ligera	B2	441.18	Techo Flotante	NO
712	Nafta Pesada	B1	612.77	Techo Flotante	NO
719	Nafta Pesada	B1	1048.00	Techo Flotante	NO
720	Nafta Ligera	B2	1048.00	Techo Flotante	NO
745	Nafta Ligera	B2	5712.20	Techo Flotante	NO
711	GNA 95	B1	18311.92	Techo Flotante	NO
741	ECO 95	B1	7483.42	Techo Flotante	NO
716	GNA 95	B1	11862.99	Techo Flotante	NO
713	GNA 98	B1	11862.99	Techo Flotante	NO
721	Queroseno	B2	7477.71	Techo Flotante	NO
743	LGO	C	7483.42	Techo Flotante	NO
715	GNA 98	B1	3648.11	Techo Flotante	NO
714	GNA	B1	3648.11	Techo Flotante	NO
722	LGO	C	2148.84	Techo Flotante	NO
744	Queroseno	B2	34259.60	Techo Flotante	NO
746	GNA 98	B1	16586.62	Techo Flotante	NO
747	Queroseno	B2	20449.43	Techo Flotante	NO

Tabla 15: Clase B y C de techo flotante con sus volúmenes de producto en m³

Los puntos de inflamación de cada producto se extraen de sus fichas de seguridad, donde figuran todas sus características químicas, en otras características y consideraciones en materia de seguridad respecto a un posible incendio de dicho producto, estas consideraciones se tendrán en cuenta más tarde a la hora de elegir la espuma adecuada. Para el volumen de los tanques calculados, todos ellos son tanques con forma cilíndrica donde el volumen reflejado en las tablas es el de máxima capacidad efectiva de estos.

Una vez categorizados, el siguiente paso es ver los radios de influencia de cada uno de ellos y ver a cuantos de los tanques adyacentes afecta para calcular los caudales efectivos de agua. El RD 2085/1994 no hace distinción a la hora de techo fijo o flotante a la hora del cálculo de los radios de influencia, este es en ambos caso un cilindro de influencia desde el eje de simetría perpendicular al suelo del tanque y con **radio 2.5 veces** el radio del propio tanque. Con esto se calculan de tanques que afectará cada uno de los escenarios de incendio:

Tanque incendiado	Nº Tanques afectados	Tanque incendiado	Nº Tanques afectados
3702	1	732	2
3703	1	706	2
1401	2	712	2
1400	3	719	3
1403	1	720	1
1404	1	745	1
1402	2	711	4
755	1	724	1
756	1	726	1
3700	1	739	2
3701	1	725	3
750	0	723	5
751	1	741	2
752	0	716	3
702	2	713	3
703	0	721	4
701	1	743	3
760	0	715	2
700	1	714	3
763	2	722	1
737	3	744	3
764	1	746	2
727	5	747	1
1270	0	738	3
1271	0	728	3
731 A	2	729	4
731 B	1		

Tabla 16: Escenario de incendio y número de tanques afectados

Se observa que el número de afecciones varía significativamente, desde 0 afecciones en algunos casos con 5 afecciones. El proceso de cálculo de la demanda de agua en cada caso se realiza de la siguiente manera como se muestra a continuación, se pone como ejemplo el cálculo del tanque 3700:

- **Incendio tanque TK 3700**

Nº Afecciones: 1

Tanque afectado: TK 3701

Tipo tanque:

- TK 3700: Techo flotante
- TK 3701: Techo flotante

Tamaños:

- TK 3700:
Altura = 19,50 metros; Diámetro = 82.20 metros; Volumen = 98308.65 m³
- TK 3701:
Altura = 19,50 metros; Diámetro = 92.20 metros; Volumen = 123682.97 m³

El tanque incendiado en este escenario de incendio es el 3700, se le aplicará un caudal de **15 litros por minuto por metro de circunferencia** [7]. La circunferencia de la proyección vertical de un cuerpo cilíndrico se calcula según la ecuación:

$$\text{Longitud circunferencia [m]} = \pi * D \quad (25)$$

Donde:

D: es el diámetro del tanque en metros.

El caudal de refrigeración del tanque 3700 por lo tanto será:

$$\text{Caudal tanque incendiado} = \frac{15 \frac{l}{min}}{m} * \pi * 82,2 m = 3873,58 l/min$$

El tanque adyacente afectado por el incendio, el TK 3701, el RD 2085/1994 indica que aquellos tanques afectados por el tanque del incendio principal se calcularán los caudales sobre un **¼ de la superficie lateral del tanque afectado** y con el valor adecuado de caudal unitario indicado en la **Tabla 9**. El área lateral de un tanque de forma cilíndrica se calcula como:

$$\text{Superficie lateral [m}^2\text{]} = \pi * D * h \quad (26)$$

Donde:

D: es el diámetro en metros del tanque.

h: es la altura en metro del tanque.

El volumen del depósito 3701 es mayor a 7500 m³ por lo que el caudal unitario a aplicar en este para evitar la propagación del incendio será de **2 litros/m²/min**. El caudal de refrigeración del tanque adyacente será:

$$- \text{Caudal tanque adyacente} = \frac{2 \frac{l}{min}}{m^2} * \pi * 92,2 m * 19,5 m * \frac{1}{4} = 2824,13 l/min$$

El caudal total de agua de refrigeración necesaria en el caso de incendio del tanque 3700 será por lo tanto la suma del caudal a aplicar en el tanque incendiado y en el afectado:

$$- \text{Caudal refrigeración total} = 2824,13 + 3873,58 = 6697,71 l/min$$

De la misma manera en la que se ha calculado las necesidades de agua de refrigeración del ejemplo, se calculan las necesidades totales y desglosadas separadas en los tanques de techo fijo y techo flotante. Las necesidades de agua de refrigeración para los tanques clasificados dentro de la normativa APQ, definidos en la **Tabla 11**, se calculan de la misma manera que en los afectados por la normativa RD 2085/1994 vista en el ejemplo, con la diferencia de que se aplicaran los caudales unitarios de la **Tabla 10**.

Escenario Fuego	Caudal adyacentes (l/min)	Caudal Enfriamiento (l/min)	Total (l/min)	Total (m3/h)
1401	1324.90	1579.59	2904.50	174.27
1400	2246.61	789.98	3036.60	182.19
1403	361.78	445.27	807.05	48.42
1404	361.78	445.27	807.05	48.42
1402	1324.90	1249.25	2574.16	154.44
763	2541.94	1837.83	4379.77	262.78
764	792.47	1837.83	2630.30	157.81
727	6467.89	3251.54	9719.44	583.16
731 A	1554.89	1064.99	2619.89	157.19
731 B	777.44	1064.99	1842.444	110.54
724	460.96	631.46	1092.42	65.54
726	460.96	631.46	1092.42	65.54

739	1530.81	1465.55	2996.37	179.78
725	3128.81	2356.19	5485.00	329.10
723	4659.63	2356.19	7015.82	420.94
738	2799.21	1465.55	4264.77	255.88
728	3604.45	3251.54	6856.00	411.360
729	3245.99	2638.93	5884.93	353.096

Tabla 17: Necesidades de agua de refrigeración tanques de techo fijo.

Escenario Fuego	Caudal adyacentes (l/min)	Caudal Enfriamiento (l/min)	Total (l/min)	Total (m3/h)
3702	2535.04	4093.18	6628.22	397.69
3703	2535.04	4093.18	6628.22	397.69
755	2710.80	3791.59	6502.39	390.14
756	2464.53	4170.46	6635.00	398.10
3700	2824.13	3873.58	6697.72	401.86
3701	2517.83	4344.82	6862.65	411.76
750	0.00	3791.59	3791.59	227.50
751	982.26	3791.59	4773.85	286.43
752	0.00	3791.59	3791.59	227.50
702	2101.42	3180.86	5282.29	316.94
703	0.00	3180.86	3180.86	190.85
701	982.26	2299.65	3281.91	196.91
760	0.00	1938.68	1938.68	116.32
700	1910.43	3251.55	5161.97	309.72
737	4613.33	3180.86	7794.19	467.65
1270	0.00	517.42	517.42	31.05
1271	0.00	508.94	508.94	30.54
732	945.15	1065.00	2010.15	120.61
706	447.68	424.12	871.79	52.31
712	447.68	447.68	895.35	53.72
719	1362.73	532.50	1895.23	113.71
720	292.87	532.50	825.37	49.52
745	203.69	1077.25	1280.95	76.86
711	2636.28	1932.08	4568.35	274.10
741	756.81	1235.12	1991.93	119.52
716	0.00	1555.09	1555.09	93.31
713	2432.46	1555.09	3987.54	239.25
721	2740.36	1234.65	3975.01	238.50
743	1658.10	1235.12	2893.22	173.59
715	0.00	862.37	862.37	51.74
714	1081.92	862.37	1944.28	116.66
722	629.53	706.86	1336.39	80.18

744	1851.82	2642.71	4494.53	269.67
746	2462.39	1731.80	4194.19	251.65
747	950.18	1724.73	2674.92	160.50

Tabla 18: Necesidades de agua de refrigeración tanques de techo flotante.

Escenario Fuego	Caudal adyacentes (l/min)	Caudal Enfriamiento (l/min)	Total (l/min)	Total (m3/h)
708	108.64	358.14	466.78	28.01
717	1386.34	862.37	2248.70	134.92
718	1386.34	862.37	2248.70	134.92
740	1737.35	1235.12	2972.47	178.35
762	2560.08	989.60	3549.68	212.98
707	1324.93	428.83	1753.76	105.23

Tabla 19: Necesidades de agua de refrigeración tanques normativa APQ.

- **Necesidades de espuma**

El sistema de espuma fijo se instalará en los tanques que contienen productos clase B (B1 y B2) como se ha comentado. La normativa RD 2085/1994 recoge las necesidades de solución espumante que se deberán aplicar en los sistemas fijos de espuma. De estas necesidades de solución espumante se podrán extraer las necesidades de agua y espumógeno que serán necesarias, por una parte lo que deberá proveer el sistema de bombeo en el respecto al agua y otra parte en el espumógeno.

Se indica en el RD 2085/1994 la diferenciación de los caudales de solución espumante en función del tipo de tanque donde se aplique el sistema, y las disposiciones del sistema fijo.

Para tanques de techo fijo se deberá un caudal mínimo de **4 litros/min/m²** de solución espumante de la superficie a cubrir durante un tiempo mínimo de **55 minutos**.

Para tanques de techo flotante es función de la localización de sus bocas de descarga:

- Por encima del cierre: el caudal mínimo de solución espumante deberá ser de **6,5 l/min/m²** durante un tiempo de **20 minutos**.
- Por debajo del cierre: el caudal mínimo de solución espumante será de **20 l/min/m²** durante un tiempo de **10 min**.

En los sistemas de espuma para los tanques de techo flotante hay un número de consideraciones extra que se evaluarán en el apartado de dimensionado del sistema de espuma en próximos apartados, las bocas de descarga se localizarán por encima del cierre. En la normativa ITC –MIE-APQ-1, que aplica a los productos en aquellos tanques indicados en la **Tabla 11**, indica las necesidades de los sistemas de espuma al igual que lo descrito, las disposiciones en esta norma son coincidentes con la del RD 2085/1994, por lo que a efectos de hacer la diferenciación no es necesaria en este caso como se ha realizado previamente.

El área de aplicación que se ha mencionado anteriormente de la solución espumante varía para tipos de tanque, en los tanques de techo fijo la espuma fluye de las bocas de descarga localizadas en los alto de este a través de la propia pared del tanque y la aplicación de la solución de la espuma es sobre toda la capa de producto dentro del tanque, es decir, dado que todos los tanques de techo fijo en su forma más simple se pueden simplificar como cilindros el área de aplicación es simplemente el área de la circunferencia dibujada por el diámetro del tanque en su proyección vertical hacia el suelo.

$$\text{Superficie círculo [m}^2\text{]} = \pi * \frac{D^2}{4} \quad (27)$$

Donde:

D: es el diámetro en metros del tanque.

Para los de techo flotante el área de aplicación es diferente, el área de aplicación es la corona comprendida entre la pared del propio tanque y la prensa de retención de espuma, como viene recogido en la norma UNE-EN 13565-2: 2010 “*Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento*” donde indica las características constructivas de la prensa de espuma,

indicando que esta estará a una distancia mínima de **600 mm** de la pared del tanque, por lo que se podrá obtener el área del anillo de la aplicación de la espuma.

$$\text{Superficie anillo [m}^2\text{]} = \frac{\pi}{4} * (D^2 - (D - 2 * d_{\text{pantalla}})^2) \quad (28)$$

Donde:

D: es el diámetro en metros del tanque.

d_{pantalla} : es la distancia de la prensa de espuma respecto a la pared del tanque.

750 mm en el caso de los tanques en este proyecto.

El modo de cálculo de los caudales de solución espumante se lleva a cabo de la siguiente manera, se muestra a continuación el proceso de cálculo para el ejemplo del tanque 755:

Tipo:

- Techo flotante, bocas de descarga por encima

Tamaño:

- Diámetro = 80,46 metros
- Distancia de la prensa retención espuma = 0,75 metros

Caudal solución espumante unitaria: **6,5 l/min/m²**

Se aplica la ecuación (28) debido a que se trata de un tanque de techo flotante y se multiplica el caudal de solución espumante unitaria por el área del anillo para obtener el caudal de solución espumante a aplicar para la extinción del incendio del tanque 755:

$$\text{Caudal solución espumante } \left[\frac{\text{l}}{\text{min}} \right] = \frac{6,5 \frac{\text{l}}{\text{min}}}{\text{m}^2} * \frac{\pi}{4} * (80,46^2 - (80,46 - 2 * 0,75)^2) = 1220,779 \text{ l/min}$$

De la misma manera se calcula el resto de caudales de solución espumante de los tanques clase B restantes, donde variará la ecuación del área de aplicación de la espuma según el tipo de tanque descrito previamente.

Tanques	Tipo	Área anillo (m2)	Caudal unitario solución (l/min/m2)	Tiempo de bombeo (min)	Caudal solución espumante(l/min)
3702	Techo Flotante	202.89	6.5	20	1318.80
3703	Techo Flotante	202.89	6.5	20	1318.80
1401	Techo Fijo	882.47	4	55	3529.86
1400	Techo Fijo	220.72	4	55	882.89
1403	Techo Fijo	70.12	4	55	280.49
1404	Techo Fijo	70.12	4	55	280.49
1402	Techo Fijo	551.96	4	55	2207.85
755	Techo Flotante	187.81	6.5	20	1220.78
756	Techo Flotante	206.76	6.5	20	1343.91
3700	Techo Flotante	191.91	6.5	20	1247.43
3701	Techo Flotante	215.47	6.5	20	1400.58
750	Techo Flotante	187.81	6.5	20	1220.78
751	Techo Flotante	187.81	6.5	20	1220.78
752	Techo Flotante	187.81	6.5	20	1220.78
701	Techo Flotante	113.22	6.5	20	735.90
760	Techo Flotante	95.17	6.5	20	618.58
700	Techo Flotante	160.81	6.5	20	1045.27
1270	Techo Flotante	24.10	6.5	20	156.68
1271	Techo Flotante	23.68	6.5	20	153.92
731 A	Techo Fijo	401.15	4	55	1604.60
731 B	Techo Fijo	401.15	4	55	1604.60
732	Techo Flotante	51.48	6.5	20	334.64
706	Techo Flotante	19.44	6.5	20	126.35
712	Techo Flotante	20.62	6.5	20	134.01
719	Techo Flotante	24.86	6.5	20	161.58
720	Techo Flotante	24.86	6.5	20	161.58
745	Techo Flotante	52.10	6.5	20	338.62
711	Techo Flotante	94.84	6.5	20	616.44
717	Techo Flotante	41.35	6.5	20	268.78
718	Techo Flotante	41.35	6.5	20	268.78
740	Techo Flotante	59.99	6.5	20	389.93
741	Techo Flotante	59.99	6.5	20	389.93
762	Techo Flotante	47.71	6.5	20	310.13
716	Techo Flotante	75.99	6.5	20	493.92
713	Techo Flotante	75.99	6.5	20	493.92
721	Techo Flotante	59.97	6.5	20	389.77
715	Techo Flotante	41.35	6.5	20	268.78
714	Techo Flotante	41.35	6.5	20	268.78
744	Techo Flotante	130.37	6.5	20	847.39
746	Techo Flotante	84.82	6.5	20	551.35

747	Techo Flotante	84.47	6.5	20	549.05
-----	----------------	-------	-----	----	--------

Tabla 20: Caudales de solución espumante de los tanques

Se selecciona el tipo de espuma a usar en el sistema ha de cumplir con las condiciones de que sea un tipo de espuma compatible con el tipo de fuego a esperar, capaz de extinguirlo y además compatible con los productos donde se aplique la espuma. Algunos productos contenidos en los tanques requieren de espuma que sean resistentes al alcohol, indicado por sus fichas de seguridad, estos productos son el MTBE y ETBE. Así que el espumógeno seleccionada para el sistema será uno de la marca **SABO**, en concreto el espumógeno **Hydral AR 3-6 M**, este espumógeno es resistente a alcoholes, formador de película acuosa (AR-AFFF), es idóneo para la extinción de fuegos con elementos destructores de la espuma como alcoholes, esterres, cetonas, aminas y también fuegos de hidrocarburos involucrando petróleo, combustible y aceites [26], el espumogeno está probado y listado según la norma UNE-EN 1568:2008 parte 3 y 4. Además el espumógeno no necesita incrementar la concentración cuando es usado con agua de mar [26], lo que facilita el trabajo con la red contra incendios en este ya que funcionará con agua de mar. El fabricante recomienda las siguientes condiciones de uso del espumógeno:

Hydral AR 3-6 M	
Clases de fuego	A y B
Densidad (20°C)	1,04 ± 0,02 [g/ml]
pH (espumógeno, 20°C)	7,5 ± 0,5
Viscosidad 20°C	1100 ± 200 [Cps]
Sedimento (EN 1568)	≤ 0,1 [%]
Relación de proporcionamiento	3 [% Vol.] 6[% Vol.] AFFF AR
Relación de expansión (EN 1568-3)	≥7,0 ≥9,0
Expansión	Baja, Media , Alta
Temperatura de almacenamiento	-8 a +60 [°C]

Tabla 21: Características espumógeno Hydral AR 3-6 M. Fuente: Catálogo espumógenos SABO.

La expansión adecuada para la espuma en el caso de tanques de almacenamiento de líquidos inflamables según la Tabla 1 de la norma UNE-EN 13565-2:2009 “*Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento*” es de **baja expansión**, esto implica relaciones de expansión entre 1 y 20 veces el volumen de solución espumante, se basa en lo indicado por el fabricante y la

relación de expansión para los tanques de productos no resistentes al alcohol será de **7 veces**, mientras que aquellos tanques con productos que necesitan espumas resistentes al alcohol la relación de expansión será de **9 veces**.

La concentración del espumógeno respecto al agua en volumen también dependerá según si el producto necesita una espuma resistente al alcohol o no, según la recomendación del fabricante la concentración de proporcionamiento del espumógeno será del **3 % del volumen total** de la solución espumante resultante en el caso de necesidades de espuma no resistente al alcohol y **6 % del volumen total** para los casos en el que la espuma deba ser resistente al alcohol.

Los productos que requieren de espuma resistente al alcohol y dispondrán de sistema de espuma fijo son los contenidos en los **tanques 717, 718, 740 y 762**. Por lo tanto, el cálculo del agua y espumógenos necesarios en cada caso se realizará de la siguiente manera:

$$\text{Caudal de espumógeno} \left[\frac{l}{min} \right] = \text{Caudal solución espumante} * \frac{C_{Espuma}}{100} \quad (29)$$

Donde:

Caudal solución espumante: es el caudal de solución espumante a aplicar en la extinción del incendio del tanque calculado en anteriores apartados en l/min.

C_{espuma} : es la relación de proporcionamiento del espumógeno adecuada al producto en porcentaje %.

Y para el caudal de agua a proporcionar:

$$\text{Caudal agua espuma} \left[\frac{l}{min} \right] = \text{Caudal sol. espumante} * \frac{(100 - C_{Espuma})}{100} \quad (30)$$

Donde:

Caudal sol. espumante: es el caudal de solución espumante a aplicar en la extinción del incendio del tanque calculado en anteriores apartados en l/min.

C_{espuma} : es la relación de proporcionamiento del espumógeno adecuada al producto en porcentaje %.

Por ejemplo, para el caudal de solución espumante necesario a aplicar en el tanque 1400:

- Caudal solución espumante = 882.89 l/min
- Espuma resistente al alcohol: no necesaria
- Concentración del espumógeno = 3%
- Relación de expansión = 7 veces

Necesidades de agua y espumógeno en el caso del tanque 1400, aplicando las ecuaciones anteriores se obtiene:

- $Caudal\ de\ espumógeno = 882,89 * \frac{3}{100} = 26,486\ l/min$
- $Caudal\ agua\ espuma = 882,89 * \frac{(100-3)}{100} = 856,403\ l/min$

De la misma manera se calculan las necesidades de agua y espumógeno para el resto de tanques:

Tanques	Caudal solución espumante(l/min)	Caudal agua (l/min)	Caudal espumógeno (l/min)
3702	1318.80	1279.23	39.56
3703	1318.80	1279.23	39.56
1401	3529.86	3423.97	105.90
1400	882.89	856.40	26.49
1403	280.49	272.08	8.41
1404	280.49	272.08	8.41
1402	2207.85	2141.61	66.24
755	1220.78	1184.16	36.62
756	1343.91	1303.60	40.32
3700	1247.43	1210.01	37.42
3701	1400.58	1358.56	42.02
750	1220.78	1184.16	36.62
751	1220.78	1184.16	36.62
752	1220.78	1184.16	36.62
701	735.90	713.82	22.08
760	618.58	600.03	18.56
700	1045.27	1013.91	31.36
1270	156.68	151.97	4.70
1271	153.92	149.30	4.62

731 A	1604.60	1556.46	48.14
731 B	1604.60	1556.46	48.14
732	334.64	324.60	10.04
706	126.35	122.56	3.79
712	134.01	129.99	4.02
719	161.58	156.73	4.85
720	161.58	156.73	4.85
745	338.62	328.46	10.16
711	616.44	597.95	18.49
717	268.78	252.66	16.13
718	268.78	252.66	16.13
740	389.93	366.53	23.40
741	389.93	378.23	11.70
762	310.13	291.53	18.61
716	493.92	479.10	14.82
713	493.92	479.10	14.82
721	389.77	378.08	11.69
715	268.78	260.72	8.06
714	268.78	260.72	8.06
744	847.39	821.97	25.42
746	551.35	534.81	16.54
747	549.05	532.58	16.47

Tabla 22: Caudales de agua y espumógeno para sistemas de espuma.

- **Sistemas manuales de espuma**

Como se mencionó en el apartado de **Sistemas de lucha contra incendios**, la normativa UNE-EN 13565-2:2009 “*Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento*” indica que aparte de los medios fijos de espuma, deberán existir unos medios manuales que utilicen espuma. Estos han de poder alcanzar cualquier zona dentro del área de riesgo, la solución adoptada es mediante monitores de espuma acoplados a los hidrantes distribuidos por refinería. Los caudales por corriente de mangueras deben ser al menos de **200 l/min** durante **30 min** según la norma.

El número de monitores alrededor de cada área de incendio será en función del tamaño de la propia área de incendio. Los monitores que irán instalados en los hidrantes distribuidos por planta, los propios hidrantes han de cubrir un área circular de 40 metros de radio [20] entre ellos, asegurando la cobertura continua. Por lo que para calcular el

número de monitores a instalar alrededor del área de incendio se calculará dividiendo el área del medio círculo abarcado por cada hidrante por el área de incendio (área del cubeto) sin tener en cuenta el espacio ocupado en planta por los tanques. Se considera el área de medio círculo en el área de influencia de cada hidrante pues es el máximo área que siempre abarcará en el área de incendio estando el hidrante instalado en el perímetro de los cubetos de los tanques alejados la distancia adecuada.

$$N^{\circ} \text{ Monitores} = \frac{(\text{Área de incendio} - \sum_{n=1}^{i=n} \text{Proyección tanque})}{\left(\frac{\pi * R_{\text{hidrante}}^2}{2}\right)} \quad (31)$$

Donde:

Área de incendio: es el área abarcada por el área de incendio en metros cuadrados.

Proyección tanque: es el área ocupada en el área de incendio por los “n” tanques que la ocupan en metros cuadrados, calculado con la ecuación (27).

R_{hidrante} : es el radio de cobertura del hidrante, en este caso con valor de 40 metros.

Con los datos de la **Tabla 6** , en respecto de las superficies de cada área de incendio y junto con los sectores de incendio que ocupan cada uno de los tanques de la **Tabla 5**, se puede calcular el área libre del sector del incendio que consiste en los mencionado previamente, en el área de incendio quitando la proyección en este de los tanques que lo ocupan. El proceso de cálculo se muestra a continuación con un ejemplo de uno de los sectores.

Para el sector de incendio número 1:

- Área de incendio = 42309 m².
- Tanques en el sector: TK 3702 y TK 3703.
- Tamaños:
 - o TK 3702 y TK 3703: Diámetro = 86.86 metros.

Se calcula el área incendio libre del sector 1 que equivale al numerador en la ecuación (31):

$$- \text{Área de incendio libre [m}^2\text{]} = 42309 - 2 * \left(\frac{\pi}{4} * 86,86^2\right) = 30457,88 \text{ m}^2$$

Ahora dividiendo entre el área máxima circular que cubrirán los hidrantes-monitor según la normativa, se obtendrán el número de sistemas auxiliares orientativo para cubrir el área de incendio con los monitores de espuma.

$$- N^{\circ} \text{ monitores} = \frac{30457,88}{(\pi \cdot 40^2)/2} = 12,11 \approx 13 \text{ monitores}$$

Se redondea para arriba siempre el número de monitores necesarios y como mínimo se instalará 1 monitor en un hidrante por sector que deba instalarse estos sistemas auxiliares.

Sector incendio	Área incendio (m ²)	Área incendio libre (m ²)	Número sist. auxiliares	Caudal solución por monitor (l/min)	Tiempo de servicio (min)	Caudal total solución hidrantes-monitor (l/min)
1	42309	30457.88	13	200	30	2600
2	2600	1717.53	1	200	30	200
3	1000	779.28	1	200	30	200
4	725	584.75	1	200	30	200
5	2450	1898.04	1	200	30	200
6	47600	36364.05	15	200	30	3000
7	32600	27293.19	11	200	30	2200
8	32600	25923.46	11	200	30	2200
9	24800	19715.48	8	200	30	1600
10	22500	17415.48	7	200	30	1400
11	36700	31615.48	13	200	30	2600
14	8430	6559.62	3	200	30	600
15	8700	7370.71	3	200	30	600
16	14100	10360.72	5	200	30	1000
22	750	655.31	1	200	30	200
23	750	658.39	1	200	30	200
24	2700	1897.70	1	200	30	200
26	1750	1348.85	1	200	30	200
32	4450	3704.49	2	200	30	400
33	4300	2979.75	2	200	30	400
38	3300	2773.96	2	200	30	400
39	2800	1720.92	1	200	30	200
40	1100	753.64	1	200	30	200
41	2825	1969.70	1	200	30	200
42	2900	2044.70	1	200	30	200
43	3400	2860.87	2	200	30	400

44	1600	1336.98	1	200	30	200
45	1700	1436.98	1	200	30	200
46	6300	3829.95	2	200	30	400
47	4200	3139.27	2	200	30	400
48	4200	3147.91	2	200	30	400

Tabla 23: Número de monitores y sus caudales totales de solución espumante.

El caudal total de solución espumante en los monitores servirá para hacer una estimación de las cantidades de espumógeno a comprar y distribuir, para que todos los monitores dispongan de depósitos o barriles de espumógeno para poder funcionar correctamente. Así que, multiplicando el tiempo de servicio mínimo por el caudal total de solución espumante para los hidrantes monitores y teniendo en cuenta el porcentaje en base al volumen de solución para el espumógeno seleccionado previamente de **3 %** (para casos generales), podemos obtener el caudal de agua necesaria para hacer funcionar el sistema y los litros de espumógeno necesarios, como se ha realizado en apartados anteriores. La selección de la cantidad de recipientes de espumógeno a comprar se realizará en el apartado **Reservas**.

Sector incendio	Caudal total solución hidrantes-monitor (l/min)	Caudal agua hidrantes (l/min)	Espumógeno usado en tiempo de servicio (l)	Caudal total espuma (l/min)
1	2600	2522	2340	18200
2	200	194	180	1400
3	200	194	180	1400
4	200	194	180	1400
5	200	194	180	1400
6	3000	2910	2700	21000
7	2200	2134	1980	15400
8	2200	2134	1980	15400
9	1600	1552	1440	11200
10	1400	1358	1260	9800
11	2600	2522	2340	18200
14	600	582	540	4200
15	600	582	540	4200
16	1000	970	900	7000
22	200	194	180	1400
23	200	194	180	1400
24	200	194	180	1400
26	200	194	180	1400

32	400	388	360	2800
33	400	388	360	2800
38	400	376	720	3600
39	200	188	360	1800
40	200	188	360	1800
41	200	194	180	1400
42	200	194	180	1400
43	400	388	360	2800
44	200	194	180	1400
45	200	194	180	1400
46	400	388	360	2800
47	400	388	360	2800
48	400	388	360	2800

Tabla 24: Necesidades de espumógeno y agua de los sistemas manuales de espuma.

En caso de incendio no se planifica de manera rutinaria el encender todos los hidrantes monitores a la vez. Estos monitores son para la protección del área del incendio y por tanto se activarán según la casuística del incendio, aunque si se tendrá en cuenta el peor escenario posible de que todos los hidrantes con monitores estén activos en el aporte del agua del sistema para cada sector de incendio, como indica la normativa UNE-EN 13565-2:2009. El total de hidrantes con monitor será de **117**, los cuales forman parte del grueso total de hidrantes distribuidos por planta con o sin monitor, pero en todos los casos los hidrantes contarán con las mismas características constructivas en su base. Los detalles de estos hidrante, incluyendo el dimensionamiento y selección de los monitores se realizarán en el apartado de **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

- **Caudales totales de agua y espuma**

Con las necesidades de agua y de espuma calculadas para cada escenario de incendio, se pueden clasificar y tener una visión generalizada de cuál será el peor escenario posible a esperar, con el fin de dimensionar todo el sistema y que sea capaz de abastecer dicho escenario. El sistema de bombeo será el primer paso en el diseño, y el peor escenario en cuanto demanda de agua será la variable clave para seleccionarlo, no sólo ha de poder dar el caudal máximo, si no, a una presión mínima determinada por el RD 2085/1994 de **7,5 kg/cm²**, como se ha definido previamente en el apartado **Sistemas de lucha contra incendios**.

Las demandas de agua para todos los supuestos de incendio de los 53 sectores de incendio presentes en planta, se desglosa a continuación en el caudal de agua de los sistemas de agua pulverizada, esto es el agua destinada a la refrigeración del tanque principal y de los adyacentes afectados por el incendio. Segundo el agua de extinción, esto es el agua total necesaria para el funcionamiento de los sistemas de extinción fijos de espuma y de los monitores en los hidrantes de espuma, donde en estos últimos se considera el peor escenario posible de que todos los hidrantes con monitor son utilizados simultáneamente. Por último el agua de las tomas de los hidrantes destinadas al uso de la brigada contra incendios en planta y por parte del grupo de bomberos en caso de emergencia.

Sector de incendio	Caudal Refrigeración + Extinción + Hidrantes Exteriores (l/min)	Caudal Refrigeración (l/min)	Caudal Extinción (l/min)	Caudal hidrantes (l/min)
1	14007.46	6628.22	3801.23	3500.00
2	10028.47	2904.50	3617.97	3500.00
3	7593.00	3036.60	1050.40	3500.00
4	4779.14	807.06	466.08	3500.00
5	8415.78	2574.16	2335.61	3500.00
6	14186.55	6502.39	4094.16	3500.00
7	13607.72	6697.72	3344.01	3500.00
8	13921.22	6862.65	3492.56	3500.00
9	10075.74	3791.59	2736.16	3500.00
10	10858.01	4773.85	2542.16	3500.00
11	11075.74	3791.59	3706.16	3500.00
12	8782.29	5282.29		3500.00
13	6680.86	3180.86		3500.00
14	8095.73	3281.91	1295.82	3500.00
15	6638.70	1938.68	1182.03	3500.00
16	10675.88	5161.97	1983.91	3500.00
17	7879.78	4379.78		3500.00
18	11294.19	7794.19		3500.00
19	3500.00			3500.00
20	6130.30	2630.30		3500.00
21	13219.44	9719.44		3500.00
22	4369.40	517.42	345.97	3500.00
23	4358.24	508.94	343.30	3500.00
24	7876.36	2619.90	1750.46	3500.00
25	3500.00			3500.00

26	6034.75	2010.15	518.60	3500.00
27	16893.24	13393.24		3500.00
28	34679.76	31179.76		3500.00
29	19840.90	16340.90		3500.00
30	19116.31	15616.31		3500.00
31	12419.69	8919.69		3500.00
32	4894.35	871.79	510.56	3500.00
33	9066.30	4568.35	985.95	3500.00
34	4592.43	1092.43		3500.00
35	8985.01	5485.01		3500.00
36	3500.00			3500.00
37	10515.83	7015.83		3500.00
38	6401.36	2248.70	628.66	3500.00
39	7039.00	2972.47	554.53	3500.00
40	7541.21	3549.68	479.53	3500.00
41	5734.19	1555.09	673.10	3500.00
42	8166.64	3987.54	673.10	3500.00
43	8253.09	3975.01	766.08	3500.00
44	5253.76	1753.76		3500.00
45	5905.00	1944.28	454.72	3500.00
46	9216.50	4494.53	1209.97	3500.00
47	8629.00	4194.19	922.81	3500.00
48	7107.50	2674.92	920.58	3500.00
49	7764.77	4264.77		3500.00
50	21746.54	18246.54		3500.00
51	10356.01	6856.01		3500.00
52	9384.94	5884.94		3500.00
53	3500.00			3500.00

Tabla 25: Necesidades totales de agua para cada sector de incendio.

En un segundo desglose de las necesidades del sistema, se tendrán las necesidades de los sistemas de espuma totales para cada escenario de incendio, en aquellos sectores de incendio donde dichos sistema tanto fijos como manuales en forma de hidrantes monitor tengan presencia. Estas necesidades totales de espuma servirán para estimar las compras de espumógeno, su repartición en cada uno de los sectores de incendio, el dimensionamiento de la capacidad de los medios móviles de brigada y la reserva de espumógeno obligatoria. La hipótesis de los sistemas manuales de espuma continua siendo válida con respecto a las demandas de agua, se ha supuesto el peor escenario posible de todos los hidrantes monitor activos a la vez actuando en todo el área de incendio a la hora de estimar las necesidades de espumógeno.

Sector de incendio	Espumógeno sist. auxiliares (litros)	Espumógeno sist. fijo (litros)	Espumógeno total (litros)
1	2340.00	791.28	3131.28
2	180.00	5824.27	6004.27
3	180.00	1456.76	1636.76
4	180.00	462.81	642.81
5	180.00	3642.95	3822.95
6	2700.00	732.47	3432.47
7	1980.00	748.46	2728.46
8	1980.00	840.35	2820.35
9	1440.00	732.47	2172.47
10	1260.00	732.47	1992.47
11	2340.00	732.47	3072.47
12			0.00
13			0.00
14	540.00	441.54	981.54
15	540.00	371.15	911.15
16	900.00	627.16	1527.16
17			0.00
18			0.00
19			0.00
20			0.00
21			0.00
22	180.00	94.01	274.01
23	180.00	92.35	272.35
24	180.00	2647.59	2827.59
25			0.00
26	180.00	200.78	380.78
27			0.00
28			0.00
29			0.00
30			0.00
31			0.00
32	360.00	75.81	435.81
33	360.00	369.86	729.86
34			0.00
35			0.00
36			0.00
37			0.00
38	720.00	322.54	1042.54
39	360.00	467.91	827.91
40	360.00	372.16	732.16
41	180.00	296.35	476.35
42	180.00	296.35	476.35

43	360.00	233.86	593.86
44			0.00
45	180.00	161.27	341.27
46	360.00	508.44	868.44
47	360.00	330.81	690.81
48	360.00	329.43	689.43
49			0.00
50			0.00
51			0.00
52			0.00
53			0.00

Tabla 26: Necesidades totales de espumógeno para cada sector de incendio.

El peor escenario de incendio desde el punto de vista de la demanda de agua es el escenario de incendio del **sector 28**, que corresponde al **incendio de la esfera 705** de GLP, con una demanda total de agua de **34679,76 litros por minuto**.

El peor escenario en el caso de uso de espuma es el incendio en el **sector de incendio número 2**, que corresponde a un **incendio del tanque 1401**, que corresponde a una demanda de espumógeno de **6004,27 litros de espumógeno Hydral AR 3-6 M**. Esta demanda máxima servirá para la selección de la reserva de espumógeno.

Reservas

Derivado de lo exigido por el RD 2085/1994 en su artículo 27: “*Medios generales de lucha contra incendios*”, la normativa indica que la refinería deberá contar con una reserva de agua derivada de los cálculos de la demanda de agua para uso en los sistemas contra incendios de refrigeración y extinción por espuma calculados según las indicaciones en su párrafo *d*), por **al menos 5 horas** en la hipótesis más desfavorable, la cual en este caso será en el incendio de la esfera 705 con una demanda de agua de **34679,76 litros/min**.

Además de ello, se indica que se deberá contar con una reserva de espumógeno independiente del espumógeno necesitado para el funcionamiento del sistema de espuma [7] (incluyéndose hidrantes monitores de espuma). Los tiempos de aplicación serán los indicados en apartados anteriores, concretamente en el cálculo de las

demandas de espuma apartado “**Necesidades de espuma**”, los tiempos de aplicación son función del tipo de tanque donde se instalará el sistema fijo de espuma y sus características constructivas, ya se han tenido en consideración los mencionados tiempos en los valores expuestos en la **Tabla 26**. La mayor demanda de espuma se espera en el escenario de incendio del **tanque número 1401**, con una demanda de **6004,27 litros de espumógeno** como ya se había comentado en apartados anteriores.

- **Reserva de espumógeno y contenedores de espumógeno**

De la demanda máxima de 6004,27 litros de espumógeno, 5824,27 litros corresponden a las necesidades del sistema fijo de espuma del tanque 1401 y los 180 litros restantes a lo máximo esperado en el uso de hidrantes. La reserva fija de espuma deberá contar con la suficiente capacidad para acomodar el espumógeno suficiente para cubrir los 5824,27 litros del sistema fijo de espuma, por lo que se seleccionará **un depósito de espumógeno atmosférico de la marca SABO, modelo SE-A de capacidad 6000 litros**.



Ilustración 13: Depósito atmosférico de espumógeno modelo SE-A. Fuente: Catálogo SABO.

El cuerpo del tanque está compuesto de una plancha de polietileno PE100 de alta tenacidad y rigidez, estabilizada frente a rayos ultravioleta (UV). Alta resistencia a la corrosión y con una tapa superior para el cierre e inspección. Los depósitos SE-A de la

marca SABO pueden ser instalados a la intemperie o en interiores, suelen ser utilizados en instalaciones fijas [27]. El fabricante recomienda que cuando se utilice espumógeno tipo AFFF o AFFF-AR (como es en este caso) para cualquier depósito atmosférico, recomienda añadir una capa de unos 5 mm de aceite mineral de calidad encima de la superficie del espumógeno una vez efectuada la carga, para evitar la evaporación del espumógeno concentrado[27]. Respecto a inspecciones y mantenimiento, se recomienda controlar el estado del espumógeno concentrado y el nivel de corrosión del depósito para solicitar recambios.

El depósito de espumógeno estará ubicado en la estación de la brigada contra incendios de refinería cerca de los medios móviles (camiones) para su acceso en caso de que sea necesario el rellenar el camión de nuevo de espumógeno durante la emergencia e instalado de tal manera que no dificulte su accesibilidad ningún elemento cercano.

La cantidad de espumógeno que se adquirirá será en dos modalidades: en bidones de 200 litros repartidos por planta en cada hidrante con monitor de espuma y en contenedores de 1000 litros para el llenado de los camiones y tener el suficiente espumógeno para la emergencia más crítica, en este caso el sistema fijo de espuma del tanque 1401.

- Bidones de 200 litros:

De la **Tabla 23** se extraen el total de hidrantes con monitor a instalar y la cifra total asciende a un total de **117 monitores de espuma**, en cada uno de ellos se espera un caudal máximo unitario de **200 litros/min de solución espumante** durante un tiempo mínimo de **30 minutos**, de la **Tabla 23** se pueden extraer los máximos caudales de solución espumante en la hipótesis más crítica de todos funcionando al mismo tiempo. Sumando todos los caudales máximos de todos los escenarios de incendio para las hipótesis críticas se obtiene las necesidades a cubrir con las compras de espumógeno, que equivale a un total de **21780 litros de espumógeno**, por lo tanto:

$$N^{\circ} \text{ mínimo bidones } 200 \text{ l} = \frac{21780}{200} = 108,9 \approx 109 \text{ bidones de } 200 \text{ litros}$$

Por lo que comprando un bidón de 200 litros por cada monitor de espuma, es decir, comprando **117 bidones de 200 litros de espumógeno** se cubre la demanda y permite el funcionamiento de todos ellos.

- Contenedores de 1000 litros:

La demanda del caso más crítico, el sistema fijo de espuma del tanque 1401, se necesitan **5824,27 litros de espumógeno** para este caso más desfavorable. El fabricante SABO su tamaño más grande de distribución del espumógeno Hydral AR 3-6M es un formato de contenedor de 1000 litros, por lo que se necesitarán:

$$N^{\circ} \text{ mínimo de contenedores} = \frac{5824,27}{1000} = 5.824 \approx 6 \text{ contenedores}$$

Pero se necesitará dos veces esta demanda máxima de espumógeno pues se debe comprar para el servicio con los camiones y para llenar el depósito de reserva, así que se comprarán **12 contenedores de 1000 litros** de espumógeno.

En resumen se deberá adquirir un total de **117 bidones de 200 litros y 12 contenedores de 1000 litros de espumógeno Hydral AR 3-6 M, un total de 35400 litros.**

- **Reserva de agua**

La reserva de agua deberá tener una capacidad efectiva para el caso más desfavorable de demanda de agua por **5 horas de autonomía** de entre todos los escenarios de incendio. La normativa RD 2085/1994 hace mención en concreto, como se ha mencionado, que la reserva de agua ha de cubrir las demandas de agua de refrigeración y extinción, no hace mención de las necesidades de hidrantes y los medios manuales de extinción por espuma, en este caso como medida extra con el fin de garantizar el servicio con mayor umbral de seguridad, se calculará la reserva de agua teniendo en cuenta también las máximas demandas de agua por parte de los sistemas de hidrantes de agua normales y con monitor en los casos más desfavorables.

El escenario de incendio más desfavorable en la demanda de agua, el escenario 28, no cuenta con demanda de agua de los hidrantes con monitor de espuma debido a que en dicho sector no se deberán instalar ya que es un incendio de producto clase A y no un producto clase B (ver apartado previo **Sistemas manuales de espuma**). Así que para poder tener en cuenta el agua de los hidrantes con monitor de espuma en la reserva se selecciona el escenario de incendio donde se demanda la mayor cantidad de agua para los monitores de espuma, con la hipótesis de todos ellos encendidos a la vez, este es el **escenario número 6**, del área de incendio de los tanques 755 y 766.

Tiempos de servicio de los caudales de los sistemas:

- Refrigeración y extinción: **300 minutos**.
- Hidrantes de agua: **90 minutos** [20].
- Hidrantes con monitor de espuma: **30 minutos** [28].

Los 300 minutos de tiempo de servicio del agua de refrigeración y extinción cumplen con la condición de que para los sistemas de espuma fija, el caudal de agua debe ser el suficiente para poder abastecer durante un primer uso del sistema (camiones cargados de espumógeno) y un segundo uso con la reserva de espumógeno. El tiempo de servicio mínimo en el caso de sistemas fijos de espuma en el peor caso es de 55 minutos [7], así que los 300 minutos de autonomía de la reserva si cumplirán el mínimo de 110 minutos (55 minutos x 2 usos) de abastecimiento.

En el caso del tiempo de servicio de los monitores de espuma, con el objetivo de la prevención y seguridad, se seguirá la misma filosofía de estimar un segundo uso de los sistemas manuales, por lo que se deberá cubrir por un tiempo de **60 minutos**, lo que equivale a cubrir por un tiempo de 30 minutos en un primera utilización del sistema con los espuma y otros 30 minutos considerando una reserva de espumógeno.

Sistema de protección	Escenario desfavorable	Demanda de agua (l/min)	Tiempo de servicio (min)	Litros de agua
Refrigeración y extinción	28	34679,76	300	10403928
Hidrantes de agua	Todos igual	3500	90	315000
Hidrantes con monitor de espuma	6	2910	60	174600

Total (l):	10893528
Total (m³):	10893,528

Tabla 27: Cantidad de agua para el dimensionamiento de la reserva.

La reserva de agua deberá tener una capacidad de **10893,52 m³** de agua. La normativa UNE-EN 23500:2018 “*Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios*” indica las disposiciones y requisitos que el depósito de agua deberá cumplir para funcionar en conjunto al sistema de bombeo y el abastecimiento principal con agua de mar. El tipo de agua dentro del depósito debe ser agua dulce tratada [29]. Como se comentó, la reserva de agua servirá también de reserva de agua dulce de limpieza, para limpiar el sistema de agua salada después de su uso y evitar así corrosión. El tipo de sistema de abastecimiento y sus características se verán en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

La depósito que contiene la reserva de agua contará con un nivel mínimo de seguridad, con el fin de cumplir con las condiciones de aspiración de la bomba al respecto de cavitación [29]. La comprobación de las condiciones de alimentación del depósito a la bomba se comprobará en el apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** El depósito se situará cerca de la dársena, en terreno hormigonado entre los dos campos de bombas, como se aprecia en la **Ilustración 14**, donde el depósito estará colocado de tal manera de que sirva de separación entre ambos grupos de bombeo y la distancia a ambos sea igual (20 metros).



Ilustración 14: Posición relativa de la reserva de agua (rojo) y los grupos de bombeo (verde).

El tipo de depósito será un **tipo A** para alimentación de bombas según la normativa UNE-EN 23500, la normativa indica que los depósitos tipo A deben cumplir las siguientes características:

- Tener una capacidad efectiva mínima del 100 por 100 del volumen de agua especificado, así como una reposición automática de agua capaz de llenar el depósito en un tiempo no superior a las 36 horas.
- El depósito debe ser de un material rígido, resistente a la corrosión en su totalidad de manera que garantice su uso ininterrumpido durante un periodo mínimo de 15 años sin necesidad de vaciarlo o limpiarlo.
- Se debe emplear agua dulce no contaminada o tratada adecuadamente.
- Se deben incorporar filtros en la conexión de llenado.
- El agua debe estar protegida de la acción de la luz y de cualquier contaminante.
- La entrada de cualquier tubería de aportación de agua al depósito debe estar situada a una distancia medida en horizontal, de la toma de aspiración de la bomba no menor a 2 metros.

Además como requerimientos generales para todo tipo de depósitos como:

- Uso exclusivo de la instalación de incendios, y, en caso contrario la toma de salida para otros usos deben situarse por encima del nivel máximo correspondiente a la capacidad de reserva calculada como exclusiva para la instalación contra incendios.
- Si el depósito no está protegido contra heladas, el nivel normal de agua se debe aumentar en 1 metro y debe disponer de una ventilación adecuada. En caso de depósitos interiores fácil acceso.
- Todos los depósitos deben disponer de un indicador de nivel de agua situado en el exterior del depósito de tal manera que su lectura sea fácil desde el suelo y sin requerir ni instrumento ni medios auxiliares a los ya instalados.

El depósito será un **depósito de forma cilíndrica conectado a los dos grupos de bombas** mediante dos tubos de aspiración localizados en su parte baja. La separación de los tubos de aspiración seguirá lo dispuesto en la **Ilustración 153**, función del tamaño del tubo de aspiración con un diámetro tamaño D , con una separación de **5D** entre caras de tubo.

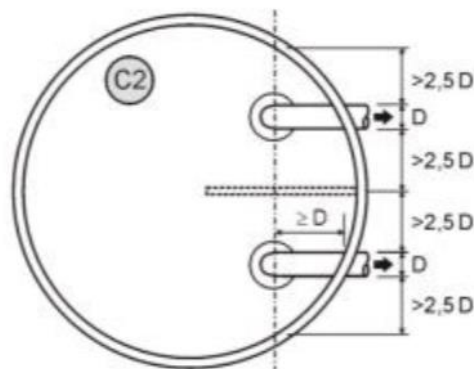


Ilustración 15: Disposición tubos de aspiración en el depósito. Fuente: UNE-EN 23500.

Para un **tubo de aspiración de 500 mm** para cada grupo de bombeo, el cual es del mismo diámetro que el tubo de aspiración del grupo de bombeo del suministro principal por parte del mar, las distancias mínimas a cumplir entre el tubo de aspiración y el nivel mínimo del agua seguirán lo establecido según la “*Tabla 1*” de la UNE-EN 23500:2018.

Diámetro nominal de la tubería de aspiración D (mm)	Distancia mínima A (mm)	Distancia mínima B (mm)	Dimensión mínima inhibidor de vórtice (mm)
65	250	80	200
80	320	80	200
100	370	100	400
125	440	100	500
150	500	100	600
200	620	150	800
250	750	150	1000
300	900	200	1200
400	1.050	200	1200
→ para DN > 400	2,4 × DN	0,4 × DN	2,4 × DN

Ilustración 16: Distancias mínimas entre tuberías de aspiración a la salida de los depósitos. Fuente: UNE-EN 23500:2018.

Para el valor de 500 mm de diámetro nominal se tendrá:

Distancia mínima A (mm)	1200
Distancia mínima B (mm)	200
Dimensión mínima inhibidor de vórtice (mm)	1200

Tabla 28: Distancias mínimas del tubo de aspiración en reserva de agua.

Que corresponde a las siguientes dimensiones en la vista en alzado en un depósito sin foso de aspiración ni codo en la tubería de aspiración:

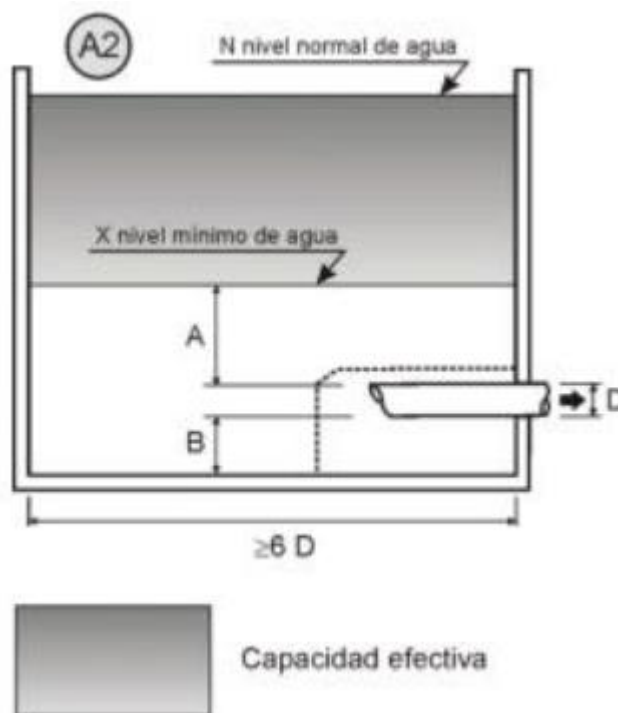


Ilustración 17: Vista en alzado para depósito sin pozo ni codo de aspiración. Fuente: UNE-EN 23500:2018.

La separación de los dos tubos de aspiración por tanto será de **2,5 metros** entre caras vecinas de los tubos y una distancia de **1,25 m** entre caras internas del tanque y pantalla de separación, todo esto en función del valor del tubo de aspiración de tamaño 500 mm (ver **Ilustración 15**). La longitud del tubo de aspiración dentro del tanque será como mínimo igual o mayor a **500 milímetros**.

Las dimensiones del depósito para una capacidad efectiva de **10893,52 m³** y teniendo un volumen de reserva será de:

Altura total mínima del depósito (m)	20
Nivel mínimo de agua (m)	1,4
Diámetro del depósito (m)	27,31
Volumen total (m³)	11715,56
Volumen de reserva mínima (m³)	820,09

Tabla 29: Dimensiones del depósito para la reserva de agua.

El nivel mínimo del agua en el depósito será de 1,4 metros, para una elevación del tubo de aspiración con respecto al suelo según lo que se ha calculado en la **Tabla 28**: Distancias mínimas del tubo de aspiración en reserva de agua. , el tubo como mínimo deberá

estar a 0.2 m del suelo del tanque, esto deja aproximadamente 1,2 metros de agua sobre el punto de toma de la tubería. Como se verá más adelante en el apartado de dimensionamiento del sistema de bombeo, el agua que queda por encima de la toma de aspiración colabora en presionar el agua, además, la diferencia de cotas “añade” presión al descender hasta donde estarán localizadas las bombas, ayudando a cumplir con las condiciones de aspiración de la bomba, compensando pérdidas en el circuito.

El depósito estará protegido frente a heladas, aunque la zona donde se encuentra son muy infrecuentes por no decir inexistentes, por lo que no hará falta “subir” el nivel normal de líquido un metro [29]. El rellenado del depósito se efectúa mediante un conexionado cercano existente a la red pública de agua, no se deberá aumentar la capacidad del depósito un 30% [29] como indican las disposiciones iniciales pues se espera que la red pública sea capaz de proveer en 36 horas de un volumen suficiente de agua para rellenarlo. El tubo de llenado del depósito se puede situar en la cara opuesta a donde se localicen los dos tubos de aspiración de las bombas y así cumplir la condición de un espaciado de más de 2 metros medidos en la horizontal del tanque (tiene un diámetro de 27 metros aproximadamente el tanque). Por último el tanque contará con un indicador visual del nivel de agua dentro del depósito.

No son alcance de este proyecto aspectos como instalación, construcción u otros aspectos constructivos como acoples a la red pública de agua ya existente en refinería. Se muestra únicamente los requerimientos básicos que deberá seguir el depósito de agua dulce del sistema contra incendios.

Resumen

Se han definido las necesidades de agua y espuma para todos los tanques considerados en el análisis, separando en cada caso según el tipo de producto y si el agua necesaria es para la lucha en el propio escenario incendiado o en los afectados por el incendio del tanque.

Para los tanques de productos clase A, en la **Tabla 13** se indican sus demandas de agua de refrigeración y para tanques afectados, no teniendo estos tanques sistemas de espuma fijos instalados.

Para los tanques de productos clase B y C en las **Tabla 17**, **Tabla 18** y **Tabla 19** se indican las necesidades de agua de refrigeración y de refrigeración en los tanques adyacentes de los tanques separados en su forma constructiva (techo fijo o flotante) y de si la normativa especial APQ les afecta.

Las demandas de espuma, agua y espumógeno de los sistemas fijos de espuma se indican en la **Tabla 22**, para el espumógeno seleccionado, “*Hydral AR 3-6 M*” de la marca SABO a emplear en estos sistemas.

Las demandas de espuma, agua y espumógeno de los sistemas manuales de espuma, esto son los hidrantes con monitor repartidos por planta, se indican en la **Tabla 24**.

Las demandas totales de agua y espumógeno por escenario de incendio se muestran en la **Tabla 25** y **Tabla 26** respectivamente.

Se instalarán reservas de agua y espumógeno. La reserva de agua tendrá unas dimensiones de 20 metros de alto y un diámetro de 27.31 metros, con forma cilíndrica y un volumen de 11715 m³ de agua dulce, esta reserva de agua alimentará a los grupos de bombeo en funciones rutinarias o de limpieza. La reserva de espumógeno consistirá en un depósito de espumógeno atmosférico de la marca SABO, modelo SE-A de capacidad 6000 litros donde se almacenará en toda su capacidad de espumógeno Hydral AR 3-6 M.

Anexo C: Sistemas de bombeo

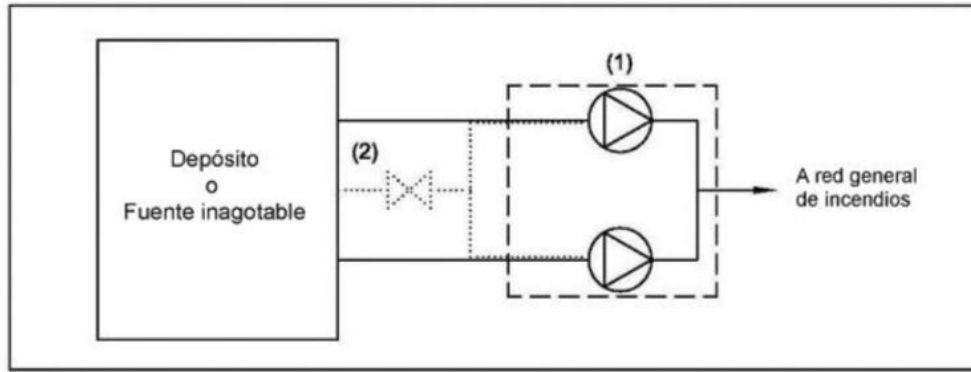
Introducción

En el siguiente anexo se dimensionará el sistema de bombeo y se verá su punto de funcionamiento bajo las circunstancias de funcionamiento esperadas.

Como se ha comentado en el apartados anteriores la normativa UNE-EN 23500 y el RSCIEI recogen categorías de abastecimiento en función de los medios de protección contra incendios que se dispongan, en el caso de el RSCIEI se recogen en su apartado 6 “*Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios*” y en el caso de la norma UNE-EN 23500:2018 se recoge la categorización en su apartado 5.2 “*Categorización de abastecimiento de agua*”. En este sistema debido a la presencia de sistemas de agua pulverizada y sistemas fijos de espuma la categoría del abastecimiento será **categoría I**.

El siguiente paso es la clase de abastecimiento, consiste en establecer una combinación de las fuentes de abastecimiento y el sistema de bombeo a emplear [29], en base a eso seleccionar una clase de abastecimiento que cumpla además con la mínima categoría de abastecimiento. En este caso el sistema de bombeo deberá ser doble [7], la normativa aplicable y de obligado cumplimiento comenta que deberán existir dos estaciones de bombeo independientes y situadas de tal manera que en caso de emergencia no puedan ser afectadas.

La principal fuente de abastecimiento es la mar, considerada una fuente inagotable de abastecimiento y en un uso secundario estaría el depósito de agua de reserva dulce, el cual actúa de reserva de agua para el sistema contra incendios y además cumplirá funciones de fuente de agua dulce de limpieza tras el uso de agua de mar en el sistema. Por lo que según la UNE-EN 23500:2018, para lo que se ha descrito y la categoría I, la clase compatible sería la **clase Superior**.



Leyenda

(1) Equipo de bombeo doble

(2) Se admite la variante indicada en línea a puntos como solución alternativa, sólo en el caso de los depósitos

NOTA Los anexos D y E incluyen figuras más detalladas de los equipos de bombeo.

Ilustración 18: Esquema de conexionado del equipo de bombeo. Fuente: UNE-EN 23500:2018.

Cada equipo de bombeo seguirá el esquema simplificado de la **Ilustración 18** donde para la aspiración del agua de mar contará cada estación de bombeo con su foso de aspiración. La aspiración por parte del agua dulce del depósito cuando tenga lugar será con el esquema de la línea de puntos de la ilustración, teniendo el depósito dos tubos de aspiración como se había comentado previamente y cada tubo del depósito bifurcara, conectando a cada bomba de la estación de bombeo en sus tubos de aspiración.

Para los abastecimientos de clase superior y doble, el abastecimiento el equipo de bombeo doble puede estar formado por **tres grupos de bombeo**, cada uno capaz de dar el **50% del caudal nominal** especificado para el sistema al **100 por 100 de la presión nominal**. En este caso, la normativa exige la existencia de dos estaciones de bombeo independientes, por lo que se dimensionará con el criterio de 3 grupos de bombeo cada uno proporcionando el 50% del caudal a la presión nominal del sistema.

Tipo de equipo de bombeo requerido	Nº de grupos de bombeo admitidos	Accionamiento por tipos de motores	
		Solución A	Solución B
Doble	2 (del 100% de Q_n cada uno)	1 diésel + 1 eléctrico	2 diésel
Doble	3 (del 50% de Q_n cada uno)	2 diésel + 1 eléctrico	3 diésel

Ilustración 19: Número y tipos de accionamiento del grupo de bombeo. Fuente: UNE-EN 23500.

Cuando se instala más de un grupo de bombeo en un abastecimiento superior o doble no más de uno de los accionamientos deberá tener un motor eléctrico [29]. Se dispondrá

por tanto de 4 grupos de bombeo **con 3 de ellos accionados por diésel y uno eléctricamente** (ver **Ilustración 19**).

La razón del cuarto grupo de bombeo es el de asistir en el peor escenario posible en ayudar a dar presión al sistema, debido a que se tiene una gran demanda de caudal en el escenario más desfavorable, en comparación con el resto de escenarios, aunque los sistemas de bombeo son capaces de dar suficiente presión a sus salida en la configuración de exclusivamente sólo dos grupos conectados, debido a pérdidas en la tubería y en los primeros tramos a la salida de bombeo, la presión con sólo 2 grupos de bombeo de 3 funcionando simultáneamente no cumpliría la condición de presión en ese escenario en el punto de conexionado pre-sistemas de agua pulverizada (de las esferas). Tres de las bombas serán accionadas por motores diésel y una de ellas eléctricamente, con lo que ante un fallo de la red eléctrica se pueda proteger el peor escenario posible y además cumpliendo con la limitación de que como máximo una de las bombas será accionada eléctricamente [29]. El razonamiento de esta decisión de añadir el cuarto grupo de bombeo de modo de apoyo se verá mejor en los siguientes apartados, cuando se dimensionen las canalizaciones principales del sistema contra incendios y se estimen las presiones que dará el sistema de bombeo en las desviaciones para cada escenario.

Selección del grupo de bombeo

La mayor demanda de agua por parte de los diferentes escenarios de incendio era el incendio en el sector 28, correspondiente al incendio en la esfera 705, como ya se había comentado anteriormente, con una demanda de agua total de **34679,76 litros/min**. Por lo que el caudal que deberá bombear cada bomba con la disposición de tres grupos de bombeo con dos funcionando simultáneamente al 50% del caudal y 100 % de la presión nominal es de **17339,88 l/min**. Siendo a partir de ahora “Qn” el caudal del sistema total para el caso más desfavorables a efectos del diseño, “Qnb” el caudal de cada grupo de bombeo.

Qn (l/min)	34679,76
Qnb (l/min)	17339,88
Presión mínima sistema (kg/cm²) [7]	7,5

Tabla 30: Requisitos del grupo de bombeo.

La normativa UNE-EN 23500:2018, establece en su apartado 6.5 “*Sistema de bombeo en un abastecimiento superior o doble*” una serie de requerimientos para los grupos de bombeo de uso en el sistema contra incendios, para el abastecimiento tipo superior:

Generalidades

- Los grupos de bombeo principales deben arrancar automáticamente (por caída de presión o demanda flujo) o manualmente a través del cuadro de control y la parada será únicamente manual.
- En todos los casos las bombas principales deben tener características compatibles y ser capaces de funcionar en paralelo a cualquier caudal, independientemente de las revoluciones.
- Estos grupos principales de bombeo no se pueden emplear para mantener la presión del sistema debiéndose instalar para ello una bomba jockey de pequeño caudal, con arranque y parada automática, cuya misión de reponer las fugas que se produzcan en el sistema.

Características constructivas

- Cuerpo de la bomba de hierro fundido o al menos de una aleación metálica con propiedades físicas y mecánicas equivalentes.
- Impulsor de bronce o de acero inoxidable fundido de una pieza o aleación metálica equivalente.
- Las bombas deben estar equipadas con anillo de desgaste de cuerpo y debe evitarse el giro del anillo.
- Cuando la bomba funcione con agua salada los materiales deben ser apropiados para este servicio.
- El tipo de bomba o el sistema de montaje de los grupos de bombeo debe permitir la reparación y mantenimiento de la bomba sin que sea preciso desembridar o desmontar el motor, excepto bombas verticales.

Características hidráulicas

-
- La presión que llega a los sistemas no debe pasar los 15 bar de presión, donde pueden haber excepciones por restricciones de diseño, pero estas deberán presentar una solución técnica aceptada por la autoridad competente.
 - Todos los elementos de la instalación deben estar diseñados para soportar la presión máxima que se pueda estar instalado dicho elemento, incluso cuando la jockey funciona a caudal cero.
 - La bomba debe tener una curva de caudal/presión estable, es decir una curva en la que coincidan la presión máxima y la presión a válvula cerrada y en la que la presión total caiga de manera continua a medida que aumente el caudal.
 - En bombas horizontales el NPSH requerido por la bomba para caudales comprendidos entre $0,3 \times Q_{nb}$ y Q_{nb} debe ser igual a 5 metros columna de agua.
 - Las bombas deben tener motores eléctricos o diésel que sean capaces de suministrar como mínimo la potencia requerida más el margen de seguridad establecido en función del tipo de curva.
 - El grupo de bombeo debe ser capaz de impulsar como mínimo el 140 % del caudal nominal de la bomba Q_{nb} a una presión no inferior al 70 % de la presión nominal.

La bomba que se seleccionará será la **bomba CPKN categoría 300-630 con impulsor de acero de alta aleación Noridur 1.4593 de 573 mm** de la **empresa KSB**, funcionando a 1450 revoluciones por minuto. La bomba centrífuga horizontal es mono-etapa con cuerpo de fundición gris en su clase más simple y de aleación Noridur 1.4593 en su modelo resistente a la corrosión. Este tipo de bomba está especialmente indicada para la industria química y para funciones en ámbitos como refinerías para diferentes usos, entre ellos el abastecer sistemas contra incendios, transporte de salmuera o fluidos agresivos, por lo que es perfecta para la aplicación en este caso de un sistema de bombeo que funcionará con agua salada. El fabricante ofrece soluciones integradas de las bombas con todos los sistemas de control y seguridad integrados en forma de módulos especialmente pensados para su uso en sistemas contra incendios, con los conexiones entre las bombas, motores, circuitos de pruebas, bombas jockey, cebadores, válvulas etc... ya instalados y cumplimiento con las diferentes normas como la UNE 23500, NFPA-20 o relacionados, siendo lo único necesario colocarla en su emplazamiento definitivo y conectar el módulo a la red principal. **Se recomienda el pedir dos módulos EDS del fabricante KSB** con los modelos de bomba seleccionados.



Ilustración 20: Ejemplo del módulo integrado para soluciones industriales de KSB. Fuente: KSB página web.

A continuación se mostrará el proceso de selección de la bomba siguiendo los requerimientos impuestos por la norma y ajustándose a las condiciones de uso.

En un primer paso se expresarán las necesidades de caudal de agua por unidad de tiempo y la presión que se necesita dar como mínimo cada bomba de la **Tabla 30** en m^3/h y m.c.a respectivamente:

- $Q_{nb} = 17339,88 \text{ l/min} = 1040,39 \text{ m}^3/\text{h}$.
- $P_{nominal} = 7,5 \text{ kg/cm}^2 = 75 \text{ metros columna de agua}$.

Ahora mirando el catálogo de bombas de la familia CPKN del fabricante KSB, se selecciona la bomba que será capaz de dar el caudal a como mínimo la presión de 75 metros columna de agua, que es el mínimo al que deberá estar la red contra incendios presurizada [7]. Desde el punto de bombeo se deberá abastecer hasta zonas muy alejadas en algunos casos, en su recorrido más crítico, por lo que se recomienda el seleccionar un modelo y tamaño de bomba que no de simplemente lo justo al respecto de la presión mínima en función del caudal, ya que a lo largo de la tubería ocurren unas pérdidas en la tubería que se deberán estimar de tal manera que cumpla la presión mínima de $7,5 \text{ kg/cm}^2$ en la red, así que si la bomba da una presión muy ajustada en sus

salida de impulsión los diámetros de la red contra incendios deberán ser muy grandes o incluso no posibles.

Por lo que mirando el catalogo del fabricante (ver **Ilustración 219**) se selecciona la serie de bombas CPKN tamaño de rodete de 300-500 mm, funcionando a 1450 revoluciones por minuto, que es capaz de dar el mínimo de presión al caudal nominal máximo del peor escenario. En la carta de selección del fabricante la selección es en función del caudal en m^3/h (eje de abscisas) y la presión de bombeo en m.c.a (eje de ordenadas).

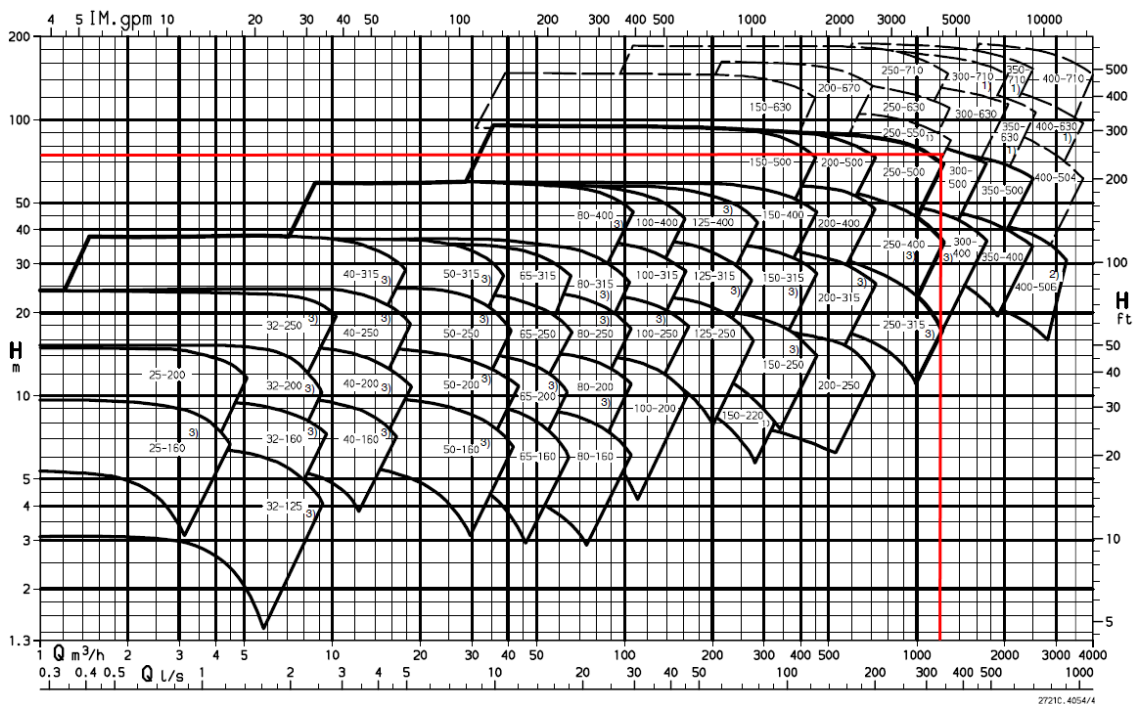


Ilustración 21: Carta de selección del tamaño de la bomba. Fuente: Catálogo de KSB.


Una vez se tiene preseleccionado el tamaño de la bomba, se miran las curvas de rendimiento y eficiencia de las bombas de la categoría CPKN tamaño del rodete entre 300-500 mm, y se selecciona un tamaño de rodete. Las gráficas que provee el fabricante permiten extraer datos como la eficiencia, condiciones de entrada mínimas necesarias para evitar la cavitación y bombeo. El grupo de tamaños de rodete del 300-500 aunque cumplen las mínimas condiciones de servicio, se quedan cortas en ciertos escenarios,

por lo que se selecciona en la carta de selección que se ha mostrado previamente el tamaño de rodets inmediatamente superior, el 300-630.

Información como el NPSHr (Net Positive Suction Head required), se utilizará a continuación para el cálculo de las condiciones de entrada a la bomba, respecto al NPSHr, además en función del material impulsor, se deberá aplicar correcciones a los valores mostrados en los gráficos para la bomba CPKN, en este caso particular, debido a que las bombas funcionarán con agua salada, el impulsor será de **acero de alta aleación Noridur** especialmente resistente a la corrosión y a los ataques ácidos [30] para evitar la corrosión de este, pues este material presenta un buen balance de resistencia a la corrosión y resistencia mecánica en comparación con los otros materiales disponibles para el impulsor de la bomba, alargando la vida del rodete, en comparación con otros materiales disponibles para el rodete como acero austenítico y fundición gris EN-GLJ-250 [31]. Sería recomendable recubrir los elementos internos con algún tipo de tratado superficial para aumentar la resistencia a la corrosión, como un recubrimiento epoxi o cerámico [32].

Así pues mirando la **Ilustración 2220**, se selecciona el tamaño del rodete adecuado y que sea capaz de dar el caudal a la presión mínima. **El tamaño de rodete de 573 mm** da el caudal de 1040,39 m³/h a una presión a la salida de la bomba de aproximadamente **95 m.c.a.**, lo cual cumple con el mínimo de 75 m.c.a en la red contra incendios. En cumplimiento con lo indicado por la normativa, al 140% del caudal, es decir 1456,546 m³/h la bomba es capaz de dar aproximadamente **85 m.c.a de presión**, lo cual cumple con la condición de que la bomba al 140% del caudal ha de dar por lo menos un 70% de la presión nominal, siendo el 70% de la presión nominal **52,5 m.c.a.**

Respecto al otro requisito hidráulico por parte de la normativa, esta indica que entre el $0,3 \cdot Q_{nb}$ y Q_{nb} el valor de NPSHr debe ser igual o menor a 5 metros columna de agua, al valor de Q_{nb} , el valor de NPSHr es de **4,75 m.c.a** aproximadamente, por lo que cumple la condición de que el NPSHr deba ser menor o igual a **5 m.c.a para Q_{nb}** , ya que el NPSHr se reduce con el caudal, cumpliendo con el requisito de la normativa desde valores iguales o menores a Q_{nb} .

Baureihe-Größe Type-Size Modelle CPKN 300-630 - HPK	Tipo Serie Tipo	Nennzahl Nom. speed Vitesse nom. 1450 1/min	Velocità di rotazione nom. Nominal torental Revoluciones nom.	Laufad-ø Impeller Dia. Diamètre de roue	ø Girante ø Waaler ø Rodete	 KSB Aktiengesellschaft Postfach 1961 91258 Pegnitz Bahnhofplatz 1 91257 Pegnitz
Projekt Project Projet	Progetto Projekt Proyecto	Angebots-Nr. Project No. No. de l'offre	Offerta-No. Offertenr. Offerta-No.	Pos.-Nr. Item No. No. de pos.	Pos.-Nr. Positènr. Pos.-Nr.	

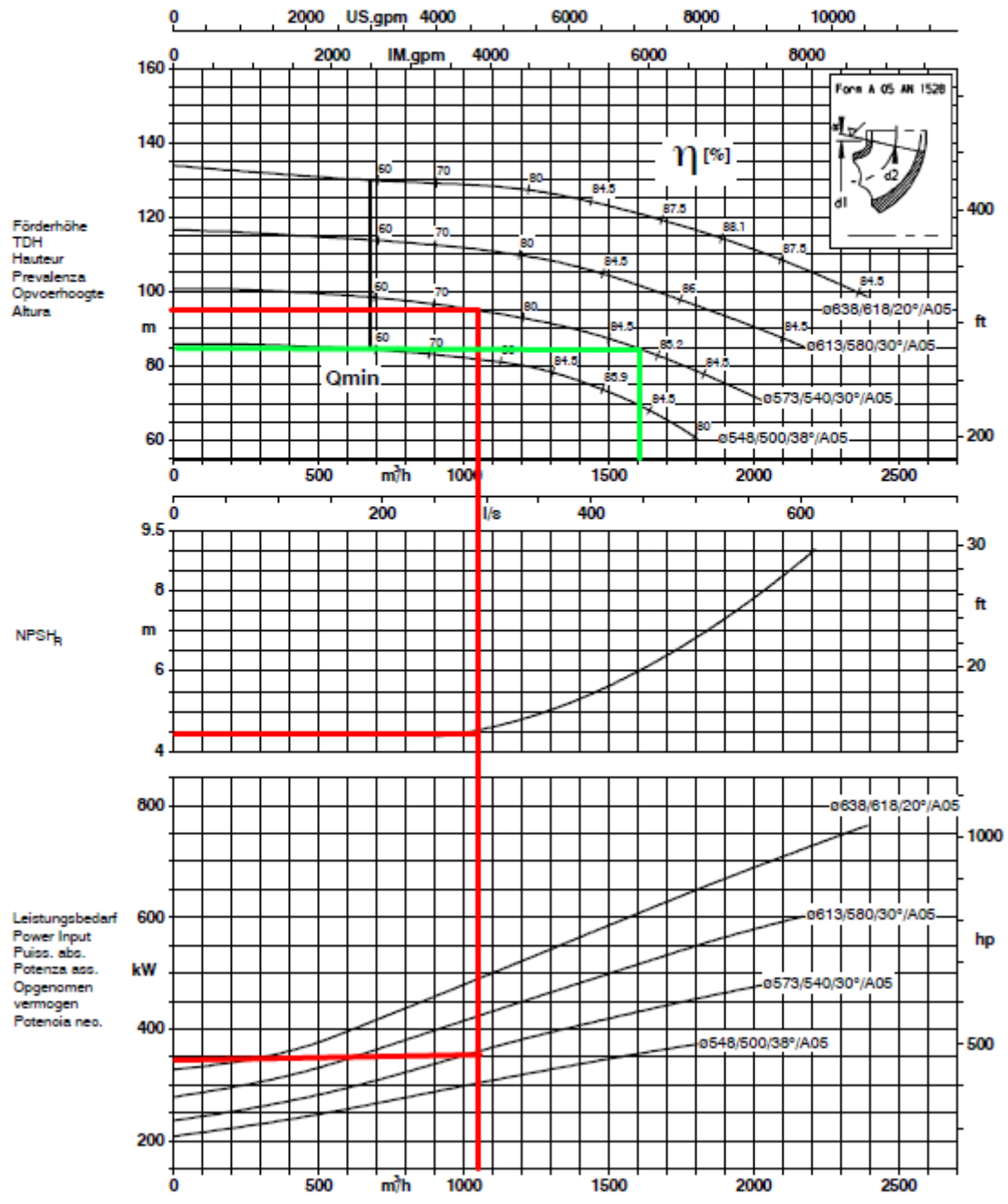


Ilustración 22: Curvas de rendimiento y eficiencia bomba CPKN; n=1450 rpm. Fuente: catálogo KSB.

La curva de potencia de la bomba es del tipo subida continua, es decir, la potencia consumida aumenta directamente con el caudal y no alcanza un límite o presenta bajadas en el consumo, las gráficas conjuntas de los diferentes tamaños de rodete no muestran la **NPSHr hasta 16 metros**, la normativa exige las curvas características de las bombas, en función de su comportamiento característico: subida continua o bombas no sobre cargables. En este caso, el comportamiento de los diferentes tamaños específicos de las bombas no vienen 100 por 100 desarrollados en los catálogos de selección. El fabricante al realizar el pedido deberá proveer de todos las fichas de rendimientos, eficiencias y relacionados de acuerdo a lo indicado en la norma UNE-EN 23500:2018.

La curva de caudal/presión de la bomba se puede extraer de los datos facilitados por el gráfico del fabricante, las curvas caudal/presión de las bombas siguen la siguiente ecuación generalizada de funcionamiento:

$$H [m. c. a] = A * Q_{nb}^2 + B * Q_{nb} + C \quad (32)$$

Donde:

H: es la presión en metros columna de agua a la cual la bomba bombeará el agua en función del punto de funcionamiento, es decir, el caudal.

Q_{nb} : es el caudal nominal por bomba en metros cúbicos por hora.

A, B y C: son las constantes que definen la curva característica de la bomba.

Se seleccionan tres puntos del gráfico (ver **Ilustración 22**) para poder obtener las constantes que definen la curva característica de la bomba CPKN 300-630 con rodete de 573 mm:

- Punto 1:

$$H1 = 100 \text{ m.c.a} \quad \text{y} \quad Q1 = 0 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Punto 2:

$$H2 = 90 \text{ m.c.a} \quad \text{y} \quad Q2 = 1000 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Punto 3:

$$H3 = 80 \text{ m.c.a} \quad \text{y} \quad Q3 = 1750 \text{ m}^3/\text{h}$$

Introduciendo los puntos en la ecuación (32) se obtienen las constantes en el sistema formado por tres incógnitas (las constantes A, B y C) y las tres ecuaciones, teniendo el sistema de ecuaciones un solución única para las variables:

Se introduce el punto 1 en la ecuación (32):

$$100 = A * 0^2 + B * 0 + C \rightarrow C = 100$$

Se introduce el punto 2 y 3 en la ecuación y se obtienen dos ecuaciones con dos incógnitas, al resolver la tercera constante.

Con el punto 2 resolvemos e aislamos la constante B:

$$90 = A * 1000^2 + B * 1000 + 100$$

$$-\frac{10}{1000} = A * 1000 + B$$

$$B = -\frac{10}{1000} - A * 1000$$

Por último se introduce el punto 3 en la ecuación y se resuelve:

$$80 = A * 1750^2 + B * 1750 + 100$$

$$80 = A * 1750^2 + \left(-\frac{10}{1000} - A * 1000\right) * 1750 + 100$$

$$-\frac{2,5}{1750} = A * 750 \rightarrow A = -1,904 * 10^{-6}$$

Al tener A, se substituye en la ecuación previa donde B estaba aislada y se obtiene B:

$$B = -\frac{1}{100} + 1,904 * 10^{-6} * 1000 \rightarrow B = -8,095 * 10^{-3}$$

En resumen:

- $A = -1,90 * 10^{-06}$
- $B = -8,10 * 10^{-03}$
- $C = 100$

Por lo tanto la curva característica de la bomba CPKN con rodete de 537 mm funcionando a 1450 revoluciones por minuto vendrá definida por la siguiente fórmula:

$$H_{bomba} [m. c. a] = -1,9 * 10^{-6} * Q_{nb}^2 - 8,10 * 10^{-3} * Q_{nb} + 100 \quad (33)$$

La ecuación anterior se utilizará en futuros apartados para el cálculo de las presiones disponibles para cada escenario y en el dimensionamiento de los conductos de la red contra incendio. Como nota, la ecuación anterior representa el funcionamiento de una sola bomba, la ecuación del sistema formado por dos o más bombas funcionando en paralelo, siendo todas ellas compatibles para funcionar en paralelo, ya que son la misma bomba, es simplemente la suma de caudales de cada bomba funcionando en paralelo, se representa por la siguiente ecuación derivada de la ecuación (32):

$$H_{sistemabombas} [m. c. a] = A * (n * Q_{nb})^2 + B * (n * Q_{nb}) + C \quad (34)$$

Donde:

n: es el número de bombas funcionando en paralelo.

A, B y C: presentan los mismos valores que en las bombas funcionando en solitario, ya que son el mismo modelo de bomba las cuatro bombas en paralelo.

Cámara y foso de aspiración de la fuente inagotable

La normativa UNE-EN 23500:2018 recoge los siguientes requerimientos y sugerencias a cumplir en la construcción del foso de aspiración y sus diferentes partes de los equipos de bombeo:

- La cámara, incluyendo cualquier conjunto de filtros debe estar dispuesta de manera que impida la entrada de materia arrastrada por el viento y la luz del sol.
- Antes de entrar en la cámara de separación el agua debe pasar por una pantalla removible, con una malla de alambre o chapa perforada con paso no superior a 12,5 mm y ser lo suficientemente fuerte para resistir la presión en caso de obstrucción. La superficie de paso de la pantalla por debajo del nivel mínimo de agua debe ser superior a 150 mm^2 por l/min de caudal máximo demandado. Se instalarán dos pantallas, una en servicio y la otra en posición elevada para su intercambio en mantenimiento.
- Se recomienda instalar un filtro colador en la tubería de aspiración de cada bomba, con una superficie útil del colador superior al doble de la sección de la tubería de aspiración.
- Los abastecimientos dobles deben tener cámaras de separación y aspiración independientes para cada abastecimiento, para facilitar las tareas de mantenimiento en todos los fosos. En los abastecimientos de clase superior, cuando dos bombas aspiren de la misma cámara de aspiración, debe instalarse un tabique separador entre las dos tuberías de aspiración.

En este caso, los sistemas de bombeo se localizaran cerca del acceso al mar al este de la refinería, en un espacio libre que no bloquee vías de comunicación ya existentes. La zona donde se ubicarán los equipos esta hormigonada y nivelada con una elevación respecto al mar de aproximadamente 2 metros por encima del mar, la distancia hasta la fuente de agua salada es cercana a los 100-150 metros. Por lo que el tipo de

abastecimiento deberá ser del tipo abastecimiento de conducto, para los cuales la normativa recoge los siguientes requisitos:

- En el caso de abastecimientos por conducto o tubería, la entrada de los mismos debe estar sumergida al menos un diámetro por debajo del nivel más bajo conocido de agua.
- La cámara de separación debe tener la misma anchura que la cámara de separación, así como una longitud de al menos 10 veces el diámetro mínimo de la tubería o conducto de captación, ser superior a 4,4 veces la raíz cuadrada de la altura H y en ningún caso inferior a 1,5 metros.
- La entrada de la tubería o conducto de alimentación a la cámara de separación o pozo de aspiración debe estar provista de un filtro con una superficie total de paso al menos cinco veces la sección de la tubería o conducto. Las aberturas individuales deben tener un tamaño capaz de impedir el paso de una esfera de 12,5mm de diámetro.

Por lo que se dimensionará a continuación las dimensiones de los fosos de captación, empezando por el tubo de captación/alimentación que irá desde de la fuente de agua hasta la primera cámara de separación, la normativa lo define con la siguiente formula su dimensionamiento:

$$d \geq 21,68 * Q^{0.357} \quad (35)$$

Donde:

d: es el diámetro mínimo de la tubería o conducto de alimentación en milímetros.

Q: es el máximo caudal bombeado en litros minuto por equipo de bombeo.

Cada pozo de captación deberá ser capaz de bombear el máximo caudal para el escenario más desfavorable, el cual necesita un caudal de 34679,66 l/min como ya se ha comentado. Esto se resumen en diámetro del tubo de alimentación de:

$$d = 21,68 * 34679,66^{0,357} = 905,453 \text{ mm}$$

Lo que se traduce en una **tubería de diámetro normalizado DN 950 con un espesor estándar STD** según la normativa americana ANSI/ASME B36.10 para tubos de acero. El resto de dimensiones del pozo de captación son función de elementos propios del foso, según la normativa UNE-EN 23500:2018 (ver **Ilustración 242**).

Uno de los elementos que definen las dimensiones del foso de captación es el diámetro del tubo de aspiración, para el cual la normativa indica una serie de requerimientos para el dimensionamiento, estos requerimientos son:

- Diámetro mínimo requerido, independientemente de los cálculos siguientes el diámetro mínimo de la tubería de aspiración será de 65 mm para bombas en carga y 80 mm para bombas no en carga.
- Criterio de velocidad. El diámetro de la tubería de aspiración se adecua de manera que con el caudal nominal que puede circular por ella, la velocidad no sea superior a 1,8 m/s para bombas en carga y 1,5 para bomba no en carga.
- NPSH disponible a la entrada de la bomba con el nivel mínimo de agua y teniendo en cuenta la presión atmosférica según la altitud sobre el nivel del mar y la temperatura máxima del agua. Este NPSH disponible a la entrada de la bomba debe ser superior a 5 metros cuando circula el caudal nominal (Q_{nb}). También el NPSH disponible debe ser superior al NPSH requerido por la bomba más 1 metro cuando circula el 140% del caudal nominal ($1,4 * Q_{nb}$). En caso de no justificar el NPSH disponible/requerido como se indica más adelante y, siempre que la longitud de la tubería de aspiración sea inferior a 12 metros, se puede utilizar una de las tablas indicadas en la UNE-EN 23500:2018, en este caso la tabla número 13 de la normativa.

En este caso las bombas estarán en carga, por debajo del nivel mínimo de agua. Se seleccionara un diámetro de las tablas mencionadas previamente, cada bomba tendrá su tubo de aspiración por lo que el máximo caudal a esperar por tubo de aspiración será de

1040,39 m³/h, se selecciona el diámetro mínimo de **DN-500 con espesor STD**. Aunque posteriormente se justificará el NPSH con el fin de verificar la seguridad de la aspiración de la bomba y garantizar su buen funcionamiento.

Aspiración positiva (en carga)				Diámetro mínimo
Caudal nominal que pasa (Q_n o Q_{nb})				
Más de l/min	Hasta l/min	Más de m ³ /h	Hasta m ³ /h	Tubería aspiración
0	366	13,0	22,0	DN-65
366	550	22,0	33,0	DN-80
550	867	33,0	52,0	DN-100
867	1 950	52,0	117,0	DN-150
1 950	3 450	117,0	207,0	DN-200
3 450	5 400	207,0	324,0	DN-250
5 400	8 000	324,0	480,0	DN-300
8 000	10 500	480,0	630,0	DN-350
10 500	13 500	630,0	810,0	DN-400
13 500	17 000	810,0	1 020,0	DN-450
17 000	21 000	1 020,0	1 260,0	DN-500

Ilustración 23: Diámetros mínimos de tubo de aspiración. Fuente: UNE-EN 23500:2018.

Para el diámetro escogido del tubo de aspiración, la velocidad para el caudal nominal máximo será:

$$V [m/s] = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * D^2} \tag{36}$$

Donde:

V: es la velocidad del líquido en la tubería de sección circular en metros segundos

Q: es el caudal en metros cúbicos por segundo que circula por la tubería.

D: es el diámetro interior del tubo en metros.

El diámetro interior de un tubo de acero normalizado DN 500 con espesor STD o cualquier otro tubo de sección circular, conocido el diámetro exterior de este se puede calcular con la siguiente relación:

$$D_{int} [\text{mm}] = D_{Ext} - 2 * \text{espesor} \quad (37)$$

Donde:

D_{int} : es el diámetro interior del tubo circular en milímetros.

D_{Ext} : es el diámetro exterior del tubo circular en milímetros.

espesor: es el espesor en milímetros del tubo.

Para un diámetro normalizado DN 500 STD, este cuenta con un espesor de 9,52 mm [33] y un diámetro exterior de 508 mm. Por lo que se introduce los datos en la ecuación anterior y se obtiene un **diámetro interior de 488,96 mm**. Por último con el valor del diámetro interior se introduce en la ecuación número (36) obteniéndose la velocidad:

$$V = \frac{\frac{1040,39}{3600}}{\frac{\pi}{4} * \left(\frac{488,96}{1000}\right)^2} = 1,54 \frac{m}{s}$$

Por lo que para una bomba en carga se cumple la condición de ser menor a 1.8 m/s. Y se cumple la condición de diámetro mínimo de 65 mm indicada previamente.

Por lo que, con los valores de “d” y “D”, siendo estos el diámetro del tubo de captación y el tubo de aspiración respectivamente, se calculan el resto de variables que definen las dimensiones de los dos fosos de captación serán (ver **Ilustración 24** para ver la relación visual de cada variable):

Diámetro de tubo de aspiración “d” (mm)	950
Diámetro de tubo de alimentación “D” (mm)	500
Altura desde nivel mínimo agua a conducto “h” (m)	0,906
Altura del nivel de agua en la cámara de aspiración “H” (m)	2,812
Anchura de las cámaras de separación y aspiración “b” (m)	6
Altura desde el fondo a tubería de aspiración “a” (m)	0,2
Altura del tabique de separación “L” (m)	1
Altura desde mínimo de agua hasta tabique “h2” (m)	1,812
Altura vertical antes del codo del tubo de aspiración (m)	1,762
Longitud cámara de separación (m)	10
Longitud cámara de aspiración (m)	4
Distancia respecto al nivel mínimo de agua de la bomba (m)	0,85

Tabla 31: Dimensiones del foso de captación.

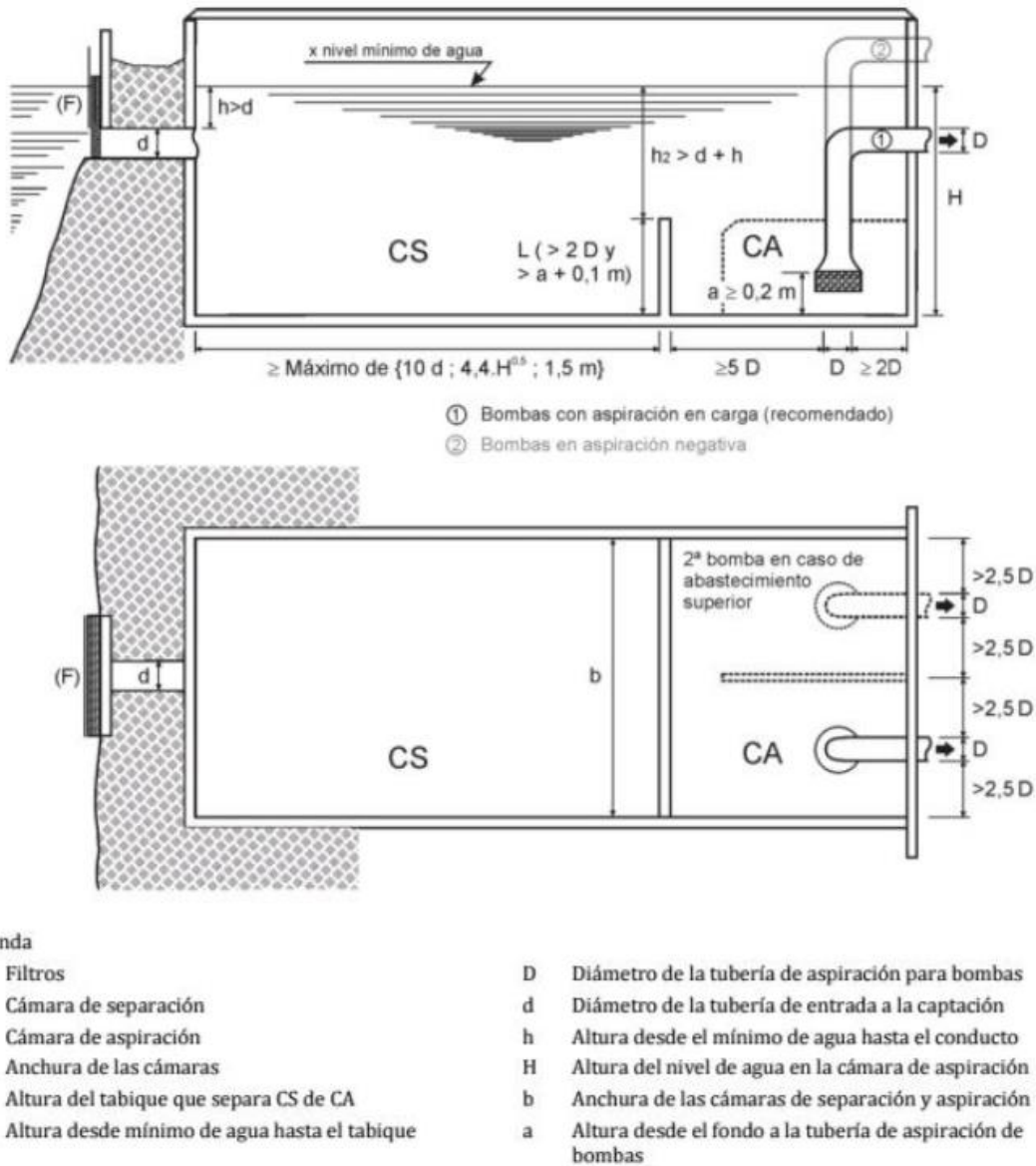


Ilustración 24: Cámaras y fosos de aspiración en fuentes inagotables. Abastecimiento por conducto. Fuente: UNE-EN 23500:2018.

Se construirán por tanto dos fosos de aspiración para ambos equipos de bombeo, formados por dos grupos de bombeo cada uno. El abastecimiento de este proyecto se ha definido como abastecimiento del tipo superior, por lo que contará con un tabique separador entre las dos tuberías de aspiración de cada bomba en cada foso de los dos equipos de bombeo.

Circuito de impulsión y aspiración

El sistema de aspiración ya ha sido dimensionado en parte en el anterior apartado, con la selección del diámetro de la tubería de aspiración, la normativa UNE-EN 23500:2018 menciona una serie de requerimientos básicos y definiciones respecto al circuito de aspiración en su apartado “*Condiciones de aspiración*”, donde define bajo qué condiciones la bomba se considera que esta en carga:

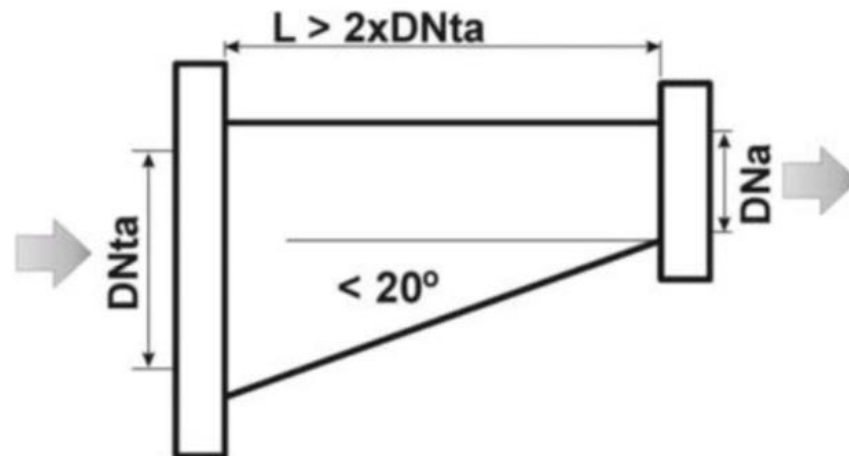
- En el caso de depósito, al menos los 2/3 de la capacidad efectiva del depósito de aspiración están situados por encima del eje de la bomba, y además dicho eje está situado a no más de 2 metros por encima del nivel más bajo del depósito de aspiración.
- En el caso de fuentes inagotables, el eje de la bomba esta como mínimo a 850 mm por debajo del nivel más bajo de agua conocido.
- En caso de estar aspirando de una red pública, es conforme a lo indicado en el apartado 4.2.1 de la norma.

En este caso, la bomba se considera en carga como ya se había mencionado en el anterior apartado, la bomba al aspirar del agua de mar **se encuentra a 850 mm por debajo del mínimo nivel del agua** (ver **Tabla 31**). Y en el modo de funcionamiento del sistema aspirando del depósito de agua dulce, este depósito se encuentra en la losa de hormigón, la cual se encuentra a 2 metros por encima del nivel del mar, por lo que estando la bomba 850 mm por debajo del nivel del mar equivale a que el depósito esta aproximadamente **a 2,85 m del eje del depósito**, por lo que todo su cuerpo (del depósito) se encuentra por encima del eje de la bomba, cumpliendo la primera condición. Por lo que las bombas se pueden considerar en carga en ambos casos.

Para bombas en carga el circuito de aspiración contará con los siguientes elementos [29]:

- **Válvula de compuerta.** No se debe instalar ninguna válvula directamente en la brida de aspiración de la bomba.

- **Dispositivo anti-estrés** compuesto por dos conexiones flexibles ranuradas distanciadas como mínimo dos diámetros entre sí o equivalente.
- **Tubo reductor** con una longitud superior al doble del diámetro calculado para la tubería de aspiración. La parte superior del tubo debe ser horizontal y el ángulo de reducción no debe ser superior a 20° (ver **Ilustración 25**)
- **Manovacúmetro con válvula** para su bloqueo con rango adecuado a la altura manométrica de la reserva de agua. Puede estar conectado al tubo recto o a la reducción excéntrica anteriormente mencionada.
- **Purgador automático de aire** situado en la parte superior del cuerpo de la bomba salvo que el diseño de la bomba sea auto-venteante.



Leyenda

DN_{ta} Diámetro nominal de la tubería de aspiración

DN_a Diámetro nominal de la aspiración de la bomba

Ilustración 25: Reducción excéntrica del circuito de aspiración. Fuente: UNE-EN 23500:2018.

Se puede dividir el circuito de aspiración en dos secciones, separados por los diámetros nominales de las tuberías de aspiración y el diámetro de la brida de aspiración de la

bomba. Los elementos deberán ser compatibles a estos diámetros en función de su localización en cada segmento.

El tubo reductor ira conectado a la brida de aspiración de la bomba, seguido de la válvula de compuerta y el resto de elementos que se han indicado. El diámetro de la brida de aspiración de la bomba CPKN 300-630 es de **diámetro nominal DN 350** [34] y la tubería de aspiración se ha dimensionado con un **diámetro nominal DN 500**, por lo que la reducción deberá acomodar esa diferencia de diámetros para permitir la operatividad del sistema de aspiración. El manovacuómetro irá conectado al tubo reductor para medir la presión a la entrada.

El resto de elementos como válvula de compuerta, dispositivo anti-estrés y válvula de pie (en la boca del tubo de aspiración) irán localizadas en la sección de diámetro DN 500. Otros elementos como el tramo vertical de la tubería de aspiración antes de llegar al codo, el codo, purgador de aire y el tramo horizontal que conectará los diferentes elementos previamente mencionados también se instalarán y se tendrán en consideración.

A continuación se muestran las dimensiones mínimas del tubo reductor a instalar:

Diámetro nominal de entrada "DNta" (mm)	Diámetro nominal de salida "DNa" (mm)	Longitud mínima del tubo reductor (mm)
500	350	1000

Tabla 32: Dimensiones del tubo reductor.

La conexión entre el depósito de agua dulce de reserva se podrá localizar en un unión en forma de T antes del tubo reducto o adherida al propio tubo reductor. El circuito de aspiración por parte de las dos líneas provenientes del depósito, se bifurcarán en dos cada una de las acometidas para conectar a cada pareja de bombas. Tanto cada una de las acometidas individuales como las dos líneas principales provenientes del depósito contarán con válvulas de compuerta que permitan su apertura y cierre. Además una válvula anti-retorno a la salida de cada una de las dos líneas con el fin de evitar flujos de agua salada por parte de las bombas en el depósito.

El circuito de impulsión de cada bomba principal contará con los siguientes elementos de acuerdo a la UNE-EN 23500:2018:

- **Tubo ampliador en la impulsión de la bomba**, se abrirá en la dirección del flujo con un ángulo de apertura no superior a 20°. Las válvulas de impulsión deben situarse aguas abajo del tubo ampliador si lo hay.
- **Sensor de presión** para confirmar la presión de impulsión.
- **Sistema automático de circulación de agua** para mantener un caudal mínimo que impida el sobrecalentamiento de la bomba al funcionar contra la válvula cerrada. Se acepta como tal una válvula de alivio conectada entre la bomba y la válvula de retención, de diámetro suficiente para desalojar dicho caudal mínimo, tarada a una presión ligeramente inferior de la de caudal cero, con flujo visible y reconducido a fuente o drenaje.
- Si esta accionada por diésel, se instala la **conexión al sistema de refrigeración**.
- **Válvula de retención**.
- **Conjunto de manómetro y sensores de presión de la bomba**.
- **Conexión a circuito de pruebas**.
- **Válvula de seccionamiento**.

El diámetro de salida de la brida de descarga de la bomba CPKN 300-630, tiene un diámetro nominal **DN 300**, el diámetro general de la red contra incendios antes de las desviaciones individuales a cada sistema, tiene un diámetro nominal **DN 400**, este diámetro se calculará y definirá en próximos apartados (ver apartado **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El tubo ampliador facilitará esta transición entre diámetros con un dimensionamiento similar al realizado anteriormente para el tubo reductos.

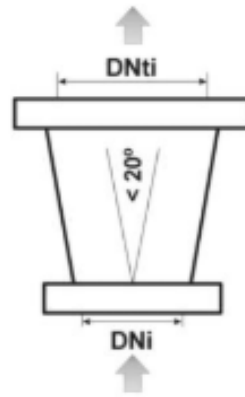


Ilustración 26: Tubo amplificador del circuito de impulsión. Fuente: UNE-EN 23500:2018.

No indica explícitamente la normativa, la longitud del tubo amplificador, por consistencia se seguirá la misma tendencia que en el caso del tubo reductor y la longitud total mínima del tubo amplificador será de dos veces o mayor al diámetro mayor de la salida ampliada del tubo amplificador. Siendo las dimensiones del tubo amplificador:

Diámetro nominal de entrada "DNI" (mm)	Diámetro nominal de salida "DNti" (mm)	Longitud mínima del tubo amplificador (mm)
300	400	800

Tabla 33: Dimensiones del tubo amplificador.

El tubo amplificador irá directamente conectado a la brida de descarga de la bomba, con el conjunto de manómetro y sensores de presión adjuntos a este. El tubo amplificador se construirá siguiendo las dimensiones mínimas calculadas y de acuerdo a los requisitos básicos dimensionales expuestos en la descripción. La válvula retenedora irá inmediatamente después del tubo amplificador y protegerá a la bomba de flujos de vuelta.

Las tres bombas con un sistema de accionamiento diésel deberán tener una conexión al sistema de refrigeración. Entre la válvula de compuerta y el tubo amplificador, cada una de las bombas dispondrá de una conexión con brida al circuito de pruebas. El sistema de circulación automática, en los módulos integrados EDS para uso contra incendios producidos por KSB, se realizan mediante una serie de válvulas de alivio taradas (presión ligeramente inferior a caudal cero) localizadas inmediatamente después de la válvula de retención y del tubo amplificador, donde conducirán el agua aliviada al drenaje de refinería que corresponda, en este caso agua no contaminada o al foso de captación.

Las bombas al estar en carga en el foso de captación no requieren de cebador [29]. Por último tras la válvula de compuerta, ambos pares de bombas conectarán a un colector, conectando este a la red general contra incendios.

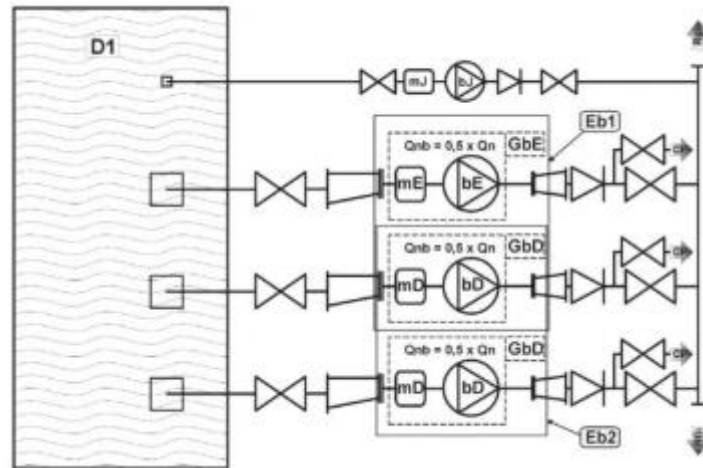


Ilustración 27: Ejemplo de equipo doble de bombeo con 2 grupos de bombeo y elementos del circuito de aspiración/impulsión. Fuente: UNE-EN 23500:2018.

Circuito de pruebas

Respecto al circuito la normativa UNE-EN 23500:2018 recoge una serie de disposiciones a tener en cuenta al dimensionar e instalar este circuito. Indica que el circuito de pruebas parte de una conexión tomada entre las válvulas de retención y compuerta de cada bomba, con los siguientes elementos:

- Válvula de bloqueo
- Caudalímetro
- Válvula de regulación de caudal

Siendo la válvula de regulación del último elemento y descargando en la reserva de agua. En el caso de más de una bomba en el equipo de bombeo, como es el caso, el caudalímetro y la válvula de regulación pueden ser comunes para todas ellas.

El rango de lectura del caudalímetro debe estar entre el 40% y 150 % del caudal nominal de **Q_{nb}** (caudal nominal de cada bomba).

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

La velocidad de descarga en el circuito de pruebas, no debe ser superior a 4m/s para el caudal nominal. Se utiliza una modificación de la ecuación (36), para expresar el diámetro necesario para tener menos de 4 m/s en el circuito de pruebas para el caudal nominal.

- $Q_{nb} = 1040,39 \text{ m}^3/\text{h} = 0,289 \text{ m}^3/\text{s}$
- $V_{m\acute{a}x} = 4 \text{ m/s}$

Reordenando la ecuación (36).

$$V \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * D^2} \rightarrow D [m] = \sqrt{\frac{Q}{\frac{\pi}{4} * V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{0,289}{\frac{\pi * 4}{4}}} = 0,303 \text{ metros}$$

Por lo que hará falta un diámetro superior a DN 300 para el circuito de pruebas y su límite de velocidad, instalando el diámetro inmediatamente superior al DN 300, el **DN 350 STD** con 9.52 mm de espesor de pared y diámetro exterior de 355,60 mm [33] , esta tubería tendrá por tanto un diámetro interno según la ecuación (37) de **336,56 mm**, lo cual se traduce en una velocidad máxima para Q_{nb} en el circuito de pruebas de **3,248 m/s**.

Sensores

Respecto a los sensores de arranque, la norma UNE-EN 23500:2018 define que deben de haber **dos sensores de presión para el arranque de cada grupo de bombeo**, los cuales estarán directamente conectados al cuadro de arranque y control de cada grupo

de bombeo para ordenar el arranque. La normativa indica las siguientes configuraciones opcionales de estos sensores:

- 2 presostatos conectados en serie con sus contactos normalmente cerrados por encima de la presión de arranque de manera que se abran en caso de pérdida de presión.
- 2 presostatos conectados en paralelo con sus contactos normalmente abiertos por encima de la presión de arranque de manera que se cierran en caso de pérdidas de presión. Los presostatos deben conectarse con el cuadro de arranque y control via dos líneas independientes aunque ambas pueden ser unidas en el cuadro de arranque y control.
- 1 presostato y 1 transductor conectados al cuadro de arranque y control por dos bornes independientes, de modo que el presostato tenga su contacto normalmente cerrado por encima de la presión de arranque de manera que se abra en caso de pérdida de presión y el transductor se conecte a un instrumento que visualice la presión y emita señal en caso de pérdida de presión.
- 2 transductores conectados al cuadro de arranque y control por dos bornes independientes conectados a sendos instrumentos que visualicen la presión y emitan respectivas señales en caso de pérdida de presión.

En caso de no utilizar un transductor de presión, se realizará la lectura permanente de la presión de la misma en el frontal del cuadro de control de modo que permita la visualización de la presión manométrica de la red y el establecimiento del valor consigna de presión por debajo del cual arranque la bomba. Debe ser capaz de soportar un 10% más de la presión máxima de impulsión que las bombas, incluida la jockey, puedan generar en el punto donde este instalada el transductor.

El sistema de detección de presión debe estar monitorizado por el cuadro de arranque y control y generar alarma cuando:

- Se produzca cortocircuito o circuito abierto en cualquiera de las líneas de presostatos.
- Se produzca señal fuera de rango en caso del sensor analógico transductor.

Los módulos EDS del fabricante KSB, disponen de primero de un presostato situado antes de la válvula de retención para confirmar que hay presión en la impulsión cuando se ha producido demanda de la bomba principal [35]. De los sensores de arranque de las bombas, el fabricante opta por la opción de dos presostatos en serie con pulsadores de anulación normalmente cerrados y conectados en serie eléctricamente, la apertura de cualquiera de ellos o la rotura de un cable, provoca la demanda de arranque de la bomba a la cual controlen los presostatos [35].

Los diferentes cuadros de control de los sets de bombas del módulo EDS controlan por separado cada uno de los dispositivos de bombeo, disponen de señales de aviso y alarma desde los sensores y control del arranque.



Ilustración 28: Cuadro de control y arranque módulo EDS. Fuente: Catálogo KSB.

Arranque del grupo de bombeo

Cuando la presión del colector general caiga a un valor no inferior a $0.8 P_0$, donde P_0 es la presión a caudal cero de la bomba principal. Cuando exista más de un grupo instalado, el segundo debe arrancar después que la presión caiga a un valor **no inferior a $0.6 P_0$** . Cada uno de los sucesivos grupos, si los hubiera, debe arrancar a una presión

entre 0,4 y 0,7 bar inferior a la del grupo anterior que arrancó. Una vez arrancadas, deben continuar funcionando hasta que se paren manualmente.

La bomba de jockey debe tener un valor de arranque automático **por encima de 0.85 P₀** y dar orden de parada a una presión comprendida entre 0.8 bar y 1.5 bar por encima de la de arranque. La parada de la bomba de jockey **debe estar retardada entre 10-20 segundos**.

Todos los elementos de la instalación aguas debajo de la bomba jockey deben estar diseñados para soportar la presión que pueda provocar dicha bomba jockey donde esté instalado al trabajar a caudal cero, teniendo en cuenta también la máxima presión estática que pudiera existir en la boca de aspiración de dicha bomba jockey.

Por lo que la primera bomba principal en arrancar de las cuatro, arrancará a una presión no inferior a 0,8 P₀, la segunda bomba principal arrancará a una presión no inferior a 0,6 P₀ y la tercera bomba principal de las cuatro, arrancará cuando sea necesaria en los peores casos de incendio cuando la presión caiga entre un 0,4-0,7 bar respecto al arranque de la segunda. La cuarta bomba quedará en reserva en caso de que algo ocurra con algunas de las bombas y necesite arrancar.

En este proyecto no forman parte del alcance el dimensionar los sistemas de accionamiento de las bombas ni elementos de arranque como baterías u otros elementos de control como el sistema de refrigeración del motor diésel y/o los componentes eléctricos de alimentación y control de los motores eléctricos.

NPSH requerido/disponible

Se calculará a continuación los valores de NPSH_d a la entrada de la bomba con el fin de comprobar que las condiciones de aspiración de esta son adecuadas en sus dos posibles modos de funcionamiento: aspirando del foso de captación agua salada o aspirando de agua dulce de la reserva.

Se deberá comprobar además que las condiciones de aspiración cumplen tanto en el caudal nominal de cada bomba, como en el escenario del 140 % de caudal como indica la UNE 23500.

Los valores de NPSHd deberán de ser como mínimo iguales o mayores a los valores de NPSHr indicados por las fichas técnicas y de rendimiento de la bomba CPKN.

$$NPSHd = Pe + Pb - Pv + \frac{V_e^2}{2 * g} - H_{geo} - H_{pérdidas} \quad (38)$$

Donde:

NPSHd: es el valor en metros columna de agua de la altura neta positiva de aspiración disponible (Net Positive Suction Head Disponible) a la entrada de la brida de aspiración de la bomba.

Pe: es la presión estática en metros columna de agua a la entrada de la brida de aspiración de la bomba

Pb: es la presión atmosférica en metros columna de agua, con un valor de 10 m.c.a cerca del nivel del mar.

Pv: es la presión de vapor en metros columna de agua a una temperatura específica.

V_e: es el valor de la velocidad en el tubo de aspiración en m/s.

g: es la aceleración gravitacional terrestre con un valor de 9,81 m/s².

H_{geo}: es la diferencia de cotas entre punto de aspiración y bomba en metros columna de agua

H_{pérdidas}: son las pérdidas tanto por fricción como locales que se producen en el circuito de aspiración en metros columna de agua.

Para las pérdidas por fricción se empleará la ecuación de Hazen-Williams (ecuación (14)), la cual viene recogida en la normativa como válida para el cálculo en estos elementos [29],[28]. Las pérdidas localizadas se calcularán con las ecuaciones (14) y (15). Las pérdidas totales pueden variar respecto a las reales finalmente instaladas, se planteará el cálculo de tal manera que se supongan siempre las condiciones más

desfavorables posibles de aspiración e impulsión, con el fin de garantizar el cumplimiento con las condiciones de aspiración necesarias.

Los elementos que se tendrán en cuenta en el cálculo de las pérdidas en este apartado y en futuros apartados de dimensionamiento de las líneas son aquellos elementos parte de los circuitos de aspiración e impulsión más relevantes en estas pérdidas, es decir, presentan una mayor influencia. Estos elementos son:

Circuito de aspiración:

- Válvula de pie
- Tramos Rectos
- Codo
- Válvula de compuerta
- Tubo reductor

Circuito de impulsión

- Tubo ampliador
- Válvula de retención
- Válvula de compuerta
- Codo (aproximación de conexión al colector de bombas)

Aspiración del foso de captación

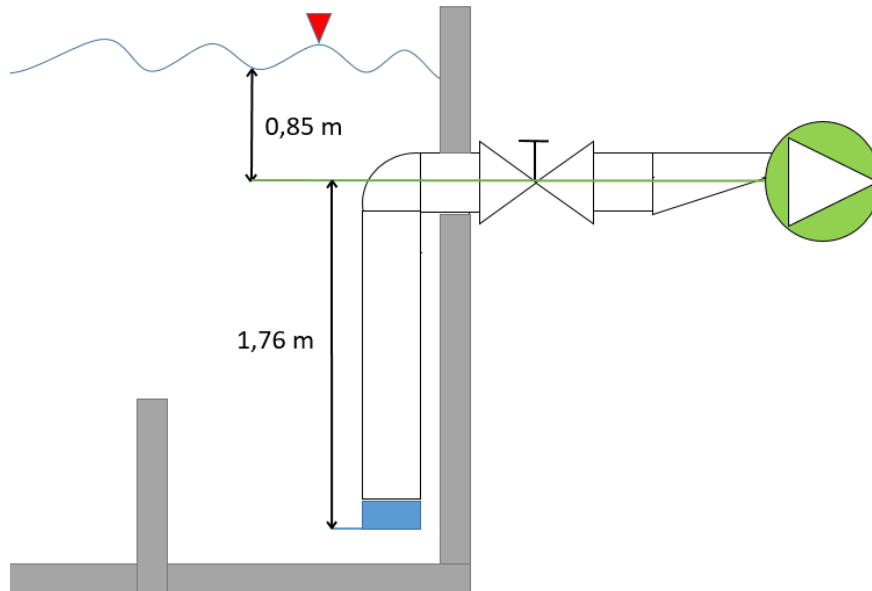


Ilustración 29: Representación simplificada del circuito de aspiración con cotas. Fuente: Elaboración propia.

Las pérdidas localizadas en los elementos desde aspiración hasta la brida de aspiración serán:

- Válvula de pie

Para la válvula de pie se preselecciona una válvula de pie **del fabricante IBAPOL**, con el fin de tener una idea de las pérdidas que suelen presentarse en esta clase de elementos. Las válvulas de pie son un tipo de válvulas anti-retorno que permiten mantener la instalación llena y además cuentan con un filtro que evita que entre suciedad en la bomba.

La pérdida de carga en metros columna de agua para una **válvula de pie de diámetro nominal DN 500** y por la cual pasa agua a una **velocidad de 1,54 m/s** en el caso de caudal nominal Q_{nb} , es de **0,31 m.c.a** [36] (ver **Ilustración 30**)

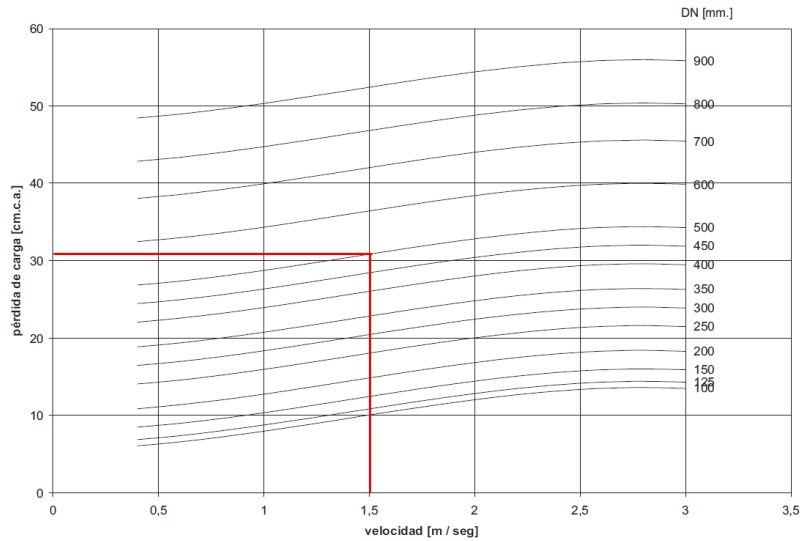


Ilustración 30: Pérdidas de carga en centímetros columna de agua en la válvula de pie. Fuente: IBAPOL [36]

– Codo

Las pérdidas localizadas en los codos varían según la forma constructiva del codo en cuestión, se considera a la hora del cálculo que el codo será un codo de 90° con radio normal (con bridas) [13], con una **longitud equivalente en función del diámetro de la tubería de 27 m/m y un valor de K de 0,75** .

Accesorios	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta ¾)	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta ½)	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta ¼)	24.0	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
“T” por la salida lateral	1.80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0.90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0.75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0.60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35	-

Ilustración 31: Valores de la variable K y longitud equivalente para accesorios en tubería. Fuente: [13].

El codo, utilizando la ecuación (15), con una velocidad en el tubo de aspiración de **1,54 m/s**, presentará una pérdida en metros columna de agua de:

$$h_{codo} [m. c. a] = K * \frac{V^2}{2 * g} = 0,75 * \frac{1,54^2}{2 * 9,81} = \mathbf{0,09 m. c. a}$$

- Válvula de compuerta

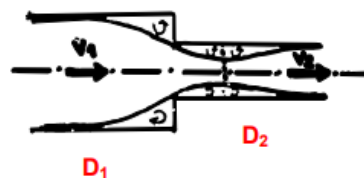
Siguiendo la misma sistemática que en el caso anterior, para una válvula de compuerta completamente abierta (aspiración a caudal nominal Q_{nb}) esta presenta un **coeficiente K de 0,2** y una relación entre la **longitud equivalente y el diámetro de 13 m/m** (ver **Ilustración 31**).

Caída de presión en la válvula de compuerta:

$$h_{compuerta} [m. c. a] = 0,2 * \frac{1,54^2}{2 * 9,81} = \mathbf{0,024 m. c. a}$$

- Tubo reductor

En el tubo reductor, se considera una aproximación más crítica que el tipo de tubo constructor con un gradiente de 20° indicado en la normativa, el tubo reductor se **supone como un tubo reductor de cambio de sección brusca**, con un cambio de un diámetro de 500 mm a uno de 350 mm de la brida de aspiración.



D_1/D_2	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
K	0.08	0.17	0.26	0.34	0.37	0.41	0.43	0.45	0.46

Ilustración 32: Reducción brusca, valores de K y longitud equivalente. Fuente: [13].

La relación de diámetros será de $\frac{500}{350} = 1,428 \approx 1,6$ por lo que de la ilustración anterior se extrae el **valor de K que será 0,26**.

$$h_{reducción} = 0,26 * \frac{1,54^2}{2 * 9,81} = \mathbf{0,0314 \text{ m. c. a}}$$

Las pérdidas por fricción y diferencia de cotas:

- Por fricción en los tramos rectos

Consideramos como tramos rectos el tramo de ascensión hasta el codo el cual tendrá **aproximadamente 1,76 metros** (contando un tramo del codo) y los tramos rectos después del codo que conecten los elementos como válvulas o relacionados, se supondrá que la suma de estos tramos rectos tendrán una **distancia de 2 metros**, la longitud de tramos rectos será por tanto **3,76 metros**.

Utilizando la ecuación de Hazen-Williams (ecuación (14)) para podemos obtener las pérdidas de carga para una tubería de acero dulce/galvanizada con valor **C de 120** (anexo F UNE-EN 23500:2018), la cual trasiega un **caudal nominal de 1040,36 m³/h** y con un **diámetro DN 500 STD con diámetro interior de 488,96 mm**:

$$hf = \frac{10.67 * \left(\frac{1040,39}{3600}\right)^{1.852}}{120^{1.852} * 0,489^{4.8704}} * 3,76 = \mathbf{0,02 \text{ m. c. a}}$$

- Diferencia de cotas

Se observa la **Ilustración 29** y la diferencia de cotas hasta donde se eleva el agua desde el punto de captación de agua es igual al tamaño de tubería vertical de aspiración, es decir, **$H_{geo} = 1,76$ metros**.

Altura total en el circuito de aspiración:

Sumando todos los anteriores resultados obtenemos, que la altura total manométrica del circuito de aspiración es de **2,235 m.c.a**

La bomba esta en carga, estando 0,85 metros por debajo del nivel mínimo de agua aspirado en el foso de captación, por lo que **recibirá 0,85 m.c.a de presión positiva** en su entrada (ver **Ilustración 29**)

Por último, respecto a la presión de vapor a temperatura ambiente, con una temperatura máxima anual del agua de 25 grados Celsius en Castelló de la Plana, la normativa UNE-EN 23500:2018 indica que en función de la temperatura del agua se reduzca más o menos el NPSHd según la siguiente relación de temperatura, **para 25°C la presión de vapor es de 0,32 m.c.a.**

Hasta	Reducción del NPSH disponible
20 °C	0,24 m
25 °C	0,32 m
30 °C	0,43 m
35 °C	0,57 m
40 °C	0,75 m

Ilustración 33: Relación presión de vapor en m.c.a según su temperatura. Fuente: UNE-EN 23500:2018.

El NPSHd a la entrada de la bomba en el caudal nominal Q_{nb} , despreciando el factor velocidad el cual es muy pequeño en comparación al resto de factores y también por observar si cumple ante las peores condiciones posibles, se tiene una altura neta positiva en la entrada de la bomba de:

$$NPSHd [m. c. a] = 10 + 0,85 - 0,32 - 2,235 = \mathbf{8,295 m. c. a}$$

El valor de NPSHr en el punto de $Q_{nb} = 1040,39 \text{ m}^3/\text{h}$ para la bomba **CPKN 300-360 de rodete 573 mm era de 4,75 m.c.a** [34] en ese punto por lo que el valor de NPSHd es superior al necesario en la entrada de la bomba, siendo adecuada la aspiración de la bomba y sin riesgo de cavitación.

Para el punto del funcionamiento con $1,4 \times Q_{nb}$, la normativa UNE-EN 23500:2018 exige que el valor de NPSHd sea superior al requerido con un **umbral de 1 m.c.a.** En el

punto del caudal del 140 % con valor 1456,54 m³/h la bomba escogida tiene un valor de NPSHr de **5,5 m.c.a.**, por lo que el valor de NPSHd deberá ser superior o igual a **6,5 m.c.a.**

El cálculo de la altura manométrica del circuito de aspiración en el punto de 140 % es idéntica a lo expuesto anteriormente, con la diferencia de que en este punto de funcionamiento la velocidad del agua en el tubo de aspiración será mayor incrementándose las pérdidas, con una velocidad **de 2,163 m/s**. Repitiendo el mismo proceso anterior con esta nueva velocidad obtenemos:

- **Altura manométrica circuito de aspiración:** 2,372 m.c.a
Válvula de pie: 0,325 m.c.a
Codo: 0,178 m.c.a
Válvula de compuerta: 0,047 m.c.a
Tubo reductor: 0,062 m.c.a
Diferencia de cotas: 1,76 m.c.a

- **Carga positiva en bomba:** 0,85 m.c.a

- **Presión de vapor:** 0,32 m.c.a

El valor de NPSHd en el punto del caudal 140 % será:

$$NPSHd_{140\%} = 10 - 0,32 + 0,85 - 2,372 = \mathbf{8,158 m.c.a}$$

Cumpliendo con la condición de ser mayor o igual a 6,5 m.c.a.

Aspiración de la reserva de agua

El depósito de agua se encuentra localizada en la zona hormigonada cerca de ambos equipos de bombeo, a una distancia equidistante de ambos de 20 metros. Los dos tubos

de alimentación que salen del depósito de agua dulce son de **diámetro 500 mm**, como se ha definido anteriormente en el apartado de dimensionamiento del depósito de agua.

La diferencia de cotas entre la base del depósito y el eje de la bomba es la de los **2 metros** de altura respecto al nivel del mar de la zona hormigonada y la distancia entre el eje de la bomba de **0,85 metros** y el nivel del agua. Además el depósito tiene un nivel mínimo de agua de reserva de **1,4 metros** (Tabla 29) medidos desde su base hasta el nivel mínimo de reserva. Por lo que la altura total mínima de carga a esperar en la bomba es de **4,25 m.c.a.**

La línea desde el depósito hasta la conexión de aspiración de cada bomba se divide en dos tramos: primer tramo colector y bifurcaciones a pareja de bombas y bomba jockey. En el primer tramo el caudal nominal por equipo de bomba será el de dos veces el Q_{nb} por bomba, es decir **2080,78 m³/h**. El segundo tramo tras la T donde se bifurca el flujo irá a la aspiración de cada bomba y el caudal nominal por cada bifurcación será el caudal nominal $Q_{nb} = 1040,39 \text{ m}^3/\text{h}$.

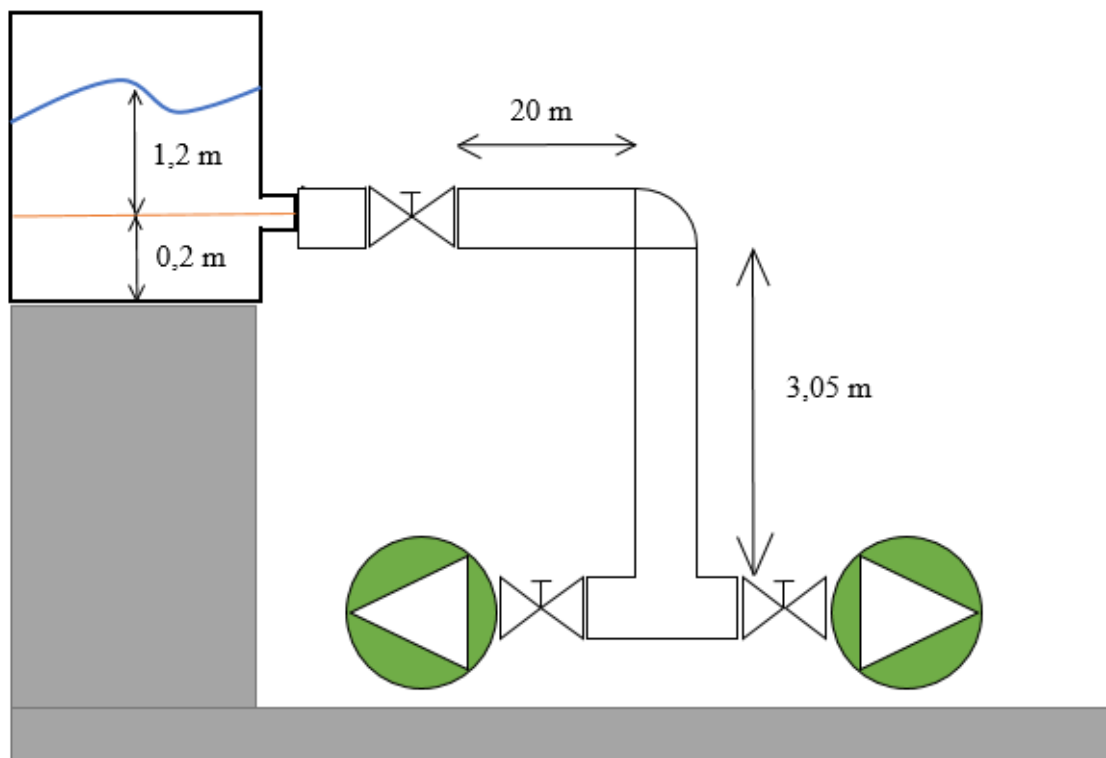


Ilustración 34: Diagrama simplificado de la conexión del depósito por equipo de bombeo. Fuente: Elaboración propia.

Las pérdidas localizadas y por fricción en el circuito de alimentación desde el depósito hasta cada aspiración se calculará con la misma metodología seguida en el anterior apartado. Los accesorios que se consideraran en el calcula de las pérdidas de carga son:

– **Primer tramo pre-bifurcación:**

Válvula de compuerta

Codo

Bifurcación en T

– **Desviación individual por bomba**

Válvula de compuerta

Las pérdidas de fricción son las que ocurrirán en el tramo recto desde el depósito con longitud aproximada de **20 metros** y el tramo vertical bajante de longitud **3,05 metros**.

Pérdidas de carga en el primer tramo:

La velocidad en el primer tramo en la tubería de 500 mm con identificación y diámetro nominal DN 500 STD con diámetro exterior de 508 mm y espesor de 9,52 mm [33], tendrá un **diámetro interior de 488,96 mm** (se usa ecuación (37)). La velocidad para el escenario de ambas bombas funcionando por una de las dos líneas de alimentación que parten del depósito con un caudal nominal de **2080,78 m³/h** será:

Utilizando la ecuación (36)

$$V \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{\left(\frac{2080,78}{3600} \right)}{\frac{\pi}{4} * 0,489^2} = 3,077 \text{ m/s}$$

Se empieza por las pérdidas de carga localizadas en el tramo hasta la bifurcación.

- Válvula de compuerta

Para una válvula de compuerta completamente abierta K toma un valor de **0,2** y la longitud equivalente por diámetro toma un valor de **13 m/m**.

$$h_{\text{compuerta}} = 0,2 * \frac{3,077^2}{2 * 9,81} = \mathbf{0,096 \text{ m.c.a}}$$

- Codo

Para un codo de 90° con un radio normal, K toma un valor de **0,75** y la longitud equivalente por diámetro toma un valor de **27 m/m**.

$$h_{\text{codo}} = 0,75 * \frac{3,077^2}{2 * 9,81} = \mathbf{0,362 \text{ m.c.a}}$$

- Bifurcación en "T"

Para una bifurcación en forma de "T", donde K toma un valor de **1,8** y la longitud equivalente / diámetro toma un valor de **67** [13].

$$h_{\text{bifurcación}} = 1,8 * \frac{3,077^2}{2 * 9,81} = \mathbf{0,868 \text{ m.c.a}}$$

Las pérdidas de carga totales localizadas en el primer tramo hasta la bifurcación suman un total de **1,326 m.c.a.**

Las pérdidas por fricción en el primer tramo, considerando que la longitud de ambos tramos rectos es de **23,05 m**, para una tubería de acero dulce/galvanizada con valor de **C = 120**.

$$h_{\text{fricción}} = \frac{10,67 * \left(\frac{2080,78}{3600}\right)^{1,852}}{120^{1,852} * 0,489^{4,8704}} * 23,05 = \mathbf{0,41 \text{ m.c.a}}$$

Las pérdidas totales sumando localizadas y por fricción suman un total de **1,736 m.c.a.**

Pérdidas en la desviación individual a la bomba:

La velocidad en este segmento para el caudal nominal Q_{nb} , como ya se ha comentado en anteriores apartados es de **1,54 m/s.**

– Válvula de compuerta

Para una válvula de compuerta completamente abierta K toma un valor de **0,2** y la longitud equivalente por diámetro toma un valor de **13 m/m.**

$$h_{compuerta} = 0,2 * \frac{1,54^2}{2 * 9,81} = \mathbf{0,024 \text{ m.c.a}}$$

Las pérdidas totales por lo tanto desde el tubo de aspiración que parte del depósito hasta la desviación individual a la bomba sumando este último término de pérdidas en la desviación serán de **1,76 m.c.a.**

La presión de vapor en el caso del depósito presentará un valor diferente al expresado previamente en el agua de mar, ya que el depósito alcanzará mayores temperaturas que las máximas esperadas en el mar, la temperatura máxima se espera en los meses de verano con una temperatura máxima que puede alcanzar los 35 °C con facilidad. Se mira la **Ilustración 33** y el valor de la presión de vapor para una temperatura de **35°C** es de **0,57 m.c.a.**

La altura de carga positiva en la bomba desde el nivel mínimo de agua del depósito es de **4,25 m.c.a.**, incluyendo la diferencia de cotas que en este caso es positiva (desnivel a favor del agua), como se ha comentado previamente.

Se deberá restar las pérdidas localizadas en el tubo reductor, ya que la conexión de la desviación individual de 500 mm se conectará en un acople al tubo principal de aspiración de cada bomba y tendrá que pasar aun por el tubo reductor hasta llegar a la brida de aspiración de la bomba. Calculadas en el anterior apartado, en los cálculos de aspiración desde el foso de aspiración, las pérdidas en la supuesta reducción brusca (peor escenario) para el Q_{nb} de 1040,36 m³/h es de **0,0314 m.c.a.**

Por lo que el valor de NPSHd en la entrada de aspiración de cada bomba, utilizando la ecuación (38) y despreciando la contribución del factor dinámico será:

$$NPSHd = 10 - 0.57 + 4,25 - 1,76 - 0,0314 = \mathbf{11,88 \text{ m.c.a}}$$

Cumpliendo con la condición de aspiración mínima de **NPSHr = 4,75 m.c.a para caudal Q_{nb} .**

Para el caso de caudal 1,4 x Q_{nb} , el caudal en el tubo del primer plano tendrá un valor de **2913,00 m³/h** y las desviaciones presentarán un caudal de **1456,5 m³/h**, con velocidades de **4,308 m/s** y **2,154 m/s** respectivamente.

Las pérdidas por fricción y localizadas en el primer tramo con velocidad en el tubo de 4,308 m/s hasta la bifurcación en "T", siguiendo el mismo proceso de cálculo realizado anteriormente pero cambiando la velocidad dentro del tubo, sumarán un valor de **3,365 m.c.a.**

Las pérdidas por fricción y localizadas para la velocidad de 2,154 m/s suman un total de **0,0473 m.c.a.**

Las pérdidas en el tubo reductor supuesto como reducción brusca por seguridad, para el caudal del 140 % tienen un valor de **0,062 m.c.a.**

Las pérdidas de carga totales desde el depósito hasta la brida de aspiración de la brida suman un total de **3,474 m.c.a.**

La altura de carga positiva en el punto de aspiración en el depósito más la diferencia de cotas donde en este caso la diferencia de cotas suma (desnivel a favor del agua), tiene un valor de **4,25 m.c.a.**

Por lo que el valor de NPSHd para el caso del 140 % del caudal nominal será:

$$NPSHd_{140\%} = 10 - 0,57 - 3,474 + 4,25 = \mathbf{10,206 \text{ m. c. a}}$$

Donde la condición en el punto del 140 % del caudal nominal, el valor de NPSHd deberá superar como mínimo en 1 m.c.a el valor de NPSHr en el punto de caudal del 140%. En el punto de caudal 140 % incluyendo el valor umbral de un metro columna de agua el valor de NPSHd **deberá ser mayor a 6,5 m.c.a.**, lo cual cumple sobradamente en ese punto la aspiración desde el depósito.

Instalación

La normativa UNE-EN 23500:2018 comenta una serie de directrices del lugar donde se instalarán los sistemas de bombeo.

- Se deben instalar en un recinto de fácil acceso para operaciones de instalación y mantenimiento, reparación y sustitución de los elementos contenidos en el mismo, independiente, protegido contra incendios y otros riesgos de la naturaleza y dotado de un sistema de drenaje.
- Deben estar previstos y calculados sistemas de ventilación y renovación natural de aire necesarios para la sala de bombas, en función del tipo de motores instalados y sus sistemas de refrigeración.
- Las condiciones de bombeo se deben mantener a lo largo de la vida útil.

- Temperatura de la sala de bombas no inferior a 4 °C para eléctricos y no inferior a 10 °C para diésel. En ambos casos no superar los 40 °C.
- Salas de bombas con motores diésel deben contar con sistemas de renovación del aire y ventilación naturales según fabricante.
- La temperatura del agua suministrada no debe superar los 40°C. Contar con elemento de control que avise si se supera esta temperatura.

Comenta además que los equipos de bombeo se deben ubicar en un compartimiento con resistencia al fuego no inferior a EI 60 destinados a la protección contra incendios. Que podrá ser una de las siguientes opciones (en orden de preferencia):

- Edificio independiente
- Edificio vecino al edificio protegido y con acceso directo desde el exterior
- Un compartimento situado en una planta protegida totalmente por rociadores automáticos, abastecido por el grupo de bombeo y no inundables
- Recinto con acceso directo desde el exterior o a través de pasillo protegido o escalera protegida, o combinación de ambos que posean una salida de edificio. No considerándose válido los emplazamientos que precisen salvar en sentido ascendente una altura de recorrido de evacuación mayor a 6 metros
- Una solución diferente alternativa a las detalladas en los puntos anteriores que cuente con la aceptación de la autoridad competente recogida en la reglamentación aplicable.

Ambos equipos de bombeo se localizarán en las áreas indicadas previamente en el apartado “**Reserva de agua**”, en dos edificios individuales y alejados entre sí por pareja de bombas. Tres de las cuatro bombas serán accionadas por diésel por lo que en ambos

edificios de los equipos de bombeo se deberán dimensionar con sistemas de renovación de aire y ventilación, a falta del dimensionamiento de los motores accionadores, que dictará el fabricante las mejores condiciones.

Uno de los dos edificios albergará una de las bombas accionadas eléctricamente y cohabitará con otra diésel, la temperatura del ambiente mínima exigible del diésel es la más exigente (no inferior a 10 °C), por lo que serán en ambos casos las bombas accionadas por diésel las que condición ese aspecto del diseño, no superando nunca los 40 °C.

Ambos edificios de los equipos de bombas contarán con los medios indicados en el apartado “**Sistemas de lucha contra incendios**”, como extintores o señalización. Los edificios están situados en una zona cercana a las vías de circulación sin obstrucción de estas, los medios móviles de protección contra incendio en planta, operados por la brigada contra incendios de planta o los medios correspondientes del cuerpo de bomberos, disponen de fácil acceso al lugar y diversas conexiones a la red contra incendios cercana, añadiendo una capa extra de protección de estos edificios, a parte de las constructivas de dichos edificios (que seguirán los requisitos marcados por la norma).

Resumen

El sistema de bombeo dimensionado estará formado por 4 bombas de la marca KSB modelo CPKN categoría 300-630 con impulsor de acero de alta aleación Noridur 1.4593 de 573 mm resistente a la corrosión.

Las bombas estarán agrupadas en parejas y accionadas 3 de ellas por motores diésel y una de ellas por motor eléctrico. Cada pareja de bombas vendrán montadas en módulos donde se incluyan todos los elementos auxiliares y de operación como circuitos de pruebas, bombas jockey, paneles de control..., el fabricante KSB proporciona estos módulos para sus modelos de bombas destinadas a la lucha contra incendios

Las bombas aspiraran de fosos de aspiración, de los cuales se deberán construir dos de ellos (uno por cada pareja de bombas). Las dimensiones de estos fosos de captación se indican en la **Tabla 31**.

Los circuitos de impulsión e aspiración de las bombas cuentan con una serie de elementos y accesorios detallados en el apartado “*Circuito de impulsión y aspiración*”, donde estos elementos influirán en el cálculo de los escenarios de aspiración por parte de la bomba en el apartado “*NPSH requerido/disponible*”.

Por último en el apartado de “*Instalación*” se muestran una serie de directrices a seguir ,en base a lo indicado en la normativa aplicable, del lugar donde se deberán instalar las bombas y las condiciones a cumplir en su construcción e operación.

Anexo D: Canalizaciones principales de la red contra incendios

Introducción

En el siguiente anexo se dimensionará las canalizaciones principales de la red contra incendios, esto es todo el mallado de tuberías que parte desde el grupo de bombeo y recorre todos los puntos del parque de depósitos.

Los antecedentes a este anexo son los cálculos de las demandas de agua por escenario de incendio más desfavorables en el “*Anexo B: Demandas de agua y espumógeno*” y el dimensionamiento del sistema de bombeo en el “*Anexo C: Sistemas de bombeo*”.

Consideraciones previas al dimensionado

Se ha calculado las pérdidas hasta la brida de aspiración de la bomba, pero se debe calcular las pérdidas desde el punto de descarga de la bomba hasta el principal punto de acople de los colectores de las parejas de grupos de bombeo a la red principal para cada escenario, y hasta sus localizaciones finales a para cada escenario de incendio. Para cada escenario de incendio los caudales son diferentes y esto implica, para el tubo de impulsión y la red general, para un diámetro dado, velocidades diferentes en cada escenario. Las pérdidas tanto locales como por fricción son función lineal de la mayoría de sus variables pero en el caso de la velocidad del tubo es al cuadrado la relación (mayor influencia en las perdidas). Aunque a la hora del diseño de la red general, no solo será exclusivamente el escenario con una mayor velocidad del agua en el tubo la que condicione el dimensionamiento, si no, además otros factores como diferencia de cotas entre punto de bombeo, presiones mínimas en red y distancia hasta dicho punto desde bombeo también influirán.

Cada equipo de bombeo localizado en su edificio, tendrá su conexión independiente del otro equipo de bombeo con válvulas de seccionamiento [29], pero a efectos prácticos se encuentran relativamente cerca el uno del otro, distanciados alrededor de 67-68 metros entre ellos con el depósito de reserva de agua en medio, es decir, hidráulicamente en el aspecto de pérdidas y/o diferencia de las distancias de bombeo a cada escenario, la distancia entre ambos equipos de bombeo es poco relevante, comportándose en la práctica como un solo punto de bombeo desde un punto de vista macroscópico.

Los requisitos por parte de la normativa en el dimensionado de las canalizaciones principales de la red contra incendio son los siguientes:

RD 2085/1994

- Tuberías de acero e independientes de la red de agua para uso industrial. En caso de que las tuberías vayan enterradas se admitirán otros materiales. Siempre que se justifique que ofrecen la debida resistencia mecánica.
- Las secciones de las tuberías se calcularán de tal manera que frente a los caudales requeridos en cada punto se garantice la presión mínima de 7,5 kg/cm² en cada punto.
- La red estará distribuida en malla y dispondrá de válvulas de bloqueo en número suficiente para aislar cualquier sección que sea afectada por una rotura, manteniendo el resto de la red a la presión de trabajo.
- Las tuberías de la RCI seguirán siempre que sea posible el trazado de las calles; irá enterrada o debidamente protegida en aquellos lugares donde se prevean persistentes temperaturas inferiores a cero grados Celsius. Donde no exista esta posibilidad se procurará su instalación exterior para facilitar su inspección y mantenimiento. En todo caso deberán protegerse las tuberías contra corrosión.

UNE-EN 23500:2018

-
- Para sistemas con más de 6 salidas, se debe realizar la instalación en anillo, con diámetro constante, con válvulas de seccionamiento dispuestas cada 6 salidas, siempre que no se incluyan más de 4 puestos de control (de sistemas automáticos de extinción por agua) entre válvulas de seccionamiento.
 - Se debe garantizar el suministro de agua del sistema hidráulicamente más desfavorable, incluso en el caso de averías parciales que impidan el paso de flujo en el punto más crítico del trazado del anillo.
 - El diseño debe garantizar que, para el caso de averías parciales en la red, que impidan el paso de flujo de agua por uno de los lados del anillo, la presión disponible en el punto más desfavorable no sea inferior al 80 % de la requerida por diseño en las condiciones de caudal de diseño. Esto se debe garantizar incluso en el caso de la avería más desfavorable.
 - Cada derivación de la red general de incendios para alimentar una red específica debe estar provista de una válvula de seccionamiento.
 - Cuando exista riesgo de congelación del agua de las tuberías estas deben estar convenientemente protegidas.

Respecto al trazado de las tuberías, de cuando se deberán enterrar o no y como se deberán enterrar, la norma UNE-EN 23500:2018 comenta lo siguiente de cuando enterrar:

- Discurran por terrenos ajenos al propietario de la red de suministro de agua de protección contra incendios.
- En el proyecto se considere oportuno protegerlas frente a aquellas acciones que las puedan dañar (incendios próximos, sabotaje etc.)
- Cuando así lo requiera la ficha técnica del fabricante de la tubería.

En este proyecto las tuberías no se enterrarán, el posible riesgo de incendio se considera limitado al área de incendio en cuestión (cubetos) y además las tuberías están separadas cierta distancia de los muretes exteriores de este, por lo que el riesgo de afección es poco probable.

Las tuberías irán a lo largo de los viales de comunicación pero no cercanos a estos, existe considerable separación entre el vial por donde pueden circular vehículos y la localización donde se ubicarán las tuberías, además en refinería existen limitaciones de velocidad y protecciones pasivas con el fin de limitar al máximo posible la velocidad de estos en el trasiego por zona de tanques.

Las tuberías serán de **acero con un diámetro constante**, pues existen más de 6 salidas en toda la red contra incendios (53 puestos de control para ser exactos), que será condicionado por el escenario que requiera el mayor diámetro de tubería para disponer de las presiones mínimas establecidas por la normativa en sus puntos de conexión a los sistemas de protección contra incendios. Las tuberías de acero al funcionar con agua de mar, aunque se dispone de agua dulce para el lavado de los equipos tras pruebas o posible escenario de uso, **se deberá recubrir las tuberías interiormente** con capas que hagan resistentes a la corrosión a estos equipos, coberturas del diámetro interior de las tuberías como capas de epoxi, polipropileno o similares [37] como los realizados por la empresa **OMK** para tuberías de grandes diámetros, donde recubren interiormente tuberías de acero para hacerlas aptas a entornos corrosivos como refinerías o estaciones marítimas por ejemplo.

Presiones disponibles por escenario de incendio

Para calcular el diámetro que se necesitará, primero se categoriza cada escenario en función de:

- Distancia desde punto de bombeo
- Diferencia de cota en localización respecto a lugar donde se ubican los equipos de bombeo.

- Número de giros al seguir el trazado de las avenidas y calles (influirá en las pérdidas localizadas)
- Caudal de agua máximo por escenario de incendio

Por lo que los diferentes escenarios de incendio presentan las siguientes características de bombeo:

Sector de incendio	Distancia a bombeo (m)	Número de giros 90°	Presión min (kg / cm ²)	Altura respecto a zona bombeo (m)	Caudal máx (l/min)	Caudal máx (m ³ /s)
1	1534	4	7.5	2	14007.46	0.23
2	1237	3	7.5	2	10028.47	0.17
3	1237	3	7.5	2	7593.00	0.13
4	1237	3	7.5	2	4779.14	0.08
5	1237	3	7.5	2	8415.78	0.14
6	1037	3	7.5	2	14438.59	0.24
7	777	2	7.5	1	13607.72	0.23
8	777	2	7.5	1	13921.22	0.23
9	560	2	7.5	1	10075.74	0.17
10	560	2	7.5	1	10858.01	0.18
11	509	1	7.5	1	11075.74	0.18
12	269	1	7.5	1	8782.29	0.15
13	360	1	7.5	1	6680.86	0.11
14	142	2	7.5	1	8095.73	0.13
15	339	3	7.5	1	6638.70	0.11
16	211	1	7.5	1	10675.88	0.18
17	253	1	7.5	1	7879.78	0.13
18	328	2	7.5	1	11294.19	0.19
19	320	1	7.5	1	3500.00	0.06
20	340	1	7.5	1	6130.30	0.10
21	629	3	7.5	1	13219.44	0.22
22	355	2	7.5	1	4369.40	0.07
23	355	2	7.5	1	4358.24	0.07
24	151	1	7.5	1	7876.36	0.13
25	176	1	7.5	1	3500.00	0.06
26	176	1	7.5	1	6034.75	0.10
27	227	3	7.5	1	16893.24	0.28
28	240	3	7.5	0	34679.76	0.58

29	212	3	7.5	0	19840.90	0.33
30	243	3	7.5	0	19116.31	0.32
31	201	2	7.5	0	12419.69	0.21
32	713	4	7.5	0	5951.96	0.10
33	635	3	7.5	0	9066.30	0.15
34	438	3	7.5	0	6496.37	0.11
35	366	3	7.5	1	8985.01	0.15
36	427	2	7.5	1	3500.00	0.06
37	538	3	7.5	1	10515.83	0.18
38	670	3	7.5	1	6401.36	0.11
39	753	3	7.5	1	7039.00	0.12
40	740	3	7.5	1	7541.21	0.13
41	610	3	7.5	1	5734.19	0.10
42	580	3	7.5	1	8166.64	0.14
43	650	3	7.5	1	8253.09	0.14
44	464	3	7.5	1	5253.76	0.09
45	500	2	7.5	1	5905.00	0.10
46	772	3	7.5	1	9216.50	0.15
47	735	3	7.5	1	8629.00	0.14
48	637	3	7.5	1	7107.50	0.12
49	507	3	7.5	1	7764.77	0.13
50	316	2	7.5	1	21746.54	0.36
51	406	3	7.5	1	10356.01	0.17
52	360	2	7.5	1	9384.94	0.16
53	400	3	7.5	1	3500.00	0.06

Tabla 34: Escenarios de incendio y sus características de bombeo.

Se observa que el sector de incendio número 1 presenta una distancia de bombeo muy grande en comparación a la gran mayoría de sectores. El sector que mayor demanda de agua tiene, como ya se había comentado, es el sector de incendio 28 que corresponde al incendio en la esfera de gas licuado 705, en cambio este sector se encuentra relativamente cerca de la zona de bombas.

El análisis de las presiones disponibles en bombeo para cada escenario de incendios se realizará en el modo de aspiración de la bomba desde el foso de captación de agua salada, pues en este modo de condicionamiento, las presiones estáticas por encima de la bomba que ayudarán en obtener mayores presiones en la red son menores en este modo de funcionamiento.

Pérdidas de carga en impulsión:

Los circuitos de impulsión de cada bomba presentan una serie de elementos que causarán pérdidas localizadas, estas pérdidas localizadas tienen un gran peso en conjunto con el segundo factor que es la diferencia de cota desde donde se localiza la bomba (su eje concretamente) hasta la zona a nivel calle de planta, donde existe un desnivel de 2,85 metros desde donde se localizan las bombas como ya se había comentado en el apartado de dimensionamiento de los sistemas de bombeo.

Los elementos del circuito de impulsión desde brida de descarga hasta colector son (ver apartado “**Circuito de impulsión y aspiración**”):

- Un tubo ampliador de 300 mm a 400 mm (ampliación gradual de 20°)
- Una válvula de retención
- Una válvula de compuerta
- Dos codos de 90° con radio normal (uno de los codos simula ser las pérdidas en el colector)

Donde, se utiliza la ecuación (15) para el cálculo de las pérdidas localizadas, estos elementos presentarán los siguientes valores de K [13]:

Elemento	Número	Coefficiente adimensional K
Tubo ampliador 300->400 mm	1	0,175
Válvula de retención	1	2
Válvula de compuerta	1	0,2
Codo de 90° radio normal	2	0,75

Tabla 35: Valores de K de los accesorios en el circuito de impulsión.

El valor de K del tubo ampliador con transición gradual de 20°, es el único que no se ha comentado previamente en los apartados del cálculo del NPSHd de la bomba como obtener. Siendo la versión modificada de la ecuación (15) para una ampliación gradual:

$$h_f [m. c. a] = \lambda * \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right) * \frac{V_1^2}{2 * g} \quad (39)$$

Donde:

λ : es un factor función del ángulo de conicidad del tubo ampliador, el ángulo es de 20°.

D_1 : es el diámetro de la entrada al tubo ampliador en mm.

D_2 : es el diámetro de salida del tubo ampliador en mm.

V_1 : es la velocidad de entrada a la ampliación en m/s.

g : es la aceleración de la gravedad con valor 9,81 m/s².

Se observa la **Ilustración 35** y para un valor del ángulo de conicidad de 20 grados, el factor $\lambda = 0,40$. El valor de K de la anterior ecuación será los dos primeros términos de la ecuación, es decir:

$$K_{tubo} = \lambda * \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right) = 0,40 * \left(1 - \frac{300^2}{400^2}\right) = 0,175$$



θ	6°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°
λ	0.14	0.20	0.30	0.40	0.70	0.90	1.00	1.10

Ilustración 35: Tubo ampliador gradual con valores de λ . Fuente:[13].

Las pérdidas localizadas para cada sector de incendio será función de la velocidad en cada uno de los tubos de impulsión de la pareja de bombas que estén funcionando. Como los accesorios en el tubo de impulsión están en serie, las velocidades son iguales en todos ellos, permitiendo modificar la ecuación de las pérdidas localizadas en una versión más compacta función de la velocidad del agua en el tubo y de un número “n” de accesorios.

$$h_i[m. c. a] = K_i * \frac{V_{impulsión}^2}{2 * g}$$

Siendo “i” uno de los accesorios dentro del número “n” de accesorios. Como la velocidad de impulsión es común en todos los elementos en serie de impulsión se puede extraer factor común el término formado por $\frac{V_{impulsión}^2}{2 * g}$.

$$h_{impulsión}[m. c. a] = \left(\sum_{i=1}^{i=n} (K_i * m) \right) * \frac{V_{impulsión}^2}{2 * g} \quad (40)$$

Donde:

n: es el número de accesorios que hay

i: es cada uno de los accesorios en el total “n”.

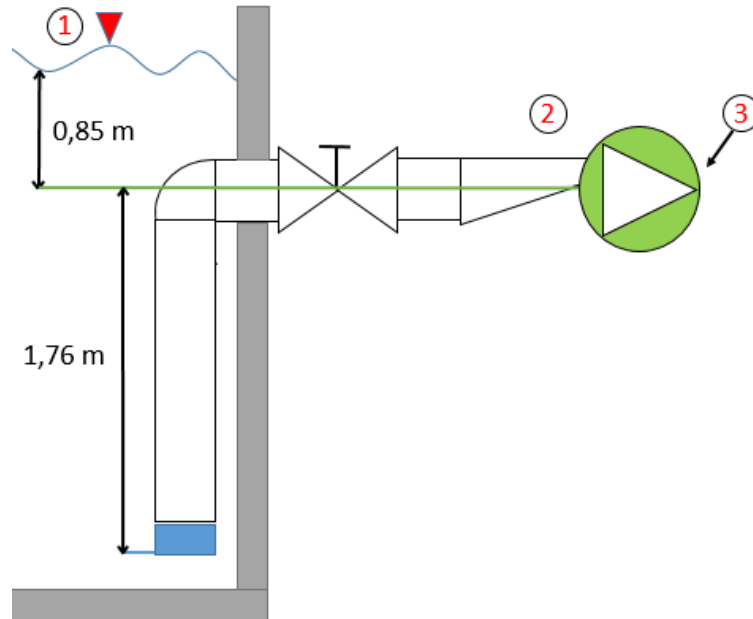
Ki: es el factor K del accesorio “i”

m: es el número de accesorios “i” que hay presentes.

Las pérdidas por fricción no se tendrán en cuenta en el circuito de impulsión ya que son muy pequeñas en comparación a las localizadas y por diferencia de cota. Además habrá solamente alrededor de 3-4 metros de tubería recta hasta la conexión con la RCI.

Presión disponible en brida de descarga de la bomba:

La presión en la brida de descarga de la bomba, en el caso de aspiración desde el foso de captación se obtendrá planteando la ecuación de Bernoulli para agua, en tres puntos del circuito, estos puntos se muestran en la **Ilustración 36**.



Il·lustració 36: Puntos de análisis del circuito de la bomba.

Se plantea la ecuación (11) entre los puntos 2 y 3:

$$\frac{P_2}{\gamma_{agua}} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2 + H_{bomba} = \frac{P_3}{\gamma_{agua}} + \frac{V_3^2}{2 * g} + z_3$$

Y entre los puntos 1 y 2:

$$\frac{P_1}{\gamma_{agua}} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma_{agua}} + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2 + h_{aspiración}$$

Juntando las dos ecuaciones:

$$\frac{P_1}{\gamma_{agua}} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 - h_{aspiración} + H_{bomba} = \frac{P_3}{\gamma_{agua}} + \frac{V_3^2}{2 * g} + z_3$$

Donde la presión total en el punto 3 es la presión absoluta disponible en la brida de descarga.

$$P_{Descarga Bomba} [m. c. a] = \frac{P_1}{\gamma_{agua}} + \frac{V_1^2}{2 * g} + z_1 - h_{aspiración} + H_{bomba}$$

Donde la presión en el punto 1 es la presión atmosférica y su velocidad es cero. Se elige el eje de la bomba como referencia de las cotas, estando el punto 1, 0,85 metros por encima del eje de la bomba y se reescribe la ecuación anterior en la presión manométrica ($P_{atm} = 0$) en la descarga de la bomba:

$$P_{Descarga Bomba} [m. c. a] = 0,85 - h_{aspiración} + H_{bomba} \quad (41)$$

Donde:

$h_{aspiración}$: son las pérdidas de carga en el circuito de aspiración de cada escenario de incendio en m.c.a.

H_{bomba} : es la presión en metros columna de agua que aporta la bomba.

Las pérdidas de carga en el circuito de aspiración seguirán el mismo proceso que las pérdidas en el circuito de impulsión por escenario de incendio expresadas previamente. Los accesorios en el circuito de aspiración que se consideran en el cálculo de pérdidas son:

Elemento	Número	Coefficiente adimensional K
Tubo reductor 500 -350 mm	1	0,204
Válvula de pie	1	-
Válvula de compuerta	1	0,2
Codo de 90° radio normal	1	0,75

La relación de las pérdidas en la válvula de pie pre-seleccionada se extrae en función de la velocidad del líquido en aspiración, basado en las gráficas facilitadas por el fabricante IBAPOL mostradas previamente en el apartado “**NPSH requerido/disponible**” y disponible en las gráficas adjuntadas en este proyecto. Tomando puntos en la gráfica de la válvula de pie para el diámetro de 500 mm, se obtiene la relación:

$$h_{VálvPie} [m. c. a] = 0,0195 * V_{impulsión} + 0,265 \quad (42)$$

Donde:

$h_{VálvPie}$: son las pérdidas en la válvula de pie por escenario de incendio en m.c.a.

$V_{impulsión}$: es la velocidad en metros por segundo en el tubo de aspiración.

Por los que las pérdidas en las válvulas de compuerta, válvula de pie, codos y tubo reductor siguiendo la fórmula (40):

$$h_{aspiración}[m. c. a] = \left(\sum_{i=1}^{i=l} (K_i * m) \right) * \frac{V_{aspiración}^2}{2 * g} + h_{VálvPie} \quad (43)$$

Donde:

l: es el número total de accesorios en el circuito de aspiración.

i: es el accesorio en el circuito de aspiración del total "l".

Ki: es el factor adimensional de las pérdidas localizadas del accesorio "i".

$V_{aspiración}$: es la velocidad del líquido en el circuito de aspiración por escenario de incendio en m/s.

Juntando las ecuaciones (43) y (40) se obtienen las pérdidas totales en ambos circuitos. Que serán función de las velocidades en el circuito de aspiración e impulsión en cada escenario de incendio y sus accesorios.

$$h_{circuitos} [m. c. a] = \left(\sum_{i=1}^{i=n} (K_i * m) \right) * \frac{V_{impulsión}^2}{2 * g} + \left(\sum_{i=1}^{i=l} (K_i * m) \right) * \frac{V_{aspiración}^2}{2 * g} + h_{VálvPie} \quad (44)$$

Para un tubo de aspiración de diámetro DN 500 STD con diámetro interior de 488,96 mm y un tubo de impulsión de DN 400 STD con diámetro interno de 393,7 mm, ambos con secciones circulares, los valores de las velocidades en el circuito de aspiración y en el de impulsión para los 53 escenarios de incendio serán en cada caso:

Sector incendio	Velocidad en el tubo aspiración (m/s)	Velocidad en el tubo impulsión (m/s)
1	0.64	0.96
2	0.46	0.69
3	0.35	0.52
4	0.22	0.33
5	0.39	0.58
6	0.66	0.99
7	0.62	0.93
8	0.64	0.95
9	0.46	0.69
10	0.50	0.74

11	0.51	0.76
12	0.40	0.60
13	0.31	0.46
14	0.37	0.55
15	0.30	0.45
16	0.49	0.73
17	0.36	0.54
18	0.52	0.77
19	0.16	0.24
20	0.28	0.42
21	0.61	0.90
22	0.20	0.30
23	0.20	0.30
24	0.36	0.54
25	0.16	0.24
26	0.28	0.41
27	0.77	1.16
28	1.59	2.37
29	0.91	1.36
30	0.88	1.31
31	0.57	0.85
32	0.27	0.41
33	0.42	0.62
34	0.30	0.44
35	0.41	0.62
36	0.16	0.24
37	0.48	0.72
38	0.29	0.44
39	0.32	0.48
40	0.35	0.52
41	0.26	0.39
42	0.37	0.56
43	0.38	0.56
44	0.24	0.36
45	0.27	0.40
46	0.42	0.63
47	0.40	0.59
48	0.33	0.49
49	0.36	0.53
50	1.00	1.49
51	0.48	0.71
52	0.43	0.64
53	0.16	0.24

Tabla 36: Velocidades en los circuitos para los escenarios de incendio.

La presión disponible en la conexión del colector de las parejas de bombas a la RCI, será por tanto la presión disponible en la brida de descarga (ecuación (41)) menos las pérdidas que ocurren en el circuito de impulsión y aspiración (ecuación (44)) menos la energía de elevar el caudal de agua desde la cota donde se encuentra la bomba hasta la altura de calle donde se encuentra la red contra incendios. Se junta todo y la presión disponible en conexión a la RCI para escenario de incendio se regirá por la siguiente ecuación:

$$\text{Presión disponible conexión RCI [m. c. a]} = 0,85 + H_{bomba} - h_{circuitos} - z_{RCI} \quad (45)$$

Donde:

H_{bomba} : es la presión que aporta la bomba en función del caudal demandado por cada escenario de incendio en metros columna de agua.

$h_{circuitos}$: es la pérdida de carga en los circuitos de aspiración e impulsión en metros columna de agua.

z_{RCI} : es la diferencia de cotas desde la brida de descarga de la bomba hasta la altura donde se encuentra la conexión a la RCI en m.c.a.

Con las presiones disponibles en el inicio del punto de bombeo para cada escenario de incendio, se dimensionará el diámetro general de la RCI en función del escenario de incendio que acepte el menor número de pérdidas por fricción en la tubería hasta el punto de bombeo por metro de distancia desde el punto de bombeo, ya que cuanto mayor sea el diámetro menor serán las pérdidas por fricción en el tramo hasta que el agua llegue al punto de bombeo.

Se debe garantizar las condiciones de bombeo indicadas por la normativa en el puesto de control desde donde partirán los sistemas de agua pulverizada y sistemas de espuma. La normativa indica que la presión mínima estática en la RCI debe ser de **7,5 kg/cm² = 75 m.c.a.**, por lo que la presión estática incluyendo las pérdidas de fricción a lo largo de la longitud de bombeo, partiendo desde la presión disponible por escenario de incendio en la conexión a la RCI, debe cumplir con la condición mínima de presión estática de la normativa más la diferencia de cotas donde se ubica el escenario respecto al punto de bombeo, quedando fuera el factor dinámico al igualar dos ecuaciones de los puntos en el mismo tubo a dimensionar.

$$\text{Presión mínima en puesto de control [m.c.a]} = P_{\text{EstáticaMin}} + Z_{\text{Puesto}} \quad (46)$$

Donde:

$P_{\text{EstáticaMin}}$: es la presión estática mínima en el punto de conexión a los sistemas, con valor de 75 m.c.a o 7,5 kg/cm².

Z_{Puesto} : es la elevación que presenta el punto donde se encuentra el puesto de control respecto al punto de bombeo, en metros columna de agua.

La máxima pérdida permisible por metro de distancia al punto de bombeo por escenario de incendio para cumplir con el mínimo en el punto será:

$$\text{Pendiente hidráulica} \left[\frac{\text{mca}}{\text{m}} \right] = \quad (47)$$

$$\frac{\text{Presión disponible conexión RCI} - \text{Presión mínima en puesto de control}}{L}$$

Donde:

L: es la distancia desde el punto de bombeo hasta el punto de control de cada sector de incendio en metros (extraídos de la **Tabla 34**)

Se calculan los parámetros indicados para los 53 sectores de incendio:

Sector incendio	Presión que ejerce la bomba (m.c.a)	Presión en la brida descarga (m.c.a)	Pérdidas en los circuitos (m.c.a)	Presión disponible conexión RCI (m.c.a)	Pendiente hidráulica (mca/m)
1	97.11	96.93	0.48	93.78	0.011
2	98.24	98.15	0.38	95.01	0.015
3	98.91	98.85	0.33	95.72	0.015
4	99.65	99.63	0.29	96.51	0.016
5	98.68	98.62	0.35	95.49	0.015
6	96.99	96.79	0.50	93.64	0.016
7	97.23	97.06	0.47	93.91	0.023
8	97.14	96.96	0.48	93.81	0.023
9	98.23	98.13	0.38	95.00	0.034
10	98.01	97.90	0.40	94.76	0.034
11	97.95	97.84	0.40	94.70	0.037
12	98.58	98.51	0.35	95.38	0.072

13	99.15	99.11	0.32	95.98	0.056
14	98.77	98.71	0.34	95.58	0.138
15	99.16	99.12	0.32	95.99	0.059
16	98.06	97.96	0.39	94.82	0.089
17	98.83	98.77	0.34	95.64	0.078
18	97.89	97.77	0.41	94.63	0.057
19	99.98	99.97	0.28	96.85	0.065
20	99.30	99.26	0.31	96.14	0.059
21	97.34	97.18	0.46	94.03	0.029
22	99.76	99.74	0.29	96.62	0.058
23	99.76	99.74	0.29	96.62	0.058
24	98.83	98.77	0.34	95.64	0.130
25	99.98	99.97	0.28	96.85	0.118
26	99.32	99.29	0.31	96.16	0.115
27	96.26	95.99	0.58	92.83	0.074
28	90.37	89.25	1.56	85.96	0.046
29	95.36	94.99	0.70	91.81	0.079
30	95.58	95.24	0.67	92.07	0.070
31	97.57	97.43	0.44	94.28	0.096
32	99.34	99.31	0.31	96.19	0.030
33	98.51	98.43	0.36	95.30	0.032
34	99.20	99.16	0.32	96.03	0.048
35	98.53	98.45	0.36	95.32	0.053
36	99.98	99.97	0.28	96.85	0.049
37	98.11	98.00	0.39	94.87	0.035
38	99.23	99.19	0.31	96.06	0.030
39	99.06	99.01	0.32	95.88	0.026
40	98.92	98.87	0.33	95.74	0.027
41	99.40	99.37	0.30	96.25	0.033
42	98.75	98.69	0.34	95.56	0.034
43	98.73	98.67	0.34	95.53	0.030
44	99.53	99.50	0.30	96.38	0.044
45	99.36	99.32	0.31	96.20	0.040
46	98.47	98.39	0.36	95.25	0.025
47	98.63	98.56	0.35	95.43	0.026
48	99.04	98.99	0.32	95.86	0.031
49	98.86	98.80	0.34	95.68	0.039
50	94.76	94.32	0.78	91.13	0.048
51	98.15	98.05	0.39	94.91	0.047
52	98.42	98.34	0.37	95.20	0.053
53	99.98	99.97	0.28	96.85	0.052

Tabla 37: Presiones disponibles en diferentes puntos del sistema de bombeo.

El escenario de incendio del sector 1 es el que presenta la pendiente hidráulica más crítica, es decir, es el sector que tiene la pendiente hidráulica más pequeña lo que implica que es el sector que admite el menor número de pérdidas de carga por metro de bombeo y requerirá el mayor diámetro de todos los sectores.

Se calcula con la ecuación de las pérdidas de carga por fricción de Hazen-Williams el diámetro que se necesitará para que la pendiente hidráulica del escenario más desfavorable coincida con las pérdidas por fricción para un diámetro que se dimensionará. Se reorganiza la ecuación (14):

$$d [m] = \sqrt[4,8704]{\frac{4,52 * Q^{1,852}}{C^{1,852} * Pendiente\ hidráulica}} \quad (48)$$

Donde:

D: es el diámetro mínimo requerido en metros de la tubería.

Q: es el caudal en m³/s del escenario de incendio.

C: es el coeficiente de rugosidad de la tubería, con valor 120 para tubería de acero.

Pendiente hidráulica: son las pérdidas mínimas permitidas en metros columna de agua por metro en el escenario de incendio.

Se calcula el diámetro mínimo a instalar como:

$$d = \sqrt[4,8704]{\frac{4,52 * 0,23^{1,852}}{120^{1,852} * 0,011}} = 0,318\ m = 318\ mm$$

Por lo que se seleccionará para la red general contra incendios una tubería tamaño **DN 400 Schedule 10, con diámetro exterior de 406,4 mm y diámetro interno de 393,7 mm** [33]. Esta tubería es una categoría de diámetro nominal mayor a lo mínimo calculado pero por seguridad se decide instalar una tubería general de mayor diámetro para poder garantizar con seguridad las presiones mínimas en todos los puntos de la red, puesto que con diámetros más pequeños (el DN 350 es el primer diámetro normalizado con un espesor que cumple con el diámetro interno mínimo) para caudales altos cumple muy justo los requisitos de presión o no cumple en otros escenarios ni con 3 bombas a la vez. Mallando toda la red para que todos los puntos ante fallo de una de las

conducciones principales se puedan alimentar por otra vía requiere de **8900 metros de tubería** aproximadamente a falta de un análisis más en detalle de las distancias relativas entre las conexiones y nudos y su disposición en planta.

Con la tubería de la RCI seleccionada, se puede calcular las presiones que se tendrán en cada uno de los puestos de control de cada uno de los sectores de incendio, teniendo en cuenta las pérdidas por fricción en la tubería y las pérdidas localizadas en forma de número de codos (simulando con codos las pérdidas esperadas en las uniones en los cruces) que se encuentran en el camino del agua hasta llegar al punto de bombeo. Las pérdidas corridas al atravesar las válvulas de seccionamiento situadas a lo largo de planta no se tendrán en consideración puesto que son insignificantes en comparación, exige la normativa una válvula de seccionamiento por cada 4 puestos de control [29], en la práctica la pérdidas localizadas pueden despreciarse cuando entre dos puntos donde se ocurran dichas pérdidas estén separados unos 1000 diámetros entre ellos [13], para el diámetro de 400 mm de la RCI esto implica una distancia de 400 metros lo cual se cumple en mayor o menor medida a lo largo de planta debido a las grandes áreas a cubrir, además en los cálculos de presiones disponibles el factor presión dinámica no se está teniendo en cuenta (las presiones totales en los puntos serán mayores al fluir agua) por seguridad, con el fin de garantizar las condiciones de bombeo con cierto margen de seguridad.

Se calculan por lo tanto las presiones disponibles en cada punto de consumo de la RCI con la información de la **Tabla 34** y la ecuación siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Presión en puesto [m.c.a]} = & \hspace{15em} (49) \\ \text{Presión disponible en conexión a RCI} - Z_{\text{Puesto}} - h_{\text{fricción}} - h_{\text{localizadas}} \end{aligned}$$

Donde:

Presión disponible en conexión a RCI: será la presión en m.c.a para cada escenario de incendio.

$h_{\text{fricción}}$: son las pérdidas por fricción hasta el puesto de control desde bombeo en metros columna de agua (ecuación (14))

$h_{\text{localizadas}}$: son las pérdidas en m.c.a en los codos que atravesará el agua hasta llegar al punto de final desde bombeo.

Z_{puesto} : es la elevación que presenta el punto donde se encuentra el puesto de control respecto al punto de bombeo, en metros columna de agua.

Como ejemplo se calcula la presión disponible en el puesto de control del sector 1:

- Presión disponible en la conexión a RCI (Tabla 37) = 93,78 m.c.a.
- Diámetro interno de la tubería de la RCI = 393,7 mm.
- Distancia hasta puesto de control desde bombeo (Tabla 34) = 1534 m.
- Número de codos que atravesará el agua (Tabla 34) = 4.
- Elevación de punto del puesto de control respecto (Tabla 34) = 2 metros.
- Caudal máx de agua del sector 1 (Tabla 34) = 0,23 m³/s.

Las pérdidas de fricción y localizadas se calcularán con las ecuaciones (14) y (15):

$$h_{fricción} = \frac{10.67 * 0,23^{1.852}}{120^{1.852} * 0,393^{4.8704}} * 1534 = 14,52 \text{ m. c. a}$$

Con suposición de codos de radio normal y 90° (K=0,75):

$$h_{localizadas} = 4 * 0,75 * \frac{\left(\frac{0,23}{\frac{\pi}{4} * 0,393^2}\right)^2}{2 * 9,81} = 0,54 \text{ m. c. a}$$

Introduciendo los valores en la ecuación (49):

$$Presión \text{ puesto de control} = 93,78 - 14,52 - 0,54 - 2 = 76,72 \text{ m. c. a}$$

Se calcula para todos los sectores:

Sector incendio	Presión disponible puesto de control (m.c.a)	Presión en consumo con 3 bombas (m.c.a)
1	76.69	
2	86.49	
3	89.83	
4	92.86	
5	88.77	

6	80.81	
7	85.67	
8	85.26	
9	90.97	
10	90.28	
11	90.49	
12	93.25	
13	94.08	
14	94.00	
15	94.09	
16	92.53	
17	93.77	
18	91.36	
19	95.61	
20	94.41	
21	87.30	
22	95.20	
23	95.21	
24	94.11	
25	95.71	
26	94.79	
27	88.18	
28	71.22	75.17
29	87.14	
30	87.19	
31	92.54	
32	94.70	
33	92.43	
34	94.94	
35	92.62	
36	95.52	
37	90.63	
38	93.48	
39	92.78	
40	92.39	
41	94.07	
42	92.39	
43	92.08	
44	94.60	
45	94.19	
46	90.70	
47	91.43	
48	93.04	
49	92.93	
50	82.70	

51	91.49	
52	92.45	
53	95.53	

Tabla 38: Presiones disponibles en los puestos de control de cada sector de incendio.

Donde se puede observar que el escenario de incendio del sector 28, requiere del funcionamiento de tres bombas simultáneamente bombeando cada una un tercio del caudal de agua total del escenario, para poder cumplir con las condiciones mínimas de presión estática en el puesto de control del campo de esferas. Este escenario es el más crítico debido a la gran cantidad de caudal necesaria para la refrigeración de todas las esferas afectadas por la esfera 705.

Una alternativa del diseño de la RCI sería el instalar en el tramo desde bombeo hasta el puesto de bombeo desde donde derivan los sistemas de las esferas un diámetro mayor al diámetro general escogido para la RCI y conseguir que con el funcionamiento de solo dos bombas se consiga la presión mínima requerida. Aumentar el diámetro de toda la RCI de refinería aumentaría en gran medida el coste de las tuberías, ya que al aumentar los diámetros aumenta el precio de las tuberías por metro de esta, y la cantidad de metros a comprar para mallar y cubrir todo el área de tanques llegando a todos los tanques es muy alto (en torno a 8900 metros) por lo que en ese caso es más rentable simplemente el instalar un cuarto grupo de bombeo e instalar un diámetro más pequeño como el que se ha dimensionado.

Por ejemplo con el fin de tener un valor orientativo de cuánto costaría de más mallar toda la red con un diámetro superior, comparemos el precio de mallar con el diámetro de DN 400 Sch 10 y con su diámetro inmediatamente superior DN 450 Sch 10. Los kilos de acero por metro de tubería según el catálogo de tuberías para la DN 400 y la DN 450 es de 62,64 kg/m y 70,6 kg/m respectivamente [33], que supone una diferencia de 7,96 kg/m y esto se traduce en un total de 70844 kg de acero extra con el diámetro superior 450 mm, que para un precio orientativo del acero al carbono de 600 euros/tonelada (precios medios de producción de acero al carbono en europa) [38] se traduce en **42506 euros extra** suponiendo precios de instalación y derivados iguales para ambos.

Como se verá en el “*Anexo H: Simulación en EPANET*”, será necesario aumentar el diámetro general de 400 mm a un diámetro de 450 mm para garantizar las presiones en el peor escenario (incendio de la esfera 705) en caso de fallo del tramo más directo de bombeo a dicho escenario

El cuarto grupo de bombeo dota al sistema de una mayor flexibilidad y margen de seguridad en garantizar las condiciones de bombeo para cualquier escenario, por lo que justifica su instalación. Cabe destacar que las presiones calculadas en este proyecto no dejan de ser escenarios ideales donde todo es acorde a lo estipulado en el análisis, y en la práctica debido a defectos en el material, error en la instalación u otros las pérdidas pueden ser mayores. Con el cuarto grupo de bombeo se consigue solventar esa incertidumbre y a la vez tener siempre otra bomba en reserva.

Con las presiones disponibles en cada escenario de incendio en el punto de conexionado a los sistemas de contra incendios, se dimensionará en los siguientes apartados las canalizaciones derivadas a los diferentes sistemas de agua pulverizada y espuma para cada sector de incendio.

Resumen

El diámetro principal de la canalización de la RCI será de 400 mm de espesor STD (Sch 30), con una longitud de tuberías total de 8900 metros.

La única excepción en el diámetro constante en la RCI, es en el anillo formado por el tramo más directo de bombeo y el más largo al escenario de incendio de la esfera 705, para mayor información al respecto consultar el “*Anexo H: Simulación en EPANET*”.

Las presiones disponibles en los puntos de conexionado de los sistemas de bombeo a la RCI con el diámetro seleccionado se pueden ver en un valor orientativo en la **Tabla 38**, donde se muestran para el funcionamiento con dos bombas funcionando y en casos excepcionales con 3 bombas funcionando.

Anexo E: Sistemas de agua pulverizada

Introducción

A continuación se dimensionarán los sistemas de agua pulverizada. Estos sistemas como se ha comentado en apartados previos se instalarán en los tanques que almacenan productos de clase A, B y C.

En el diseño de estos sistemas el diseño de los sistemas de los tanques de cuerpo cilíndrico, que son los que almacenan productos de clase B y C se realiza con la colocación de un anillo que envuelve la parte alta del tanque y desde las boquillas localizadas en dicho anillo descargarán en la superficie del tanque, deslizándose el agua por sus paredes hasta su base. Las partes del sistema de agua pulverizada para estos tanques se pueden dividir en tres etapas:

- Boquillas
- Conducción desde puesto de control a parte alta del tanque
- Anillos y cuartos de anillo

Además, en los tanques cuyo escenario de incendio afecte a más de un tanque, como se ha comentado, en esos tanques afectados se instalarán cuartos de anillos con el fin de evitar la propagación del incendio. Cuando el tanque que afecte a los demás se incendie se deberán activar el anillo principal del incendiado y de los afectados (sus $\frac{1}{4}$ de anillo) por lo que estos tramos de canalización conjunta también se tendrán en cuenta. La activación automática de estos sistemas debe descargar agua por las boquillas en los 30 segundos siguientes al funcionamiento del sistema [39].

Las esferas se dimensionarán de modo muy similar pero con una puntualización debido a su diseño, las esferas no sólo cuentan con un anillo principal en su parte alta, si no que cuentan con diversos anillos concéntricos al eje vertical de simetría del tanque (perpendicular al suelo) que consiguen mojar toda su superficie. Esto es necesario debido a la forma constructiva de las esferas, y aunque el agua tiende a deslizarse a lo

largo de la superficie mojando toda ella en su descenso, el cuerpo esférico requiere de ángulos ataques diferentes con el fin de garantizar el mojar toda su superficie.

Boquillas de agua pulverizada

El primer paso es la selección del tipo de boquillas que se seleccionarán y el número de estas. Se seleccionan las boquillas pulverizadoras de la **empresa VIKING, modelo E**. Estas boquillas son de **diseño abierto con un deflector externo**, estas boquillas al ser de diseño abierto implica que el anillo donde se localizaran todas las boquillas deberá ser “seco” (sin agua en el anillo), llenándose el anillo cuando los sistemas de detección detecten incendio en el tanque en cuestión. La base de la boquilla es de latón y **pueden recubrirse con un recubrimiento de níquel a toda la boquilla para que sea resistente a la corrosión** [40] que será el recubrimiento que se aplicará en esta instalación para hacerlos resistentes y compatibles con agua de mar.



Ilustración 37: Boquilla pulverizadora modelo E. Fuente: Catálogo de VIKING.

Se seleccionarán los diferentes parámetros que gobiernan el tipo de cobertura del cono de agua que proyectan las boquillas, parámetros como ángulo de instalación, ángulo de pulverización etc. La presión mínima y máxima de las boquillas modelo E son de **0,7 y 12 bar** respectivamente, con un tamaño de **rosca de 15 mm**[40].

La normativa aplicable al diseño de sistemas de agua pulverizada, la UNE 23503:1989 “*Sistemas de agua pulverizada. Diseño e instalaciones*” indica los siguientes requisitos del apartado boquillas:

-
- La separación entre boquillas no será superior a 3,5 metros.
 - Los haces (de agua pulverizada) de un mismo anillo deben coincidir sobre la superficie del tanque.
 - Las superficies por debajo del ecuador de los depósitos esféricos o cilíndricos que no se mojen por el agua de escurrido, deberán protegerse por boquillas independientes.
 - Si, existen salientes (soportes, bridas etc...) que obstruyan la llegada del agua pulverizada, incluyendo pérdidas y el escurrimiento sobre las superficies verticales, se instalaran boquillas adicionales a su alrededor para mantener el tipo de humidificación.
 - Las boquillas deben situarse de tal manera que garanticen una correcta cobertura del área protegida.
 - Tener en cuenta el efecto del viento y del tiro del fuego sobre las gotas pequeñas o muy grandes pero con poca velocidad, pues limitarían la distancia entre la boquilla y la pared.

Aunque su localización será en las tuberías que albergan las boquillas, en estas deben existir filtros que eliminen todos los sólidos de tamaño capaz de obstruir las boquillas pulverizadoras (normalmente orificios de 3 mm). No deben reducir apreciablemente la presión en el tubo.

Si son necesarios los filtros individuales en las boquillas deberán poder eliminar todos los sólidos que la pudieran obstruir. Se deberán instalar filtros individuales en cada boquilla cuando sus toberas sean menores a 3 mm [39].

El fabricante VIKING recomienda los siguientes criterios de diseño en la ficha técnica de las boquillas para la colocación de las boquillas[40]:

-
- Limitar la separación de las boquillas a un máximo de 3,6 metros para aplicaciones interiores y 3 metros para exteriores.
 - Cuando se usen las boquillas de pulverización VIKING modelo E para proteger depósitos deben colocarse perpendicularmente a la superficie a proteger a una distancia aproximada de 0,6 metros.
 - Para ángulos de montaje distintos de 0° (vertical descendente) la presión de trabajo debe estar entre 1,4 y 4,1 bar.

Siguiendo estas recomendaciones del fabricante garantizamos una protección más eficaz y reduce los efectos del viento y las corrientes de aire sobre la forma de descarga [40]. Ante presiones mayores o menores de las indicadas por el fabricante, el perfil cónico del agua pulverizada no es el adecuado y por tanto ocurren problemas de cobertura o del total de agua proyectada.

Primero se definirán las variables de situación de las boquillas, como se observa en la figura **Ilustración 387**, si las boquillas se instalan perpendicularmente a la pared de los tanques a proteger, en el caso de los tanques de forma cilíndrica este ángulo será de 90° respecto a la vertical en todos ellos, como se ha comentado, en el caso de las esferas varía, debido a que el ángulo variará en función a su posición relativa en la esfera con el fin de conseguir que la boquilla sea perpendicular al plano de protección.

La distancia axial, será la distancia de la boquilla respecto a la pared del tanque, que el fabricante recomienda una distancia de 0,6 m. Esta distancia axial condiciona el ángulo de proyección del agua de la boquilla, que junto a la separación de las boquillas en el propio anillo (fabricante recomienda máximo 3 metros entre ellas), se deberá buscar que el valor de la distancia radial sea igual o mayor a la separación entre boquillas para garantizar la cobertura entre ellas y no dejar áreas de la pared del tanque sin mojar.

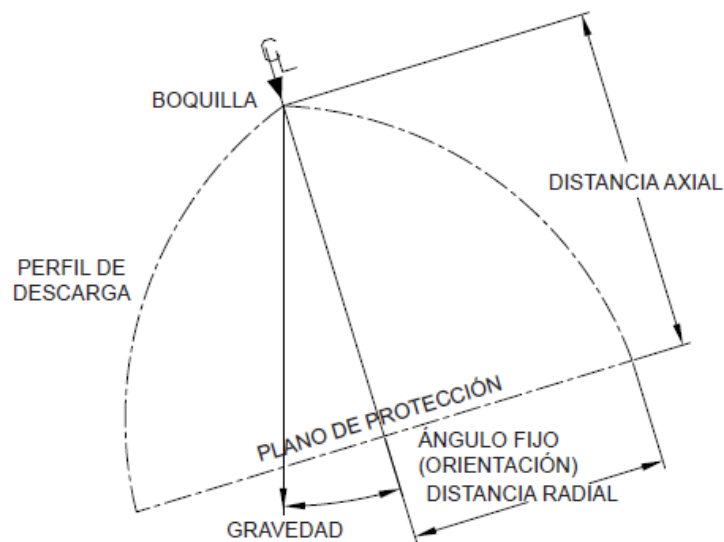


Ilustración 38: Perfil de descarga de la boquilla modelo E. Fuente:[40].

Por lo que para una separación de la pared del tanque respecto a la pared de este de 0,6 metros, el ángulo de proyección necesario en la boquilla para garantizar que las boquillas se cubren entre ellas en el anillo será:

- Distancia axial: 0,6 metros.
- Angulo fijo: 90° (Tanques de cuerpo cilíndrico).
- Distancia entre boquillas: 3 metros → Distancia radial mínima necesaria: 1,5 metros

Mirando en las figuras proporcionadas por el fabricante (**Ilustración 397**) y los ángulos de pulverización que cumplen con la condición de 1,5 metros de cobertura radial para la separación de 0,6 metros respecto a la pared del tanque, son los ángulos de pulverización de **180 °** y **160 °**. En caso de que las boquillas de pulverización para los ángulos de pulverización indicados no cumplan, con la condición de cobertura radial de 1,5 metros, se puede reducir el ángulo de pulverización a **140°** por ejemplo y reducir el distanciamiento entre las boquillas a **2,5 metros** (incrementando el número de boquillas).

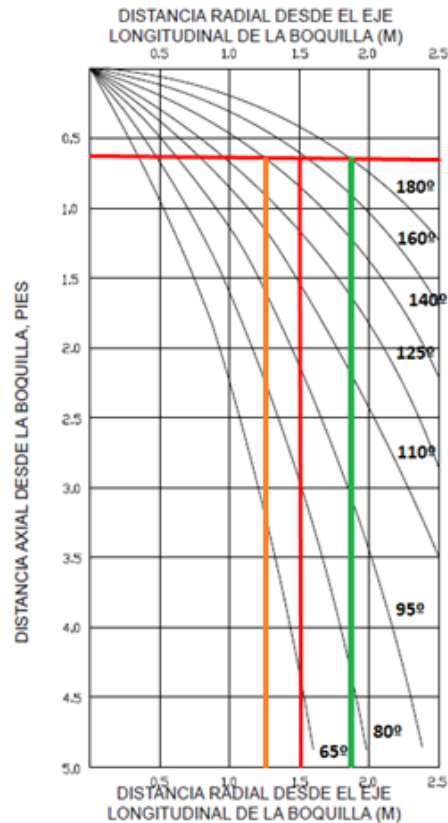


Ilustración 39: Distancias radiales y axiales modelo E. Fuente:[40].

El proceso de cálculo por lo tanto, será en una primera iteración el calcular el número de boquillas para el ángulo de pulverización de 160° , pues es el mínimo que cumple con la condición de la separación máxima de 3 metros entre boquillas. Se calcularán a partir de ahí el número de boquillas en función del anillo con longitud igual a una circunferencia del radio del tanque más una separación de 0,6 metros y un ángulo de instalación respecto a la pared del tanque de 90° para los tanques de cuerpo cilíndrico (las esferas se calcularán por separado) y sus factores de descarga K necesarios para descargar el caudal requerido mínimo. Si no cumplen las separaciones máximas permisibles para la primera suposición se reducirá el ángulo de pulverización y su distanciamiento entre boquillas.

Los límites de separación de la pared del tanque (distancia axial) en función del ángulo de pulverización radial para los tanques cilíndricos instalados en un ángulo de 90° son los siguientes:

DISTANCIA AXIAL MÁXIMA PARA UN ÁNGULO DE PULVERIZACIÓN DE 140° EN PIES Y PULGADAS								DISTANCIA AXIAL MÁXIMA PARA UN ÁNGULO DE PULVERIZACIÓN DE 160° EN PIES Y PULGADAS							
ÁNGULO FLUJO	FACTOR K							ÁNGULO FLUJO	FACTOR K						
	17.3	25.9	33.1	46.1	59.0	80.6	103.7		17.3	25.9	33.1	46.1	59.0	80.6	103.7
0°	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	0°	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
30°	1,1	1,2	1,4	1,5	1,7	1,7	1,8	30°	4,3	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5
45°	1,0	1,1	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	45°	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,1	1,2
60°	0,7	0,7	0,8	1,1	1,2	1,3	1,4	60°	0,6	0,6	0,6	0,8	0,9	1,0	1,0
90°	0,6	0,6	0,8	0,9	1,1	1,1	1,2	90°	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9
120°	0,5	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	120°	NR	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
135°	0,5	0,5	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	135°	NR	NR	0,3	0,5	0,5	0,5	0,6
150°	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	150°	NR	NR	NR	0,3	0,4	0,5	0,5
180°	0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	180°	NR	NR	NR	0,3	0,3	0,4	0,5

DISTANCIA AXIAL MÁXIMA PARA UN ÁNGULO DE PULVERIZACIÓN DE 180° EN PIES Y PULGADAS							
ÁNGULO FLUJO	FACTOR K						
	17.3	25.9	33.1	46.1	59.0	80.6	103.7
0°	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
30°	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9
45°	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8
60°	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8
90°	NR	NR	0,3	0,3	0,5	0,5	0,7
120°	NR	NR	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
135°	NR	NR	NR	0,3	0,3	0,4	0,5
150°	NR	NR	NR	NR	0,3	0,4	0,4
180°	NR	NR	NR	NR	NR	0,3	0,3

Ilustración 40: Distancias axiales máximas en metros y ángulos de pulverización de 140°,160° y 180° modelo E. Fuente: Catálogo modelo E de VIKING [40].

Donde se puede observar que el ángulo de 140° cumple con la separación axial de 0,6 metros para todos los factores de descarga K y en los de 160° y 180° no todos los coeficientes de descarga cumplen con la condición de separación de 0,6 metros, por lo que en esos casos se reducirá el ángulo de pulverización a 140 y la separación entre boquillas pasará de 3 metros a 2,5 metros.

El número de boquillas en función de la longitud de la circunferencia del anillo con separación de 0,6 metros de la pared del tanque será:

$$Longitud\ de\ la\ circunferencia\ [m] = \pi * (D + 1,2) \tag{50}$$

Donde:

D: es el diámetro del tanque incendiado en metros (extraídos de la **Tabla 1**)

Se calcularán el número de boquillas en función de la separación de las boquillas:

$$N^{\circ} \text{ Boquillas} = \frac{\text{Longitud de la circunferencia}}{\text{Separación boquillas}} \quad (51)$$

Donde:

Separación boquillas: será función del ángulo de pulverización para una separación de la cara externa del tanque de 0,6 metros y ángulo fijo de instalación de 90° (sólo en el caso de tanques de cuerpo cilíndrico).

El número de boquillas se redondeará al número entero inmediatamente superior que se obtenga de la ecuación anterior y además en caso de que este número sea impar, se le sumará una boquilla más para hacerlo par. El hacer par el número de boquillas es por cómo se distribuirá el anillo, el cual no dará la vuelta a todo el tanque con un tubo continuo con las boquillas, si no, que se bifurcará en dos tubos que envolverán la circunferencia del tanque cada uno de ellos por un lado del tanque.

Con la longitud de la circunferencia y el caudal de refrigeración/enfriamiento necesario en el tanque incendiado (Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 13):

$$\text{Caudal por boquillas} \left[\frac{l}{min} \right] = \frac{\text{Caudal enfriamiento}}{N^{\circ} \text{ Boquillas}} \quad (52)$$

La descarga de caudal de las boquillas, sigue la siguiente relación:

$$\text{Caudal por boquilla} \left[\frac{l}{min} \right] = K * \sqrt{P} \quad (53)$$

Donde:

K: es el coeficiente de descarga de la boquilla, es un coeficiente adimensional.

P: es la presión de descarga en la boca de la boquilla en bar.

Se despejará el factor adimensional K de la boquilla en función de la presión de descarga mínima de la boquilla, la cual según el fabricante debe estar entre 1,4 y 4,1 bar [40], para que este dentro del rango de trabajo adecuado de funcionamiento. Los modelos de boquilla a pedir son función del ángulo de pulverización y los valores de K.

Modelo	Ángulo de pulverización
VK810	65°
VK811	80°

VK812	95°
VK813	110°
VK814	125°
VK815	140°
VK816	160°
VK817	180°

Tabla 39: Modelos de dispersor del modelo E de las boquillas. Fuente: Catálogo VIKING modelo E [40].

Boquillas de los anillos principales

Se calcula las boquillas necesarias de los anillos principales de los tanques incendiados. Por ejemplo se calculará y mostrará el proceso de selección para el anillo de refrigeración del tanque 3702:

Parámetros fijos:

- Diámetro del tanque = 86,86 metros.
- Caudal de enfriamiento = 4093,18 l/min.
- Distancia axial = 0,6 metros.

Parámetros variables:

- Separación inicial entre boquillas = 3 metros.
- Angulo de pulverización inicial = 160°.

Empleando la ecuación (50) se calcula la longitud de la circunferencia del anillo que rodeará el tanque:

$$\text{Longitud anillo [m]} = \pi * (86,86 + 1,2) = 276,65 \text{ metros}$$

Se calculan a continuación el número de boquillas para la separación inicial entre boquillas de 3 metros (ecuación (51)):

$$N^{\circ} \text{ boquillas} = \frac{276,65}{3} = 92,216 \approx 93 + 1 = 94 \text{ boquillas}$$

El caudal por boquillas será (ecuación (52)):

$$Caudal\ por\ boquilla = 43,54\ l/min$$

El factor de descarga K de la boquilla necesario para la presión mínima disponible de 1,4 bar (ecuación (53)):

$$K = \frac{43,54}{\sqrt{1,4}} = 36,80$$

Los valores de K (métricos) disponibles en el catálogo de VIKING están limitados a los que este dispone. De todas formas, para el valor máximo de K que puede tomar de 36,80, el factor K disponible más cercano que cumple con la condición de funcionamiento es el factor K = 33,1, pero como se había mostrado en la **Ilustración 408**, para un ángulo de pulverización de 160°, la distancia axial máxima permitida para el factor K de 33,1 es de 0,5 metros. Por lo que se deberá reducir la separación de las boquillas a 2,5 metros y un ángulo de pulverización de 140°.

$$N^{\circ}\ boquillas = \frac{276,65}{2,5} = 110,66 \approx 111 + 1 = 112\ boquillas$$

El caudal por boquilla y la K necesaria serán:

$$Caudal\ por\ boquilla = \frac{4093,18}{112} = 36,55\ l/min$$

$$K = \frac{36,55}{\sqrt{1,4}} = 30,88$$

Donde el coeficiente K de descarga que disponible menor a lo obtenido es el factor **K = 25,9**. Una vez se selecciona el coeficiente K de la boquilla calculamos la presión necesaria en la entrada de la boquilla para descargar el caudal necesario por boquilla, usando la ecuación (53):

$$\text{Presión necesaria en boquilla [bar]} = \left(\frac{\text{Caudal por boquilla}}{K_{\text{escogido}}} \right)^2 = 1,99 \text{ bar}$$

Lo cual está dentro del rango de funcionamiento adecuado entre 1,4 y 4,1 bar indicado por el fabricante.

Se calcula de la misma manera el resto de boquillas en los anillos principales. Primero el número de boquillas a instalar y el caudal de cada una:

Tanque incendio	Tipo	Caudal refrigeración (l/min)	Longitud circunferencia + separación (m)	Nº Boquillas	Q Boquillas (l/min)
3702	Techo Flotante	4093.18	276.65	112	36.55
3703	Techo Flotante	4093.18	276.65	112	36.55
1401	Techo Fijo	1579.59	109.08	44	35.90
1400	Techo Fijo	789.98	56.44	24	32.92
1403	Techo Fijo	445.27	33.45	14	31.81
1404	Techo Fijo	445.27	33.45	14	31.81
1402	Techo Fijo	1249.25	87.05	36	34.70
755	Techo Flotante	3791.59	256.54	104	36.46
756	Techo Flotante	4170.46	281.80	114	36.58
3700	Techo Flotante	3873.58	262.01	106	36.54
3701	Techo Flotante	4344.82	293.42	118	36.82
750	Techo Flotante	3791.59	256.54	104	36.46
751	Techo Flotante	3791.59	256.54	104	36.46
752	Techo Flotante	3791.59	256.54	104	36.46
702	Techo Flotante	3180.86	215.83	88	36.15
703	Techo Flotante	3180.86	215.83	88	36.15
701	Techo Flotante	2299.65	157.08	64	35.93
760	Techo Flotante	1938.68	133.02	54	35.90
700	Techo Flotante	3251.55	220.54	90	36.13
763	Techo Fijo	1837.83	126.29	52	35.34
737	Techo Flotante	3180.86	215.83	88	36.15
764	Techo Fijo	1837.83	126.29	52	35.34
727	Techo Fijo	3251.55	220.54	90	36.13
1270	Techo Flotante	517.42	38.26	16	32.34
1271	Techo Flotante	508.94	37.70	16	31.81
731 A	Techo Fijo	1065.00	74.77	30	35.50
731 B	Techo Fijo	1065.00	74.77	30	35.50

732	Techo Flotante	1065.00	74.77	30	35.50
704	Esfera	6696.62	49.64	50	133.93
705	Esfera	6696.62	49.64	50	133.93
736	Esfera	8866.83	56.55	54	164.20
748	Esfera	8919.69	56.71	52	171.53
761	Esfera	8919.69	56.71	52	171.53
706	Techo Flotante	424.12	32.04	14	30.29
708	Techo Fijo	358.14	27.65	12	29.85
712	Techo Flotante	447.68	33.62	14	31.98
719	Techo Flotante	532.50	39.27	16	33.28
720	Techo Flotante	532.50	39.27	16	33.28
745	Techo Flotante	1077.25	75.59	32	33.66
711	Techo Flotante	1932.08	132.58	54	35.78
724	Techo Fijo	631.46	45.87	20	31.57
726	Techo Fijo	631.46	45.87	20	31.57
739	Techo Fijo	1465.55	101.47	42	34.89
725	Techo Fijo	2356.19	160.85	66	35.70
723	Techo Fijo	2356.19	160.85	66	35.70
717	Techo Flotante	862.37	61.26	26	33.17
718	Techo Flotante	862.37	61.26	26	33.17
740	Techo Flotante	1235.12	86.11	36	34.31
741	Techo Flotante	1235.12	86.11	36	34.31
762	Techo Flotante	989.60	69.74	28	35.34
716	Techo Flotante	1555.09	107.44	44	35.34
713	Techo Flotante	1555.09	107.44	44	35.34
721	Techo Flotante	1234.65	86.08	36	34.30
743	Techo Flotante	1235.12	86.11	36	34.31
707	Techo Fijo	428.83	32.36	14	30.63
715	Techo Flotante	862.37	61.26	26	33.17
714	Techo Flotante	862.37	61.26	26	33.17
722	Techo Flotante	706.86	50.89	22	32.13
744	Techo Flotante	2642.71	179.95	72	36.70
746	Techo Flotante	1731.80	119.22	48	36.08
747	Techo Flotante	1724.73	118.75	48	35.93
738	Techo Fijo	1465.55	101.47	42	34.89
766	Esfera	18246.54	80.11	100	182.47
728	Techo Fijo	3251.55	220.54	90	36.13
729	Techo Fijo	2638.94	179.70	72	36.65

Tabla 40: Número de boquillas por tanque.

Y se calculan los valores de la K de las boquillas y la presión necesaria que se necesitará en la boquilla para cumplir con los caudales:

Tanque incendio	Modelo	Ángulo instalación (°)	D. axial (m)	K necesaria	K disponible	Presión necesaria (bar)
3702	VK815	90	0.6	30.89	25.9	1.99
3703	VK815	90	0.6	30.89	25.9	1.99
1401	VK815	90	0.6	30.34	25.9	1.92
1400	VK815	90	0.6	27.82	25.9	1.62
1403	VK815	90	0.6	26.88	25.9	1.51
1404	VK815	90	0.6	26.88	25.9	1.51
1402	VK815	90	0.6	29.33	25.9	1.80
755	VK815	90	0.6	30.81	25.9	1.98
756	VK815	90	0.6	30.92	25.9	2.00
3700	VK815	90	0.6	30.88	25.9	1.99
3701	VK815	90	0.6	31.12	25.9	2.02
750	VK815	90	0.6	30.81	25.9	1.98
751	VK815	90	0.6	30.81	25.9	1.98
752	VK815	90	0.6	30.81	25.9	1.98
702	VK815	90	0.6	30.55	25.9	1.95
703	VK815	90	0.6	30.55	25.9	1.95
701	VK815	90	0.6	30.37	25.9	1.92
760	VK815	90	0.6	30.34	25.9	1.92
700	VK815	90	0.6	30.53	25.9	1.95
763	VK815	90	0.6	29.87	25.9	1.86
737	VK815	90	0.6	30.55	25.9	1.95
764	VK815	90	0.6	29.87	25.9	1.86
727	VK815	90	0.6	30.53	25.9	1.95
1270	VK815	90	0.6	27.33	25.9	1.56
1271	VK815	90	0.6	26.88	25.9	1.51
731 A	VK815	90	0.6	30.00	25.9	1.88
731 B	VK815	90	0.6	30.00	25.9	1.88
732	VK815	90	0.6	30.00	25.9	1.88
704	VK816	Varía	0.6	113.19	103.7	1.67
705	VK816	Varía	0.6	113.19	103.7	1.67
736	VK816	Varía	0.6	138.77	103.7	2.51
748	VK816	Varía	0.6	139.60	103.7	2.74
761	VK816	Varía	0.6	139.60	103.7	2.74
706	VK815	90	0.6	25.60	17.3	3.07
708	VK815	90	0.6	25.22	17.3	2.98
712	VK815	90	0.6	27.03	25.9	1.52
719	VK815	90	0.6	28.13	25.9	1.65
720	VK815	90	0.6	28.13	25.9	1.65
745	VK815	90	0.6	28.45	25.9	1.69
711	VK815	90	0.6	30.24	25.9	1.91
724	VK815	90	0.6	26.68	25.9	1.49
726	VK815	90	0.6	26.68	25.9	1.49

739	VK815	90	0.6	29.49	25.9	1.82
725	VK815	90	0.6	30.17	25.9	1.90
723	VK815	90	0.6	30.17	25.9	1.90
717	VK815	90	0.6	28.03	25.9	1.64
718	VK815	90	0.6	28.03	25.9	1.64
740	VK815	90	0.6	29.00	25.9	1.75
741	VK815	90	0.6	29.00	25.9	1.75
762	VK815	90	0.6	29.87	25.9	1.86
716	VK815	90	0.6	29.87	25.9	1.86
713	VK815	90	0.6	29.87	25.9	1.86
721	VK815	90	0.6	28.99	25.9	1.75
743	VK815	90	0.6	29.00	25.9	1.75
707	VK815	90	0.6	25.89	17.3	3.13
715	VK815	90	0.6	28.03	25.9	1.64
714	VK815	90	0.6	28.03	25.9	1.64
722	VK815	90	0.6	27.15	25.9	1.54
744	VK815	90	0.6	31.02	25.9	2.01
746	VK815	90	0.6	30.49	25.9	1.94
747	VK815	90	0.6	30.37	25.9	1.92
738	VK815	90	0.6	29.49	25.9	1.82
766	VK817	Varía	0.7	154.21	103.7	3.10
728	VK815	90	0.6	30.53	25.9	1.95
729	VK815	90	0.6	30.98	25.9	2.00

Tabla 41: Modelos de boquilla y presiones necesarias.

En resumen, para los tanques de cuerpo cilíndrico (techo fijo y techo flotante) que cuentan con un sistema de anillo de pulverización de agua, como se puede observar todas las boquillas tendrán un ángulo de 140° de pulverización (VK815) y un ángulo de instalación respecto a la vertical de 90° (perpendicular a la pared del tanque). La separación de entre boquillas se puede obtener dividiendo la longitud del anillo por el número de boquillas, la separación máxima de cobertura para garantizar el solape de radios de influencia en el ángulo de pulverización de 140° es de 2,5 metros de separación entre boquillas (**Ilustración 387**), pero en realidad será menor ya que redondeamos el número de boquillas, garantizando la cobertura en toda la superficie del tanque, junto al deslizamiento del agua hacia abajo.

Tanques	Separación entre boquillas (m)	Tanques	Separación entre boquillas (m)
---------	--------------------------------	---------	--------------------------------

3702	2.47	706	2.29
3703	2.47	708	2.30
1401	2.48	712	2.40
1400	2.35	719	2.45
1403	2.39	720	2.45
1404	2.39	745	2.36
1402	2.42	711	2.46
755	2.47	724	2.29
756	2.47	726	2.29
3700	2.47	739	2.42
3701	2.49	725	2.44
750	2.47	723	2.44
751	2.47	717	2.36
752	2.47	718	2.36
702	2.45	740	2.39
703	2.45	741	2.39
701	2.45	762	2.49
760	2.46	716	2.44
700	2.45	713	2.44
763	2.43	721	2.39
737	2.45	743	2.39
764	2.43	707	2.31
727	2.45	715	2.36
1270	2.39	714	2.36
1271	2.36	722	2.31
731 A	2.49	744	2.50
731 B	2.49	746	2.48
732	2.49		

Tabla 42: Separación entre las boquillas en el anillo principal.

Las esferas y su número de boquillas se dimensionará en su correspondiente apartado (ver apartado “**Esferas**”), al igual que su conductos y relacionados, debido a que su forma constructiva y disposición de las boquillas varía de las de tanques de cuerpo cilíndrico.

Boquillas en los cuartos de anillos

En los cuartos de anillo, los cuales cubren un cuarto de la superficie del tanque adyacente afectado por el principal incendiado, el cálculo será similar pero en el inicio se

deberán hacer una serie de decisiones de diseño. Cada tanque puede verse afectado por diversos incendios de tanques, en el caso de grupos de tanques que comparten cubetos y cerca de estos otros tanques existen que también les afectan por ejemplo, el número de afecciones condicionará el número de cuartos de anillo a instalar.

De los escenarios que afectan a un tanque, como se ve en el apartado "**Demandas de agua y espumógeno**", depende de que tanque afecte al tanque, las necesidades de agua varían, es decir a un tanque le puede afectar dos escenarios con demandas de agua muy diferentes para cada escenario con el fin de evitar la expansión del incendio a este. Como decisión en este proyecto, con el fin de simplificar la instalación, diseño y seguridad, el número de cuartos de anillos que cada tanque necesite, el caudal de diseño será el del escenario más desfavorable, es decir, el escenario de incendio que afecte al tanque del cuarto de anillo y demande el mayor caudal de agua.

El proceso de cálculo es por lo tanto básicamente igual que para el caso del anillo principal pero con algunas diferencias. Se calculan los cuartos de anillo del tanque afectado 1400:

- Numero de afecciones = 2
- Le afectan el incendio de los tanques: 1401 y 1402.

Los tanques que le afectan (al 1400) ambos contienen productos clase B dentro de la normativa RD 2085/1994. Por lo que el caudal a adyacente sigue la misma categoría en ambos casos (ver **Tabla 9**).

El tanque 1400 es de techo fijo y el punto inflamación de su producto es menor a 21°C (ver **Tabla 14**) por lo que:

- Caudal unitario adyacente = 5 l/min/m²

Empleando la ecuación (26):

- 1/4 Superficie lateral tanque 1400 = 192,62 m².

Juntamos y multiplicando ambas y obtenemos un caudal con el que mojar la superficie lateral del tanque 1400 de **963,12 l/min.**

La longitud del anillo en arco del cuarto de la superficie lateral se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Longitud anillo } 1/4 \text{ [m]} = \frac{(D + \text{Separación} \cdot 2) \cdot \pi}{4} \quad (54)$$

Donde:

D: es el diámetro del depósito afectado en metros (**Tabla 1**).

Separación: de las boquillas respecto a la pared del tanque en metros.

Recomendado 0,6 metros por el fabricante.

Empleando la ecuación para el tanque 1400:

$$\text{Longitud anillo } \frac{1}{4} = \frac{(16,76 + 2 \cdot 0,6) \cdot \pi}{4} = 14,11 \text{ metros}$$

El proceso de cálculo a partir de este punto es exactamente igual al mostrado para el anillo principal. Se empieza con un ángulo de pulverización que tiene un radio axial de cobertura de 3 metros para 0,6 metros de separación de la pared del tanque y se observa si cumple con las limitaciones de las boquillas. Se utiliza la ecuación (51):

$$\text{N}^\circ \text{ boquillas} = \frac{14,11}{3} = 4,703 \approx 5$$

En este caso con solo redondear al número de boquillas inmediatamente superior al número obtenido de la ecuación anterior sirva, no hace falta que el número sea par como en el principal. Se emplean las ecuaciones (52) y (53) en ese orden:

$$\text{Caudal por boquilla} = \frac{963,12}{5} = 192,624 \text{ l/min}$$

$$K = \frac{192,624}{\sqrt{1,4}} = 162,8$$

El coeficiente de K inmediatamente inferior a lo obtenido es 103,7 y este valor de K cumple para la distancia de 0,6 metros del tanque a proteger para un ángulo de 90° (ver **Ilustración 408**). Se calcula la presión necesaria en la boquilla para dar el caudal por boquilla:

$$\text{Presión necesaria boquilla} = \left(\frac{192,624}{103,7} \right)^2 = 3,45 \text{ bar}$$

Con el fin de centrar el valor de la válvula en entre el valor óptimo de funcionamiento de 1,4 a 4,1 se reducirá la distancia entre las boquillas a 2,5 metros, recalculándose lo previo:

$$\text{Nº Boquillas} = \frac{14,11}{2,5} = 5,644 \approx 6 \text{ boquillas}$$

$$\text{Caudal por boquilla} = \frac{963,12}{6} = 160,52 \text{ l/min}$$

$$K = \frac{160,52}{\sqrt{1,4}} = 135,66$$

Para la K disponible de 103,7 para ángulo de pulverización de 160° con ese valor de K cumple la condición de 0,6 metros de separación.

$$\text{Presión necesaria boquilla} = \left(\frac{160,52}{103,7} \right)^2 = 2,4 \text{ bar}$$

Que es un valor más centrado en el rango de funcionamiento óptimo. Aunque este caso es singular debido a las pequeñas dimensiones del depósito y los altos caudales por boquilla requeridos.

De la misma manera se calculan el resto de boquillas de los tanques afectados por los incendios de sus vecinos:

Tanque afectado	Nº escenarios	1/4 Superficie Lateral (m ²)	1/4 Longitud anillo + 0,6 (m)	Máx caudal afección (l/min)	Nº boquillas por cuarto	Total boquillas
3702	1	1267.52	69.16	2535.04	24	24
3703	1	1267.52	69.16	2535.04	24	24
1400	2	192.62	14.11	963.12	6	12
1403	3	72.36	8.36	361.78	3	9
1404	3	72.36	8.36	361.78	3	9
1402	1	304.61	21.76	1523.05	9	9
755	1	1232.27	64.14	2464.53	22	22
756	1	1355.40	70.45	2710.80	24	24
3700	1	1258.91	65.50	2517.83	22	22
3701	1	1412.07	73.36	2824.13	25	25
701	1	559.58	39.27	1119.16	14	14
760	3	491.13	33.25	982.26	12	36
763	2	636.81	31.57	1910.43	11	22
737	1	874.74	53.96	1749.47	18	18
764	1	636.81	31.57	1910.43	11	11
727	2	894.18	55.13	2682.53	19	38
1270	1	94.69	9.57	284.06	4	4
1271	1	93.14	9.42	279.41	4	4
731 A	2	259.15	18.69	777.45	7	14
731 B	2	259.15	18.69	777.45	7	14
732	1	259.15	18.69	777.45	7	7
706	2	51.60	8.01	154.80	4	8
708	2	54.32	6.91	108.64	3	6
712	2	67.90	8.40	203.69	3	6
719	3	97.62	9.82	292.87	4	12
720	2	97.62	9.82	292.87	4	8
745	2	263.03	18.90	789.09	7	14
711	1	470.14	33.14	940.28	12	12
724	4	153.66	11.47	460.97	4	16
726	4	153.66	11.47	460.97	4	16
739	3	356.62	25.37	1069.85	9	27
725	1	573.34	40.21	1720.02	14	14
723	1	573.34	40.21	1720.02	14	14
717	2	209.84	15.32	629.53	6	12
718	1	209.84	15.32	629.53	6	6
740	4	300.55	21.53	901.64	8	32
741	2	300.55	21.53	901.64	8	16
762	3	278.57	17.44	835.72	6	18
716	4	378.40	26.86	756.81	9	36
713	2	378.40	26.86	756.81	9	18
721	2	300.43	21.52	901.29	8	16

743	3	300.55	21.53	901.64	8	24
707	2	65.04	8.09	130.08	4	8
715	3	209.84	15.32	629.53	6	18
714	3	209.84	15.32	629.53	6	18
722	2	150.80	12.72	452.39	5	10
744	1	643.06	44.99	1286.12	15	15
746	2	475.09	29.81	950.18	10	20
747	1	588.13	29.69	1176.27	10	10
738	4	356.62	25.37	1069.85	9	36
728	1	894.18	55.13	2682.53	19	19
729	1	642.14	44.92	1926.42	15	15

Tabla 43: Número de boquillas en los cuartos de anillo.

Y los sub-modelos elegidos del modelo E del fabricante VIKING y sus valores del coeficiente de descarga:

Tanque afectado	Modelo	Caudal por boquilla (l/min)	K Necesaria	K Disponible	Presión necesaria (bar)
3702	VK816	105.63	89.27	80.6	1.72
3703	VK816	105.63	89.27	80.6	1.72
1400	VK816	160.52	135.66	103.7	2.40
1403	VK816	120.59	101.92	80.6	2.24
1404	VK816	120.59	101.92	80.6	2.24
1402	VK816	169.23	143.02	103.7	2.66
755	VK816	112.02	94.68	80.6	1.93
756	VK816	112.95	95.46	80.6	1.96
3700	VK816	114.45	96.73	80.6	2.02
3701	VK816	112.97	95.47	80.6	1.96
701	VK816	79.94	67.56	59	1.84
760	VK816	81.86	69.18	59	1.92
763	VK816	173.68	146.78	103.7	2.80
737	VK816	97.19	82.14	80.6	1.45
764	VK816	173.68	146.78	103.7	2.80
727	VK816	141.19	119.32	103.7	1.85
1270	VK816	71.02	60.02	59	1.45
1271	VK816	69.85	59.04	59	1.40
731 A	VK816	111.06	93.87	80.6	1.90
731 B	VK816	111.06	93.87	80.6	1.90
732	VK816	111.06	93.87	80.6	1.90
706	VK815	38.70	32.71	25.9	2.23
708	VK815	36.21	30.60	25.9	1.95
712	VK816	67.90	57.38	46.1	2.17
719	VK816	73.22	61.88	59	1.54

720	VK816	73.22	61.88	59	1.54
745	VK816	112.73	95.27	80.6	1.96
711	VK816	78.36	66.22	59	1.76
724	VK816	115.24	97.40	80.6	2.04
726	VK816	115.24	97.40	80.6	2.04
739	VK816	118.87	100.47	80.6	2.18
725	VK816	122.86	103.83	80.6	2.32
723	VK816	122.86	103.83	80.6	2.32
717	VK816	104.92	88.67	80.6	1.69
718	VK816	104.92	88.67	80.6	1.69
740	VK816	112.70	95.25	80.6	1.96
741	VK816	112.70	95.25	80.6	1.96
762	VK816	139.29	117.72	103.7	1.80
716	VK816	84.09	71.07	59	2.03
713	VK816	84.09	71.07	59	2.03
721	VK816	112.66	95.22	80.6	1.95
743	VK816	112.70	95.25	80.6	1.96
707	VK815	32.52	27.48	25.9	1.58
715	VK816	104.92	88.67	80.6	1.69
714	VK816	104.92	88.67	80.6	1.69
722	VK816	90.48	76.47	59	2.35
744	VK816	85.74	72.46	59	2.11
746	VK816	95.02	80.31	59	2.59
747	VK816	117.63	99.41	80.6	2.13
738	VK816	118.87	100.47	80.6	2.18
728	VK816	141.19	119.32	103.7	1.85
729	VK816	128.43	108.54	103.7	1.53

Tabla 44: Valores de K y presiones necesarias en boquillas de los cuartos de anillos.

La separación entre boquillas desde mismo modo que se ha mostrado en los anillos principales:

Tanques	Separación entre boquillas	Tanques	Separación entre boquillas
3702	2.88	745	2.70
3703	2.88	711	2.76
1400	2.35	724	2.87
1403	2.79	726	2.87
1404	2.79	739	2.82
1402	2.42	725	2.87
755	2.92	723	2.87
756	2.94	717	2.55
3700	2.98	718	2.55

3701	2.93	740	2.69
701	2.80	741	2.69
760	2.77	762	2.91
763	2.87	716	2.98
737	3.00	713	2.98
764	2.87	721	2.69
727	2.90	743	2.69
1270	2.39	707	2.02
1271	2.36	715	2.55
731 A	2.67	714	2.55
731 B	2.67	722	2.54
732	2.67	744	3.00
706	2.00	746	2.98
708	2.30	747	2.97
712	2.80	738	2.82
719	2.45	728	2.90
720	2.45	729	2.99

Tabla 45: Separación entre boquillas en los cuartos de anillo.

Puede verse en la tabla anterior como según el tipo de ángulo de boquilla que se ha seleccionado, las separaciones serán mayores o menores, estando ninguna de ellas por encima del máximo recomendado por el fabricante de 3 metros de separación entre las boquillas.

Los sistemas de cuartos de anillo se activarán junto con el anillo principal del tanque que les afecta, es decir, los sensores térmicos u/o cualquier sistema automático o manual que active estos sistemas saltará al detectar el incendio, activando el anillo completo principal de donde se ha detectado el incendio y el de los adyacentes (circuito integrado).

En resumen para los anillos principales y los cuartos de anillos se necesitarán el siguiente número y tipos de boquillas pulverizadoras modelo E:

Coeficientes K	VK815	VK816	VK817
17.3	40	0	0
25.9	3024	0	0
33.1	0	0	0
46.1	0	6	0

59	0	189	0
80.6	0	501	0
103.7	0	402	100
Totales:	3064	1098	100

Tabla 46: Necesidades totales de boquillas modelo E, marca VIKING.

Un total de **4262 boquillas** modelo E, todas ellas con recubrimiento de níquel en la base para la resistencia a la corrosión.

Canalización principal

Con las boquillas seleccionadas, se dimensionará las conexiones principales desde el puesto de control hasta la parte alta de cada tanque. La normativa aplicable indica los siguientes requisitos a cumplir por la derivación del sistema de agua pulverizada:

UNE 23500:2018 – “Sistemas de abastecimiento contra incendios”:

- Cada derivación de la red general de incendios para alimentar una red específica debe estar provista de una válvula de seccionamiento.

UNE 23503:1989 - “Sistemas fijos de agua pulverizada. Diseño e instalaciones.”:

- El dimensionado de los diámetros de las tuberías se realizará siempre mediante cálculos hidráulicos, siguiendo el método indicado en la norma UNE-23-506, no admitiéndose velocidades superiores a 8 m/s.
- Se admitirán las calidades que se indican en las normas UNE-19045 y UNE 27650 (espesores de las series II y III).
- Los tramos que van desde la válvula de control hasta las conexiones de las boquillas serán galvanizados.

-
- Para diámetros nominales de 2 ½" (aproximadamente 63 mm) e inferiores, las uniones serán mediante accesorios roscados.
 - Se admite soldadura para diámetros nominales superiores a 2 ½".
 - Se dispondrá de una conexión para la instalación de manómetros en o cerca de la boquilla hidráulicamente más desfavorable o más remota.

La normativa UNE-19045 actualmente se encuentra anulada, por la norma UNE-EN 10255:2005+A1:2008 "*Tubos de acero no aleado aptos para soldeo y roscado. Condiciones técnicas de suministro.*" por lo que la calidad de los tubos de acero roscados o soldados solicitados al fabricante serán según esta norma.

Por lo que, con las presiones disponibles (ver apartado "**Presiones disponibles por escenario de incendio**") desde el punto de derivación de cada sector de incendio a los sistemas de agua pulverizada y con los requisitos derivados de la normativa a cumplir en el sistema desde la derivación, se calcularán las conexiones desde el puesto de control hasta la parte alta del anillo, dimensionándose los anillos en el siguiente apartado al actual.

El sistema principal desde el puesto de control contará con una válvula de compuerta que permitirá aislar la derivación de la RCI y una válvula reductora de la presión que mantendrá el lado de cara al tanque de la conexión a una presión determinada constante para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. En el cálculo de la conexión se considerarán además dos codos en el apartados de pérdidas localizadas (incluyendo pérdidas en las válvulas) y las pérdidas por fricción en las tuberías hasta la parte alta del tanque.

La normativa UNE-23506 "*Sistemas fijos de agua pulverizada. Planos, especificaciones y cálculos hidráulicos.*" indica una guía de cálculo de los diámetros dentro de estos sistemas, calculando las pérdidas por fricción por la fórmula de Hazen-Williams como se ha hecho en anteriores apartados.

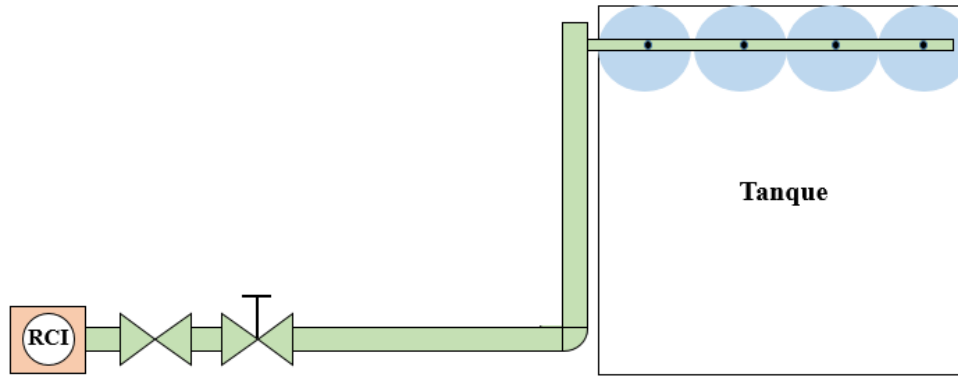


Ilustración 41: Esquema simplificado de la derivación del anillo principal del sistema de agua pulverizada.

Para el cálculo de la conexión desde el puesto de control hasta lo alto del tanque se necesitará conocer la altura de cada tanque, la distancia desde la conexión hasta la pared del tanque y los caudales de agua de refrigeración. Por lo tanto, los datos de partida del cálculo de las conexiones de agua pulverizada por cada sector de incendio en el caso más desfavorable son:

Tanques	Escenario	Presión disponible RCI (mca)	Altura depósito (m)	Distancia desde la calle a tanque (m)	Caudal refrigeración anillo principal (l/min)
3702	1	76.69	18.58	75	4093.18
3703	1	76.69	18.58	75	4093.18
1401	2	86.49	14.63	53	1579.59
1400	3	89.83	14.63	33	789.98
1403	4	92.86	9.75	67	445.27
1404	4	92.86	9.75	67	445.27
1402	5	88.77	14.63	53	1249.25
755	6	80.81	19.5	75	3791.59
756	6	80.81	19.5	200	4170.46
3700	7	85.67	19.5	170	3873.58
3701	8	85.26	19.5	240	4344.82
750	9	90.97	19.5	47	3791.59
751	10	90.28	19.5	47	3791.59
752	11	90.49	19.5	65	3791.59
702	12	93.25	16.5	65	3180.86
703	13	94.08	16.5	30	3180.86

701	14	94.00	14.6	88	2299.65
760	15	94.09	15.2	103	1938.68
700	16	92.53	16.5	40	3251.55
763	17	93.77	20.79	23	1837.83
737	18	91.36	16.5	78	3180.86
764	20	94.41	20.79	41	1837.83
727	21	87.30	16.5	23	3251.55
1270	22	95.20	10.98	25	517.42
1271	23	95.21	10.98	57	508.94
731 A	24	94.11	14.6	21	1065.00
731 B	24	94.11	14.6	78	1065.00
732	26	94.79	14.6	42	1065.00
706	32	94.70	7.3	32	424.12
708	32	94.70	9.1	32	358.14
712	32	94.70	9.1	20	447.68
719	32	94.70	11	25	532.50
720	32	94.70	11	23	532.50
745	32	94.70	14.65	28	1077.25
711	33	92.43	14.6	15	1932.08
724	34	94.94	14.6	18	631.46
726	34	94.94	14.6	18	631.46
739	34	94.94	14.6	27	1465.55
725	35	92.62	14.6	35	2356.19
723	37	90.63	14.6	32	2356.19
717	38	93.48	14.6	28	862.37
718	38	93.48	14.6	24	862.37
740	39	92.78	14.6	19	1235.12
741	39	92.78	14.6	27	1235.12
762	40	92.39	16.89	20	989.60
716	41	94.07	14.6	36	1555.09
713	42	92.39	14.6	30	1555.09
721	43	92.08	14.6	14	1234.65
743	43	92.08	14.6	17	1235.12
707	44	94.60	9.1	20	428.83
715	44	94.60	14.6	32	862.37
714	45	94.19	14.6	25	862.37
722	45	94.19	12.8	28	706.86
744	46	90.70	14.6	88	2642.71
746	47	91.43	16.46	65	1731.80
747	48	93.04	20.46	81	1724.73
738	49	92.93	14.6	32	1465.55
728	51	91.49	16.5	26	3251.55
729	52	92.45	14.6	31	2638.94

Tabla 47: Datos iniciales dimensionamiento conexión a anillo.

La velocidad máxima en las tuberías será de **8 metros segundo**, se deberá limitar la presión a los pies del tanque antes de iniciar el ascenso para que en la parte alta del tanque la presión disponible antes de entrar en el anillo sea igual a la presión de trabajo necesaria para proveer el caudal por cada boquilla según lo que se ha calculado en anteriores apartados y limitar la presión a dentro del rango de trabajo adecuado indicado por el fabricante de entre **1,4 - 4,1 bar**.

$$\text{Presión en lo alto del tanque [mca]} = P_{RCI} - h - h_f \quad (55)$$

Donde:

P_{RCI} : es la presión disponible en la toma de la RCI para cada escenario de incendio en metros columna de agua.

h : es la altura del tanque en cuestión en metros.

h_f : son las pérdidas por fricción en el recorrido en la tubería hasta la entrada al anillo en metros columna de agua.

Reorganizando la ecuación anterior se puede obtener las pérdidas de presión máximas y mínimas a tener en la tubería para que la presión disponible en lo alto del tanque este dentro del rango de funcionamiento correcto de las boquillas. Introduciendo las pérdidas máximas y mínimas por fricción a tener en la tubería en la ecuación de Hazen-Williams de pérdidas de carga por fricción en la tubería y reorganizándola, aislando la variable diámetro se obtiene:

$$D [\text{mm}] = \sqrt[4,87]{\frac{6,05 * 10^5 * L * Q^{1,85} * 10,2}{C^{1,85} * h_f}} \quad (56)$$

Donde:

D : es el diámetro de la tubería que cumple con la condición de pérdidas en milímetros.

L : es la longitud de la tubería en metros.

Q : es el caudal en litros por minuto que atraviesa la tubería.

C : es el coeficiente de pérdidas por fricción de la tubería de Hazen-Williams, adimensional. Se utilizará un valor de 120 para una tubería de acero.

h_f : son las pérdidas por fricción en la tubería en metros columna de agua.

Se calcula a continuación el rango de diámetros del tanque 3072 como ejemplo:

- $P_{RCI} = 76,69$ m.c.a
- *Caudal de refrigeración* = $Q = 4093,18$ l/min
- Distancia desde puesto de control a pared del tanque = 75 metros
- Altura del tanque = 18,58 metros
- $L = 75 + 18,58 = 93,58$ metros

Se calcula las pérdidas máximas y mínimas para cumplir con las condiciones mínimas y máximas de 1,4 y 4 bar en lo alto del tanque, siendo 1 bar = 10,2 m.c.a, reorganizando la ecuación (55):

$$h_f [\text{Presión alto tanque} = 1,4 \text{ bar}] = 76,69 - 1,4 * 10,2 - 18,58 = 43,83 \text{ m. c. a}$$

$$h_f [\text{Presión alto tanque} = 4 \text{ bar}] = 76,69 - 4 * 10,2 - 18,58 = 17,31 \text{ m. c. a}$$

Calculando los diámetros límite para cada escenario para cumplir las pérdidas previas:

$$D [\text{Presión alto tanque} = 1,4 \text{ bar}] = \sqrt[4,87]{\frac{6,05 * 10^5 * 93,58 * 4093,18^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * 43,83}}$$

$$= 110,73 \text{ mm}$$

$$D [\text{Presión alto tanque} = 4 \text{ bar}] = \sqrt[4,87]{\frac{6,05 * 10^5 * 93,58 * 4093,18^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * 17,31}}$$

$$= 134 \text{ mm}$$

De la misma manera se calculan el resto de tanques.

Tanque	Altura mínima a perder (m.c.a)	Altura máxima a perder (m.c.a)	Diámetro para tener 1,4 bar arriba (mm)	Diámetro para tener 4 bar arriba (mm)
3702	17.31	43.83	110.69	133.94
3703	17.31	43.83	110.69	133.94
1401	31.06	57.58	68.19	77.41
1400	34.40	60.92	48.21	54.21
1403	42.31	68.83	41.71	46.09

1404	42.31	68.83	41.71	46.09
1402	33.34	59.86	61.88	69.78
755	20.51	47.03	106.19	125.91
756	20.51	47.03	130.90	155.21
3700	25.37	51.89	121.02	140.18
3701	24.96	51.48	135.07	156.72
750	30.67	57.19	94.90	107.86
751	29.98	56.50	95.14	108.36
752	30.19	56.71	99.86	113.66
702	35.95	62.47	90.90	101.82
703	36.78	63.30	80.79	90.32
701	38.60	65.12	83.54	93.01
760	38.09	64.61	80.73	89.98
700	35.23	61.75	85.23	95.64
763	32.18	58.70	65.80	74.45
737	34.06	60.58	94.30	106.14
764	32.82	59.34	70.47	79.58
727	30.00	56.52	80.64	91.84
1270	43.42	69.94	37.67	41.55
1271	43.43	69.95	42.66	47.05
731 A	38.71	65.23	50.16	55.84
731 B	38.71	65.23	61.04	67.94
732	39.39	65.91	55.05	61.19
706	46.60	73.12	35.25	38.66
708	44.80	71.32	33.53	36.89
712	44.80	71.32	34.00	37.40
719	42.90	69.42	38.15	42.11
720	42.90	69.42	37.70	41.62
745	39.25	65.77	52.20	58.03
711	37.03	63.55	60.88	68.02
724	39.54	66.06	40.29	44.76
726	39.54	66.06	40.29	44.76
739	39.54	66.06	58.32	64.80
725	37.22	63.74	72.94	81.46
723	35.23	61.75	72.49	81.34
717	38.08	64.60	48.13	53.65
718	38.08	64.60	47.17	52.57
740	37.38	63.90	52.66	58.79
741	37.38	63.90	55.02	61.43
762	34.70	61.22	49.78	55.94
716	38.67	65.19	62.26	69.31
713	36.99	63.51	60.99	68.15
721	36.68	63.20	51.06	57.09
743	36.68	63.20	52.12	58.28

707	44.70	71.22	33.46	36.81
715	39.20	65.72	48.85	54.32
714	38.79	65.31	47.31	52.65
722	40.59	67.11	43.89	48.66
744	35.30	61.82	89.01	99.87
746	34.17	60.69	72.58	81.67
747	31.78	58.30	76.44	86.58
738	37.53	64.05	60.07	67.04
728	34.19	60.71	80.67	90.76
729	37.05	63.57	74.89	83.67

Tabla 48: Rango de diámetros en conductos agua pulverizada.

El valor del diámetro deberá estar entre los valores calculados para cumplir con las condiciones en lo alto del tanque y siempre teniendo en cuenta la velocidad en el tubo no supere los 8 m/s. Se seleccionará a continuación un diámetro normalizado de tubería de acero normalizado que este dentro del rango. Con el diámetro seleccionado se calcularán las pérdidas por fricción y localizadas en el recorrido del tubo hasta lo alto del tanque. Se escogerá un espesor estándar STD (Schedule 40) para todas las tuberías [33].

DN	Diámetro exterior (mm)	Espesor (mm)
32	42.2	3.56
40	48.3	3.68
50	60.3	3.91
65	73.03	5.16
80	88.9	5.49
100	114.3	6.02
125	141.29	6.55
150	168.28	7.11
200	219.08	8.18
250	273.05	9.27
300	323.85	9.52

Tabla 49: Diámetros normalizados con espesores para espesor STD (Sch 40). Fuente:[33]

La válvula reguladora será la encargada de reducir la presión a una presión de trabajo para el correcto funcionamiento de las boquillas. Por lo que si la presión una vez se ha descontado las pérdidas de fricción y localizadas son superiores a la presión necesaria

en la boquilla, la válvula reguladora es la encargada de fijar la presión a un cierto valor para cumplir con esta condición, lo que equivale a decir a que la válvula deberá introducir un cantidad determinadas de pérdidas de carga en el fluido.

Por lo que modificando la ecuación anterior (55) incluyendo las pérdidas localizadas:

$$\text{Presión alto anillo [m. c. a]} = P_{RCI} - h - h_f - h_l \quad (57)$$

Donde:

P_{RCI} : es la presión disponible para el escenario de incendio en metros columna de agua.

h : es la altura en metros del tanque.

h_f : es la pérdida de carga en metros columna de agua por fricción.

h_l : es la pérdida de carga localizadas en metros columna de agua.

Las pérdidas de carga localizadas serán las comentadas previamente en la suposición de la existencia de dos codos y una válvula de compuerta, para todos los escenarios. Los codos se suponen de radio normal y de ángulo de 90° y la válvula de compuerta abierta (cuando el sistema está abierto).

Elemento	Longitud equivalente (m/D)
Codo de 90° y radio normal	27
Válvula de compuerta abierta	13

Tabla 50: Elementos localizados. Fuente:[13].

Las pérdidas de carga tanto localizadas como por fricción se calcularán como se ha comentado, por la fórmula de Hazen-Williams, la cual presenta esta forma:

$$h_f \text{ o } h_l \text{ [m. c. a]} = \frac{6,05 * 10^5 * L_{eq} * Q^{1,85} * 10,2}{C^{1,85} * d^{4,87}} \quad (58)$$

Donde:

L_{eq} : es la longitud equivalente del accesorio o la longitud de la tubería en metros.

Q : es el caudal que recorre la tubería en litros por minuto.

C: es el coeficiente de pérdidas por fricción de la tubería de Hazen-Williams, adimensional. Se utilizará un valor de 120 para una tubería de acero.

D: es el diámetro interno de la tubería en milímetros.

La válvula reguladora deberá introducir las siguientes pérdidas para determinar el punto de funcionamiento óptimo en las boquillas:

$$Pérdidas \text{ en válvula [m. c. a]} = \text{Presión alto anillo} - \text{Presión boquilla} \quad (59)$$

Donde:

Presión alto anillo: viene de la ecuación (57), en metros columna de agua.

Presión boquilla: es la presión necesaria en la boca de la boquilla para descargar el caudal necesario, en metros columna de agua (obtenido de **Tabla 41**).

Se calcula el conducto del tanque 3702 como ejemplo del procedimiento de cálculo:

- $P_{RCI} = 76,69$ m.c.a
- $\text{Presión boquilla} = 1,99$ bar = 20,298 m.c.a
- Longitud total tubería = Longitud horizontal + Longitud tubería ascendente = 93,58 m.
- Altura del tanque = h = 18,58 m.
- Caudal tubería principal = 4093,19 l/min.

El rango de diámetros para el tanque 3702, se ha calculado en el apartado anterior y abarca desde los 110-134 mm (**Tabla 48**), se mira la tabla de los diámetros disponibles (**Tabla 49**) y se selecciona un diámetro normalizado dentro del rango indicado, se selecciona el diámetro DN 125, con un diámetro interior de **128,19 mm** (calculado con ecuación (22). Con el diámetro seleccionado se calculan las pérdidas por fricción y localizadas:

$$h_f = \frac{6,05 * 10^5 * 93,58 * 4093,19^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * 128,19^{4,87}} = 21,48 \text{ m. c. a}$$

Para dos codos y una válvula de compuerta, la longitud equivalente se obtiene multiplicando los coeficientes de la **Tabla 50** por el diámetro normalizado.

$$h_l = \frac{6,05 * 10^5 * (2 * 27 * 0,125 + 13 * 0,125) * 4093,19^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * 120,19^{4,87}} = 1,97 \text{ m. c. a}$$

La presión en lo alto del anillo será:

$$\text{Presión alto anillo} = 76,69 - 21,48 - 1,97 - 18,58 = 34,66 \text{ m. c. a}$$

Las pérdidas que deberá introducir la válvula reguladora para disponer en lo alto del anillo la presión de la boquilla:

$$\text{Pérdidas en la válvula} = 34,66 - 20,298 = 14,362 \text{ m. c. a} = 1,41 \text{ bar}$$

De la misma manera se calculan el resto de escenarios.

Tanque	Presión boquilla (bar)	DN STD	P. localizadas (mca)	P. fricción (mca)	Presión alto anillo (bar)	Pérdidas a tener en la válvula (bar)	Velocidad tubo (m/s)
3702	1.99	125	1.97	21.48	3.40	1.41	5.29
3703	1.99	125	1.97	21.48	3.40	1.41	5.29
1401	1.92	80	2.33	30.13	3.86	1.94	5.52
1400	1.62	50	2.98	40.36	3.12	1.51	6.09
1403	1.51	50	1.03	22.52	5.84	4.33	3.43
1404	1.51	50	1.03	22.52	5.84	4.33	3.43
1402	1.80	80	1.51	19.52	5.21	3.41	4.37
755	1.98	125	1.71	18.83	4.00	2.02	4.90
756	2.00	150	1.00	21.31	3.82	1.83	3.73
3700	1.99	125	1.78	39.29	2.46	0.47	5.00
3701	2.02	150	1.08	27.18	3.68	1.66	3.88
750	1.98	100	4.10	39.83	2.70	0.72	7.69
751	1.98	100	4.10	39.83	2.63	0.65	7.69
752	1.98	125	1.71	16.84	5.14	3.16	4.90
702	1.95	100	2.97	35.28	3.78	1.83	6.45
703	1.95	100	2.97	20.13	5.34	3.39	6.45
701	1.92	100	1.63	24.37	5.24	3.31	4.67
760	1.92	100	1.19	20.47	5.61	3.69	3.93
700	1.95	100	3.09	25.47	4.65	2.71	6.60
763	1.86	80	3.08	25.82	4.32	2.46	6.42
737	1.95	100	2.97	40.90	3.04	1.09	6.45

764	1.86	80	3.08	36.43	3.34	1.48	6.42
727	1.95	100	3.09	17.81	4.89	2.95	6.60
1270	1.56	40	3.56	46.71	3.33	1.77	6.55
1271	1.51	50	1.32	25.54	5.62	4.12	3.92
731 A	1.88	65	2.60	22.02	5.38	3.50	5.75
731 B	1.88	80	1.12	19.90	5.73	3.86	3.72
732	1.88	65	2.60	35.01	4.17	2.30	5.75
706	3.07	40	2.46	35.31	4.86	1.80	5.37
708	2.98	40	1.80	27.01	5.57	2.59	4.53
712	1.52	40	2.72	28.90	5.29	3.77	5.67
719	1.65	40	3.76	49.28	3.01	1.35	6.74
720	1.65	40	3.76	46.55	3.27	1.62	6.74
745	1.69	65	2.65	26.95	4.95	3.26	5.81
711	1.91	80	3.38	19.14	5.42	3.51	6.75
724	1.49	50	1.97	18.25	5.89	4.41	4.87
726	1.49	50	1.97	18.25	5.89	4.41	4.87
739	1.82	65	4.69	46.46	2.86	1.05	7.91
725	1.90	100	1.70	12.32	6.27	4.37	4.78
723	1.90	100	1.70	11.58	6.15	4.25	4.78
717	1.64	50	3.50	42.46	3.23	1.59	6.64
718	1.64	50	3.50	38.47	3.62	1.98	6.64
740	1.75	65	3.42	27.34	4.65	2.89	6.66
741	1.75	65	3.42	33.85	4.01	2.26	6.66
762	1.86	50	4.52	47.43	2.31	0.45	7.62
716	1.86	80	2.26	21.90	5.42	3.56	5.44
713	1.86	80	2.26	19.30	5.51	3.65	5.44
721	1.75	65	3.42	23.26	4.98	3.23	6.66
743	1.75	65	3.42	25.72	4.74	2.98	6.66
707	3.13	40	2.52	26.69	5.52	2.38	5.43
715	1.64	50	3.50	46.44	2.95	1.31	6.64
714	1.64	50	3.50	39.47	3.59	1.95	6.64
722	1.54	50	2.43	28.15	4.98	3.44	5.45
744	2.01	100	2.10	31.52	4.16	2.16	5.36
746	1.94	80	2.76	43.02	2.86	0.92	6.05
747	1.92	100	0.96	14.15	5.63	3.71	3.50
738	1.82	65	4.69	52.04	2.12	0.30	7.91
728	1.95	100	3.09	19.16	5.17	3.22	6.60
729	2.00	100	2.10	13.97	6.06	4.05	5.36

Tabla 51: Presiones en lo alto del anillo y pérdidas en la válvula.

Canalización principal de los cuartos de anillo

Los sistemas de cuartos de anillos tendrán un conducto colector conjunto que irá desde el puesto de control hasta la pared de los tanques donde se deba activar los cuartos de anillos. El colector cuenta con una válvula de compuerta que se abrirá cuando los sensores en el tanque incendiado detecten el fuego y abran la válvula de compuerta del anillo principal del tanque incendiado, como se puede apreciar en el esquema simplificado inferior.

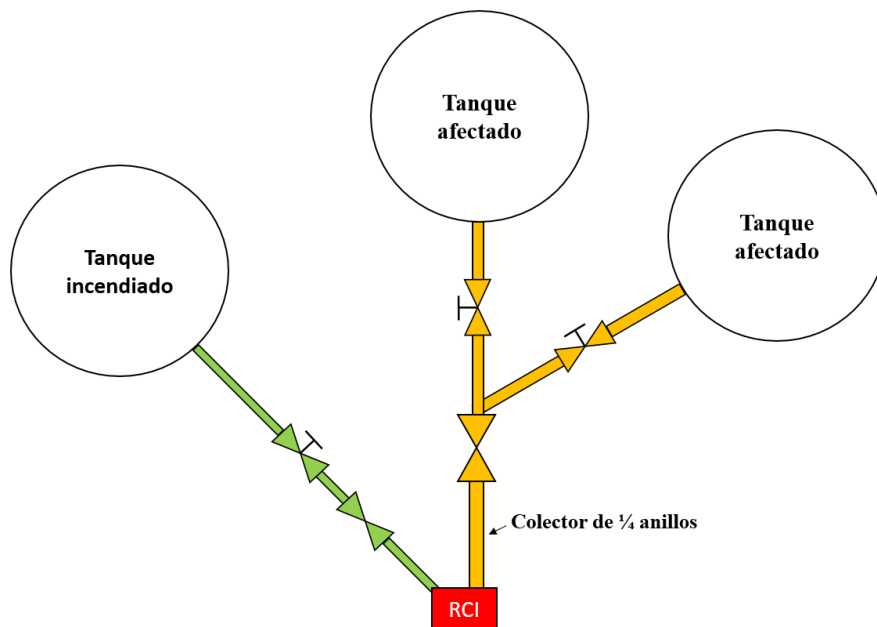


Ilustración 42: Esquema de conexión de anillos principales y cuartos de anillo.

Estos colectores parten del mismo puesto de control/conexión de la RCI que el explicado anteriormente para el anillo principal, por lo que las presiones disponibles en el momento de conexión a la red serán las presiones disponibles de cada escenario de incendio de los sectores.

La longitud de este colector será relativamente corta, de **4 metros de longitud en todos los casos** y del partirán el número de derivaciones que hagan falta según el escenario. Debido a su corto tamaño se dimensionarán por el criterio de que cumplan la condición de velocidad máxima de **8 m/s**. Las pérdidas localizadas serán las que ocurran en la válvula de compuerta y las pérdidas por fricción en la tubería de 4 metros, estas

pérdidas se calculan de la misma manera que en el apartado anterior y con la fórmula (58).

Cada escenario de incendio como se ha mencionado previamente se dimensionarán los cuartos de anillos para el peor escenario de demanda de caudal en el cuarto de anillo, por lo que el caudal máximo a esperar por el colector será el caudal del cuarto de anillo más desfavorable por el máximo número de anillos activados en cada escenario (datos extraídos de **Tabla 43: Número de boquillas en los cuartos de anillo.**

Por ejemplo en el caso del máximo caudal esperado en el **escenario 3**:

El escenario 3 corresponde al incendio en el tanque 1400, se mira la tabla previamente mencionada y se extraen los datos de cálculo.

- Número máximo de 1/4 anillos activados = 2.
- Caudal máximo del cuarto de anillo = 963,13 l/min.

El máximo caudal a esperar en el colector:

$$\text{Caudal } \frac{1}{4} \text{ anillos} = 963,13 * 2 = 1926,26 \frac{l}{min}$$

El diámetro para tener como máximo una velocidad de 8 m/s (empleando ecuación (36)):

$$\text{Diámetro} = \sqrt{4 * \frac{\frac{1926,26}{60}}{(\pi * 8)}} = 0,07148 \text{ m} = 71,48 \text{ mm}$$

Se selecciona un diámetro de los normalizados, el inmediatamente superior que cumple con el diámetro interior es el DN 80 STD, con un **diámetro interior de 77,92 mm**. Se calculan las pérdidas de la misma manera que el apartado “**Canalización principal**”.

$$h_f = \frac{6,05 * 10^5 * 4 * 1926,26^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * 77,92^{4,87}} = 2,57 \text{ m.c.a}$$

$$h_l = \frac{6,05 * 10^5 * (13 * 0,08) * 1926,26^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * 77,92^{4,87}} = 0,65 \text{ m.c.a}$$

Se calculan el resto de colectores para cada escenario:

Escenario	Caudal 1/4 anillos (sumatorio) (l/min)	Diámetro para 8 m/s (mm)	DN STD	Perdidas fricción (mca)	Perdidas localizadas (mca)	Velocidad tubo conexión (m/s)
1	2535.04	82.00	100	1.14	0.38	5.14
3	1926.25	71.48	80	2.57	0.65	6.73
4	1085.35	53.66	80	0.89	0.23	3.79
5	1523.05	63.56	80	1.67	0.42	5.32
6	2710.80	84.80	100	1.29	0.43	5.50
7	2517.83	81.72	100	1.12	0.37	5.11
8	2824.13	86.55	100	1.39	0.46	5.73
14	1119.16	54.49	65	2.71	0.55	6.04
15	2946.79	88.41	100	1.50	0.50	5.98
17	3820.85	100.67	100	2.43	0.81	7.75
18	1749.47	68.12	80	2.15	0.55	6.11
19	2377.42	79.41	100	1.01	0.34	4.82
20	1910.43	71.19	80	2.53	0.64	6.68
21	5365.05	119.29	125	1.51	0.63	6.93
22	284.06	27.45	32	3.63	0.41	4.90
23	279.41	27.22	32	3.52	0.40	4.82
24	1554.90	64.22	80	1.73	0.44	5.43
25	167.70	21.09	32	1.37	0.16	2.89
26	777.45	45.41	50	3.29	0.56	5.99
32	2367.26	79.24	100	1.00	0.33	4.80
33	940.28	49.94	50	4.68	0.80	7.24
34	4279.41	106.54	125	1.00	0.42	5.53
35	1720.02	67.55	80	2.09	0.53	6.01
36	1895.65	70.91	80	2.50	0.63	6.63
37	1720.02	67.55	80	2.09	0.53	6.01
38	1259.06	57.79	65	3.37	0.69	6.79
39	3606.54	97.81	100	2.18	0.73	7.32

40	2507.16	81.55	100	1.11	0.37	5.09
41	3027.24	89.61	100	1.58	0.53	6.14
42	1513.62	63.36	80	1.65	0.42	5.29
43	2704.91	84.71	100	1.28	0.43	5.49
44	1888.58	70.78	80	2.48	0.63	6.60
45	1888.58	70.78	80	2.48	0.63	6.60
46	1286.12	58.41	65	3.51	0.71	6.94
47	1900.37	71.00	80	2.51	0.64	6.64
48	1176.27	55.86	65	2.97	0.61	6.35
49	4279.41	106.54	125	1.00	0.42	5.53
51	2682.53	84.35	100	1.26	0.42	5.44
52	1926.42	71.48	80	2.57	0.65	6.73

Tabla 52: Diámetros de los colectores de cuartos de anillos.

A partir de los colectores se dimensionarán los conductos de los cuartos de anillos que parten del colector a alimentar el cuarto de anillo. Cada tanque que requiere de un cuarto de anillo es afectado por uno o más incendios de otros tanques (, cada escenario de incendio de los tanques que afectan al tanque con el cuarto de anillo tendrá unas presiones disponibles en el punto de conexionado en función del caudal máximo necesario del escenario de incendio. El dimensionado de la conexión a los cuartos de anillos se debe realizar para que cumpla con las peores condiciones de presión en la conexión.

Por ejemplo, el tanque 1403 se ve afectado por los incendios de los tanques 1400, 1402 y 1404, en cada uno de los incendios de los tres tanques que afectan al 1403 uno de los cuartos de anillo se activará y para cada uno de los escenarios de incendio las presiones disponibles desde la conexión a la RCI son diferentes.

Mirando la **Tabla 38**: Presiones disponibles en los puestos de control de cada sector de incendio. y **Tabla 52**: Diámetros de los colectores de cuartos de anillos. (para las pérdidas en el colector):

- Presión RCI en conexión post colector (incendio 1400 sector 3) = 89,83 - 1,22 = 88,71 m.c.a.
- Presión RCI en conexión post colector (incendio 1402 sector 5) = 88,77 - 1,22 = 87,55 m.c.a.

- Presión RCI en conexión post colector (incendio 1404 sector 4) = $92,85 - 1,22 = 91,63$ m.c.a.

El escenario de incendio que presenta la menor presión disponible para los cuartos de anillos del tanque 1403 es en el incendio del tanque 1400 con una presión de **87,55 m.c.a.**

Los tanques afectados por el incendio de cada uno de los tanques considerados en el análisis se muestra en la tabla inferior y servirá de base para el cálculo de las presiones disponibles en el escenario más desfavorable post-colector.

Tanque incendiado	Tanques afectados				
3702	3703				
3703	3702				
1401	1400	1404			
1400	1403	1404	1402		
1403	1404				
1404	1403				
1402	1400	1403			
755	756				
756	755				
3700	3701				
3701	3700				
751	760				
702	701	760			
701	760				
700	763				
763	737	765			
737	763	765	764		
764	765				
727	719	738	728	729	730
731 A	731 B	732			
731 B	731 A				
732	731 A	735			
704	705				
705	704	736	748		
736	731 B	705			
748	705				
706	708	712			
708	706				
712	708	745			

719	706	712	738
720	745		
745	720		
711	720	745	739 738
724	726		
726	724		
739	726	738	
725	724	742	723
723	724	726	739 725 742
717	718	716	
718	717	716	
740	740	762	
741	741	716	
762	741	716	743
716	717	741	762
713	721	743	734
721	713	743	714 722
743	762	713	721
707	707	734	714
715	707	715	
714	715	734	722
722	714		
744	740	741	746
746	744	747	
747	746		
738	719	711	739
728	727	724	726
729	727	1270	1271 730

Tabla 53: Tanques incendiados y los tanques que afectan.

Los datos iniciales del cálculo de las derivaciones individuales a los cuartos de anillos incluirán datos tales como distancia del punto de conexionado a la pared del tanque, la altura del tanque, número de anillos, máximo caudal esperado en los ¼ anillos con el que se dimensionarán todos los cuartos de anillo del tanque.

Se incluyen en los datos iniciales de la tabla inferior datos como la longitud del anillo, boquillas y caudal por boquillas que se utilizarán en los siguientes apartados para el cálculo del anillo en si.

Tanque	Máx caudal afección	Nº 1/4 Anillos	1/4 Longitud Anillo +	Nº Boquillas por	Caudal por boquilla	Distancia a conexión	Altura depósito (m)
--------	---------------------	----------------	-----------------------	------------------	---------------------	----------------------	---------------------

	(l/min)		0.6 m separación	anillo	(l/min)	(m)	
3702	2535.04	1	69.16	24	105.63	71	18.58
3703	2535.04	1	69.16	24	105.63	71	18.58
1400	963.12	2	14.11	6	160.52	29	14.63
1403	361.78	3	8.36	3	120.59	63	9.75
1404	361.78	3	8.36	3	120.59	63	9.75
1402	1523.05	1	21.76	9	169.23	49	14.63
755	2464.53	1	64.14	22	112.02	71	19.5
756	2710.80	1	70.45	24	112.95	196	19.5
3700	2517.83	1	65.50	22	114.45	166	19.5
3701	2824.13	1	73.36	25	112.97	236	19.5
701	1119.16	1	39.27	14	79.94	84	14.6
760	982.26	3	33.25	12	81.86	99	15.2
763	1910.43	2	31.57	11	173.68	19	20.79
737	1749.47	1	53.96	18	97.19	74	16.5
764	1910.43	1	31.57	11	173.68	37	20.79
727	2682.53	2	55.13	19	141.19	19	16.5
1270	284.06	1	9.57	4	71.02	21	10.98
1271	279.41	1	9.42	4	69.85	53	10.98
731 A	777.45	2	18.69	7	111.06	17	14.6
731 B	777.45	2	18.69	7	111.06	74	14.6
732	777.45	1	18.69	7	111.06	38	14.6
706	154.80	2	8.01	4	38.70	28	7.3
708	108.64	2	6.91	3	36.21	28	9.1
712	203.69	2	8.40	3	67.90	16	9.1
719	292.87	3	9.82	4	73.22	21	11
720	292.87	2	9.82	4	73.22	19	11
745	789.09	2	18.90	7	112.73	24	14.65
711	940.28	1	33.14	12	78.36	11	14.6
724	460.97	4	11.47	4	115.24	14	14.6
726	460.97	4	11.47	4	115.24	14	14.6
739	1069.85	3	25.37	9	118.87	23	14.6
725	1720.02	1	40.21	14	122.86	31	14.6
723	1720.02	1	40.21	14	122.86	28	14.6
717	629.53	2	15.32	6	104.92	24	14.6
718	629.53	1	15.32	6	104.92	20	14.6
740	901.64	4	21.53	8	112.70	15	14.6
741	901.64	2	21.53	8	112.70	23	14.6
762	835.72	3	17.44	6	139.29	16	16.89
716	756.81	4	26.86	9	84.09	32	14.6
713	756.81	2	26.86	9	84.09	26	14.6
721	901.29	2	21.52	8	112.66	10	14.6
743	901.64	3	21.53	8	112.70	13	14.6
707	130.08	2	8.09	4	32.52	16	9.1

715	629.53	3	15.32	6	104.92	28	14.6
714	629.53	3	15.32	6	104.92	21	14.6
722	452.39	2	12.72	5	90.48	24	12.8
744	1286.12	1	44.99	15	85.74	84	14.6
746	950.18	2	29.81	10	95.02	61	16.46
747	1176.27	1	29.69	10	117.63	77	20.46
738	1069.85	4	25.37	9	118.87	28	14.6
728	2682.53	1	55.13	19	141.19	22	16.5
729	1926.42	1	44.92	15	128.43	27	14.6

Tabla 54: Datos iniciales del dimensionamiento de la conexión a los cuartos de anillo desde colector.

De la misma manera que se ha calculado la presión disponible post-colector del tanque 1403 en el caso más desfavorable, se calcularán el resto de presiones disponibles de los tanques con cuarto de anillo.

Las pérdidas localizadas en la derivación se supondrán en todos los casos como las pérdidas que ocurren en 3 codos de radio 90° y radio normal, uno de los codos simulará las pérdidas ocurridas en el colector al bifurcarse el flujo, siendo más críticas las pérdidas esperables en un codo que en una bifurcación, estando dentro del rango de la seguridad.

El proceso de cálculo de los diámetros de las derivaciones post-colectores se dimensionarán de la misma manera que en caso de las conducciones desde el puesto de control hasta el anillo principal (ver apartado “**Canalización principal**”). Se sigue el ejemplo del tanque 1403 y se calculará el diámetro del conducto en este con los datos de la **Tabla 54**: Datos iniciales del dimensionamiento de la conexión a los cuartos de anillo desde colector.:

- Altura tanque 1403 = 9,75 metros
- Caudal ¼ anillo = 361,78 l/min
- Distancia post-colector a pared del tanque = 63 metros
- Presión disponible de la RCI = 87,55 m.c.a.

Empleando la ecuación (55) y (56).

$$hf \text{ (Presión alto anillo = 4 bar)} = 87,55 - 4 * 10,2 - 9,75 = 37,1 \text{ m. c. a}$$

$$D \text{ [mm]} = \sqrt[4,87]{\frac{6,05 * 10^5 * 63 * 361,78^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * 37,1}} = 42,03 \text{ mm}$$

El diámetro interno del tubo normalizado deberá ser inferior al calculado para cumplir la condición. Se selecciona un diámetro normalizado DN 40 STD, con un diámetro interno de **40,94 mm**. De la misma manera se calcula el resto.

Tanque	Presión disponible post colector (peor escenario) (mca)	Perdidas máx. para 4 bar (mca)	Diámetro necesario (mm)	Presión boquillas (bar)	DN STD
3702	75.18	15.8	108.7	1.7	100
3703	75.18	15.8	108.7	1.7	100
1400	83.26	27.8	56.6	2.4	65
1403	87.66	37.1	42.6	2.2	40
1404	85.37	34.8	43.1	2.2	40
1402	87.74	32.3	72.0	2.7	80
755	79.09	18.8	103.8	1.9	100
756	79.09	18.8	131.6	2.0	125
3700	83.76	23.5	118.3	2.0	125
3701	83.82	23.5	132.5	2.0	125
701	89.99	34.6	70.1	1.8	80
760	88.28	32.3	69.9	1.9	80
763	88.12	26.5	68.9	2.8	80
737	91.07	33.8	81.4	1.5	80
764	88.19	26.6	77.5	2.8	100
727	89.34	32.0	75.4	1.9	100
1270	88.41	36.6	31.8	1.4	32
1271	88.53	36.7	37.4	1.4	32
731 A	91.94	36.5	45.0	1.9	50
731 B	73.00	17.6	68.4	1.9	65
732	90.25	34.9	52.4	1.9	50
706	93.36	45.3	25.4	2.2	32
708	93.36	43.5	22.4	2.0	32
712	93.36	43.5	25.8	2.2	32
719	85.97	34.2	32.6	1.5	32
720	91.10	39.3	31.2	1.5	32
745	91.10	35.6	48.2	2.0	50
711	87.46	32.1	46.4	1.8	50

724	89.22	33.8	36.3	2.0	40
726	89.22	33.8	36.3	2.0	40
739	89.22	33.8	54.3	2.2	65
725	88.02	32.6	69.1	2.3	80
723	90.01	34.6	67.1	2.3	80
717	89.42	34.0	44.7	1.7	50
718	89.42	34.0	43.3	1.7	50
740	87.79	32.4	47.8	2.0	50
741	87.79	32.4	51.4	2.0	50
762	90.59	32.9	46.8	1.8	50
716	90.28	34.9	50.2	2.0	50
713	90.01	34.6	48.4	2.0	50
721	90.37	35.0	44.2	2.0	50
743	90.37	35.0	46.0	2.0	50
707	91.49	41.6	22.0	1.6	32
715	91.08	35.7	45.5	1.7	50
714	88.97	33.6	43.8	1.7	50
722	88.97	35.4	39.1	2.4	40
744	87.20	31.8	75.2	2.1	80
746	87.56	30.3	63.6	2.6	65
747	87.85	26.6	74.1	2.1	80
738	85.89	30.5	57.5	2.2	65
728	85.62	28.3	79.3	1.9	100
729	84.08	28.7	72.3	1.5	80

Tabla 55: Diámetros normalizados de las desviaciones del 1/4 anillo.

A continuación se calculan las pérdidas por fricción y localizadas que ocurrían en la tubería hasta el anillo. Se emplean las ecuaciones (58) y (59).

$$h_f = \frac{6,05 * 10^5 * (63 + 9,75) * 361,78^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * 40,94^{4,87}} = 48,71 \text{ m. c. a}$$

Las longitudes equivalentes de los codos se pueden obtener de la **Tabla 50** en función del diámetro normalizado

$$h_l = \frac{6,05 * 10^5 * \left(3 * 27 * \frac{40}{1000}\right) * 361,78^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * 40,94^{4,87}} = 2,22 \text{ m. c. a}$$

Las pérdidas necesarias a introducir por la válvula reguladora para cumplir con la presión de trabajo de la boquilla en la entrada del anillo.

Presión a perder en la válvula reguladora

$$= 87,66 - 9,75 - 48,71 - 2,22 - 2,2 * 10,2 = 4,54 \text{ m. c. a}$$

$$= 0,445 \text{ bar}$$

De la misma manera se calculan el resto de las presiones y pérdidas del resto de tanques.

Tanque	Presión disponible post colector (peor escenario) (mca)	Perdidas localizadas (mca)	Perdidas fricción (mca)	Presión alto anillo (bar)	Presión a perder en válvula reguladora (bar)	Velocidad conducto (m/s)
3702	75.18	2.36	25.48	2.82	1.10	5.14
3703	75.18	2.36	25.48	2.82	1.10	5.14
1400	83.26	2.61	22.41	4.28	1.88	5.20
1403	87.66	2.22	48.72	2.64	0.41	4.58
1404	85.37	2.22	48.72	2.42	0.18	4.58
1402	87.74	2.63	26.50	4.31	1.65	5.32
755	79.09	2.24	24.43	3.23	1.30	5.00
756	79.09	1.11	23.08	3.47	1.51	3.50
3700	83.76	0.97	17.33	4.51	2.49	3.25
3701	83.82	1.20	29.52	3.29	1.33	3.65
701	89.99	1.49	23.22	4.97	3.13	3.91
760	88.28	1.17	21.13	4.98	3.05	3.43
763	88.12	4.00	25.20	3.74	0.93	6.68
737	91.07	3.40	48.70	2.20	0.75	6.11
764	88.19	1.40	9.74	5.52	2.71	3.88
727	89.34	2.62	11.21	5.79	3.93	5.44
1270	88.41	2.58	29.05	4.49	3.04	4.90
1271	88.53	2.50	56.37	1.83	0.43	4.82
731 A	91.94	3.50	26.00	4.69	2.79	5.99
731 B	73.00	1.76	30.62	2.55	0.65	4.20
732	90.25	3.50	43.27	2.83	0.93	5.99
706	93.36	0.84	10.43	7.33	5.10	2.67
708	93.36	0.44	5.69	7.66	5.71	1.87
712	93.36	1.40	12.32	6.92	4.75	3.51
719	85.97	2.73	30.76	4.07	2.53	5.05
720	91.10	2.73	28.83	4.76	3.22	5.05
745	91.10	3.59	32.68	3.94	1.98	6.08
711	87.46	4.97	29.94	3.72	1.96	7.24
724	89.22	3.48	29.98	4.04	1.99	5.84

726	89.22	3.48	29.98	4.04	1.99	5.84
739	89.22	3.17	23.46	4.71	2.53	5.77
725	88.02	3.29	23.78	4.54	2.22	6.01
723	90.01	3.29	22.22	4.89	2.57	6.01
717	89.42	2.37	21.49	5.00	3.30	4.85
718	89.42	2.37	19.26	5.21	3.52	4.85
740	87.79	4.60	32.03	3.58	1.63	6.95
741	87.79	4.60	40.69	2.74	0.78	6.95
762	90.59	4.00	30.93	3.80	2.00	6.44
716	90.28	3.33	36.48	3.52	1.49	5.83
713	90.01	3.33	31.78	3.95	1.92	5.83
721	90.37	4.60	26.60	4.37	2.42	6.94
743	90.37	4.60	29.87	4.05	2.09	6.95
707	91.49	0.61	5.38	7.49	5.91	2.24
715	91.08	2.37	23.72	4.94	3.25	4.85
714	88.97	2.37	19.82	5.12	3.42	4.85
722	88.97	3.36	37.26	3.49	1.13	5.73
744	87.20	1.92	30.03	3.99	1.87	4.50
746	87.56	2.54	38.80	2.92	0.32	5.13
747	87.85	1.63	25.17	3.98	1.85	4.11
738	85.89	3.17	26.58	4.07	1.90	5.77
728	85.62	2.62	12.16	5.33	3.47	5.44
729	84.08	4.06	26.76	3.79	2.26	6.73

Tabla 56: Presiones y pérdidas en los cuartos de anillos.

Anillos y $\frac{1}{4}$ de anillos

Con los conductos principales calculados, se calcularán los diámetros de los anillos. Los anillos se dividirán en dos ramas, las cuales envolverán el tanque cada una por un sentido partiendo desde el mismo punto de conexionado. Esto se realizará para paliar las pérdidas a lo largo del anillo, pues si se dimensionase como un solo anillo continuo los diámetros de este deberían ser mayores que si se dimensiona por este método.



Ilustración 43: Tanque con anillo principal de refrigeración dividido.

Si en la primera válvula del anillo la presión en esta es la necesaria para descargar exactamente el caudal indicado, en la última válvula del semi-anillo no es posible dimensionarlo de tal manera que las pérdidas en el anillo sean cero por fricción. Por lo que **se adoptará un límite** a la hora de cuanto puede variar la presión en la última boquilla empezando desde la entrada del anillo, se define el límite en la última boquilla como el **90% de la presión nominal en la boquilla** para descargar el caudal dimensionado por boquilla, es decir, la presión podrá variar como máximo un 10 % del original, siendo este un factor de seguridad alto. Con ese dimensionamiento se hará un cálculo iterativo y se estimará la presión necesaria real para que en la última boquilla se tenga la presión nominal, es decir, la presión necesaria con cierta sobrepresión de más para compensar esta pérdida como máximo del 10% fijado

Se puede obtener un valor aproximado de las pérdidas máximas por fricción que se pueden permitir en el recorrido desde la entrada del anillo hasta la última boquilla. Este diámetro, como se verá es un diámetro de gran tamaño lo cual justifica el considerar el límite de garantizar la presión en la última boquilla al menos el 90% de la nominal. Las pérdidas por fricción a lo largo del anillo no son lineales, cada tramo que separa las boquillas el caudal se reduce dentro del anillo en un valor del caudal por boquilla y las pérdidas de carga por metro en el anillo van cayendo, teniendo su máximo en los primeros tramos del anillo.

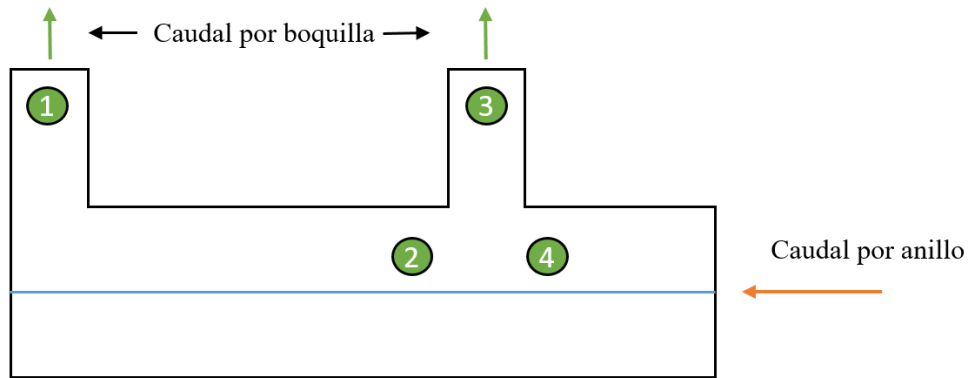


Ilustración 44: Diagrama simplificado del anillo de boquillas.

Planteando la ecuación de Bernoulli y la conservación de la masa en el primer cruce del ejemplo simplificado de la ilustración superior se extrae la siguiente relación:

Para un fluido incompresible el volumen se mantiene constante y la relación de caudales en el cruce se puede expresar como:

$$\begin{aligned} \text{Caudal entrada (punto 4)} \\ = Q_{boquilla} \text{ (punto 3)} + \text{Caudal salida (punto 2)} \end{aligned} \quad (60)$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli en el cruce y relacionándola con la ecuación de conservación de la masa:

$$\begin{aligned} \left(P_4 + \frac{V_4^2}{2 * g} + z_4 \right) * \text{Caudal (punto 4)} \\ = \left(P_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2 \right) * \text{Caudal (punto 2)} \\ + \left(P_{boquilla} + \frac{V_{boquilla}^2}{2 * g} + z_{boquilla} \right) * Q_{boquilla} + h_{f1} \end{aligned}$$

Planteando la ecuación de Bernoulli entre el punto 1 y el punto 2 de la **Ilustración 44**:

$$\begin{aligned} \left(P_{boquilla} + \frac{V_{boquilla}}{2 * g} + z_{boquilla} \right) * Q_{boquilla} + h_{f2} \\ = \left(P_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + z_2 \right) * \text{Caudal (punto 2)} \end{aligned}$$

Juntando ambas ecuaciones obtenemos la relación entre el punto de entrada al anillo y las dos boquillas representadas en la ilustración.

$$\begin{aligned} & \left(P_4 + \frac{V_4^2}{2 * g} + z_4 \right) * \text{Caudal (punto 4)} \\ & = 2 * \left(P_{boquilla} + \frac{V_{boquilla}^2}{2 * g} + z_{boquilla} \right) * Q_{boquilla} + \sum h_f \end{aligned}$$

En la última boquilla la presión siempre será ligeramente inferior a la de la entrada por todas las pérdidas a lo largo del tubo, ya que a la entrada del propio anillo la presión ya es la de las boquillas, por lo que para obtener una idea de cuál es la diferencia de altura entre el sumatorio de boquillas y la entrada se plantea la ecuación como una diferencia entre boquilla y entrada.

Generalizando la ecuación para un número “n” de boquillas en el anillo, eliminando las cotas de las ecuaciones pues se hace la aproximación de que aproximadamente todos los puntos están a la misma altura y el sumatorio simplificado de las pérdidas de fricción en la tubería entre cada transición entre tramos se obtiene las pérdidas máximas que pueden ocurrir en la tubería para cumplir con la presión de trabajo en la boquilla:

$$\begin{aligned} & \text{Pérdidas máximas} \left[m. c. a * \frac{m^3}{s} \right] & (61) \\ & = \left(P_{entrada} + \frac{V_{entrada}^2}{2 * g} \right) * Q_{Anillo} - n * Q_{boquilla} \\ & * \left(P_{boquilla} + \frac{V_{boquilla}^2}{2 * g} \right) \end{aligned}$$

Donde:

$P_{entrada}$: es la presión en la entrada del anillo en metros columna de agua.

$V_{entrada}$: es la velocidad del caudal que circula por el anillo en metros por segundo.

Q_{anillo} : es el caudal que circula por el medio anillo que será la mitad del caudal total de refrigeración en metros cúbicos por segundo.

$P_{boquilla}$: es la presión de trabajo en la boquilla para descargar el caudal por boquilla dimensionado en metros columna por agua.

$V_{boquilla}$: es la velocidad del agua al desviarse y entrar por la rosca de cada boquilla. Teniendo las boquillas seleccionadas un **diámetro de 15 mm.**

$Q_{boquilla}$: es el caudal por boquilla en metros cúbicos segundo.

La ecuación anterior se puede replantear pues el caudal total que se descarga por todas las boquillas del anillo es el propio caudal del anillo $Q_{anillo} = n * Q_{boquilla}$.

$$\begin{aligned} \text{Pérdidas máximas} & \left[m.c.a * \frac{m^3}{s} \right] \\ & = \left(P_{entrada} + \frac{V_{entrada}^2}{2 * g} \right) * Q_{Anillo} - \left(P_{boquilla} + \frac{V_{boquilla}^2}{2 * g} \right) * Q_{Anillo} \end{aligned}$$

Se extrae el caudal del anillo como factor común y se divide entre el caudal del anillo.

$$\text{Pérdidas máximas} [m.c.a] = \frac{\left(P_{entrada} + \frac{V_{entrada}^2}{2 * g} \right) - \left(P_{boquilla} + \frac{V_{boquilla}^2}{2 * g} \right)}{Q_{Anillo}} \quad (62)$$

Con estas pérdidas máximas se puede obtener un diámetro guía para calcular la presión que se tendrá en la boquilla final del anillo. En el caso de que las pérdidas máximas fuesen cero, la ecuación anterior se puede simplificar y de la velocidad de la entrada extraer el diámetro necesario para que estas pérdidas sean cero. En la realidad el diámetro deberá ser ligeramente superior como se verá en los futuros apartados.

$$0 = \frac{\left(P_{entrada} + \frac{V_{entrada}^2}{2 * g} \right) - \left(P_{boquilla} + \frac{V_{boquilla}^2}{2 * g} \right)}{Q_{Anillo}}$$

Siendo la presión en la entrada igual a la presión de la boquilla con $P_{entrada} = P_{boquilla}$.

$$(V_{entrada}^2) = (V_{boquilla}^2)$$

Se obtiene el diámetro hipotético para el tubo de entrada al tubo:

$$D_{anillo} [mm] = \sqrt{\frac{Q_{entrada}}{Q_{boquilla}}} * D_{boquilla} * 1000 \quad (63)$$

Donde:

$Q_{entrada}$: es el caudal en el anillo en litros por minuto o m³/s.

$Q_{boquilla}$: es el caudal que sale por las boquillas en litros por minuto o m³/s.

$D_{boquilla}$: es el diámetro de la rosca de la boquilla en metros. Con un valor de 15 mm.

Con este diámetro del anillo hipotético se necesitará verificar que cumple las condiciones en la última boquilla. Para ello se aplicarán las pérdidas a lo largo del anillo teniendo en cuenta en cada tramo pasada una boquilla la diferencia del caudal en el anillo al ser la pérdida de caudal igual a ese mismo caudal. Para “n” boquillas y una separación entre boquillas ”m”, la presión entre las boquillas empezando desde la entrada del anillo se relacionará mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Presión en boquilla (n) [bar]} & \quad (64) \\ & = \text{Presión en boquilla (n - 1)} \\ & - \frac{6,05 * 10^5 * (m * n) * (Q_{anillo} - Q_{boquilla} * (n - 1))^{1,85}}{C^{1,85} * d^{4,87}} \end{aligned}$$

Donde:

Presión en boquilla (n-1): es la presión disponible en bares en la boquilla anterior.

n: es el número total de boquillas en el cuarto de anillo.

m: es la distancia entre boquillas en el anillo en metros.

Q_{anillo} : es el caudal en litros por minuto en el anillo.

$Q_{boquilla}$: es el caudal que sale por cada boquilla en litros por minuto.

C: es el coeficiente adimensional de fricción en la tubería de la ecuación de Hazen-Williams. Con valor 120 para la tubería de acero.

d: es el diámetro interno en milímetros de la tubería.

Donde en la ecuación anterior para el valor de n=1, es decir la presión en la primera boquilla, la presión en la anterior boquilla (n-1=0) será la **presión disponible en la entrada al anillo**.

El proceso de cálculo de los anillos principales de todos los tanques usa datos como caudales, número de boquillas, longitudes de anillos y presiones necesarias en las boquillas, se obtienen de la **Tabla 40**, **Tabla 41** y **Tabla 42**.

Se calcula a continuación como ejemplo el diámetro principal del anillo tanque 3702:

- Número de boquillas por rama del anillo = $112/2 = 56$ boquillas
- Caudal de refrigeración por rama = $4093,18 / 2 = 2046,59$ l/min = $0,0341$ m³/s
- Longitud rama del anillo = 138,32 metros
- Presión trabajo boquillas = Presión disponible entrada anillo = 1,99 bar = 20,298 m.c.a.
- Caudal por boquilla = $36,55$ l/min = $6,1 \cdot 10^{-4}$ m³/s.

Empleando la ecuación (61). El diámetro de la rosca de las boquillas marca SABO modelo E es de 15 mm [27]. Se calcula el diámetro necesario:

$$D \text{ [mm]} = \sqrt{\frac{2046,59}{36,55}} * 0,015 * 1000 = 112,24 \text{ mm}$$

De la misma manera se calculan el resto de diámetros:

Tanque	Caudal rama anillo (m ³ /s)	Presión disponible anillo (bar)	Diámetro pre-dimensionado sin tener en cuenta pérdidas (mm)	Longitud medio anillo (m)
3702	0.034	1.99	112.25	138.32
3703	0.034	1.99	112.25	138.32
1401	0.013	1.92	70.36	54.54
1400	0.007	1.62	51.96	28.22
1403	0.004	1.51	39.69	16.73
1404	0.004	1.51	39.69	16.73
1402	0.010	1.80	63.64	43.53
755	0.032	1.98	108.17	128.27
756	0.035	2.00	113.25	140.90
3700	0.032	1.99	109.20	131.00
3701	0.036	2.02	115.22	146.71

750	0.032	1.98	108.17	128.27
751	0.032	1.98	108.17	128.27
752	0.032	1.98	108.17	128.27
702	0.027	1.95	99.50	107.91
703	0.027	1.95	99.50	107.91
701	0.019	1.92	84.85	78.54
760	0.016	1.92	77.94	66.51
700	0.027	1.95	100.62	110.27
763	0.015	1.86	76.49	63.15
737	0.027	1.95	99.50	107.91
764	0.015	1.86	100.62	63.15
727	0.027	1.95	42.43	110.27
1270	0.004	1.56	42.43	19.13
1271	0.004	1.51	58.09	18.85
731 A	0.009	1.88	58.09	37.38
731 B	0.009	1.88	58.09	37.38
732	0.009	1.88	102.29	37.38
704	0.056	1.49	106.60	24.82
705	0.056	1.49	106.60	24.82
736	0.074	1.53	106.60	28.27
748	0.074	0.94	39.69	28.35
761	0.074	1.65	36.74	28.35
706	0.004	3.07	39.69	16.02
708	0.003	2.98	42.43	13.82
712	0.004	1.52	42.43	16.81
719	0.004	1.65	60.00	19.63
720	0.004	1.65	77.94	19.63
745	0.009	1.69	47.43	37.79
711	0.016	1.91	47.43	66.29
724	0.005	1.49	68.74	22.93
726	0.005	1.49	86.17	22.93
739	0.012	1.82	86.17	50.74
725	0.020	1.90	54.08	80.42
723	0.020	1.90	63.64	80.42
717	0.007	1.64	63.64	30.63
718	0.007	1.64	56.12	30.63
740	0.010	1.75	70.36	43.06
741	0.010	1.75	70.36	43.06
762	0.008	1.86	63.64	34.87
716	0.013	1.86	63.64	53.72
713	0.013	1.86	39.69	53.72
721	0.010	1.75	54.08	43.04
743	0.010	1.75	54.08	43.06
707	0.004	3.13	49.75	16.18

715	0.007	1.64	90.00	30.63
714	0.007	1.64	73.48	30.63
722	0.006	1.54	68.74	25.45
744	0.022	2.01	121.86	89.98
746	0.014	1.94	100.62	59.61
747	0.014	1.92	90.00	59.38
738	0.012	1.82	0.07	50.74
766	0.152	1.78	0.12	40.06
728	0.027	1.95	0.10	110.27
729	0.022	2.00	0.09	89.85

Tabla 57: Pre-dimensionamiento de los diámetros en anillos principales.

A continuación, se emplea la fórmula (64) para cada uno de los tramos de los anillos de cada tanque en función del número de boquillas que dispongan por rama del anillo y se tienen en cuenta las pérdidas por fricción a lo largo del anillo, dimensionando los diámetros de los anillos para que cumplan la condición de diseño de que la presión disponible en la última boquilla no caiga más del 90% respecto de la entrada.

Tanque	DN STD	Presión entrada a anillo (bar)	Presión última boquilla (bar)	% Presión respecto a entrada	Velocidad rama (m/s)
3702	150	1.99	1.87	93.83	1.83
3703	150	1.99	1.87	93.88	1.83
1401	100	1.92	1.86	96.89	1.60
1400	65	1.62	1.52	94.16	2.13
1403	50	1.51	1.46	96.68	1.72
1404	50	1.51	1.46	96.68	1.72
1402	80	1.80	1.68	93.52	2.18
755	150	1.98	1.88	95.06	1.70
756	150	2.00	1.87	93.56	1.86
3700	150	1.99	1.89	94.77	1.73
3701	150	2.02	1.88	92.86	1.94
750	150	1.98	1.88	95.06	1.70
751	150	1.98	1.88	95.06	1.70
752	150	1.98	1.88	95.06	1.70
702	125	1.95	1.80	92.54	2.05
703	125	1.95	1.80	92.54	2.05
701	125	1.92	1.87	97.00	1.48
760	100	1.92	1.81	94.44	1.97
700	125	1.95	1.79	92.05	2.10

763	100	1.86	1.77	95.07	1.86
737	125	1.95	1.80	92.54	2.05
764	100	1.86	1.77	95.07	1.86
727	125	1.95	1.79	92.05	2.10
1270	50	1.56	1.49	95.30	1.99
1271	50	1.51	1.44	95.36	1.96
731 A	80	1.88	1.80	96.03	1.86
731 B	80	1.88	1.80	96.03	1.86
732	80	1.88	1.80	96.03	1.86
706	40	3.07	2.92	95.21	2.68
708	32	2.98	2.77	93.09	3.09
712	50	1.52	1.47	96.67	1.72
719	50	1.65	1.57	95.19	2.05
720	50	1.65	1.57	95.19	2.05
745	80	1.69	1.61	95.45	1.88
711	100	1.91	1.80	94.46	1.96
724	50	1.49	1.36	91.75	2.43
726	50	1.49	1.36	91.75	2.43
739	100	1.82	1.77	97.33	1.49
725	125	1.90	1.84	96.75	1.52
723	125	1.90	1.84	96.75	1.52
717	65	1.64	1.52	92.69	2.33
718	65	1.64	1.52	92.69	2.33
740	80	1.75	1.64	93.58	2.16
741	80	1.75	1.64	93.58	2.16
762	65	1.86	1.69	90.58	2.67
716	100	1.86	1.80	96.92	1.58
713	100	1.86	1.80	96.92	1.58
721	80	1.75	1.64	93.58	2.16
743	80	1.75	1.64	93.58	2.16
707	40	3.13	2.98	95.17	2.71
715	65	1.64	1.52	92.69	2.33
714	65	1.64	1.52	92.69	2.33
722	65	1.54	1.47	95.47	1.91
744	125	2.01	1.92	95.73	1.71
746	100	1.94	1.86	96.00	1.76
747	100	1.92	1.85	96.01	1.75
738	100	1.82	1.77	97.33	1.49
728	125	1.95	1.79	92.05	2.10
729	125	2.00	1.92	95.74	1.70

Tabla 58: Diámetros seleccionados en las ramas de los anillos principales.

Por ejemplo se muestra a continuación la evolución de las presiones en las boquillas en la rama del tanque 3702:

- Número de boquillas por rama = 56 boquillas.
- Presión nominal boquilla = 1,99 bar
- Presión disponible última boquilla (con $P_{\text{entrada}} = 1,99$) = 1,87 bar

Empleando la ecuación (64) para las 56 boquillas con la presión de entrada al anillo igual a 1,99 bar:

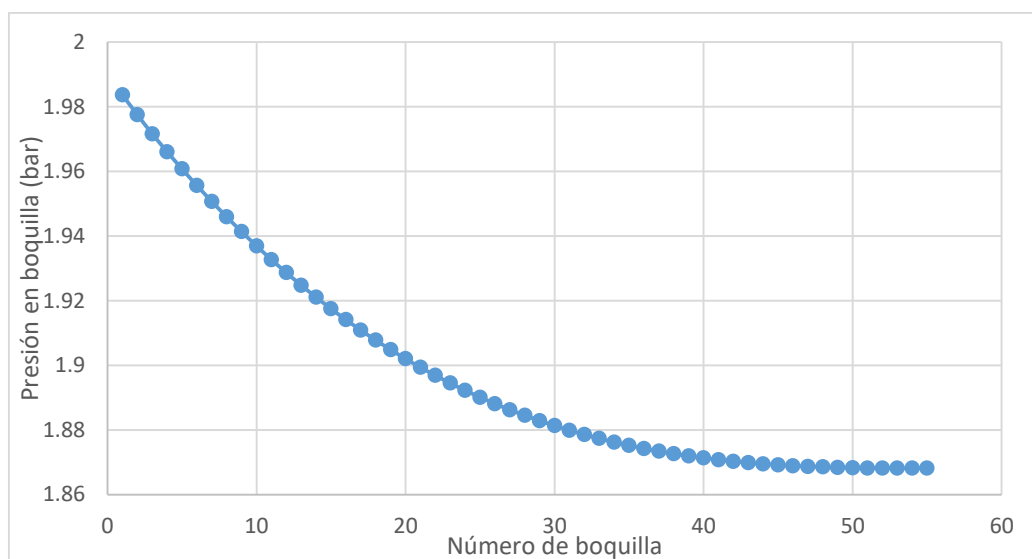


Ilustración 45: Evolución de la presión en las boquillas tanque 3702.

Se observa que en la primera mitad de la rama del anillo es donde ocurre la mayor parte de la caída de presión por fricción en la rama.

Con los diámetros seleccionados y las caídas de presión establecidas y dentro del rango (10% de caída de presión máximo) para todos los tanques, se calcula la presión necesaria en la entrada al anillo para tener la presión nominal en la última boquilla. De la tabla anterior se tienen las caídas de presión esperadas teniendo en la entrada del anillo exactamente la presión nominal de las boquillas, partiendo de ese punto se puede obtener el incremento necesario para compensar estas pérdidas.

$$\begin{aligned} \text{Presión entrada anillo necesaria [bar]} & \quad (65) \\ & = P_{\text{boquilla}} * (1 + (1 - \text{Variación presión})) \end{aligned}$$

Donde:

P_{boquilla} : es la presión nominal de trabajo de las boquillas en las ramas del anillo principal en bares.

Variación de la presión: es la presión por unidad esperada en la rama del anillo hasta la última boquilla. Extraído de la **Tabla 58**.

Tanque	Presión nominal boquilla (bar)	Caida de presión esperada en la rama para caudal nominal (bar)	Presión entrada en el anillo necesaria (bar)
3702	1.99	0.12	2.11
3703	1.99	0.12	2.11
1401	1.92	0.06	1.98
1400	1.62	0.09	1.71
1403	1.51	0.05	1.56
1404	1.51	0.05	1.56
1402	1.80	0.12	1.91
755	1.98	0.10	2.08
756	2.00	0.13	2.12
3700	1.99	0.10	2.09
3701	2.02	0.14	2.17
750	1.98	0.10	2.08
751	1.98	0.10	2.08
752	1.98	0.10	2.08
702	1.95	0.15	2.09
703	1.95	0.15	2.09
701	1.92	0.06	1.98
760	1.92	0.11	2.03
700	1.95	0.15	2.10
763	1.86	0.09	1.95
737	1.95	0.15	2.09
764	1.86	0.09	1.95
727	1.95	0.15	2.10
1270	1.56	0.07	1.63
1271	1.51	0.07	1.58
731 A	1.88	0.07	1.95
731 B	1.88	0.07	1.95
732	1.88	0.07	1.95
706	3.07	0.15	3.21
708	2.98	0.21	3.18
712	1.52	0.05	1.58

719	1.65	0.08	1.73
720	1.65	0.08	1.73
745	1.69	0.08	1.77
711	1.91	0.11	2.01
724	1.49	0.12	1.61
726	1.49	0.12	1.61
739	1.82	0.05	1.86
725	1.90	0.06	1.96
723	1.90	0.06	1.96
717	1.64	0.12	1.76
718	1.64	0.12	1.76
740	1.75	0.11	1.87
741	1.75	0.11	1.87
762	1.86	0.18	2.04
716	1.86	0.06	1.92
713	1.86	0.06	1.92
721	1.75	0.11	1.87
743	1.75	0.11	1.87
707	3.13	0.15	3.29
715	1.64	0.12	1.76
714	1.64	0.12	1.76
722	1.54	0.07	1.61
744	2.01	0.09	2.09
746	1.94	0.08	2.02
747	1.92	0.08	2.00
738	1.82	0.05	1.86
728	1.95	0.15	2.10
729	2.00	0.09	2.09

Tabla 59: Presiones necesarias en la entrada de las ramas del anillo principal

Cuartos de anillo

Los diámetros de los cuartos de anillos se dimensionan siguiendo el mismo proceso de cálculo que para los anillos principales. Los cuartos de anillo presentan las mismas características de cálculo que en los anillos completos, solo varía el número de boquillas, caudales y longitudes del propio anillo, donde estas variables se pueden consultar en los apartados previos (ver **Tabla 54**).

Se pre-selecciona los diámetros de los cuartos de anillos con la ecuación (63):

Tanque	Caudal cuarto anillo (m ³ /s)	Longitud 1/4 anillo (m)	Presión disponible anillo (bar)	Diámetro pre-dimensionado sin tener en cuenta pérdidas (mm)
3702	0.042	69.16	1.72	73.48
3703	0.042	69.16	1.72	73.48
1400	0.016	14.11	2.40	36.74
1403	0.006	8.36	2.24	25.98
1404	0.006	8.36	2.24	25.98
1402	0.025	21.76	2.66	45.00
755	0.041	64.14	1.93	70.36
756	0.045	70.45	1.96	73.48
3700	0.042	65.50	2.02	70.36
3701	0.047	73.36	1.96	75.00
701	0.019	39.27	1.84	56.12
760	0.016	33.25	1.92	51.96
763	0.032	31.57	2.80	49.75
737	0.029	53.96	1.45	63.64
764	0.032	31.57	2.80	49.75
727	0.045	55.13	1.85	65.38
1270	0.005	9.57	1.45	30.00
1271	0.005	9.42	1.40	30.00
731 A	0.013	18.69	1.90	39.69
731 B	0.013	18.69	1.90	39.69
732	0.013	18.69	1.90	39.69
706	0.003	8.01	2.23	30.00
708	0.002	6.91	1.95	25.98
712	0.003	8.40	2.17	25.98
719	0.005	9.82	1.54	30.00
720	0.005	9.82	1.54	30.00
745	0.013	18.90	1.96	39.69
711	0.016	33.14	1.76	51.96
724	0.008	11.47	2.04	30.00
726	0.008	11.47	2.04	30.00
739	0.018	25.37	2.18	45.00
725	0.029	40.21	2.32	56.12
723	0.029	40.21	2.32	56.12
717	0.010	15.32	1.69	36.74
718	0.010	15.32	1.69	36.74
740	0.015	21.53	1.96	42.43
741	0.015	21.53	1.96	42.43
762	0.014	17.44	1.80	36.74

716	0.013	26.86	2.03	45.00
713	0.013	26.86	2.03	45.00
721	0.015	21.52	1.95	42.43
743	0.015	21.53	1.96	42.43
707	0.002	8.09	1.58	30.00
715	0.010	15.32	1.69	36.74
714	0.010	15.32	1.69	36.74
722	0.008	12.72	2.35	33.54
744	0.021	44.99	2.11	58.09
746	0.016	29.81	2.59	47.43
747	0.020	29.69	2.13	47.43
738	0.018	25.37	2.18	45.00
728	0.045	55.13	1.85	65.38
729	0.032	44.92	1.53	58.09

Tabla 60: Pre-dimensionamiento de los diámetros en los cuartos de anillo..

Luego se tienen en cuenta las pérdidas por fricción en la longitud del cuarto de anillo con la ecuación (64) para el número total de boquillas por cuarto de anillo.

Tanque	Presión entrada a anillo (bar)	DN STD	Velocidad en cuarto anillo (m/s)	Presión última boquilla (bar)	% Presión respecto a entrada
3702	1.72	200	1.31	1.54	89.70
3703	1.72	200	1.31	1.54	89.70
1400	2.40	80	3.37	2.16	89.97
1403	2.24	50	2.79	2.11	94.29
1404	2.24	50	2.79	2.11	94.29
1402	2.66	100	3.09	2.37	89.13
755	1.93	200	1.27	1.79	92.51
756	1.96	200	1.40	1.76	89.61
3700	2.02	200	1.30	1.86	92.38
3701	1.96	250	0.93	1.89	96.01
701	1.84	125	1.45	1.70	92.73
760	1.92	125	1.27	1.85	95.88
763	2.80	125	2.47	2.56	91.35
737	1.45	200	0.90	1.40	96.24
764	2.80	125	2.47	2.56	91.35
727	1.85	200	1.39	1.72	93.04
1270	1.45	50	2.19	1.35	93.14
1271	1.40	50	2.15	1.31	93.23
731 A	1.90	100	1.58	1.84	96.75
731 B	1.90	100	1.58	1.84	96.75

732	1.90	100	1.58	1.84	96.75
706	2.23	40	1.96	2.14	95.94
708	1.95	40	1.38	1.92	98.05
712	2.17	40	2.58	2.02	93.15
719	1.54	50	2.26	1.43	92.99
720	1.54	50	2.26	1.43	92.99
745	1.96	100	1.60	1.89	96.72
711	1.76	125	1.21	1.69	95.87
724	2.04	65	2.49	1.92	94.00
726	2.04	65	2.49	1.92	94.00
739	2.18	100	2.17	2.00	91.94
725	2.32	150	1.54	2.20	94.67
723	2.32	150	1.54	2.20	94.67
717	1.69	80	2.20	1.58	92.99
718	1.69	80	2.20	1.58	92.99
740	1.96	100	1.83	1.85	94.84
741	1.96	100	1.83	1.85	94.84
762	1.80	100	1.70	1.74	96.63
716	2.03	100	1.54	1.93	95.18
713	2.03	100	1.54	1.93	95.18
721	1.95	100	1.83	1.85	94.84
743	1.96	100	1.83	1.85	94.84
707	1.58	40	1.65	1.51	95.80
715	1.69	80	2.20	1.58	92.99
714	1.69	80	2.20	1.58	92.99
722	2.35	65	2.44	2.21	93.96
744	2.11	125	1.66	1.90	90.13
746	2.59	100	1.93	2.42	93.17
747	2.13	125	1.52	2.04	95.91
738	2.18	100	2.17	2.00	91.94
728	1.85	200	1.39	1.72	93.04
729	1.53	200	0.99	1.49	96.92

Tabla 61: Diámetros seleccionados en los cuartos de anillo.

Por último se calcula las presiones necesarias en la entrada del anillo para tener la presión nominal en la última boquilla de cada cuarto de anillo (ecuación (65)) :

Tanque	Presión nominal boquilla (bar)	Caída de presión esperada en la rama para caudal nominal (bar)	Presión entrada en el anillo necesaria (bar)
--------	--------------------------------	--	--

3702	1.72	0.18	1.89
3703	1.72	0.18	1.89
1400	2.40	0.24	2.64
1403	2.24	0.13	2.37
1404	2.24	0.13	2.37
1402	2.66	0.29	2.95
755	1.93	0.14	2.08
756	1.96	0.20	2.17
3700	2.02	0.15	2.17
3701	1.96	0.08	2.04
701	1.84	0.13	1.97
760	1.92	0.08	2.00
763	2.80	0.24	3.05
737	1.45	0.05	1.51
764	2.80	0.24	3.05
727	1.85	0.13	1.98
1270	1.45	0.10	1.55
1271	1.40	0.09	1.50
731 A	1.90	0.06	1.96
731 B	1.90	0.06	1.96
732	1.90	0.06	1.96
706	2.23	0.09	2.32
708	1.95	0.04	1.99
712	2.17	0.15	2.32
719	1.54	0.11	1.65
720	1.54	0.11	1.65
745	1.96	0.06	2.02
711	1.76	0.07	1.84
724	2.04	0.12	2.17
726	2.04	0.12	2.17
739	2.18	0.18	2.35
725	2.32	0.12	2.45
723	2.32	0.12	2.45
717	1.69	0.12	1.81
718	1.69	0.12	1.81
740	1.96	0.10	2.06
741	1.96	0.10	2.06
762	1.80	0.06	1.86
716	2.03	0.10	2.13
713	2.03	0.10	2.13
721	1.95	0.10	2.05
743	1.96	0.10	2.06
707	1.58	0.07	1.64
715	1.69	0.12	1.81
714	1.69	0.12	1.81

722	2.35	0.14	2.49
744	2.11	0.21	2.32
746	2.59	0.18	2.77
747	2.13	0.09	2.22
738	2.18	0.18	2.35
728	1.85	0.13	1.98
729	1.53	0.05	1.58

Tabla 62: Presiones necesarias en la entrada de los cuartos de anillo.

Esferas

Las esferas como se han comentado previamente se han separado en el dimensionamiento de los tanques de cuerpo cilíndrico debido a su forma constructiva, pues estos no solo tienen un anillo en su parte alta que moja la superficie lateral, si no que cuentan con más de un anillo, en concreto, en línea con lo indicado en la normativa, donde indica que se debe mojar las partes por debajo del ecuador de los tanques de cuerpo esférico o cilíndrico horizontal [39].

Se decide instalar **4 anillos en las esferas**, dos anillos por encima del ecuador de la esfera y 2 por debajo de esta, haciendo hincapié en mojar toda la superficie y aquellas áreas donde el agua pueda no llegar debido a los soportes del propio tanque como ejemplo u otros.

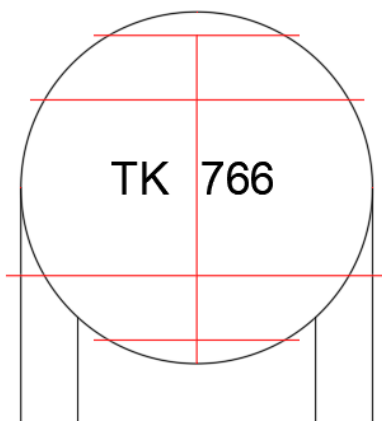


Ilustración 46: Ejemplo distribución de los anillos en esfera 766.

Los cálculos del número de boquillas, conducciones y anillos, seguirán los procesos de cálculo realizado en anteriores apartados, para ver en mayor detalle estos procesos de cálculos ver los apartados **“Boquillas de agua pulverizada”**; **“Canalización principal”** y el apartado **“Anillos y 1/4 de anillos”** respectivamente.

Boquillas de las esferas

El proceso de cálculo en las esferas es como sigue, en un primer cálculo se estiman el número de boquillas por anillo en función a las separaciones recomendadas por el fabricante de estas para todas las esferas, una vez se tienen el número de boquillas y sabiendo el caudal que se necesita para la refrigeración en las esferas completas, dividiendo el caudal entre el número de boquillas obtenidas en un primer cálculo permite obtener el caudal por boquilla y por tanto seleccionar el modelo adecuado para el funcionamiento.

Recordar que las boquillas seleccionadas son las boquillas pulverizadoras modelo E de la marca SABO.

Tanque	Tipo	Sector de	Diámetro Exterior	Altura (m)	Superficie lateral	Volumen útil (m ³)
--------	------	-----------	-------------------	------------	--------------------	--------------------------------

		incendio	(m)		(m ²)	
704	Esfera	27	14.60	16.81	669.66	1385.08
705	Esfera	28	14.60	16.83	669.66	1385.08
736	Esfera	29	16.80	19.03	886.68	2110.31
748	Esfera	30	16.85	19.04	891.97	2129.20
761	Esfera	31	16.85	19.43	891.97	2003.96
766	Esfera	50	24.10	27.10	1824.65	6010.00

Tabla 63: Datos constructivos de las esferas y sector de incendio.

Se divide la altura en 6 partes iguales para ubicar los 4 anillos en una distribución uniforme a lo largo de la esfera. Los anillos formaran un plano perpendicular al eje vertical de la esfera. El primer anillo y último anillo se ubicaran a una distancia medida en la vertical desde el punto más alto de la esfera, de tal manera que se garantice que se cubre con agua las partes altas y bajas de esta también. Se calcula a continuación el ejemplo de la esfera 704.

Para la esfera 704, el tamaño de los anillos, el número de boquillas, caudales por anillo y ángulos de instalación será:

- Altura de la esfera 704 = 16,81 m
- Separación entre anillos = 16,81/6 = 2,8 metros

La distancia vertical del primer/último anillo respecto al punto más alto y bajo de la esfera se calculará con la siguiente ecuación:

$$Distancia\ cobertura\ [m] = R_{esfera} * \left(1 - \cos\left(\frac{Cobertura}{R_{esfera}}\right) \right) \quad (66)$$

Donde:

R_{esfera} : es el radio de la esfera en metros.

Cobertura: es la cobertura máxima axial para el ángulo de pulverización de la boquilla seleccionado en metros.

El radio de cada anillo en función de su posición en la esfera se calculará según la siguiente ecuación:

$$\text{Radio anillo [m]} = \text{Separación} + \sqrt{R_{\text{esfera}}^2 - (R_{\text{esfera}} - D_{\text{alto}})^2} \quad (67)$$

Donde:

Separación: es la distancia respecto a la pared del anillo en metros.

R_{esfera}: es el radio de la esfera en metros.

D_{alto}: es la distancia vertical respecto al punto más alto de la esfera en metros del anillo.

La separación respecto a la pared del tanque, como se había comentado previamente, será de **0,6 metros** por recomendación del fabricante, con excepción del tanque 766 donde debido a su alto coeficiente de descarga se permite alejar las boquillas más y obtener mejor cobertura, donde su separación será de **0,7 metros**.

Para un ángulo de pulverización de las boquillas de **160°**, la distancia radial que son capaces de cubrir con una separación de la pared (distancia axial) de 0,6 metros es de **3 metros**, por lo que el valor de la variable “Cobertura” de la ecuación (66).

$$\text{Distancia cobertura} = 7,3 * \left(1 - \cos\left(\frac{3}{7,3}\right)\right) = 0,6078 \text{ metros}$$

$$\text{Radio primer y último anillo} = 0,6 + \sqrt{7,3^2 - (7,3 - 0,6078)^2} = 3,516 \text{ metros}$$

La separación del segundo anillo respecto al primero será la separación entre anillos calculada previamente y su distancia vertical será igual a la distancia de cobertura más la separación entre anillos

$$D_{\text{alto}} (2^{\text{o}} \text{ anillo}) = 0,6078 + 2,8 = 3,4078 \text{ metros.}$$

El radio del segundo será igual pues ocupan posiciones simétricas.

$$\text{Radio segundo} = 0,6 + \sqrt{7,3^2 - (7,3 - 3,4078)^2} = 6,775 \text{ metros}$$

El tercer anillo cubre por fuera de los soportes de la propia esfera, y moja aquellas zonas como las patas de esta y la primera parte por debajo del ecuador de la esfera (ver **Ilustración 46**).

$$D_{alto} (3^{\circ} \text{ anillo}) = 3,4078 + 2 * 2,8 = 9 \text{ metros}$$

En el caso del tercer anillo, su radio **será el propio radio del tanque con la separación de 0,6 metros**.

La cantidad de boquillas por anillo será por lo tanto igual a lo máximo que se pueden separar dichas boquillas siempre garantizando la cobertura entre ellas. Se emplean las ecuaciones (51) y (50) . Los números de boquillas se redondearán a su valor inmediatamente superior y se harán pares para poder equilibrar el anillo al dividirlo.

$$N^{\circ} \text{ boquillas primer y último anillo} = \frac{2 * \pi * 3,516}{3} = 7,36 \approx 8 \text{ boquillas}$$

$$N^{\circ} \text{ boquillas segundo anillo} = \frac{2 * \pi * 6,775}{3} = 14,19 \approx 16 \text{ boquillas}$$

$$N^{\circ} \text{ boquillas tercer anillo} = \frac{2 * \pi * 7,9}{3} = 16,545 \approx 18 \text{ boquillas}$$

Un total de **50 boquillas** en el tanque 704. Con un caudal de refrigeración de **6696,62 l/min** el caudal por cada una de las boquillas será de 133,93 l/min. Se selecciona el tipo de boquilla adecuada según el proceso indicado en el apartado “**Boquillas de agua pulverizada**”.

$$K_{necesaria} = \frac{133,92}{\sqrt{1,4}} = 113,18$$

El valor inmediatamente inferior de K disponible en el modelo E es de **103,7** en el catálogo de SABO.

$$\text{Presión nominal en boquilla} = \left(\frac{133,92}{103,9} \right)^2 = 1,66 \text{ bar}$$

Los caudales por cada una de los anillo se obtiene multiplicando el caudal por boquilla por el número de boquillas por anillo.

$$\text{Caudal 1º anillo} = 8 * 133,93 = 1071,44 \text{ l/min}$$

$$\text{Caudal 2º anillo} = 16 * 133,93 = 2142,88 \text{ l/min}$$

$$\text{Caudal 3º anillo} = 18 * 133,93 = 2410,74 \text{ l/min}$$

$$\text{Caudal 4º anillo} = 8 * 133,93 = 1071,44 \text{ l/min}$$

El ángulo de instalación de las boquillas respecto a la vertical para que las boquillas estén respecto a la superficie perpendicularmente variará. El ángulo respecto a la vertical se indica según la siguiente nomenclatura, una boquilla apuntando directamente al suelo tendrá un ángulo de 0° y el ángulo crece en sentido contraria a las agujas del reloj, siendo el ángulo de una boquilla que apunta directamente al cielo en dirección contraria al suelo de 180° . Así que se calculan los ángulos de instalación de la esfera 704:

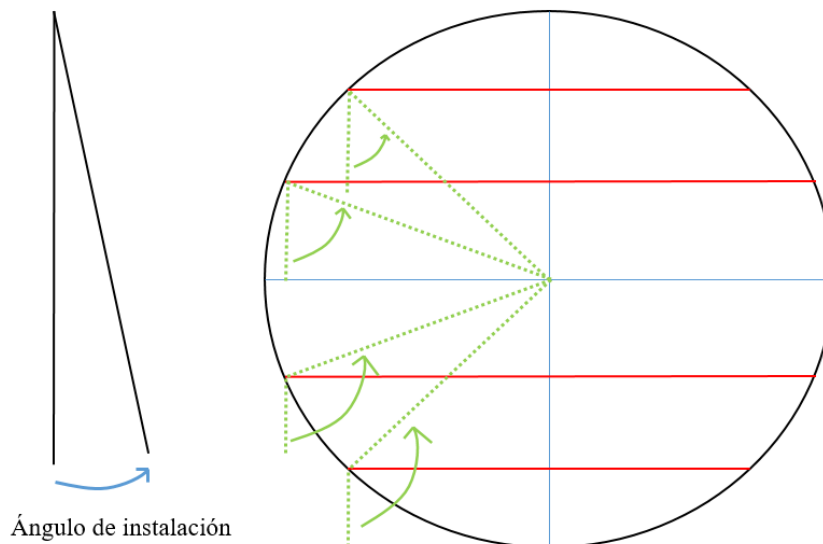


Ilustración 47: Esquema de los ángulos de instalación en las esferas.

Se calculan los ángulos de instalación con los radios de los anillos y el radio de la esfera con la separación de 0,6 metros y relaciones trigonométricas.

$$\begin{aligned} \text{Ángulo boquillas 1º anillo} &= \sin^{-1}\left(\frac{\text{Radio 1º anillo}}{\text{Radio esfera}}\right) * \frac{360}{2\pi} \\ &= \sin^{-1}\left(\frac{3,516}{7,9}\right) * \frac{360}{2\pi} = 26,42^\circ \end{aligned}$$

$$\text{Ángulo boquillas 2º anillo} = \sin^{-1}\left(\frac{6,775}{7,9}\right) * \frac{360}{2\pi} = 59^\circ$$

$$\text{Ángulo boquillas 3º anillo} = 90 + \tan^{-1}\left(\frac{2,8}{7,9}\right) * \frac{360}{2\pi} = 109,5^\circ$$

$$\text{Ángulo boquillas 4º anillo} = (180 - \text{Ángulo boquillas 1º anillo}) = 153,58^\circ$$

De la misma manera que en la del ejemplo del tanque 704, se calculan el resto de variables de las esferas restantes.

La separación entre boquillas elegidas en todas las esferas es de **3 metros** entre ellas como máximo menos en la esfera 766, donde debido al alto caudal y los valores de K de la boquillas disponibles la presión excesiva obliga a reducir la distancia entre ellas para dividir más aun el caudal, siendo la separación entre estas de **2 metros**.

Esferas	Radios de los anillos (metros)			
	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4
704	3.52	6.78	7.90	3.52
705	3.52	6.78	7.90	3.52
736	3.54	7.56	9.00	3.54
748	3.54	7.58	9.03	3.54
761	3.54	7.62	9.03	3.54
766	3.67	10.39	12,75	3.67

Tabla 64: Radio de los anillos de las esferas.

Esferas	Boquillas	Boquillas	Boquillas	Boquillas
---------	-----------	-----------	-----------	-----------

	anillo 1	anillo 2	anillo 3	anillo 4
704	8	16	18	8
705	8	16	18	8
736	8	18	20	8
748	8	16	20	8
761	8	16	20	8
766	12	34	42	12

Tabla 65: Número de boquillas en los anillos de las esferas.

Esferas	K necesaria	K disponible	Presión nominal boquilla (bar)
704	113.20	103.7	1.67
705	113.20	103.7	1.67
736	138.78	103.7	2.51
748	144.98	103.7	2.74
761	144.98	103.7	2.74
766	154.21	103.7	3.10

Tabla 66: K seleccionadas y presiones nominales de las boquillas de las esferas.

Esferas	Ángulo de instalación de las boquillas (°)			
	Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4
704	26,5	60	109,5	153,5
705	26,5	60	109,5	153,5
736	26,5	60	109,5	153,5
748	26,5	60	109,5	153,5
761	26,5	60	109,5	153,5
766	26,5	60	109,5	153,5

Tabla 67: Ángulos de instalación de las boquillas de las esferas.

Esferas	Caudal por boquilla (l/min)	Caudal en los anillos (l/min)			
		Anillo 1	Anillo 2	Anillo 3	Anillo 4
704	133.93	1071.46	2142.92	2410.78	1071.46
705	133.93	1071.46	2142.92	2410.78	1071.46
736	164.20	1313.60	2955.61	3284.01	1313.60
748	171.53	1372.26	2744.52	3430.65	1372.26
761	171.53	1372.26	2744.52	3430.65	1372.26
766	182.47	2189.59	6203.82	7663.55	2189.59

Tabla 68: Caudales por boquillas y caudales por los anillos de las esferas.

Conductos desde conexión a RCI hasta esferas

Se dimensionarán a continuación los diámetros de las conducciones desde los puestos de control hasta lo alto de cada una de las esferas. El proceso de cálculo de los diámetros es exactamente igual que en el proceso paso a paso que se muestra en el apartado “**Canalización principal**”.

Las esferas 761 y 766 están localizadas aisladas del resto, con una sola conexión en su puesto de control siendo la suya, los tanques 704, 705, 736 y 748 comparten área común, estando sus cubetos pegados los unos a otros, su punto de conexión a la RCI es común y cercano a los grupos de bombeo. Para la presión disponible en el caso de las esferas que comparten conexión, se debe dimensionar en el caso donde se disponga de la presión de conexión más baja, esto ocurre en el caso en el caso del incendio de la esfera 705, donde todas las esferas adyacentes se ven afectadas.

Las pérdidas localizadas en las conducciones serán las de **dos codos de 90° y radio normal y la válvula de compuerta dispuesta** en cada conducción con el fin de segmentar, sin tener en cuenta las pérdidas que deberá introducir la válvula de regulación para tener una presión disponible determinada. Los valores de fricción/pérdidas que estos elementos introducen se muestran en la **Tabla 50: Elementos localizados**. Fuente:[13].

Las conexiones principales se dimensionan para que cumplan la condición de **velocidad máxima de 8 m/s** en las conducciones.

Esferas	Distancia a puesto de control (m)	Altura tanque (m)	Presión necesaria boquilla (bar)	Presión disponible en conexión de RCI (mca)	Caudal refrigeración (l/min)
704	130	16.81	1.67	75.17	6696.62
705	100	16.83	1.67	75.17	6696.62

736	74	19.03	2.51	75.17	8866.83
748	88	19.04	2.74	75.17	8919.69
761	30	19.43	2.74	92.54	8919.69
766	21	27.10	3.10	82.70	18246.54

Tabla 69: Datos iniciales dimensionamiento conexión principales en esferas.

Con los datos de partida establecidos se dimensionan los diámetros y se preseleccionan unos diámetros normalizados de espesor STD (Sch 40), donde sus espesores y diámetros exteriores se indican en la **Tabla 49**.

Para el cálculo del diámetro necesario para cumplir con la velocidad máxima en la tubería se utiliza la ecuación (36).

Para el cálculo de las pérdidas por fricción y localizadas se utiliza la ecuación (58).

Las pérdidas necesarias en la válvula para cumplir en la entrada con la presión nominal de las boquillas es la diferencia entre la presión disponible en la conexión a la RCI menos las pérdidas localizadas + fricción menos la altura del tanque menos la propia presión nominal de la boquilla, se utiliza la ecuación (57).

Esferas	Diámetro para cumplir límite de 8 m/s (mm)	DN STD	Dint (mm)	P. fricción + localizadas (mca)	Presión estática en lo alto sin regular (bar)	Perdidas en la válvula (mca)
704	133.28	150	154.06	36.57	2.14	4.78
705	133.28	150	154.06	29.58	2.82	11.75
736	153.36	200	202.72	10.96	4.43	19.61
748	153.82	200	202.72	12.54	4.27	15.68
761	153.82	200	202.72	6.54	6.53	38.66
766	220.00	250	254.51	8.38	4.63	15.64

Tabla 70: Diámetros de las conexiones desde puesto de control a alto esfera.

Bajantes

El tubo que interconecta los diferentes anillos, al bajar de cota la presión aumenta en la parte baja del tramo descendido en función de la diferencia de cota entre ambos trozos.

Las pérdidas por fricción en la bajante deberán ser iguales al propio incremento de presión debido a la diferencia de cotas.

Se utilizará la ecuación de Hazen-Williams de las pérdidas de carga por fricción (ecuación (56)) en la tubería para obtener el diámetro necesario para tener dichas pérdidas en la tubería.

Esfera	Bajante a anillo 1					
	Presión entra bajante(mca)	Presión a perder por fricción (mca)	Longitud bajante	Diámetro necesario (mm)	DN STD	Presión en la salida de la bajante (mca)
704	17.01	2.80	2.80	114.25	125	18.22
705	17.01	2.80	2.80	114.25	125	18.22
736	25.57	3.17	3.17	127.10	150	27.50
748	27.91	3.17	3.17	127.39	150	29.82
761	27.91	3.24	3.24	127.39	150	29.86
766	31.58	4.52	4.52	167.19	200	34.33

Tabla 71: Diámetros normalizados de bajante a anillo 1 de las esferas.

Esfera	Bajante a anillo 2					
	Presión entra bajante(mca)	Presión a perder por fricción (mca)	Longitud bajante	Diámetro necesario (mm)	DN STD	Presión en la salida de la bajante (mca)
704	17.01	2.80	2.80	106.93	125	18.66
705	17.01	2.80	2.80	106.93	125	18.66
736	25.57	3.17	3.17	119.59	125	26.48
748	27.91	3.17	3.17	119.56	125	28.82
761	27.91	3.24	3.24	119.56	125	28.84
766	31.58	4.52	4.52	159.27	200	34.70

Tabla 72: Diámetros normalizados de bajante a anillo 2 de las esferas.

Esfera	Bajante a anillo 3					
	Presión entra bajante(mca)	Presión a perder por fricción (mca)	Longitud bajante	Diámetro necesario (mm)	DN STD	Presión en la salida de la bajante (mca)
704	22.62	5.60	5.60	89.12	100	25.35
705	22.62	5.61	5.61	89.12	100	25.36
736	31.92	6.34	6.34	99.04	100	32.83
748	34.26	6.35	6.35	100.70	100	34.72
761	34.39	6.48	6.48	100.70	100	34.85
766	40.61	9.03	9.03	132.30	150	45.34

Tabla 73: Diámetros normalizados de bajante a anillo 3 de las esfera.

Esfera	Bajante a anillo 4					
	Presión entra bajante(mca)	Presión a perder por fricción (mca)	Longitud bajante	Diámetro necesario (mm)	DN STD	Presión en la salida de la bajante (mca)
704	19.82	2.80	2.80	56.95	65	20.86
705	19.82	2.80	2.80	56.95	65	20.87
736	28.75	3.17	3.17	61.54	65	29.02
748	31.08	3.17	3.17	62.56	65	31.12
761	31.15	3.24	3.24	62.56	65	31.18
766	36.10	4.52	4.52	74.72	80	36.93

Tabla 74: Diámetros normalizados de bajante a anillo 4 de las esfera.

Anillos

Los anillos se dimensionarán de la misma manera que los dimensionados en el apartado “**Anillos y ¼ de anillos**”. De la misma manera que en los tanques cilíndricos, los anillos se dividirán en dos ramas con el fin de dividir el caudal por anillo a la mitad entra cada rama y así disponer diámetros más pequeños para los anillos.

Seleccionando diámetros normalizados y calculando las pérdidas (ecuación(64)) a lo largo de la rama del anillo que contendrá la mitad de las boquillas por anillo

dimensionadas previamente se obtiene la presión disponible en la última boquilla, se cumplirá en todos los casos la condición de que las pérdidas en la última boquilla no caigan más de un **10 % respecto a la presión a la entrada del anillo**, siguiendo la misma condición que se definió para los anillos de los tanques cilíndricos.

Esfera	Rama anillo 1			
	Presión entrada anillo (bar)	DN STD	Dint (mm)	Presión última boquilla bar (bar)
704	1.79	65	62.71	1.63
705	1.79	65	62.71	1.63
736	2.70	65	62.71	2.47
748	2.92	65	62.71	2.67
761	2.93	65	62.71	2.68
766	3.37	80	77.92	3.11

Tabla 75: Diámetros de las ramas del anillo 1 de las esferas.

Esfera	Rama anillo 2			
	Presión entrada anillo (bar)	DN STD	Dint (mm)	Presión última boquilla bar (bar)
704	1.83	100	102.26	1.69
705	1.83	100	102.26	1.69
736	2.60	125	128.19	2.50
748	2.83	100	102.26	2.58
761	2.83	100	102.26	2.58
766	3.40	150	154.06	3.05

Tabla 76: Diámetros de las ramas del anillo 2 de las esferas.

Esfera	Rama anillo 3			
	Presión entrada anillo (bar)	DN STD	Dint (mm)	Presión última boquilla bar (bar)
704	2.49	100	102.26	2.27
705	2.49	100	102.26	2.27
736	3.22	125	128.19	3.06
748	3.40	125	128.19	3.23
761	3.42	125	128.19	3.25
766	4.45	200	202.72	4.25

Tabla 77: Diámetros de las ramas del anillo 3 de las esferas.

Esfera	Rama anillo 4			
	Presión entrada anillo (bar)	DN STD	Dint (mm)	Presión última boquilla bar (bar)
704	2.05	65	62.71	1.89
705	2.05	65	62.71	1.89
736	2.85	65	62.71	2.61
748	3.05	65	62.71	2.80
761	3.06	65	62.71	2.81
766	3.62	80	77.92	3.37

Tabla 78: Diámetros de las ramas del anillo 4 de las esferas.

Las variaciones de la presión en la última boquilla para las esferas respecto a la presión de entrada y para cada anillo es de:

Esfera	Rama anillo1	Rama anillo 2	Rama anillo 3	Rama anillo 4
704	91%	92%	91%	92%
705	91%	92%	91%	92%
736	91%	96%	95%	92%
748	91%	91%	95%	92%
761	91%	91%	95%	92%
766	93%	90%	96%	93%

Tabla 79: Variación de la presión respecto a entrada en las ramas de los anillos en las esferas.

Resumen

Las boquillas pulverizadoras seleccionadas son el modelo E de la marca VIKING. En general la separación de estas boquillas con la pared será de 0,6 metros, separación entre boquillas de 3 metros y el ángulo de instalación será de tal manera que sea perpendicular a la pared del tanque donde en los tanques de cuerpo cilíndrico es un ángulo de 90°, caso especial de esto son las esferas donde su geometría requiere diferentes ángulos de montajes (ver **Tabla 67**).

Los modelos de boquillas y el número de ellas a instalar en cada uno de los anillos:

- Anillo principal de los tanques de cuerpo cilíndrico --> **Tabla 41** y **Tabla 40**
- Cuartos de anillos de los tanques de cuerpo cilíndrico --> **Tabla 44** y **Tabla 43**
- Esferas --> **Tabla 66** y **Tabla 65**

Donde la demandas totales de cada versión del modelo E de las boquillas puede verse en la **Tabla 46**.

Los sistemas de agua pulverizada en los tanques de cuerpo cilíndrico se componen de una conducción principal que va desde la conexión a la RCI hasta lo alto del anillo y el anillo en sí. Este esquema es igual tanto para los anillos completos como para los cuartos de anillo. Las dimensiones de los conductos principales desde la toma de la RCI a lo alto del anillo se puede ver en la **Tabla 51** para los conductos de los anillos completos, y en la **Tabla 55**.

Los diámetros de cada una de las ramas de los anillos de los tanques de cuerpo cilíndrico, se pueden observar para cada uno de ellos en la **Tabla 58** para los anillos completos y en la **Tabla 61** para los cuartos de anillos.

Las esferas, cuentan con 4 anillos con boquillas, una conducción desde la RCI hasta lo alto de la esfera y una serie de bajantes que conectan los anillos.

- **Conducción principal desde RCI --> Tabla 70**
- **Bajantes -->Tabla 71, Tabla 72, Tabla 73 y Tabla 74**
- **Anillos --> Tabla 75, Tabla 76, Tabla 77 y Tabla 78**

Anexo F: Sistemas de espuma fijos

Introducción

A continuación se dimensionará el sistema fijo de espuma de extinción en los tanques que almacenan productos de clase B y C, como se ha comentado previamente. Las características constructivas básicas en los diferentes tipos de tanques no varían en cuanto a elementos externos que portan la espuma hasta el tanque, la principal diferencia es como se vierte la espuma en el tanque, en los tanques de techo fijo las bocas de descarga “descargan” la espuma a través de la pared del tanque sobre la superficie de líquido dentro de este, en cambio en los tanques de techo flotante se vierte sobre la corona del anillo y la pantalla de retención de espuma instalada en el tanque retiene la espuma en esa zona crítica.

Los elementos en el diseño del sistema fijo de espuma se dimensionarán en el siguiente orden:

- Bocas de descarga.
- Canalizaciones desde puesto de control a base de tanque.
- Anillo envolvente y líneas ascendentes.

En este caso todos los tanques donde se instalan los sistemas fijos de espuma tienen una forma cilíndrica en su forma más simplificada. El sistema fijo de espuma toma agua de la red contra incendios y el espumógeno lo portan los medios móviles de refinería, por lo que estos medios móviles son los que se conectarán a la toma de inyección del sistema fijo, abrirán la toma de agua y por la toma en dirección al tanque saldrá la solución espumante, es decir, el camión dosifica la dosis correcta de espumógeno función del producto almacenado en el tanque (ver apartado “**Necesidades de espuma**”) y esta solución espumante se expande en la cámara de espuma.

Bocas de descarga/cámaras de espuma

Se selecciona las cámaras de espuma de la **marca SABO, modelo SE-CS** a instalar. Este modelo de cámara de espuma cuenta con un cuerpo y bridas de acero al carbono, diafragma de rotura de cristal, con opción de que el cuerpo y las bridas sean de acero inoxidable, **lo cual es recomendable** ya que se va a trabajar con agua de mar. Los elementos de acero inoxidable AISI 304, este acero no es apto para uso con agua salada, pues no presenta gran resistencia a la corrosión, el fabricante ofrece otros materiales constructivos como acero **AISI 316** que sí es resistente y adecuado en usos con agua de mar [41].

La entrada de solución rompe el sello y desde la toma de aire perpendicular a la tubería principal toma aire y expande en espuma la solución.

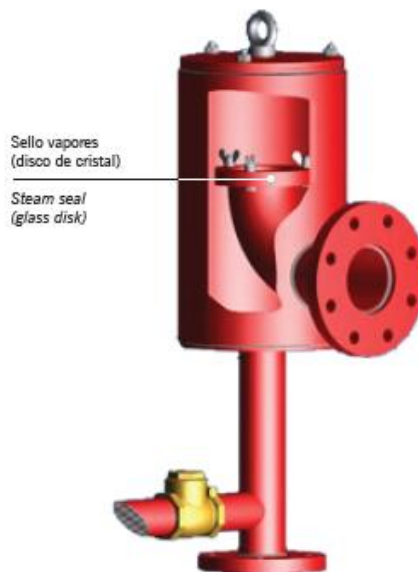


Ilustración 48: Cámara de espuma modelo SE-CS. Fuente:[27]

El fabricante recomienda que la **presión de trabajo este entre 3 y 7 bar** de presión con todos los caudales de entrada de solución espumante y salida de espuma son para un valor intermedio de 5 bar. La relación de expansión depende del espumógeno y como se proporciona en la entrada a la cámara.

En los tanques de techo flotante se instalarán estas cámaras de espuma con un pequeño tramo de tubería acoplada a la pantalla en lo alto del tanque y una vertedera de espuma al final, como las que proporciona el **fabricante SABO**, las vertederas de espuma **modelo SE-VF** con cuerpo y red de protección de acero inoxidable AISI 316. Los tamaños son en función de la cámara de espuma.

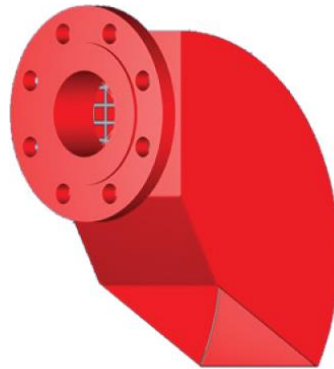


Ilustración 49: Vertedera de espuma modelo SE-VF. Fuente: Catálogo de SABO [27].

En los tanques de techo fijo, al ir la cámara de espuma directamente acoplada a la pared del tanque, en el interior del tanque se colocarán las vertederas de espuma de la **marca SABO**, **modelo SE-VKS**, con cuerpo de acero inoxidable AISI 316.

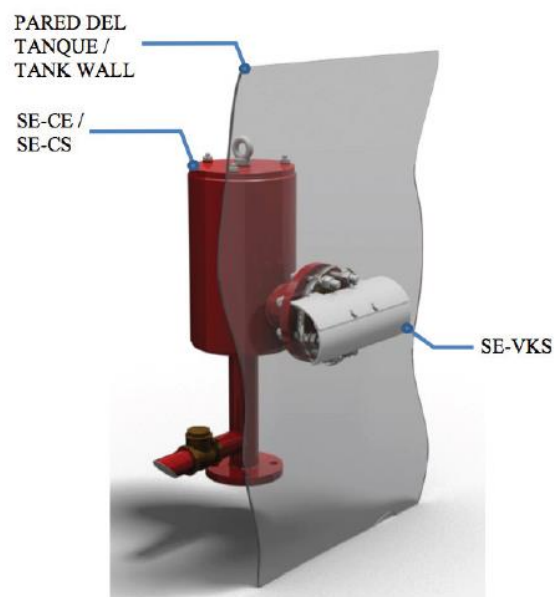


Ilustración 50: Vertedera de espuma en el tanque fijo modelo SE-VKS. Fuente: Catálogo SABO [27].

La normativa UNE-EN 13565-2:2010 “Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento.” respecto a las cámaras de espuma indica los siguientes requisitos:

- Las salidas de espuma deben estar distribuidas en la circunferencia uniformemente. Las distancias entre puntos de descarga de espuma no deben exceder los 26 metros en tanques de techo flotante y 30 metros para anillos de protección fijos para protección.
- Al menos dos salidas para tanques de techo flotante con presa de espuma.

Para tanques de techo fijo, indica requisitos concretos:

- La salida de la descarga de espuma deben instalarse por debajo de la junta débil (unión del lado vertical y el techo) en los de techo fijo.
- Deben proporcionarse sellos de vapor para evitar contra-flujos o vapores desde los tanques al ambiente. Deben ser resistentes a los vapores contenidos y deben destruirse en el caso de descarga de espuma.
- El número de salidas de espuma será función del diámetro del tanque.

Diámetro del tanque (m)	Número de salidas
≤ 24	1
> 24 hasta 36	2
> 36 hasta 42	3
> 42 hasta 48	4
> 48 hasta 54	5
> 54 hasta 60	6
> 60	6+1 salida por 465 m ² adicionales El área del tanque en exceso de 2827 m ²

Tabla 80: Número de salidas de espuma en función del diámetro de tanque de techo fijo. Fuente: [42].

Para los tanques de techo flotante la normativa indica:

-
- Las salidas de descarga de espuma deben colocarse en la parte más alta posible del techo flotante.
 - Deben instalarse las boquillas de espuma sobre la parte superior de la cubierta del tanque para descargar sobre el área de sellado.

El reglamento de instalaciones petrolíferas RD 2085/1994, recoge lo siguiente acerca de requisitos de las bocas de descarga de espuma:

- La distancia máxima entre dos bocas de descarga será de 12 metros, medidos sobre la circunferencia del tanque, si se utiliza una pantalla de retención de la espuma de 30 centímetros de altura y de 24 metros si la pantalla es de 60 centímetros, para bocas por descarga por encima del cierre.

La pantalla de retención de los tanques de techo flotante en todos ellos es de 60 cm. La condición más restrictiva es la indicada por el RD 2085/1994 con una separación entre bocas de 24 metros frente a los 26 metros máximos de la UNE-EN 13565-2:2010. Todas las bocas de descarga estarán por encima del cierre.

En el proceso de cálculo de las bocas de descarga necesarias se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$N^{\circ} \text{ bocas de descarga} = \frac{\pi * D}{\text{Separación}} \quad (68)$$

Donde:

D: es el diámetro en metros del depósito en cuestión (**Tabla 1**).

Separación: es la distancia máxima entre bocas de descarga según normativa en metros.

El número de bocas de descarga se redondeará a su número inmediatamente superior. Una vez se tengan el número de bocas de descarga se determinan las distancias a las que se colocarán las bocas en la longitud de la circunferencia. Se dimensiona de tal manera que en el punto inicial y final de los anillos que envuelven al tanque, las bocas de descarga no coincidan en su punto final, es decir no exista una coincidencia entre las

bocas de descarga en ningún punto de la circunferencia para garantizar una adecuada repartición de la espuma.

$$\text{Distancia entre bocas [m]} = \frac{\pi * D}{(N^{\circ} \text{ bocas de descarga} + 1)} \quad (69)$$

Donde:

D: es el diámetro del tanque en metros (**Tabla 1**).

Para la selección de la cámara de descarga adecuada se calculará el caudal por boca de descarga necesaria de solución espumante:

$$\text{Caudal por boca} \left[\frac{l}{min} \right] = \frac{\text{Caudal de solución espumante}}{N^{\circ} \text{ bocas de descarga}} \quad (70)$$

Donde:

Caudal de solución espumante: es el caudal de solución espumante necesaria en la extinción del incendio en el tanque en litros por minuto (**Tabla 22**).

El modelo de la cámara de descarga se seleccionará en función al caudal por boca de descarga necesario. El fabricante SABO dispone de los siguientes tamaños:

Modelo	Caudal de solución (l/min)
SE-CS-2	200
SE-CS-4	400
SE-CS-8	800
SE-CS-15	1500
SE-CS-20	2000

Tabla 81: Modelos disponibles de cámara de descarga.

Se calcula como ejemplo del proceso el número y modelo de cámara de descarga de los accesorios del tanque 3702:

- Tipo de tanque: Techo flotante.
- Diámetro del tanque = 86,9 metros.
- Caudal de solución espumante = 1318,80 l/min.
- Separación entre bocas (techo flotante) = 24 metros.

Se emplea la ecuación (68):

$$N^{\circ} \text{ bocas de descarga} = \frac{\pi * 86,9}{24} = 11,375 \approx 12 \text{ bocas}$$

La separación entre las bocas será (ecuación (69)):

$$\text{Distancia entre bocas} = \frac{\pi * 86,9}{(12 + 1)} = 21 \text{ metros}$$

El caudal de solución por boca de descarga deberá ser (ecuación (70)):

$$\text{Caudal por boca} = \frac{1318,8}{12} = 109,9 \text{ l/min}$$

Se mira el tamaño de la cámara de espuma disponible que se adapte al caudal por boca, el modelo de menor tamaño que se adapta a las condiciones de caudal es el **SE-CS-2**. Por lo que con el tamaño de la cámara SE-CS-2 se seleccionará la vertedora de espuma **SE-VF-3** compatible con la brida de salida de la cámara de espuma.

De la misma manera se calculan el resto de bocas de descarga del resto de tanques:

Tanques	Diámetros (m)	Tipo de tanque	Nº bocas de descarga	Separación bocas en circunferencia (m)
3702	86.86	Techo Flotante	12	20.99
3703	86.86	Techo Flotante	12	20.99
1401	33.52	Techo Fijo	2	35.10
1400	16.764	Techo Fijo	2	17.56
1403	9.449	Techo Fijo	2	9.89
1404	9.449	Techo Fijo	2	9.89
1402	26.51	Techo Fijo	2	27.76
755	80.46	Techo Flotante	12	19.44
756	88.5	Techo Flotante	12	21.39
3700	82.2	Techo Flotante	12	19.86
3701	92.2	Techo Flotante	14	19.31
750	80.46	Techo Flotante	12	19.44
751	80.46	Techo Flotante	12	19.44
752	80.46	Techo Flotante	12	19.44
701	48.8	Techo Flotante	8	19.28
760	41.14	Techo Flotante	6	19.28

700	69	Techo Flotante	10	17.03
1270	10.98	Techo Flotante	2	18.46
1271	10.8	Techo Flotante	2	19.71
731 A	22.6	Techo Fijo	2	24.50
731 B	22.6	Techo Fijo	2	19.28
732	22.6	Techo Flotante	4	24.50
706	9	Techo Flotante	2	24.09
712	9.5	Techo Flotante	2	11.50
719	11.3	Techo Flotante	2	11.31
720	11.3	Techo Flotante	2	23.67
745	22.86	Techo Flotante	4	23.67
711	41	Techo Flotante	6	14.20
717	18.3	Techo Flotante	4	9.42
718	18.3	Techo Flotante	4	7.96
740	26.21	Techo Flotante	4	9.95
741	26.21	Techo Flotante	4	11.83
762	21	Techo Flotante	4	11.83
716	33	Techo Flotante	6	14.36
713	33	Techo Flotante	6	18.40
721	26.2	Techo Flotante	4	14.03
715	18.3	Techo Flotante	4	14.03
714	18.3	Techo Flotante	4	32.57
744	56.08	Techo Flotante	8	22.44
746	36.75	Techo Flotante	6	22.44
747	36.6	Techo Flotante	6	11.50

Tabla 82: Número de bocas de descarga y su distanciamiento.

Los modelos de las cámaras de espuma:

Tanques	Nº Bocas descarga (Normativa)	Caudal de solución espumante por boca (l/min)	Marca	Modelo
3702	12	109.90	SABO	SE-CS-2
3703	12	109.90	SABO	SE-CS-2
1401	2	1764.93	SABO	SE-CS-20
1400	2	441.44	SABO	SE-CS-8
1403	2	140.25	SABO	SE-CS-2
1404	2	140.25	SABO	SE-CS-2
1402	2	1103.92	SABO	SE-CS-15
755	12	101.73	SABO	SE-CS-2
756	12	111.99	SABO	SE-CS-2
3700	12	103.95	SABO	SE-CS-2
3701	14	100.04	SABO	SE-CS-2

750	12	101.73	SABO	SE-CS-2
751	12	101.73	SABO	SE-CS-2
752	12	101.73	SABO	SE-CS-2
701	8	91.99	SABO	SE-CS-2
760	6	103.10	SABO	SE-CS-2
700	10	104.53	SABO	SE-CS-2
1270	2	78.34	SABO	SE-CS-2
1271	2	76.96	SABO	SE-CS-2
731 A	2	802.30	SABO	SE-CS-15
731 B	2	802.30	SABO	SE-CS-15
732	4	83.66	SABO	SE-CS-2
706	2	63.18	SABO	SE-CS-2
712	2	67.00	SABO	SE-CS-2
719	2	80.79	SABO	SE-CS-2
720	2	80.79	SABO	SE-CS-2
745	4	84.66	SABO	SE-CS-2
711	6	102.74	SABO	SE-CS-2
717	4	67.20	SABO	SE-CS-2
718	4	67.20	SABO	SE-CS-2
740	4	97.48	SABO	SE-CS-2
741	4	97.48	SABO	SE-CS-2
762	4	77.53	SABO	SE-CS-2
716	6	82.32	SABO	SE-CS-2
713	6	82.32	SABO	SE-CS-2
721	4	97.44	SABO	SE-CS-2
715	4	67.20	SABO	SE-CS-2
714	4	67.20	SABO	SE-CS-2
744	8	105.92	SABO	SE-CS-2
746	6	91.89	SABO	SE-CS-2
747	6	91.51	SABO	SE-CS-2

Tabla 83: Modelos de las cámaras de espuma para los tanques.

Los acoples finales para verter la espuma compatibles en diámetro de brida con la cámara de descarga:

Tanques	Nº vertedora	Modelo de vertedora
3702	12	SE-VF-3
3703	12	SE-VF-3
1401	2	SE-VKS-10
1400	2	SE-VKS-6
1403	2	SE-VKS-3
1404	2	SE-VKS-3

1402	2	SE-VKS-8
755	12	SE-VF-3
756	12	SE-VF-3
3700	12	SE-VF-3
3701	14	SE-VF-3
750	12	SE-VF-3
751	12	SE-VF-3
752	12	SE-VF-3
701	8	SE-VF-3
760	6	SE-VF-3
700	10	SE-VF-3
1270	2	SE-VF-3
1271	2	SE-VF-3
731 A	2	SE-VKS-8
731 B	2	SE-VKS-8
732	4	SE-VF-3
706	2	SE-VF-3
712	2	SE-VF-3
719	2	SE-VF-3
720	2	SE-VF-3
745	4	SE-VF-3
711	6	SE-VF-3
717	4	SE-VF-3
718	4	SE-VF-3
740	4	SE-VF-3
741	4	SE-VF-3
762	4	SE-VF-3
716	6	SE-VF-3
713	6	SE-VF-3
721	4	SE-VF-3
715	4	SE-VF-3
714	4	SE-VF-3
744	8	SE-VF-3
746	6	SE-VF-3
747	6	SE-VF-3

Tabla 84: Vertedoras de espuma modelos y número.

Conductos de espuma y anillo

Con el número de bocas de descarga de espuma en cada uno de los tanques se dimensionarán las canalizaciones de espuma desde el punto de inyección de solución espumante hasta la pared del tanque.

Como ya se ha comentado previamente, los medios móviles que se dispondrán en refinería, transportan el espumógeno, al llegar a la zona de incendio el camión se conecta a la RCI de agua toma agua y mezcla esta con el espumógeno creando la solución espumante que se inyecta a través de unas conducciones que llegan hasta cerca de las vías de comunicaciones y disponen de acoples para ello. Se dimensionará por tanto estas conducciones desde el vial hasta la pared del tanque y el anillo que envolverá al tanque. De este anillo partirán conducciones ascendentes hasta lo alto de cada tanque y en el final de esta se dispondrán las bocas de descarga.

La normativa aplicable para esta clase de sistemas, la UNE-EN 3565-2:2010 “*Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes. Parte 2: Diseño, construcción y mantenimiento*” indica los siguientes requisitos al respecto de las conducciones de solución espumante:

- Deben utilizarse materiales o acabados resistentes a la corrosión cuando puedan estar sometidos a atmosferas corrosivas.
- Normalmente las tuberías vacías deben ser de acero galvanizado en caliente como mínimo, sin embargo, las tuberías para espumógeno, o en contacto continuo con solución de espuma, no deben galvanizarse y deben ser compatibles con el espumógeno utilizado.
- Las conducciones no subterráneas, debe diseñarse y colocarse de tal forma que se minimice o se elimine el riesgo mecánico o cuando esto no sea posible, debe utilizarse una canalización con suficiente resistencia inherente. Cuando sea posible las canalizaciones deben conducirse por fuera del área de riesgo o áreas de potencial incendio, con el fin de minimizar su exposición al fuego.

-
- Proteger frente a la congelación en todo momento la canalización llena de agua y espumógeno.
 - En estado de parada, la canalización debe dotarse con dispositivos de lavado y drenaje. Debe ser posible el drenaje completo.
 - Las tuberías en sistemas manuales o semifijos que pueden exponerse al fuego deben tener solo uniones soldadas o roscadas.
 - Cuando se proporciona un sistema fijo para un tanque de techo fijo, cada salida de espuma deberá suministrarse desde fuera de contención y en cada línea de suministro debe ir instalada una válvula de aislamiento. Esto permitirá el aislamiento de cualquier cámara individual dañada por el fuego y/o explosión, alternativamente puede utilizarse un anillo principal de espuma que conecte a las bocas de descarga.

Al respecto de los tanques de techo fijo se indica lo siguiente:

- Deben darse indicaciones para el despegue de la parte inferior del tanque causada por una erupción en el tanque. Para evitar un daño catastrófico en las tuberías de suministro de espuma, la canalización a través del área de contención debe soportarse de forma que permita un movimiento vertical de al menos 0,5 metros.

Conductos desde anillo a bocas

El dimensionamiento de los conductos de solución espumante se realizarán por el mismo método que el que se ha utilizado en el apartado “*Canalización principal*”, las bocas de descarga tienen un rango de trabajo determinado de presión recomendada por el fabricante, en este caso para las cámaras de espuma seleccionadas, la presión debe estar entre un valor mínimo de 3 bar y un valor máximo de 7 bar, para conseguir una expansión adecuada de la solución espumante.

El anillo principal que recorre la circunferencia de los tanques se dividirá en dos ramas que cubrirán un medio de la circunferencia cada una de ellas. El anillo se separará un **1 metro** de la pared del tanque, para permitir la correcta ubicación del conjunto cámara de espuma, más el acople final de descarga, que varía según el tipo de tanque (techo flotante o techo fijo).

Del anillo principal, en función de la separación entre bocas de descarga en cada tanque, partirán de este, conductos individuales ascendentes que llegaran hasta la parte alta del tanque, conectando en el caso de los tanques de techo fijo en la zona lateral de la unión entre el techo y el cuerpo del tanque, y en el caso de los tanques de techo flotante, conectará en la parte alta de este en los soportes en forma de pantalla en la parte alta de estos. Así que, en el caso de los tanques de techo flotante, la altura de elevación hasta la parte alta de este, será la propia altura del tanque más una altura de 60 cm aproximadamente que corresponde a la elevación extra de la pantalla donde irán localizadas las bocas de descarga.

Tanque	Tipo	Distancia a RCI (m)	Diámetro anillo (m)	Altura elevación (m)	Caudal solución espumante total (l/min)	Nº Bocas
3702	Techo Flotante	75	88.86	19.18	1318.80	12
3703	Techo Flotante	75	88.86	19.18	1318.80	12
1401	Techo Fijo	53	35.52	14.63	3529.86	2
1400	Techo Fijo	33	18.764	14.63	882.89	2
1403	Techo Fijo	67	11.449	9.75	280.49	2
1404	Techo Fijo	67	11.449	9.75	280.49	2
1402	Techo Fijo	53	28.51	14.63	2207.85	2
755	Techo Flotante	75	82.46	20.1	1220.78	12
756	Techo Flotante	200	90.5	20.1	1343.91	12
3700	Techo Flotante	170	84.2	20.1	1247.43	12
3701	Techo Flotante	240	94.2	20.1	1400.58	14
750	Techo Flotante	47	82.46	20.1	1220.78	12
751	Techo Flotante	47	82.46	20.1	1220.78	12
752	Techo Flotante	65	82.46	20.1	1220.78	12
701	Techo Flotante	88	50.8	15.2	735.90	8
760	Techo Flotante	103	43.14	15.8	618.58	6
700	Techo Flotante	40	71	17.1	1045.27	10

1270	Techo Flotante	25	12.98	11.58	156.68	2
1271	Techo Flotante	57	12.8	11.58	153.92	2
731 A	Techo Fijo	21	24.6	14.6	1604.60	2
731 B	Techo Fijo	78	24.6	14.6	1604.60	2
732	Techo Flotante	42	24.6	15.2	334.64	4
706	Techo Flotante	32	11	7.9	126.35	2
712	Techo Flotante	20	11.5	9.7	134.01	2
719	Techo Flotante	25	13.3	11.6	161.58	2
720	Techo Flotante	23	13.3	11.6	161.58	2
745	Techo Flotante	28	24.86	15.25	338.62	4
711	Techo Flotante	15	43	15.2	616.44	6
717	Techo Flotante	28	20.3	15.2	268.78	4
718	Techo Flotante	24	20.3	15.2	268.78	4
740	Techo Flotante	19	28.21	15.2	389.93	4
741	Techo Flotante	27	28.21	15.2	389.93	4
762	Techo Flotante	20	23	17.49	310.13	4
716	Techo Flotante	36	35	15.2	493.92	6
713	Techo Flotante	30	35	15.2	493.92	6
721	Techo Flotante	14	28.2	15.2	389.77	4
715	Techo Flotante	32	20.3	15.2	268.78	4
714	Techo Flotante	25	20.3	15.2	268.78	4
744	Techo Flotante	88	58.08	15.2	847.39	8
746	Techo Flotante	65	38.75	17.06	551.35	6
747	Techo Flotante	81	38.6	21.06	549.05	6

Tabla 85: Datos iniciales dimensionamiento conductos de solución espumante.

Con los datos iniciales de cada tanque con sistema fijo de espuma, con la presión disponible en la conexión a la RCI de agua para cada caso de incendio, se dimensionará el conducto principal que irá desde la cercanía del vial de comunicación hasta la localización del tanque.

Se dimensionarán los diámetros de este conducto principal de tal manera que se tenga en la base del anillo una presión disponible que teniendo en cuenta la altura del tanque, la presión este entre 7-3 bar. Se calcula el conducto del tanque 1400 como ejemplo de esta metodología:

- Altura elevación = 14,63 m
- Caudal de solución espumante = 882,89 l/min
- Distancia a RCI = 33 m
- Presión disponible en la RCI = 89,83 m.c.a

La presión máxima en la entrada del anillo seguirá la siguiente formula.

$$\text{Presión máxima en anillo [m. c. a]} = 7 + 10,2 + h \quad (71)$$

Donde:

h: es la altura de elevación en metros del tanque

Se indicará el diámetro necesario para limitar la presión en la base del anillo a 7 bares más la altura de elevación en caso de que se cumpla la condición de que la presión disponible en la conexión a la RCI sea mayor a esta condición.

$$\text{Presión máxima en anillo [Tanque 1400]} = 7 + 10,2 + 14,63 = 86,03 \text{ m. c. a}$$

En este caso la presión disponible en la RCI sí que es mayor a la presión máxima en la base del anillo por lo que el diámetro para cumplir esta condición se calculará como la diferencia a perder por fricción entre la presión disponible en la RCI y la presión máxima en el anillo. Para el cálculo del diámetro se utilizará la ecuación (56).

$$D [7 \text{ bar en anillo}] = \sqrt[4,87]{\frac{6,05 * 10^5 * 33 * 882,89^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * (89,83 - 86,03)}} = 82,48 \text{ mm}$$

En todos los tanques se indicará el diámetro mínimo para disponer como mínimo en la base del anillo teniendo en cuenta la altura de elevación de los 3 bares.

$$D [7 \text{ bar en anillo}] = \sqrt[4,87]{\frac{6,05 * 10^5 * 33 * 882,89^{1,85} * 10,2}{120^{1,85} * (89,83 - (3 * 10,2 + 14,63))}} = 49,74 \text{ mm}$$

Con estos diámetros se tiene un umbral de selección para cumplir con la condición de presión en la base del anillo. De la misma manera se calculan los diámetros de las conexiones del resto de tanques.

Tanque	Presión disponible en RCI (mca)	Presión máxima en anillo (mca)	Diámetro para tener 7 bar máx. en anillo (mm)	Diámetro para tener 3 bar min en anillo (mm)
3702	76.69	90.58		76.06
3703	76.69	90.58		76.06
1401	86.49	86.03	237.87	94.31
1400	89.83	86.03	82.48	49.74
1403	92.86	81.15	48.98	35.99
1404	92.86	81.15	48.98	35.99
1402	88.77	86.03	137.68	78.04
755	80.81	91.5		72.18
756	80.81	91.5		91.57
3700	85.67	91.5		83.49
3701	85.26	91.5		93.87
750	90.97	91.5		61.77
751	90.28	91.5		61.99
752	90.49	91.5		66.19
701	94.00	86.6	82.10	55.87
760	94.09	87.2	80.54	54.14
700	92.53	88.5	90.40	55.11
1270	95.20	82.98	31.78	23.51
1271	95.21	82.98	37.38	27.66
731 A	94.11	86	80.73	55.81
731 B	94.11	86	105.69	73.07
732	94.79	86.6	51.21	35.46
706	94.70	79.3	29.38	22.52
712	94.70	81.1	27.99	21.05
719	94.70	83	32.44	23.84
720	94.70	83	31.89	23.43
745	94.70	86.65	47.49	32.80
711	92.43	86.6	56.04	36.57
717	93.48	86.6	44.92	30.19
718	93.48	86.6	43.53	29.25
740	92.78	86.6	48.85	32.21
741	92.78	86.6	52.51	34.62
762	92.39	88.89	50.87	30.20
716	94.07	86.6	58.61	39.96
713	92.39	86.6	59.48	38.77
721	92.08	86.6	47.03	30.34
715	94.60	86.6	44.77	30.88
714	94.19	86.6	43.02	29.41
744	90.70	86.6	97.77	59.81
746	91.43	88.46	83.41	47.99

747	93.04	92.46	122.01	50.71
-----	-------	-------	--------	-------

Tabla 86: Umbral de diámetros del conducto principal sistema espuma.

Se selecciona a continuación un diámetro normalizado (**Tabla 49:** Diámetros normalizados con espesores para espesor STD (Sch 40). Fuente:[33]) que cumpla con las condiciones indicadas previamente.

Las pérdidas localizadas son las que tienen lugar en las válvulas de compuerta, la cual todos los tanques dispondrán de una al menos. Los tanques de techo fijo, a parte de la válvula de compuerta, estos tanques disponen de **una válvula de retención**.

Elemento	Tanques	Nº	Longitud equivalente (m/D)
Válvula de retención	Techo fijo	1	135
Válvula de compuerta	Todos	1	13

Tabla 87: Elementos localizados canalización principal espumante. Fuente: [13].

Las pérdidas por fricción y localizadas se calculan mediante la ecuación de Hazen-Williams de pérdidas de carga (58).

En todos los tanques se dispondrá además de una válvula reductora, con el fin de regular la presión en el sistema, limitar la presión cuando las presiones disponibles en la RCI sean superiores a las del dimensionamiento.

Si la presión en el anillo teniendo en cuenta las pérdidas por fricción y localizadas con el diámetro seleccionado son mayores a la presión de 7 bar, la válvula reductora reducirá esta sobrepresión a este máximo, si la presión no es superior a 7 bar, no introducirá pérdidas.

- Pérdidas por fricción y localizadas (Tanque 1400) = 6,97 m.c.a
- Presión disponible en anillo sin válvula = $89,83 - 6,97 = 82,86$ m.c.a < 86,03 m.c.a
- Pérdidas necesarias en válvula reductora = 0 m.c.a

De la misma manera se calculan el resto de presiones disponibles.

Tanque	Presión disponible RCI (mca)	DN STD	Pérdidas por fricción (mca)	Pérdidas localizadas (mca)	Presión disponible en el anillo sin válvula de regulación (mca)	Pérdidas en válvula para tener máximo 7 bar en anillo (mca)
3702	76.69	125	2.12	0.05	74.53	0
3703	76.69	125	2.12	0.05	74.53	0
1401	86.49	125	9.25	3.51	73.72	0
1400	89.83	80	5.01	1.96	82.86	0
1403	92.86	40	28.02	2.69	62.14	0
1404	92.86	40	28.02	2.69	62.14	0
1402	88.77	125	3.88	1.47	83.41	0
755	80.81	100	5.52	0.10	75.19	0
756	80.81	125	5.85	0.05	74.91	0
3700	85.67	100	13.02	0.10	72.55	0
3701	85.26	125	7.58	0.05	77.63	0
750	90.97	100	3.46	0.10	87.42	0
751	90.28	100	3.46	0.10	86.73	0
752	90.49	100	4.78	0.10	85.61	0
701	94.00	80	9.54	0.11	84.34	0
760	94.09	65	23.32	0.19	70.58	0
700	92.53	80	8.30	0.22	84.01	0
1270	95.20	32	7.55	0.13	87.52	4.54
1271	95.21	32	16.66	0.12	78.42	0
731 A	94.11	80	9.63	5.91	78.57	0
731 B	94.11	100	9.52	1.96	82.62	0
732	94.79	40	24.35	0.30	70.14	0
706	94.70	32	6.49	0.08	88.12	8.82
712	94.70	32	4.53	0.09	90.08	8.98
719	94.70	32	8.00	0.13	86.57	3.57
720	94.70	32	7.36	0.13	87.21	4.21
745	94.70	40	16.59	0.31	77.80	0
711	92.43	50	8.03	0.35	84.05	0
717	93.48	40	10.82	0.20	82.46	0
718	93.48	40	9.28	0.20	84.01	0
740	92.78	40	14.61	0.40	77.77	0
741	92.78	40	20.77	0.40	71.61	0
762	92.39	40	10.07	0.26	82.06	0
716	94.07	50	12.80	0.23	81.04	0
713	92.39	50	10.66	0.23	81.50	0
721	92.08	40	10.76	0.40	80.92	0
715	94.60	40	12.37	0.20	82.04	0
714	94.19	40	9.66	0.20	84.33	0
744	90.70	80	12.39	0.15	78.17	0

746	91.43	65	11.90	0.15	79.38	0
747	93.04	65	14.71	0.15	78.17	0

Tabla 88: Diámetros normalizados seleccionados para el conducto principal del sistema espumante.

Con las presiones disponibles en la entrada del anillo, se dimensionan las ramas de este, cada rama conducirá la mitad del caudal de solución espumante. Los diámetros normalizados del anillo se seleccionarán de tal manera que en todas las bases de las conexiones de las bocas de descarga al anillo, sea posible disponer de la presión recomendada de 5 bar o mayor en todas las bocas.

El dimensionamiento del sistema de anillos es iterativo, se selecciona un diámetro y se ven las presiones disponibles en las bases de las bocas de descarga, para el cálculo de la presión disponible en cada base se emplea la ecuación (64), siendo en este caso $Q_{boquilla} = \text{Caudal solución espumante por boca}$, “n” será el número de bocas de descarga por rama de anillo, que equivale a la mitad de las bocas de descargas totales y “m” es el distanciamiento entre bocas de descarga.

Continuando el ejemplo del tanque 1400 los datos de cálculo son:

- $Q_{boquilla} = \frac{882,88}{2} = 441,44 \text{ l/min}$
- Caudal solución ½ anillo = 441,44 l/min
- N= bocas de descarga por rama = $2/2 = 1$ boca
- M= separación de las bocas en la rama del anillo = $\frac{\pi * (18,764)}{2} = 14,73 \text{ m}$

Las pérdidas localizadas corresponden al codo en la bifurcación de la conducción principal, el cual se ha aproximado mediante un codo de 90° de radio normal para cada una de las ramas de los anillos. Las pérdidas por fricción y localizadas se calculan mediante la ecuación (58).

Se seleccionan los siguientes diámetros y se calculan las presiones disponibles en las bocas de cada uno de las ramas de los anillos.

Tanque	Longitud 1/2 anillo (m)	Presión máx. a perder en anillo (mca)	Diámetro 1/2 anillo (mm)	DN STD	P.fricción (mca)	P.localizadas (mca)
3702	139.58	24.75	67.56	100	3.29	0.06
3703	139.58	24.75	67.56	100	3.29	0.06
1401	55.79	28.49	79.03	125	2.70	0.16
1400	29.47	37.63	38.67	65	3.58	0.21
1403	17.98	21.79	25.29	40	2.09	0.13
1404	17.98	21.79	25.29	40	2.09	0.13
1402	44.78	38.18	59.52	80	10.28	0.50
755	129.53	24.49	64.74	100	2.64	0.06
756	142.16	24.21	68.61	125	1.15	0.03
3700	132.26	21.85	67.12	100	2.81	0.06
3701	147.97	26.93	68.75	125	1.30	0.03
750	129.53	36.72	59.58	100	2.64	0.06
751	129.53	36.03	59.81	100	2.64	0.06
752	129.53	34.91	60.20	100	2.64	0.06
701	79.80	38.54	44.06	80	2.40	0.06
760	67.76	24.18	43.90	65	4.26	0.11
700	111.53	36.31	54.59	80	6.42	0.12
1270	20.39	40.80	18.29	32	1.71	0.07
1271	20.11	36.24	18.56	32	1.63	0.07
731 A	38.64	33.37	52.59	80	4.92	0.27
731 B	38.64	37.42	51.36	80	4.92	0.27
732	38.64	24.34	30.93	65	0.78	0.04
706	17.28	40.80	16.29	32	0.97	0.05
712	18.06	40.80	16.81	32	1.13	0.05
719	20.89	40.80	18.59	32	1.85	0.08
720	20.89	40.80	18.59	32	1.85	0.08
745	39.05	31.95	29.44	65	0.80	0.04
711	67.54	38.25	39.87	80	1.46	0.05
717	31.89	36.66	25.15	40	3.42	0.12
718	31.89	38.21	24.94	40	3.42	0.12
740	44.31	31.97	31.88	65	1.19	0.05
741	44.31	25.81	33.31	65	1.19	0.05
762	36.13	33.97	27.68	40	5.05	0.15
716	54.98	35.24	35.73	65	2.28	0.07
713	54.98	35.70	35.64	65	2.28	0.07
721	44.30	35.12	31.26	65	1.18	0.05
715	31.89	36.24	25.21	40	3.42	0.12
714	31.89	38.53	24.90	40	3.42	0.12
744	91.23	32.37	49.53	80	3.56	0.08
746	60.87	31.72	38.88	65	3.09	0.09
747	60.63	26.51	40.24	65	3.05	0.09

Tabla 89: Diámetros normalizados de las ramas de los anillos del sistema espumante.

Con los diámetros seleccionados se calculan las presiones disponibles en la base de cada una de las bocas de las ramas de los anillo.

Tanque	Presiones disponibles en base de la boca (mca)						
	Boca 1	Boca 2	Boca 3	Boca 4	Boca 5	Boca 6	Boca 7
3702	73.97	73.62	73.39	73.25	73.18	73.17	
3703	73.97	73.62	73.39	73.25	73.18	73.17	
1401	72.21						
1400	80.86						
1403	60.98						
1404	60.98						
1402	77.78						
755	74.74	74.46	74.27	74.16	74.11	74.09	
756	74.71	74.59	74.50	74.46	74.43	74.43	
3700	72.07	71.77	71.57	71.45	71.40	71.38	
3701	77.43	77.30	77.21	77.15	77.12	77.10	77.09
750	86.96	86.68	86.49	86.38	86.33	86.32	
751	86.28	85.99	85.81	85.70	85.64	85.63	
752	85.16	84.87	84.69	84.57	84.52	84.51	
701	83.77	83.47	83.32	83.28			
760	69.31	68.76	68.61				
700	82.75	82.00	81.56	81.35	81.29		
1270	81.94						
1271	77.43						
731 A	75.83						
731 B	79.89						
732	69.82	69.74					
706	78.72						
712	80.42						
719	81.87						
720	81.87						
745	77.47	77.39					
711	83.61	83.42	83.37				
717	81.11	80.77					
718	82.66	82.32					
740	77.28	77.16					
741	71.12	71.00					
762	80.06	79.55					
716	80.36	80.07	79.99				
713	80.81	80.52	80.44				

721	80.43	80.31					
715	80.69	80.34					
714	82.98	82.64					
744	77.32	76.87	76.66	76.60			
746	78.45	78.05	77.94				
747	77.26	76.87	76.76				

Tabla 90: Presiones disponibles en las bases de las bocas de descarga de espuma.

Con las presiones en la base de las bocas de descarga se pueden dimensionar los diámetros de las derivaciones individuales a cada boca de descarga desde el anillo. Como se ha comentado, se dimensionará para disponer de valores de presión alrededor de la presión recomendada de trabajo en la boca de descarga de 5 bar.

La pérdida de carga máxima que debe tener lugar en la tubería ascendente para cumplir en lo alto de la boca de descarga de la condición de 5 bar será:

$$\text{Pérdidas fricción ascendente [m.c.a]} = \text{Presión base boca} - h - 5 \cdot 10,2 \quad (72)$$

Donde:

H: es la altura de elevación del tanque en metros.

Presión base boca: es la presión en metros columna de agua disponible en la base de la boca.

Con los datos de la **Tabla 90**: Presiones disponibles en las bases de las bocas de descarga de espuma. y la **Tabla 85**: Datos iniciales dimensionamiento conductos de solución espumante. se calculan las pérdidas a tener en cada línea ascendente desde el anillo.

Tanque	Pérdida de carga en conducto desde anillo hasta boca para tener 5 bar en boca (mca)						
	Boca 1	Boca 2	Boca 3	Boca 4	Boca 5	Boca 6	Boca 7
3702	3.79	3.44	3.21	3.07	3.00	2.99	
3703	3.79	3.44	3.21	3.07	3.00	2.99	
1401	6.58						
1400	15.23						
1403	0.23						
1404	0.23						
1402	12.15						
755	3.64	3.36	3.17	3.06	3.01	2.99	

756	3.61	3.49	3.40	3.36	3.33	3.33	
3700	0.97	0.67	0.47	0.35	0.30	0.28	
3701	6.33	6.20	6.11	6.05	6.02	6.00	5.99
750	15.86	15.58	15.39	15.28	15.23	15.22	
751	15.18	14.89	14.71	14.60	14.54	14.53	
752	14.06	13.77	13.59	13.47	13.42	13.41	
701	17.57	17.27	17.12	17.08			
760	2.51	1.96	1.81				
700	14.65	13.90	13.46	13.25	13.19		
1270	19.36						
1271	14.85						
731 A	10.23						
731 B	14.29						
732	3.62	3.54					
706	19.82						
712	19.72						
719	19.27						
720	19.27						
745	11.22	11.14					
711	17.41	17.22	17.17				
717	14.91	14.57					
718	16.46	16.12					
740	11.08	10.96					
741	4.92	4.80					
762	11.57	11.06					
716	14.16	13.87	13.79				
713	14.61	14.32	14.24				
721	14.23	14.11					
715	14.49	14.14					
714	16.78	16.44					
744	11.12	10.67	10.46	10.40			
746	10.39	9.99	9.88				
747	5.20	4.81	4.70				

Tabla 91: Pérdidas por fricción para cumplir 5 bar en cabeza de la boca.

Con estas pérdidas y la ecuación (56) se calculan los diámetros necesarios.

Tanque	Diámetros calculados (mm)						
	Boca 1	Boca 2	Boca 3	Boca 4	Boca 5	Boca 6	Boca 7
3702	33.45	34.12	34.62	34.93	35.09	35.13	
3703	33.45	34.12	34.62	34.93	35.09	35.13	

1401	81.13						
1400	40.33						
1403	56.96						
1404	56.96						
1402	59.84						
755	33.07	33.63	34.02	34.27	34.39	34.43	
756	34.36	34.61	34.78	34.88	34.93	34.94	
3700	43.77	47.25	50.82	53.92	55.86	56.47	
3701	29.33	29.46	29.54	29.60	29.64	29.66	29.66
750	24.44	24.54	24.60	24.63	24.65	24.65	
751	24.67	24.76	24.83	24.87	24.88	24.89	
752	25.06	25.16	25.24	25.28	25.30	25.30	
701	21.76	21.83	21.87	21.88			
760	34.14	35.91	36.51				
700	24.28	24.55	24.71	24.79	24.81		
1270	18.97						
1271	19.90						
731 A	54.89						
731 B	51.25						
732	29.03	29.16					
706	16.09						
712	17.18						
719	19.22						
720	19.22						
745	23.13	23.16					
711	22.73	22.78	22.80				
717	19.97	20.06					
718	19.57	19.65					
740	24.45	24.50					
741	28.88	29.03					
762	22.86	23.07					
716	21.80	21.89	21.92				
713	21.66	21.75	21.77				
721	23.22	23.26					
715	20.09	20.19					
714	19.49	19.57					
744	25.21	25.43	25.53	25.56			
746	24.80	25.00	25.06				
747	29.81	30.30	30.44				

Tabla 92: Diámetros para cumplir condición de 5 bar en línea ascendente.

Se preseleccionan los diámetros normalizados disponibles acorde a lo anteriormente calculado de la **Tabla 49**: Diámetros normalizados con espesores para espesor STD (Sch 40).

Fuente:[33].

Tanque	DN STD						
	Boca 1	Boca 2	Boca 3	Boca 4	Boca 5	Boca 6	Boca 7
3702	32	32	32	32	40	40	
3703	32	32	32	40	40	40	
1401	100						
1400	40						
1403	65						
1404	65						
1402	65						
755	32	32	32	32	32	32	
756	32	32	32	32	32	32	
3700	50	50	65	65	65	65	
3701	32	32	32	32	32	32	32
750	32	32	32	32	32	32	
751	32	32	32	32	32	32	
752	32	32	32	32	32	32	
701	32	32	32	32			
760	32	40	40				
700	32	32	32	32	32		
1270	32						
1271	32						
731 A	65						
731 B	50						
732	65	65					
706	32						
712	32						
719	32						
720	32						
745	50	50					
711	50	65	65				
717	32	32					
718	32	32					
740	32	32					
741	32	32					
762	32	32					
716	32	32	32				
713	32	32	32				
721	32	32					
715	32	32					

714	32	32					
744	32	32	32	32			
746	32	32	32				
747	32	32	32				

Tabla 93: Diámetros normalizados seleccionados para las líneas ascendentes.

Con los diámetros normalizados y la ecuación de pérdida de carga por fricción de Hazen-Williams (ecuación (14) en m.c.a y litros por minuto) se calcula la presión disponible en lo alto, en la boca de descarga de espuma.

$$\text{Presión en boca [m.c.a]} = \text{Presión en base boca} - h - h_f \quad (73)$$

Donde:

Presión en base boca: es la presión disponible en la base de la boca de la **Tabla 90**.

h: es la altura de elevación en metros de la **Tabla 85**.

h_f : son las pérdidas por fricción en m.c.a calculadas en la línea ascendente.

Se calculan las presiones disponibles para cada una de las líneas ascendentes desde el anillo hasta las cámaras de espuma.

Tanque	Presión alto boca (bar)						
	Boca 1	Boca 2	Boca 3	Boca 4	Boca 5	Boca 6	Boca 7
3702	5.08	5.04	5.02	5.01	5.16	5.15	
3703	5.08	5.04	5.02	5.16	5.16	5.15	
1401	5.44						
1400	5.11						
1403	5.01						
1404	5.01						
1402	5.24						
755	5.09	5.06	5.04	5.03	5.03	5.03	
756	5.03	5.02	5.01	5.01	5.01	5.01	
3700	5.06	5.03	5.03	5.02	5.01	5.01	
3701	5.36	5.35	5.34	5.33	5.33	5.33	5.33
750	6.29	6.26	6.24	6.23	6.23	6.22	
751	6.22	6.19	6.17	6.16	6.16	6.16	
752	6.11	6.08	6.06	6.05	6.05	6.05	
701	6.55	6.52	6.51	6.51			
760	5.03	5.09	5.08				

700	6.20	6.12	6.08	6.06	6.05		
1270	6.80						
1271	6.36						
731 A	5.48						
731 B	5.15						
732	5.35	5.34					
706	6.90						
712	6.87						
719	6.79						
720	6.79						
745	6.08	6.07					
711	6.68	6.68	6.67				
717	6.37	6.33					
718	6.52	6.49					
740	5.90	5.89					
741	5.30	5.28					
762	5.99	5.94					
716	6.25	6.22	6.21				
713	6.30	6.27	6.26				
721	6.21	6.20					
715	6.33	6.29					
714	6.55	6.52					
744	5.87	5.83	5.81	5.80			
746	5.83	5.79	5.78				
747	5.28	5.24	5.23				

Resumen

El sistema de espuma se compone de los conductos que conducen la solución espumante desde el punto de toma de la RCI y conexión del medio móvil de espumógeno hasta la base de los tanques, a partir de ahí un anillo que envuelve a los tanques y de este anillo tuberías individuales que ascienden hasta lo alto de estos, donde se localizan las bocas de descarga que generan la espuma a partir de la solución espumante.

Las bocas de descarga/cámaras de espuma seleccionadas a instalar varían en sus complementos según si el tanque donde se instala es de techo fijo o techo flotante. En

ambas categorías la boca de descarga seleccionada es el modelo SE-CS de la marca SABO. El número de bocas modelo SE-CS por cada uno de los tanques se muestran en la **Tabla 82**.

En los tanques de techo fijo las bocas de descarga se localizarán por debajo de la unión del techo con el cuerpo del tanque, y las bocas de descarga irán instaladas en la pared del tanque con un accesorio de la marca SABO modelo SE-VKS (vertedera de espuma).

En los tanques de techo flotante las bocas de descarga irán localizadas a lo largo del perímetro del tanque y en lo alto del borde de estos. Las bocas elevadas contarán con acople en la boca modelo SE-VF que permite descargar espuma desde lo alto en el área del anillo que forma el sello del tanque.

Las dimensiones de las conducciones desde el punto de inyección de la solución espumante hasta la base del anillo de distribución se pueden encontrar en la **Tabla 88**. Las dimensiones de las ramas del anillo del que parten las desviaciones individuales se pueden encontrar en la **Tabla 89**. Las ascendentes individuales que conectan con las bocas de descarga y que parten del anillo, sus dimensiones se pueden encontrar en **Tabla 93**.

Anexo G: Hidrantes

Introducción

En el siguiente anexo se calcularán el número de hidrantes de agua a distribuir por los perímetros de los cubetos de los tanques considerados en este análisis y sus accesorios. Este anexo se complementa con los cálculos realizados en el “*Anexo B: Demandas de agua y espumógeno*” en su apartado “*Sistemas manuales de espuma*” donde se calcularon el número de medios manuales de espuma (instalados en los hidrantes de agua) a disponer alrededor de aquellos tanques donde la normativa lo exija.

Número de hidrantes

El número de hidrantes de agua a distribuir por refinería, alrededor de los áreas de incendio, se calculará de tal manera que se cumpla las condiciones de distanciamiento de 80 metros entre hidrantes (radio de cobertura de 40 metros [20]).

Como se ha comentado en el apartado “**Sistemas de lucha contra incendios**” habrá una serie de estos hidrantes que contarán con monitores de espuma, los cuales se ha calculado el número a instalar de estos últimos en las áreas de incendio donde se requieran. El número de monitores totales necesarios será condicionante del número total de hidrantes de agua en este apartado, como los propios monitores irán montados en hidrantes, en caso de requerirse en ciertas áreas un número de monitores mayor al número de hidrantes calculado, este último se aumentará hasta igualar al número de monitores. En caso contrario, es decir, el número de monitores calculado es inferior al número de hidrantes, en ese caso cohabitaran ambos modelos, instalándose hidrantes con monitor y otros simplemente con tomas de agua.

Para el cálculo del número de hidrantes a distribuir alrededor de las áreas de incendio se hará la siguiente aproximación a dichas áreas, **se supondrá que el área de todas ellas**

es de forma cuadrada y que la razón de número de hidrantes en función del área de incendio sigue el siguiente proceso.

Se supone un área de incendio cuadrada de 80 metros de lado y otra área de incendio cuadrada del doble de costado, con un lado de 160 metros. El número de hidrantes que garantizan la cobertura mínima de 40 metros de radio alrededor del perímetro de cada área de incendio es:

- Área de incendio de 80 m de lado = 4 hidrantes.
- Área de incendio de 160 metros de lado = 8 hidrantes.

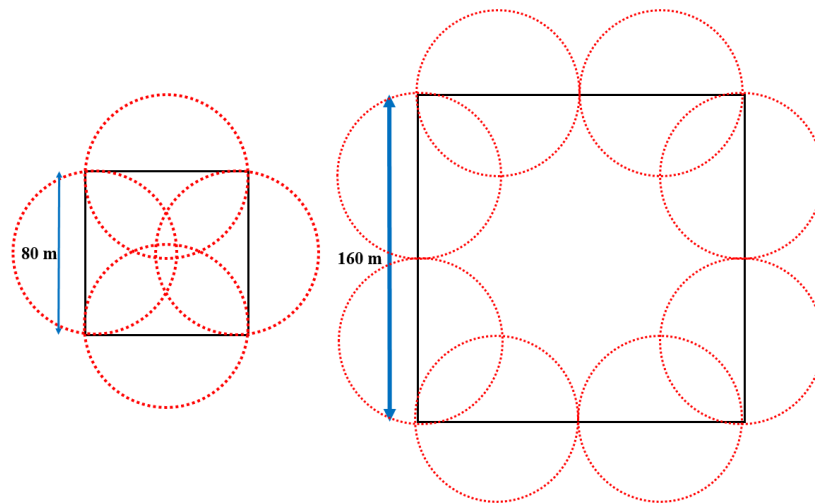


Ilustración 51: Relación número de hidrantes según el área de incendio.

Dividiendo el número de hidrantes entre el área de incendio se obtienen las siguientes relaciones:

$$\text{Área 1} \rightarrow \frac{4}{80^2}$$

$$\text{Área 2} \rightarrow \frac{8}{160^2}$$

Donde se observa generalizando las relaciones anteriores, que el área de incendio sigue la siguiente relación en función del número de hidrantes:

$$\frac{n}{(n * 20)^2} \quad (74)$$

Donde:

n: es el número de hidrantes.

Donde el denominador es la relación del área de incendio y el número de hidrantes para un área de incendio de forma cuadrada, pudiéndose desarrollar la relación final de:

$$\text{Área de incendio} = (n * 20)^2$$

Despejando “n” hidrantes se obtiene:

$$n = \frac{\sqrt{\text{Área de incendio}}}{20} \quad (75)$$

Donde:

Área de incendio: es el área de incendio ocupada por los tanques, siendo esta el área interior de los cubetos en metros cuadrados.

n: es el número de hidrantes

Se calcula las necesidades de hidrantes de agua en todos los sectores de incendio mediante la fórmula anterior:

Tanque	Sector	Área de incendio (m ²)	Nº Hidrante
3702	1	42309	11
3703	1	42309	11
1401	2	2600	3
1400	3	1000	2
1403	4	725	2
1404	4	725	2
1402	5	2450	3
755	6	47600	11
756	6	47600	11
3700	7	32600	10
3701	8	32600	10
750	9	24800	8
751	10	22500	8
752	11	36700	10

702	12	18000	7
703	13	18000	7
701	14	8430	5
760	15	8700	5
700	16	14100	6
763	17	3720	4
737	18	9750	5
765	19	1600	2
764	20	3650	4
727	21	10000	5
1270	22	750	2
1271	23	750	2
731 A	24	2700	3
731 B	24	2700	3
735	25	800	2
732	26	1750	3
704	27	1100	2
705	28	1100	2
736	29	1100	2
748	30	1000	2
761	31	1400	2
706	32	4450	4
708	32	4450	4
712	32	4450	4
719	32	4450	4
720	32	4450	4
745	32	4450	4
711	33	4300	4
724	34	4300	4
726	34	4300	4
739	34	4300	4
725	35	4200	4
742	36	1500	2
723	37	4430	4
717	38	3300	3
718	38	3300	3
740	39	2800	3
741	39	2800	3
762	40	1100	2
716	41	2825	3
713	42	2900	3
721	43	3400	3
743	43	3400	3
707	44	1600	2
715	44	1600	2

734	44	1600	2
714	45	1700	3
722	45	1700	3
744	46	6300	4
746	47	4200	4
747	48	4200	4
738	49	1800	3
766	50	2850	3
728	51	14000	6
729	52	7800	5
730	53	700	2

Tabla 94: Número de hidrantes en función del área de incendio.

Clasificando y reajustando el número de hidrantes en función del número de monitores como se ha comentado antes, se obtiene el número total de hidrantes y aquellos con monitor en función de los sectores de incendio. Un **total de 236 hidrantes** de los cuales, **117 de ellos tendrán monitor de espuma**.

Sector de incendio	Área de incendio (m ²)	Hidrantes con monitor	Hidrantes totales
1	42309	13	13
2	2600	1	3
3	1000	1	2
4	725	1	2
5	2450	1	3
6	47600	15	15
7	32600	11	11
8	32600	11	11
9	24800	8	8
10	22500	7	8
11	36700	13	13
12	18000		7
13	18000		7
14	8430	3	5
15	8700	3	5
16	14100	5	6
17	3720		4
18	9750		5

19	1600		2
20	3650		4
21	10000		5
22	750	1	2
23	750	1	2
24	2700	1	3
25	800		2
26	1750	1	3
27	1100		2
28	1100		2
29	1100		2
30	1000		2
31	1400		2
32	4450	2	4
33	4300	2	4
34	4300		4
35	4200		4
36	1500		2
37	4430		4
38	3300	2	3
39	2800	1	3
40	1100	1	2
41	2825	1	3
42	2900	1	3
43	3400	2	3
44	1600	1	2
45	1700	1	3
46	6300	2	4
47	4200	2	4
48	4200	2	4
49	1800		3
50	2850		3
51	14000		6
52	7800		5
53	700		2

Tabla 95: Hidrantes totales en función del sector de incendio.

Accesorios

El monitor acoplado a cada hidrante con monitor, contará en la boca de estos con lanzas auto-aspirantes acopladas a los depósitos de espumógeno que producirán la espuma, el modelo de las lanzas variará según el tamaño del monitor.

El monitor seleccionado es de la marca SABO, el modelo de **monitor por palanca SE-KM-L**. Estos monitores cuentan con una rotación de 360° alrededor del eje central de estos. EL cuerpo y la rótula de rotación son de acero inoxidable AISI 316, la base de la brida base no es de acero inoxidable pero se ofrece la opción de que esta sea de acero inoxidable AISI 316, se seleccionará esta brida para hacer todo el monitor resistente a la corrosión. El fabricante ofrece la instalación de un cono reductor con la brida de acople al hidrante para instalar una válvula de mariposa. La presión de trabajo máxima es de 16 bar y la recomendada es de 12 bar.



Ilustración 52: Monitor por palanca SE-KM-L. Fuente: Catálogo SABO.

Se seleccionará el modelo específico dentro del modelo de monitor por palanca seleccionado, para que en cada escenario de incendio, si se da el caso de que se necesite descargar el total de caudal de solución espumante de todos los hidrantes por uno de ellos. Las necesidades de caudal total de todos los hidrantes monitor será por tanto el

factor selectivo del modelo de monitor, se obtienen los datos de necesidad total de caudal de solución espumante en función del escenario de la **Tabla 23**: Número de monitores y sus caudales totales de solución espumante. y el número total de hidrantes por cada sector de incendio.

Con estos monitores, en función del modelo se instalarán las lanzas auto-aspirantes modelos **SE-FX-A** y el modelo **SE-FX-A-BZ**. Las lanzas en función de supresión de trabajo cuentan con unos caudales de salida y un alcance del chorro determinado por el fabricante, el cual también recomienda las presiones de trabajo, siendo en ambas lanzas la presión recomendada alrededor de los 7 bar. El modelo SE-FX-A, se instalará en aquellos monitores con una boca de descarga de 3"- 4", será de cuerpo de aluminio y bronce.

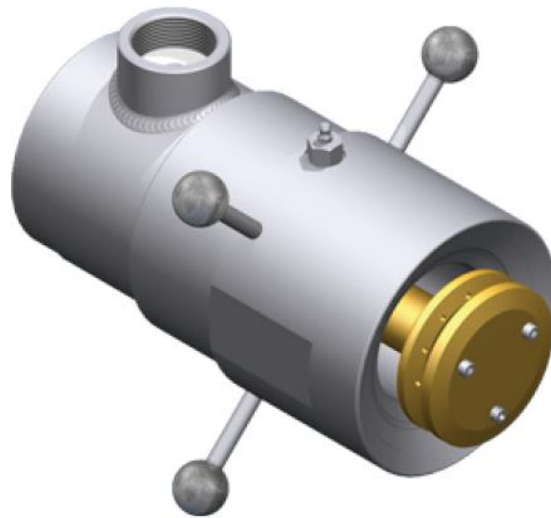


Ilustración 53: Lanza SE-FX-A. Fuente: Catálogo SABO.

Para los monitores de tamaños de boca de descarga entre 2,5"- 3" se instalará lanzas SE-FX-A-BZ. El cuerpo de estas lanzas es de bronce resistente a la corrosión.

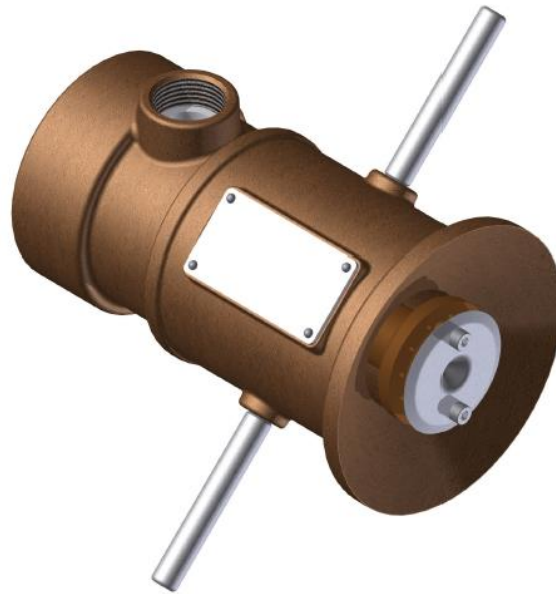


Ilustración 54: Lanza SE-FX-A-BZ. Fuente: Catálogo SABO.

Se seleccionan los modelos adecuados a cada escenario de incendio según los criterios establecidos.

Sector de incendio	Nº Monitores	Caudal solución espumante total (l/min)	Modelo de monitor	Nº Lanzas de espuma	Modelo de lanza auto-aspirante	Nº válvulas de mariposa
1	13	2600	SE-KM-L-3X	13	SE-FX-A-50-AL	13
2	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
3	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
4	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
5	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
6	15	3000	SE-KM-L-3X	15	SE-FX-A-50-AL	15
7	11	2200	SE-KM-L-3X	11	SE-FX-A-50-AL	11
8	11	2200	SE-KM-L-3X	11	SE-FX-A-50-AL	11

9	8	1600	SE-KM-L-2.5X	8	SE-FX-30-BZ	8
10	7	1400	SE-KM-L-2.5X	7	SE-FX-30-BZ	7
11	13	2600	SE-KM-L-3X	13	SE-FX-A-50-AL	13
14	3	600	SE-KM-L-2.5X	3	SE-FX-30-BZ	3
15	3	600	SE-KM-L-2.5X	3	SE-FX-30-BZ	3
16	5	1000	SE-KM-L-2.5X	5	SE-FX-30-BZ	5
22	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
23	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
24	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
26	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
32	2	400	SE-KM-L-2.5X	2	SE-FX-30-BZ	2
33	2	400	SE-KM-L-2.5X	2	SE-FX-30-BZ	2
38	2	400	SE-KM-L-2.5X	2	SE-FX-30-BZ	2
39	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
40	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
41	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
42	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
43	2	400	SE-KM-L-2.5X	2	SE-FX-30-BZ	2
44	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
45	1	200	SE-KM-L-2.5X	1	SE-FX-30-BZ	1
46	2	400	SE-KM-L-2.5X	2	SE-FX-30-BZ	2
47	2	400	SE-KM-L-2.5X	2	SE-FX-30-BZ	2
48	2	400	SE-KM-L-2.5X	2	SE-FX-30-BZ	2

Tabla 96: Accesorios y monitores de los hidrantes en función del sector de incendio.

Resumen

El número de hidrantes de agua a instalar en refinería alrededor de cada uno perímetros de los tanques se puede consultar en la **Tabla 95**, donde además se indican que total de esos hidrantes deberán disponer de monitores de espuma o no.

Los monitores de espuma seleccionados son de la marca SABO, modelo SE-KM-L, el cual es un monitor de espuma por palanca. Estos monitores no generan espuma de por sí, solo la proyectan, por lo que a estos monitores se acoplaran unas lanzas auto-aspirantes que generen dicha espuma para ser proyectada. Estas lanzas son de la marca SABO también y son los modelos SE-FX-A y SE-FX-A-BZ, los cuales se instalará un modelo u otro según el tamaño de la boca del monitor.

En la **Tabla 96** se pueden consultar por cada uno de los sectores de incendio que deberán contar con monitores de espuma y los modelos de lanza a instalar en función del tamaño del monitor de espuma.

Anexo H: Simulación en *EPANET*

Introducción

A continuación, se simularán 3 escenarios de incendio con el programa de cálculos hidráulicos en tuberías EPANET y se comprobará el correcto funcionamiento de los anillos dimensionados para un ejemplo seleccionado. Además en este anexo se verán que ocurría en caso de ruptura en la ruta más directa de bombeo y el agua tenga que recorrer mayor distancia hasta el puesto de control. Los escenarios que se observarán en este anexo son los siguientes:

- **Incendio de la esfera 705 (sector de incendio 28):**
Este es el escenario de incendio singular que mayor caudal de agua demanda de la red.
- **Incendio del tanque 3702/3703 (sector de incendio 1) :**
Este es el escenario de incendio más alejado del punto de bombeo.
- **Escenario hipotético de incendio de esfera 705 y esfera 766 simultáneo:**
Estos son los dos escenarios que mayor caudal de agua y se verá cómo se comporta el sistema dimensionado ante este escenario ficticio.

Los datos de partida en esta simulación, son las instalaciones dimensionadas de los anteriores apartados, en concreto el dimensionamiento de la red principal de canalización y el sistema de bombeo. Para la consulta de los datos concretos:

- Sistema de bombeo → apartado “*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*”
- Demandas de agua → apartado “**Caudales totales de agua y espuma**”

-
- Canalizaciones principales → apartado “*¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*”

La red mallada al completo recorriendo todos los perímetros de los tanques sigue el esquema que se muestra en la **Ilustración 55**. Siendo toda la red mallada un tubo de acero de diámetro de 400 mm STD, con un total de 8900 metros de tubería para cubrir todas las áreas y cerrar el mallado.



Ilustración 55: Red mallada de canalizaciones principales de la RCI.

Se traslada este esquema de malla al software EPANET, incluyendo el sistema de bombeo que consiste en 4 bombas CPKN 300-630 con rodete de 573 mm de la marca KSB. Se introduce el modelo en EPANET con el sistema de bombeo, en su ubicación definida durante el dimensionamiento.

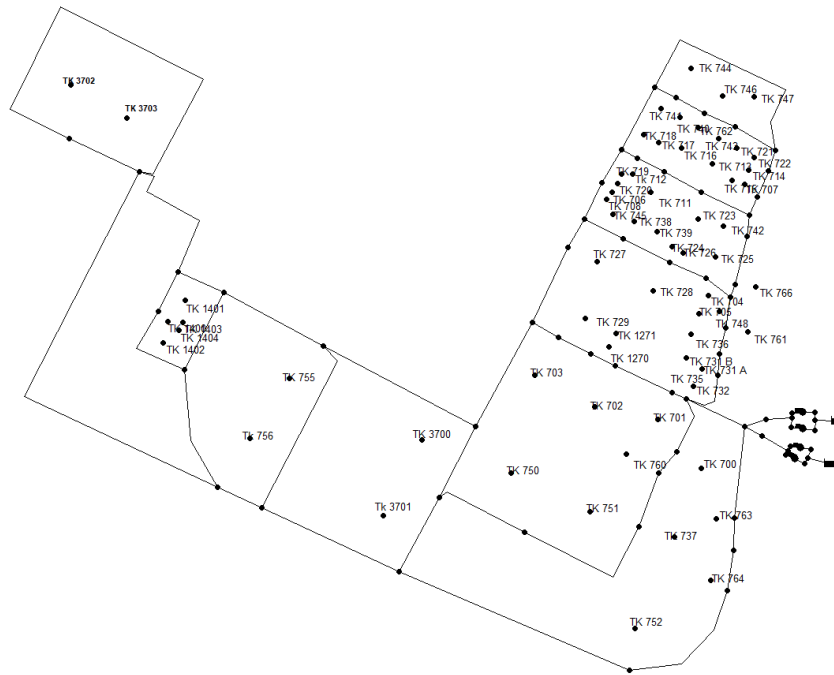


Ilustración 56: Modelo general de EPANET incluyendo todos los tanques.

Las bombas estarán conectadas en parejas en el simulador y la aspiración del pozo de captación se simulará mediante una reserva de agua infinita a efectos del cálculo. Las pérdidas en el circuito de aspiración e impulsión se simularán mediante pérdidas por fricción en las tuberías, incrementando la largarí de estas para adecuar las pérdidas a la realidad.

Al simular los diferentes escenarios existirán ciertas diferencias entre lo calculado mediante las diferentes ecuaciones planteadas en los anteriores anexos, debido a como realiza los cálculos el programa y el nivel de detalle en el análisis.

Simulación de los escenarios

A continuación se simularán las presiones disponibles en el puesto de control de cada escenario de incendio, esto es el punto de donde derivan las diferentes líneas desde la RCI que alimentan a los sistemas contra incendio como agua pulverizada, espuma etc...

Se buscará ver que se cumpla el mínimo de 75 metros columna de agua = $7,5 \text{ kg/cm}^2$ de presión en la RCI, que es el mínimo que exige la normativa aplicable RD 2085/2994.

Cada uno de los escenarios se simulara individualmente aislando los circuitos con el fin de facilitar el mostrado de los resultados.

Escenario de incendio en la esfera 705

El primer escenario es el de incendio en la esfera 705. El puesto de control de donde se conectan los sistemas de agua pulverizadas en las esferas se encuentran muy cerca del grupo de bombeo, como se puede observar en la ilustración inferior (el círculo rojo completo representa el puesto de control y el círculo con interior blanco el grupo de bombeo).



Ilustración 57: Recorrido de bombeo en incendio de la esfera 705.

EL escenario de incendio de la esfera 705 requiere un caudal de agua total de **34680 litros por minuto** aproximadamente (ver **Tabla 25**), con una distancia a recorrer por el agua de **240 metros**.

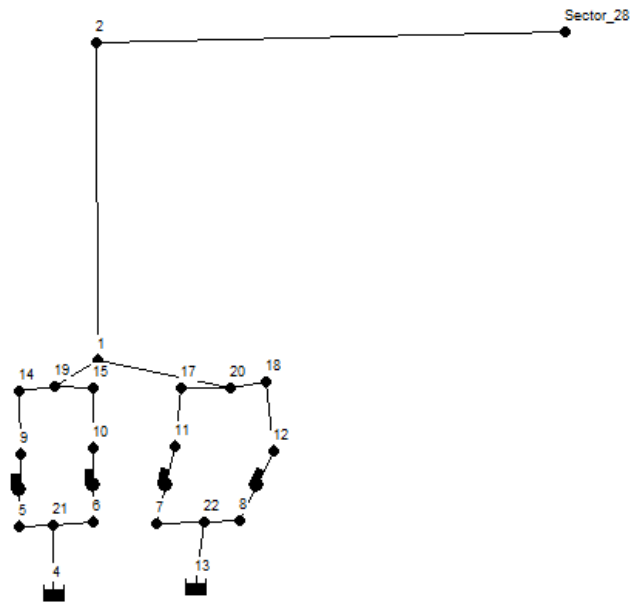


Ilustración 58: Esquema de bombeo del incendio de la esfera 705 en EPANET.

Activando dos de las bombas obtenemos el mínimo de la presión demandada según la normativa, con una presión en la RCI pre-desvío de **79,78 m.c.a.**

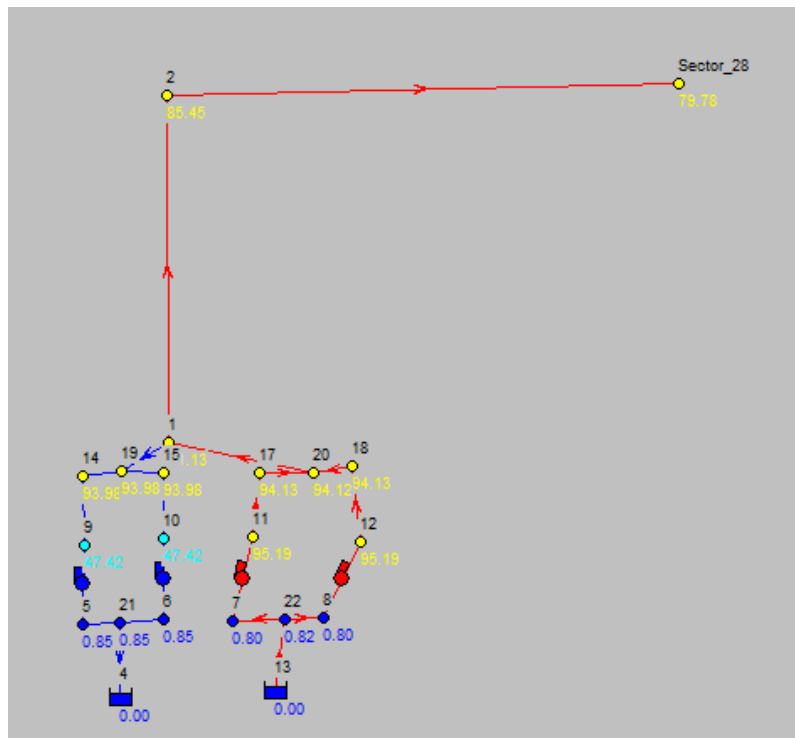


Ilustración 59: Presiones disponibles en incendio sector 28.

En caso de que la ruta más directa al puesto de control se rompa/bloquee o se deba aislar debido a alguna complicación, el agua deberá recorrer un trayecto mucho mayor. La normativa UNE 23500:2018 indica que en el caso de avería de una parte del anillo el dimensionamiento de la red distribución deberá garantizar al menos el 80 % de la presión nominal de diseño por el trazado más largo. En este caso el 80% mínimo a requerir es una presión de 60 m.c.a. El trazado largo a recorrer en caso de avería es el mostrado en la siguiente ilustración.



Ilustración 60: Trazado más largo del escenario de incendio de la esfera 705.

La distancia a recorrer en este caso aumenta a **1112 metros**. Simulando se obtiene las siguientes presiones:

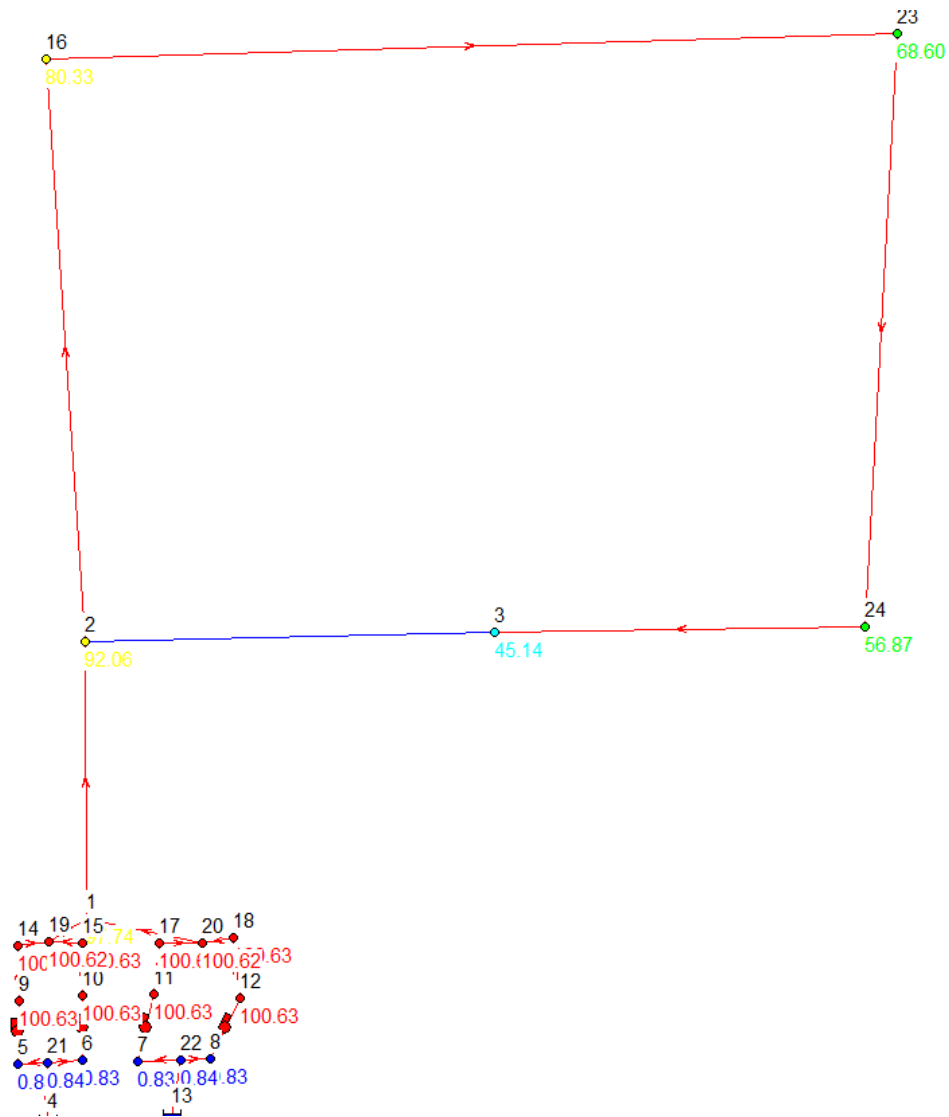


Ilustración 61: Presión disponible en el trazado largo del incendio de la esfera 705.

Se observa que para este escenario, aún con las 4 bombas encendidas, la presión disponible en el puesto de control es inferior a 60 m.c.a, por lo que se deberá aumentar el diámetro de este trazado a un diámetro superior al actual. Aumentado el diámetro de todo este trazado a **450 mm**, la presión disponible cambia a:

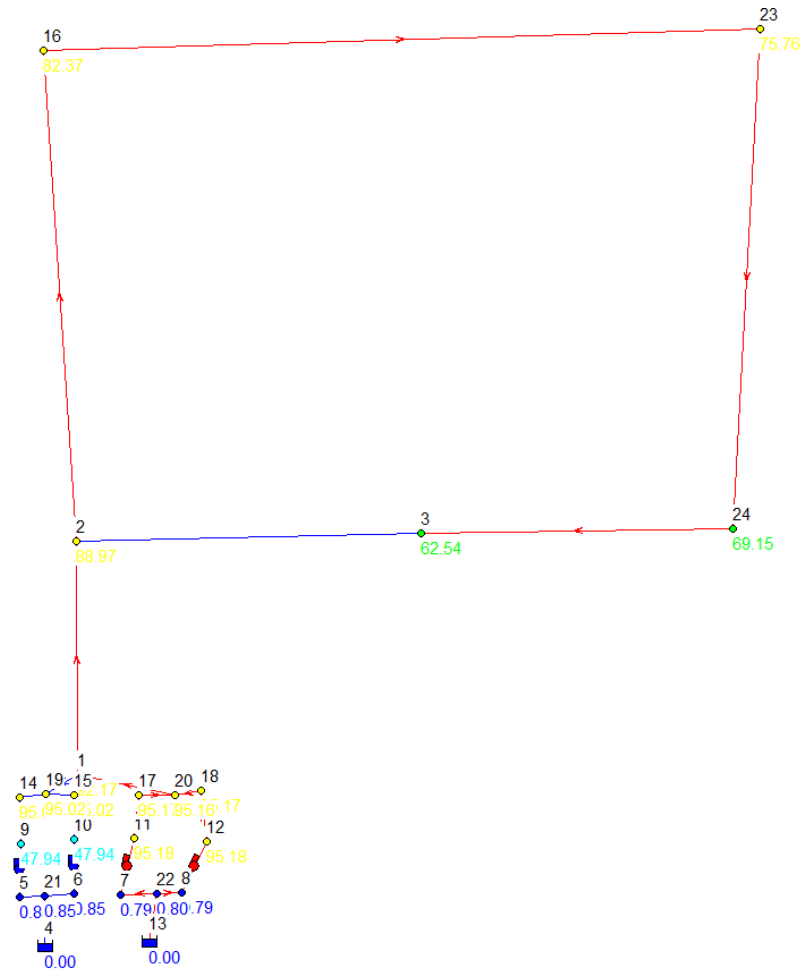


Ilustración 62: Presión disponible con el cambio de diámetro en esfera 705.

Con el cambio de diámetros de tuberías del trazado, con sólo **2 bombas** conectadas se consigue la presión mínima en el puesto de control, con una presión de **62,54 m.c.a** en caso de avería del trazado más corto.

Escenario de incendio en el tanque 3703

El escenario de incendio del tanque 3703/3702 (ambos son exactamente iguales), requiere de un caudal de **14000 litros por minutos** y una distancia de bombeo de **1534 metros**. Este escenario es el escenario más alejado del grupo de bombeo y es el que

cuenta con una pendiente hidráulica más desfavorable, en el sentido que tolera el menor número de pérdidas por fricción por metro de tubería.



Ilustración 63: Recorrido de bombeo desde el grupo de bombeo.

De la misma manera que el caso previo se simula en EPANET, la presión que se dispondrá en el puesto de control del escenario de incendio 1 (correspondiente al incendio del tanque 3702/3703).

Se observa en la **Ilustración 64** que con una sola bomba se consigue la presión mínima exigida por la normativa, consiguiendo una presión de **78,31 m.c.a.** Se recomienda que aunque la presión disponible con una sola bomba cumple, establecer el modo de funcionamiento **con dos bombas simultáneamente**, pues se consigue una mayor holgura respecto a la presión mínima, con una presión disponible de **82,56 m.c.a.**

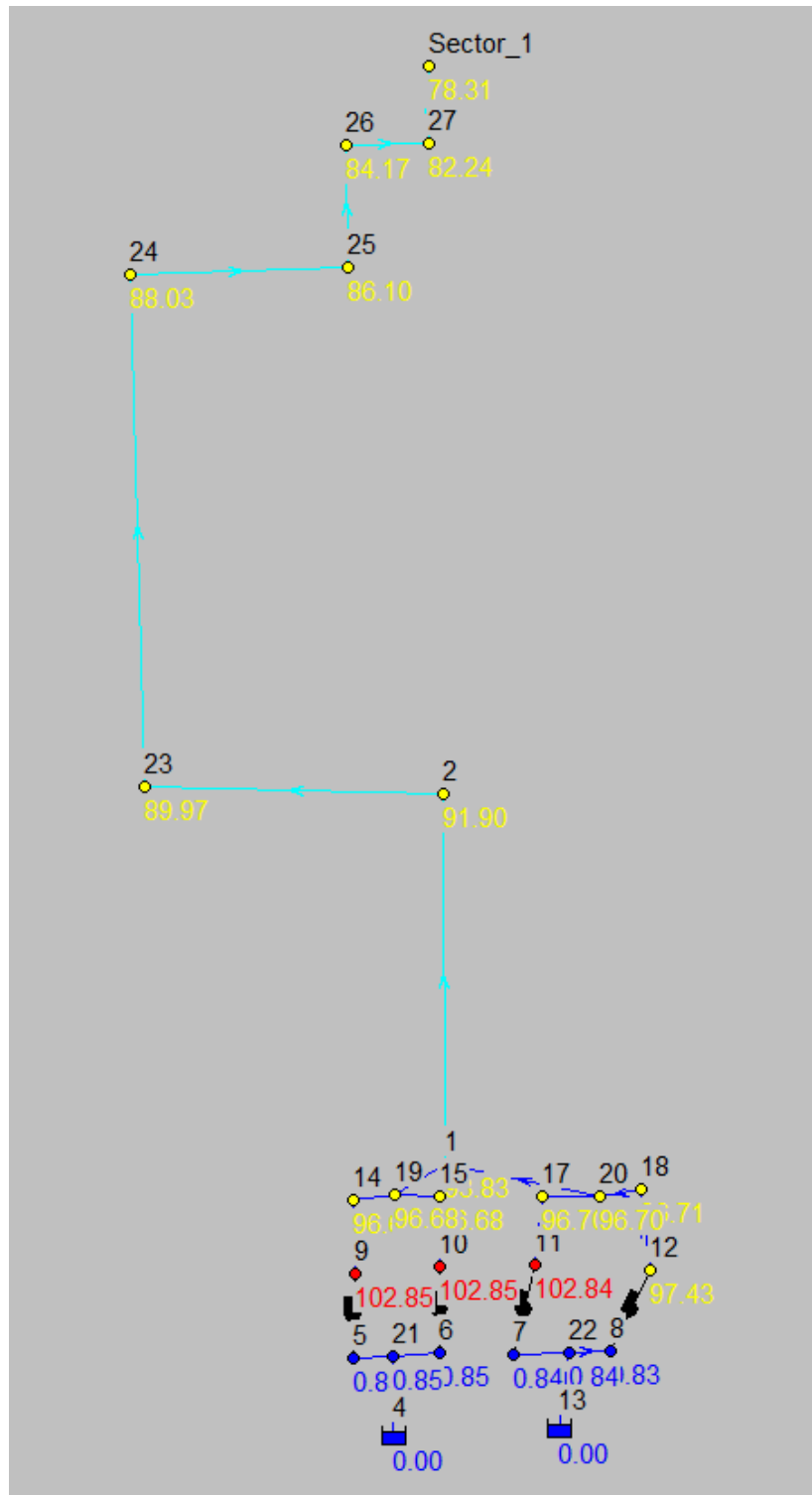


Ilustración 64: Presión disponible en incendio del tanque 3703.

En caso de que el tramo más directo de bombeo al sector 1 resulte averiado, el recorrido más largo desde bombeo hasta el sector es el mostrado en la **Ilustración 65**, donde la distancia aumenta a **2360 metros desde bombeo**.



Ilustración 65: Trazado largo del incendio del tanque 3703.

Se simula este escenario con la nueva condición, se puede observar en la **Ilustración 66**, que con una bomba funcionando se obtiene una presión de **71,02 m.c.a**, lo cual cumple con la condición del 80 %. Funcionando con dos bombas se obtiene una presión de **75,28 m.c.a**, la cual cumpliría incluso el modo rutinario de funcionamiento en el trazado largo.

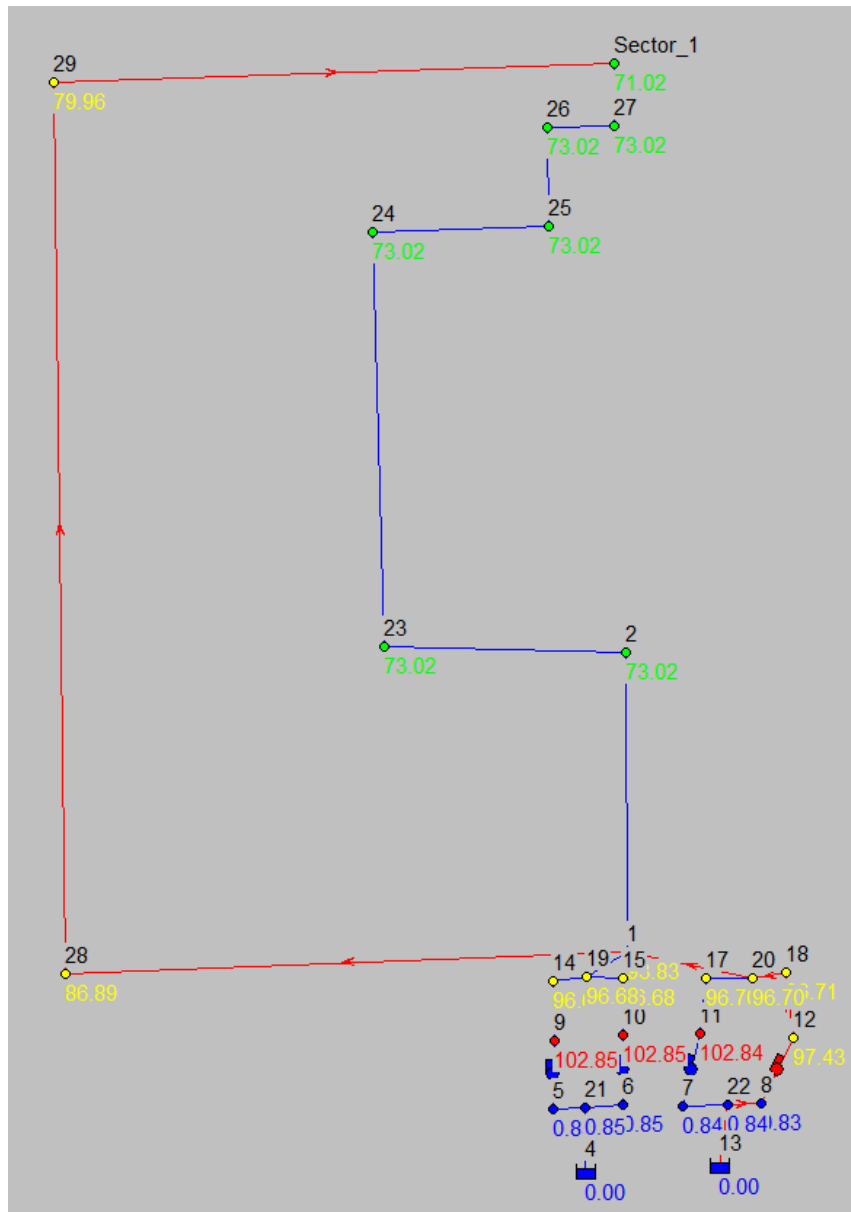


Ilustración 66: Presión disponible en el trazado largo del incendio del tanque 3703.

Escenario de incendio conjunto de esfera 705 y esfera 766

En este apartado se simulará un escenario ficticio de incendio, en el cual los dos escenarios que mayor caudal demandan, estos son el incendio de la esfera 705 y la esfera 766, se incendiasen a la vez. Esto implica un caudal conjunto total de **56426 litros por minuto** y un recorrido a realizar por el agua mostrada en la siguiente ilustración.



Ilustración 67: Recorrido de bombeo del escenario conjunto.

Se simula el escenario conjunto y se obtiene que con las 4 bombas funcionando incluso para los dos escenarios que más agua requieren, se obtiene una presión de **62,04 metros columna de agua** en el puesto de control de la esfera 766 y de **65,71 metros columna de agua** en el de la esfera 705 (ver **Ilustración 68**), por lo que incluso entraría dentro del rango del 80%.

Con esto se observa que el sistema dimensionado es robusto y adaptable incluso a escenarios hipotéticos de gran demanda de caudal.

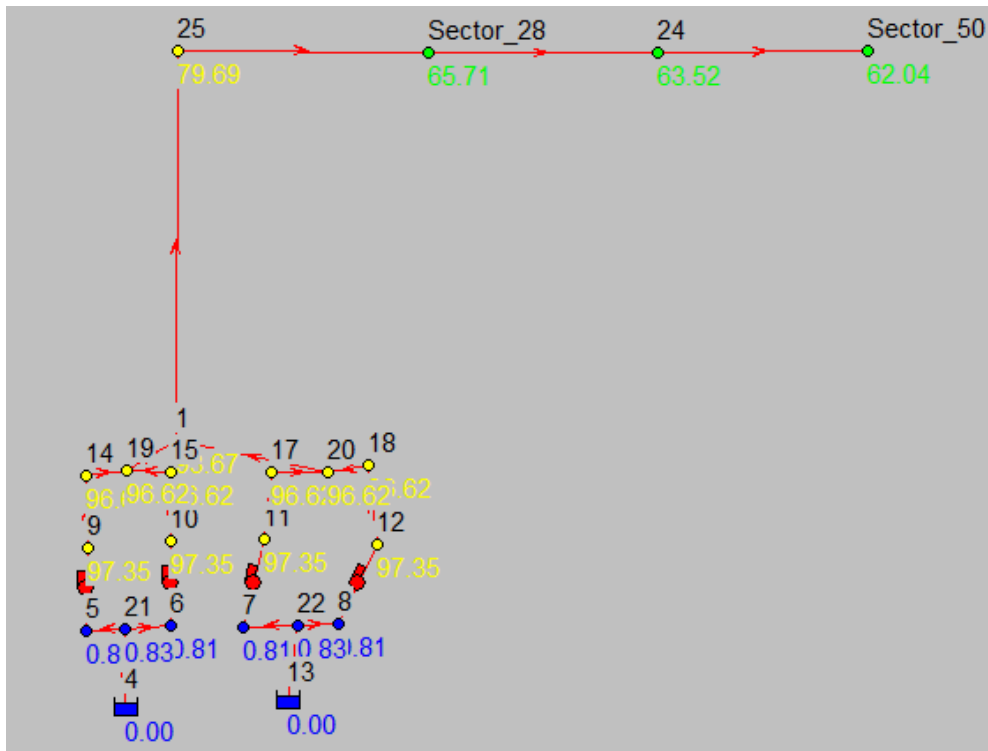


Ilustración 68: Escenario de incendio conjunto esferas 705 y 766.

Comprobación sistema anillos de las esferas

Por último, como comprobación de los resultados obtenidos en el dimensionamiento, se simulará el sistema de agua pulverizada de la esfera 704. Se simulará un sistema de agua pulverizada de una de las esferas debido a que es un sistema más complejo que el instalado en el resto de los tanques y da una visión global de como funcionarán estos.

Las esferas cuentan con 4 anillos, en el caso de la esfera 704 en su primer y cuarto anillo cuenta con 8 boquillas, en su segundo anillo cuenta con 16 boquillas y en su tercer anillo con 18 boquillas.

La simulación se realizará introduciendo en los nodos el coeficiente emisor seleccionado para las boquillas de la esfera, siendo este coeficiente **103,7**, simulando

estos nodos las boquillas y ajustando la presión disponible en lo alto del anillo se observará el agua que se expulsa por las boquillas.

En el modelo se incluirán de todas las canalizaciones desde el puesto de control de la RCI hasta la esfera, incluyendo todas las bajantes y anillos que completan el sistema. Las dimensiones y conductos de los diferentes componentes de las esferas se pueden observar en el apartado “*Esferas*” del anexo de sistemas de agua pulverizada.

La presión total necesaria a tener en lo alto del anillo es igual a la presión para que al llegar el agua al primer anillo la presión sea adecuada para disponer en las boquillas de la presión necesaria para su correcto funcionamiento. En el caso de las boquillas la presión de funcionamiento es de **1,67 bar = 17,034 m.c.a.**

Se genera el modelo en EPANET y se ajusta la presión a la entrada del sistema hasta que el caudal pulverizado se aproxima al caudal total a pulverizar en la esfera 704 el cual es un caudal de **6696 litros por minuto**.

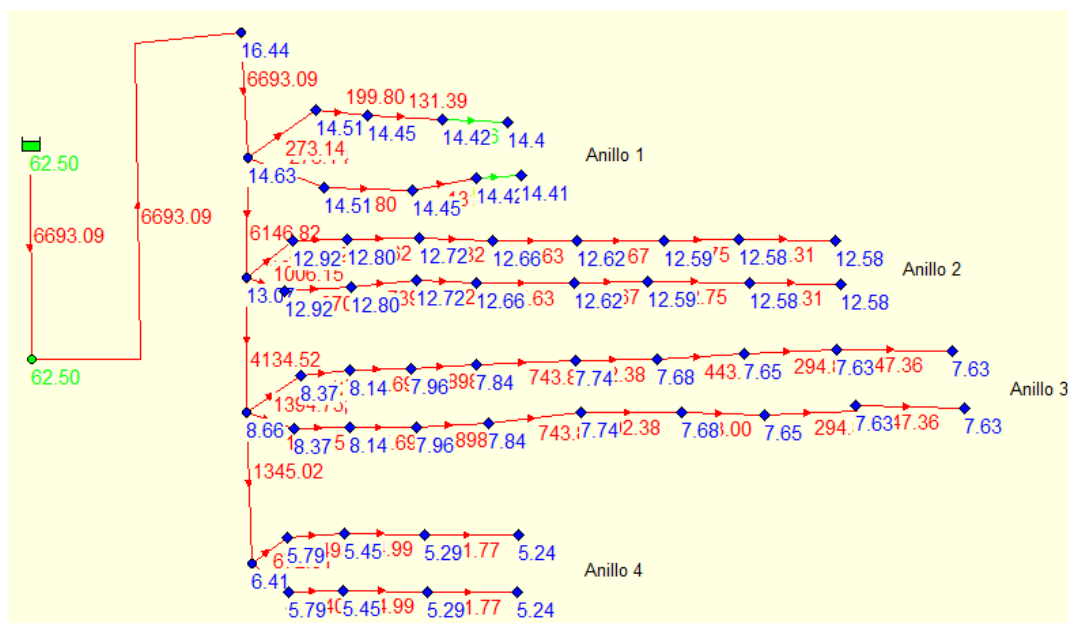


Ilustración 69: Modelo del sistema de agua pulverizada de la esfera 704.

Como se observa en la ilustración anterior donde se encuentra el modelo simulado, cuando la altura en lo alto del anillo es igual a 16,44 metros columna de agua el cual pulverizado por la simulación es de 6693 litros por minuto, lo cual cumple con lo esperado.

Lo que si varía es el caudal pulverizado en cada uno de los anillos, en parte por el modelo de cálculo interno de EPANET. En el primer anillo el caudal pulverizado es de 546,28 litros por minuto en comparación a lo esperado de 1071 litros por minuto y es donde se observa la mayor variación, en el segundo anillo el caudal es de 2012 litros por minuto en comparación a lo calculado de 2142 litros por minuto. En el tercer anillo el caudal de la simulación es de 2788 litros por minutos versus los 2410 litros por minutos calculados. En el cuarto anillo se tiene un caudal de 1344 litros por minuto versus el esperado de 1071 litros por minuto.

Pliego De Condiciones

1 Pliego de condiciones administrativas particulares

1.1 Disposiciones generales

1.1.1 Disposiciones de carácter general

El presente pliego general de condiciones tiene carácter supletorio del pliego de condiciones particulares del proyecto.

Ambos, como parte del proyecto, tienen por finalidad regular la ejecución de las obras fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al promotor o dueño de la obra, al contratista o constructor de la misma, sus técnicos y encargados, al ingeniero o ingeniero técnico y a los laboratorios y entidades de control de calidad, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

1.1.2 Documentación del contrato de obra

Integran el contrato los siguientes documentos relacionados por orden de prelación en cuanto al valor de sus especificaciones en caso de omisión o aparente contradicción:

- Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de empresa o arrendamiento de obra, si existiera.
- El pliego de condiciones particulares.
- El presente pliego general de condiciones.
- El resto de la documentación de proyecto (memoria, planos y presupuesto).

Las órdenes e instrucciones de la dirección facultativa de la obra se incorporan al proyecto como interpretación, complemento o precisión de sus determinaciones. En cada momento, las especificaciones literales prevalecen sobre las gráficas y en los planos, la cota prevalece sobre la medida a escala.

1.2 Disposiciones facultativas

1.2.1 Delimitación general de funciones técnicas

Ámbito de aplicación de la Ley de Ordenación de la Edificación.

El promotor

Será promotor cualquier persona, física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decida, impulse, programe o financie, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título. Son obligaciones del promotor:

- Ostentar sobre el solar la titularidad de un derecho que le faculte para construir en él.
- Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto, así como autorizar al director de obra las posteriores modificaciones del mismo.
- Gestionar y obtener las preceptivas licencias y autorizaciones administrativas, así como suscribir el acta de recepción de la obra.
- Designar al coordinador de seguridad y salud para el proyecto y la ejecución de la obra.
- Suscribir los seguros previstos en la LOE.
- Entregar al adquirente, en su caso, la documentación de obra ejecutada, o cualquier otro documento exigible por las administraciones competentes.

El proyectista

Son obligaciones del proyectista:

- Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de ingeniero o ingeniero técnico, según corresponda, y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico redactor del proyecto que tenga la titulación profesional habilitante.
- Redactar el proyecto con sujeción a la normativa vigente y a lo que se haya establecido en el contrato y entregarlo, con los visados que en su caso fueran preceptivos.
- Acordar, en su caso, con el promotor la contratación de colaboraciones parciales.

El constructor

Son obligaciones del constructor:

- Ejecutar la obra con sujeción al proyecto, a la legislación aplicable y a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra, a fin de alcanzar la calidad exigida en el proyecto.
- Tener la titulación o capacitación profesional que habilita para el cumplimiento de las condiciones exigibles para actuar como constructor.
- Designar al jefe de obra que asumirá la representación técnica del constructor en la obra y que por su titulación o experiencia deberá tener la capacitación adecuada de acuerdo con las características y la complejidad de la obra.
- Asignar a la obra los medios humanos y materiales que su importancia requiera.
- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- Elaborar el plan de seguridad y salud de la obra en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas

preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de seguridad y salud en el trabajo.

- Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, y en su caso de la dirección facultativa.
- Formalizar las subcontrataciones de determinadas partes o instalaciones de la obra dentro de los límites establecidos en el contrato.
- Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción de la obra.
- Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de la buena construcción. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordina las intervenciones de los subcontratistas.
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del aparejador o arquitecto técnico, los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Custodiar los libros de órdenes y seguimiento de la obra, así como los de seguridad y salud y el del control de calidad, éstos si los hubiere, y dar el enterado a las anotaciones que en ellos se practiquen.
- Facilitar al aparejador o arquitecto técnico con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final.
- Suscribir con el promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.
- Facilitar al director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la obra ejecutada.
- Facilitar el acceso a la obra a los laboratorios y entidades de control de calidad contratados y debidamente homologados para el cometido de sus funciones.
- Suscribir las garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción previstas en el artículo 19 de la LOE.

El director de obra

Corresponde al director de obra:

- Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante de ingeniero o ingeniero técnico, según corresponda, y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico director de obra que tenga la titulación profesional habilitante.
- Verificar el replanteo y la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectada a las características geotécnicas del terreno.
- Dirigir la obra coordinándola con el proyecto de ejecución, facilitando su interpretación técnica, económica y estética.
- Asistir a las obras, cuantas veces lo requiera su naturaleza y complejidad, a fin de resolver las contingencias que se produzcan en la obra y consignar en el libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas para la correcta interpretación del proyecto.
- Elaborar, a requerimiento del promotor o con su conformidad, eventuales modificaciones del proyecto, que vengan exigidas por la marcha de la obra siempre que las mismas se adapten a las disposiciones normativas contempladas y observadas en la redacción del proyecto.
- Coordinar, junto al aparejador o arquitecto técnico, el programa de desarrollo de la obra y el proyecto de control de calidad de la obra, con sujeción al Código Técnico de la Edificación (CTE) y a las especificaciones del proyecto.
- Comprobar, junto al aparejador o arquitecto técnico, los resultados de los análisis e informes realizados por laboratorios y/o entidades de control de calidad.
- Coordinar la intervención en obra de otros técnicos que, en su caso, concurran a la dirección con función propia en aspectos de su especialidad.
- Dar conformidad a las certificaciones parciales de obra y la liquidación final.
- Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como conformar las certificaciones parciales y la liquidación final de

las unidades de obra ejecutadas, con los visados que en su caso fueran preceptivos.

- Asesorar al promotor durante el proceso de construcción y especialmente en el acto de la recepción.
- Preparar con el contratista la documentación gráfica y escrita del proyecto definitivamente ejecutado para entregarlo al promotor.

A dicha documentación se adjuntará, al menos, el acta de recepción, la relación de identidad de los agentes que han intervenido durante el proceso de construcción, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento de las instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

El director de la ejecución de la obra

Corresponde al aparejador o arquitecto técnico la dirección de la ejecución de la obra, que formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad de lo edificado.

Siendo sus funciones específicas:

- Estar en posesión de la titulación académica y profesional habilitante y cumplir las condiciones exigibles para el ejercicio de la profesión. En caso de personas jurídicas, designar al técnico director de la ejecución de la obra que tenga la titulación profesional habilitante.
- Redactar el documento de estudio y análisis del proyecto para elaborar los programas de organización y de desarrollo de la obra.
- Planificar, a la vista del proyecto arquitectónico, del contrato y de la normativa técnica de aplicación, el control de calidad y económico de las obras.
- Redactar, cuando se le requiera, el estudio de los sistemas adecuados a los riesgos del trabajo en la realización de la obra y aprobar el Estudio de seguridad y salud para la aplicación del mismo.
- Redactar, cuando se le requiera, el proyecto de control de calidad de la edificación, desarrollando lo especificado en el proyecto de ejecución.

-
- Efectuar el replanteo de la obra y preparar el acta correspondiente, suscribiéndola en unión del ingeniero y del constructor.
 - Comprobar las instalaciones provisionales, medios auxiliares y medidas de seguridad y salud en el trabajo, controlando su correcta ejecución.
 - Realizar o disponer las pruebas y ensayos de materiales, instalaciones y demás unidades de obra según las frecuencias de muestreo programadas en el plan de control, así como efectuar las demás comprobaciones que resulten necesarias para asegurar la calidad constructiva de acuerdo con el proyecto y la normativa técnica aplicable. De los resultados informará puntualmente al constructor, impartándole, en su caso, las órdenes oportunas; de no resolverse la contingencia adoptará las medidas que corresponda, dando cuenta al ingeniero.
 - Realizar las mediciones de obra ejecutada y dar conformidad, según las relaciones establecidas, a las certificaciones valoradas y a la liquidación final de la obra.
 - Verificar la recepción en obra de los productos de construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.
 - Dirigir la ejecución material de la obra comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del director de obra.
 - Consignar en el libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas.
 - Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de obra y el certificado final de obra, así como elaborar y suscribir las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades de obra ejecutadas.
 - Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de la obra ejecutada, aportando los resultados del control realizado.

1.2.2 De las obligaciones y derechos generales del constructor o contratista

Verificación de los documentos del proyecto

Antes de dar comienzo a las obras, el constructor consignará por escrito que la documentación aportada le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada, o en caso contrario, solicitará las aclaraciones pertinentes.

Oficina en la obra

El constructor habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado, en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina tendrá siempre el contratista a disposición de la dirección facultativa:

- El proyecto de ejecución completo, incluidos los complementos que en su caso redacte el arquitecto.
- La licencia de obras.
- El libro de órdenes y asistencias.
- El reglamento y ordenanza de seguridad y salud en el trabajo.
- La documentación de los seguros suscritos por el constructor.

Representación del contratista. Jefe de obra

El constructor viene obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la obra, que tendrá el carácter de jefe de obra de la misma, con dedicación plena y con facultades para representarle y adoptar en todo momento cuantas decisiones competan a la contrata.

Serán sus funciones las del constructor según se especifica en el artículo 5. El pliego de condiciones particulares determinará el personal facultativo o especialista que el constructor se obligue a mantener en la obra como mínimo, y el tiempo de dedicación comprometido.

El incumplimiento de esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficiente por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al ingeniero para ordenar

la paralización de las obras sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

Presencia del constructor en la obra

El jefe de obra, por sí o por medio de sus técnicos o encargados, estará presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al aparejador, en las visitas que hagan a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándoles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

Trabajos no estipulados expresamente

Es obligación de la contrata el ejecutar cuando sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aun cuando no se halle expresamente determinado en los documentos de proyecto, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga el ingeniero dentro de los límites de posibilidades que los presupuestos habiliten para cada unidad de obra y tipo de ejecución. En defecto de especificación en el pliego de condiciones particulares, se entenderá que requiere reformado de proyecto con consentimiento expreso de la propiedad, promotor, toda variación que suponga incremento de precios de alguna unidad de obra en más del 20% del total del presupuesto en más de un 10%.

Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos

El constructor podrá requerir del aparejador, según sus respectivos cometidos, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los pliegos de condiciones o indicaciones de los planos o croquis, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al constructor, estando éste obligado a su vez a devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba tanto del aparejador como del ingeniero.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos crea oportuno hacer el constructor, habrá de dirigirla, dentro precisamente del plazo de 3 días, a quién la hubiere dictado, el cual dará al constructor el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

Reclamaciones contra las órdenes de la dirección facultativa

Las reclamaciones que el contratista quiera hacer contra las órdenes o instrucciones dimanadas de la dirección facultativa, sólo podrá presentarlas, a través del arquitecto, ante la propiedad, si son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los pliegos de condiciones correspondientes.

Contra disposiciones de orden técnico del ingeniero o aparejador, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada dirigida al arquitecto, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo, que en todo caso será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

Recusación por el contratista personal nombrado por el ingeniero

El constructor no podrá recusar a los arquitectos, aparejadores o personal encargado por éstos de la vigilancia de las obras, ni pedir que por parte de la propiedad se designen otros facultativos para los reconocimientos y mediciones.

Cuando se crea perjudicado por la labor de éstos procederá de acuerdo con lo estipulado en el artículo precedente, pero sin que por esta causa puedan interrumpirse ni perturbarse la marcha de los trabajos.

Faltas del personal

El ingeniero, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometan o perturben la marcha de los trabajos, podrá requerir al contratista para que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

Subcontratas

El contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, con sujeción en su caso, a lo estipulado en el pliego de condiciones particulares y sin perjuicio de sus obligaciones como contratista general de la obra.

1.2.3 Responsabilidad civil de los agentes que intervienen en el proceso de edificación*Daños materiales*

Las personas físicas o jurídicas que intervienen en el proceso de la edificación responderán frente a los propietarios, en el caso de que sean objeto de división, de los siguientes daños materiales ocasionados en el edificio dentro de los plazos indicados, contados desde la fecha de recepción de la obra, sin reservas o desde la subsanación de éstas:

Durante 3 años, de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos de los elementos constructivos o de las instalaciones que ocasionen el incumplimiento de los requisitos de habitabilidad del artículo 3 de la LOE.

El constructor también responderá de los daños materiales por vicios o defectos de ejecución que afecten a elementos de terminación o acabado de las obras dentro del plazo de 1 año.

Responsabilidad civil

La responsabilidad civil será exigible en forma personal e individualizada, tanto por actos u omisiones de propios, como por actos u omisiones de personas por las que se deba responder.

No obstante, cuando pudiera individualizarse la causa de los daños materiales o quedase debidamente probada la concurrencia de culpas sin que pudiera precisarse el grado de intervención de cada agente en el daño producido, la responsabilidad se exigirá solidariamente. En todo caso, el promotor responderá solidariamente con los demás agentes que intervienen ante los posibles adquirentes de los daños materiales en el edificio ocasionados por vicios o defectos de construcción.

Sin perjuicio de las medidas de intervención administrativas que en cada caso procedan, la responsabilidad del promotor que se establece en la LOE se extenderá a las personas físicas o jurídicas que, a tenor del contrato o de su intervención decisoria en la promoción, actúen como tales promotores bajo la forma de promotor o gestor de cooperativas o de comunidades de propietarios u otras figuras análogas.

Cuando el proyecto haya sido contratado conjuntamente con más de un proyectista, los mismos responderán solidariamente.

Los proyectistas que contraten los cálculos, estudios, dictámenes o informes de otros profesionales, serán directamente responsables de los daños que puedan derivarse de su insuficiencia, incorrección o inexactitud, sin perjuicio de la repetición que pudieran ejercer contra sus autores.

El constructor responderá directamente de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos derivados de la impericia, falta de capacidad profesional o técnica, negligencia o incumplimiento de las obligaciones atribuidas al jefe de obra y demás personas físicas o jurídicas que de él dependan.

Cuando el constructor subcontrate con otras personas físicas o jurídicas la ejecución de determinadas partes o instalaciones de la obra, será directamente responsable de los daños materiales por vicios o defectos de su ejecución, sin perjuicio de la repetición a que hubiere lugar.

El director de obra y el director de la ejecución de la obra que suscriban el certificado final de obra serán responsables de la veracidad y exactitud de dicho documento.

Quien acepte la dirección de una obra cuyo proyecto no haya elaborado él mismo, asumirá las responsabilidades derivadas de las omisiones, deficiencias o imperfecciones del proyecto, sin perjuicio de la repetición que pudiere corresponderle frente al proyectista.

Cuando la dirección de obra se contrate de manera conjunta a más de un técnico, los mismos responderán solidariamente sin perjuicio de la distribución que entre ellos corresponda.

Las responsabilidades por daños no serán exigibles a los agentes que intervengan en el proceso de la edificación, si se prueba que aquellos fueron ocasionados por caso fortuito, fuerza mayor, acto de tercero o por el propio perjudicado por el daño.

Las responsabilidades a que se refiere este artículo se entienden sin perjuicio de las que alcanzan al vendedor de los edificios o partes edificadas frente al comprador conforme al contrato de compraventa suscrito entre ellos, a los artículos 1.484 y siguientes del Código Civil y demás legislación aplicable a la compraventa.

1.2.4 Prescripciones generales relativas a trabajos, materiales y auxiliares

Inicio de la obra. Ritmo de ejecución de los trabajos

El constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el pliego de condiciones particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los períodos parciales en aquellos señalados queden ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el contrato.

Obligatoriamente y por escrito, deberá el contratista dar cuenta al ingeniero y al aparejador o del comienzo de los trabajos al menos con 3 días de antelación.

Orden de los trabajos

En general, la determinación del orden de los trabajos es facultad de la contrata, salvo aquellos casos en que, por circunstancias de orden técnico, estime conveniente su variación la dirección facultativa.

Facilidades para otros contratistas

De acuerdo con lo que requiera la dirección facultativa, el contratista general deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encomendados a todos los demás contratistas que intervengan en la obra.

Ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar entre contratistas por utilización de medios auxiliares o suministros de energía u otros conceptos.

En caso de litigio, ambos contratistas estarán a lo que resuelva la dirección facultativa.

Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor

Cuando sea preciso por motivo imprevisto o por cualquier accidente, ampliar el proyecto, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones dadas por el arquitecto en tanto se formulan o se tramita el proyecto reformado.

El constructor está obligado a realizar con su personal y sus materiales cuanto la dirección de las obras disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalzos o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

Prórroga por causas de fuerza mayor

Si por causa de fuerza mayor o independiente de la voluntad del constructor, éste no pudiese comenzar las obras, o tuviese que suspenderlas, o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable del ingeniero. Para ello, el

constructor expondrá, en escrito dirigido al arquitecto, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

1.2.5 Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra

El contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la dirección facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se le hubiesen proporcionado.

Condiciones generales de ejecución de los trabajos

Artículo 26. Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al proyecto, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que bajo su responsabilidad y por escrito entreguen el arquitecto o el aparejador o arquitecto técnico al constructor, dentro de las limitaciones presupuestarias y de conformidad con lo especificado en el artículo 15.

Documentación de obras ocultas

Artículo 27. De todos los trabajos y unidades de obra que hayan de quedar ocultos a la terminación del edificio, se levantarán los planos precisos para que queden perfectamente definidos; estos documentos se extenderán por triplicado, entregándose: uno, al ingeniero; otro, al aparejador; y, el tercero, al contratista, firmados todos ellos por los tres. Dichos planos, que deberán ir suficientemente acotados, se considerarán documentos indispensables e irrecusables para efectuar las mediciones.

Trabajos defectuosos

El constructor debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en las condiciones generales y particulares de índole técnica del pliego de condiciones y

realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en éstos puedan existir por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que le exonere de responsabilidad el control que compete al aparejador, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las certificaciones parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el aparejador advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados éstos, y antes de verificarse la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si ésta no estimase justa la decisión y se negase a la demolición y reconstrucción ordenadas, se planteará la cuestión ante el arquitecto de la obra, quien resolverá.

Vicios ocultos

Si el aparejador o arquitecto técnico tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo, y antes de la recepción definitiva, los ensayos, destructivos o no, que crea necesarios para reconocer los trabajos que suponga defectuosos, dando cuenta de la circunstancia al arquitecto.

Los gastos que se ocasionen serán de cuenta del constructor, siempre que los vicios existan realmente, en caso contrario serán a cargo de la propiedad.

Materiales y aparatos. Su procedencia

El constructor tiene libertad de proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezca conveniente, excepto en los casos en que el pliego particular de condiciones técnicas preceptúe una procedencia determinada.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo o acopio, el constructor deberá presentar al aparejador o arquitecto técnico una lista completa de los materiales y aparatos que vaya a utilizar en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

Presentación de muestras

A petición del arquitecto, el constructor le presentará las muestras de los materiales siempre con la antelación prevista en el calendario de la obra.

Materiales no utilizables

El constructor, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente y en el lugar adecuado, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra.

Se retirarán de ésta o se llevarán al vertedero, cuando así estuviese establecido en el pliego de condiciones particulares vigente en la obra.

Si no se hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene el aparejador o arquitecto técnico, pero acordando previamente con el constructor su justa tasación, teniendo en cuenta el valor de dichos materiales y los gastos de su transporte.

Materiales y aparatos defectuosos

Cuando los materiales, elementos de instalaciones o aparatos no fuesen de la calidad prescrita en este pliego, o no tuvieran la preparación en él exigida o, en fin, cuando la

falta de prescripciones formales de aquel, se reconociera o demostrara que no eran adecuados para su objeto, el ingeniero a instancias del aparejador, dará orden al constructor de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o llenen el objeto a que se destinen.

Si a los 15 días de recibir el constructor orden de que retire los materiales que no estén en condiciones, no ha sido cumplida, podrá hacerlo la propiedad cargando los gastos a la contrata.

Si los materiales, elementos de instalaciones o aparatos fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del arquitecto, se recibirán pero con la rebaja del precio que aquel determine, a no ser que el constructor prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

Gastos ocasionados por pruebas y ensayos

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras, serán de cuenta de la contrata.

Todo ensayo que no haya resultado satisfactorio o que no ofrezca las suficientes garantías podrá comenzarse de nuevo a cargo del mismo.

Limpieza de las obras

Es obligación del constructor mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de materiales sobrantes, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra ofrezca buen aspecto.

Obras sin prescripciones

En la ejecución de trabajos que entran en la construcción de las obras y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en este pliego ni en la restante documentación del proyecto, el constructor se atenderá, en primer término, a las

instrucciones que dicte la dirección facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las reglas y prácticas de la buena construcción.

1.2.6 De las recepciones de edificios y obras anejas

Acta de recepción

La recepción de la obra es el acto por el cual el constructor, una vez concluida ésta, hace entrega de la misma al promotor y es aceptada por éste. Podrá realizarse con o sin reservas y deberá abarcar la totalidad de la obra o fases completas y terminadas de la misma, cuando así se acuerde por las partes.

La recepción deberá consignarse en un acta firmada, al menos, por el promotor y el constructor, y en la misma se hará constar:

- Las partes que intervienen.
- La fecha del certificado final de la totalidad de la obra o de la fase completa y terminada de la misma.
- El coste final de la ejecución material de la obra.
- La declaración de la recepción de la obra con o sin reservas, especificando, en su caso, éstas de manera objetiva, y el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados. Una vez subsanados los mismos, se hará constar en un acta aparte, suscrita por los firmantes de la recepción.
- Las garantías que, en su caso, se exijan al constructor para asegurar sus responsabilidades.
- Se adjuntará el certificado final de obra suscrito por el director de obra (arquitecto) y el director de la ejecución de la obra (aparejador) y la documentación justificativa del control de calidad realizado.
- El promotor podrá rechazar la recepción de la obra por considerar que la misma no está terminada o que no se adecua a las condiciones contractuales. En todo caso, el rechazo deberá ser motivado por escrito en el acta, en la que se fijará el nuevo plazo para efectuar la recepción.

-
- Salvo pacto expreso en contrario, la recepción de la obra tendrá lugar dentro de los 30 días siguientes a la fecha de su terminación, acreditada en el certificado final de obra, plazo que se contará a partir de la notificación efectuada por escrito al promotor. La recepción se entenderá tácitamente producida si transcurridos 30 días desde la fecha indicada el promotor no hubiera puesto de manifiesto reservas o rechazo motivado por escrito.

Recepción provisional

Ésta se realizará con la intervención de la propiedad, del constructor, del arquitecto y del aparejador o arquitecto técnico. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicado un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como interventores y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas.

Seguidamente, los técnicos de la dirección facultativa extenderán el correspondiente certificado de final de obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar en el acta y se darán al constructor las oportunas instrucciones para remediar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Si el constructor no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato con pérdida de la fianza.

Documentación final

El ingeniero, asistido por el contratista y los técnicos que hubieren intervenido en la obra, redactarán la documentación final de las obras, que se facilitará a la propiedad. Dicha documentación se adjuntará, al acta de recepción, con la relación de identidad de

los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio y sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación. Esta documentación constituirá el libro del edificio, que ha de ser encargado por el promotor y será entregado a los usuarios finales del edificio.

Certificado final de obra

Éste se ajustará al modelo publicado en el Decreto 462/1971, de 11 de marzo, en donde el director de la ejecución de la obra certificará haber dirigido la ejecución material de las obras y controlado cuantitativa y cualitativamente la construcción y la calidad de lo edificado de acuerdo con el proyecto, la documentación técnica que lo desarrolla y las normas de buena construcción.

El director de la obra certificará que la edificación ha sido realizada bajo su dirección, de conformidad con el proyecto objeto de la licencia y la documentación técnica que lo complementa, hallándose dispuesta para su adecuada utilización con arreglo a las instrucciones de uso y mantenimiento.

Medición definitiva de los trabajos y liquidación provisional de la obra

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el aparejador a su medición definitiva, con precisa asistencia del constructor o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que, aprobada por el arquitecto con su firma, servirá para el abono por la propiedad del saldo resultante salvo la cantidad retenida en concepto de fianza.

Plazo de garantía

El plazo de garantía deberá estipularse en el pliego de condiciones particulares y en cualquier caso nunca deberá ser inferior a 9 meses (1 año en contratos con las administraciones públicas).

Conservación de las obras recibidas provisionalmente

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo del contratista.

Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza y reparaciones causadas por el uso correrán a cargo del propietario y las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo de la contrata.

Recepción definitiva

La recepción definitiva se verificará después de transcurrido el plazo de garantía en igual forma y con las mismas formalidades que la provisional, a partir de cuya fecha cesará la obligación del constructor de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la normal conservación de los edificios y quedarán sólo subsistentes todas las responsabilidades que pudieran alcanzarle por vicios de la construcción.

Prórroga de plazo de garantía

Si al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el arquitecto director marcará al constructor los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias y, de no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con pérdida de la fianza.

Recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida

En el caso de resolución del contrato, el contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo que se fije en el pliego de condiciones particulares, la maquinaria, medios auxiliares, instalaciones, etc., a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa.

Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos en este pliego de condiciones. Transcurrido el plazo de garantía se recibirán definitivamente según lo dispuesto en este pliego.

Para las obras y trabajos no determinados, pero aceptables a juicio del arquitecto director, se efectuará una sola y definitiva recepción.

2 Pliego de cláusulas económicas particulares

2.1 Principio general

Todos los que intervienen en el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación, con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas.

La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

2.1.1 Fianzas

El contratista prestará fianza con arreglo a alguno de los siguientes procedimientos según se estipule:

- Depósito previo, en metálico, valores, o aval bancario, por importe entre el 4% y el 10% del precio total de contrata.
- Mediante retención en las certificaciones parciales o pagos a cuenta en igual proporción.

El porcentaje de aplicación para el depósito o la retención se fijará en el pliego de condiciones particulares.

Ejecución de trabajos con cargo a la fianza

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el ingeniero director, en nombre y representación del propietario, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el propietario, en el caso de que el importe de la fianza no bastara para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

Devolución de fianzas

La fianza retenida será devuelta al contratista en un plazo que no excederá de 30 días una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra. La propiedad podrá exigir que el contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratos...

Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales

Si la propiedad, con la conformidad del arquitecto director, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

2.1.2 De los precios: composición de los precios unitarios*Composición de los precios unitarios*

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

Precios de contrata. Importe de contrata

En el caso de que los trabajos a realizar en un edificio u obra aneja cualquiera se contratasen a riesgo y ventura, se entiende por precio de contrata el que importa el coste total de la unidad de obra, es decir, el precio de ejecución material, más el % sobre este último precio en concepto de beneficio industrial del contratista. El beneficio se estima normalmente en el 6%, salvo que en las condiciones particulares se establezca otro distinto.

Precios contradictorios

Se producirán precios contradictorios sólo cuando la propiedad por medio del arquitecto decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El contratista estará obligado a efectuar los cambios.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el ingeniero y el contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el pliego de condiciones particulares. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto, y en segundo lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

Reclamación de aumento de precios

Si el contratista, antes de la firma del contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios

Artículo 55. En ningún caso podrá alegar el contratista los usos y costumbres del país respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obras ejecutadas, se estará a lo previsto en primer lugar, al pliego general de condiciones técnicas y en segundo lugar, al pliego de condiciones particulares técnicas.

Revisión de los precios contratados

Contratándose las obras a riesgo y ventura, no se admitirá la revisión de los precios en tanto que el calendario, un montante superior al 3% del importe total del presupuesto de contrato.

Caso de producirse variaciones en alza superiores a este porcentaje, se efectuará la correspondiente revisión de acuerdo con la fórmula establecida en el pliego de condiciones particulares, percibiendo incremento no alcance, en la suma de las unidades que falten por realizar de acuerdo con el contratista la diferencia en más que resulte por la variación del IPC superior al 3%.

No habrá revisión de precios de las unidades que puedan quedar fuera de los plazos fijados en el calendario de la oferta.

Acopio de materiales

El contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que la propiedad ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario son, de la exclusiva propiedad de éste; de su guarda y conservación será responsable el contratista.

2.1.3 Valoración y abono de los trabajos

Formas de abono de las obras

Según la modalidad elegida para la contratación de las obras, y salvo que en el pliego particular de condiciones económicas se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos se efectuará así:

- Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de la baja efectuada por el adjudicatario.
- Tipo fijo o tanto alzado por unidad de obra. Este precio por unidad de obra es invariable y se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas.
- Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, estipulado de antemano para cada una de ellas, se abonará al contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.
- Tanto variable por unidad de obra. Según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del arquitecto director. Se abonará al contratista en idénticas condiciones al caso anterior.
- Por listas de jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el presente pliego general de condiciones económicas determina.
- Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el contrato.

Relaciones valoradas y certificaciones

En cada una de las épocas o fechas que se fijen en el contrato o en los pliegos de condiciones particulares que rijan en la obra, formará el contratista una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos, según la medición que habrá practicado el aparejador.

Lo ejecutado por el contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando al resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderada o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo presente además lo establecido en el presente pliego general

de condiciones económicas respecto a mejoras o sustituciones de material y a las obras accesorias y especiales, etc.

Al contratista, que podrá presenciar las mediciones necesarias para extender dicha relación, se le facilitarán por el aparejador los datos correspondientes de la relación valorada, acompañándolos de una nota de envío, al objeto de que, dentro del plazo de 10 días a partir de la fecha del recibo de dicha nota, pueda el contratista examinarlos y devolverlos firmados con su conformidad o hacer, en caso contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas.

Dentro de los 10 días siguientes a su recibo, el arquitecto director aceptará o rechazará las reclamaciones del contratista si las hubiere, dando cuenta al mismo de su resolución, pudiendo éste, en el segundo caso, acudir ante el propietario contra la resolución del arquitecto director en la forma referida en los pliegos generales de condiciones facultativas y legales.

Tomando como base la relación valorada indicada en el párrafo anterior, expedirá el arquitecto director la certificación de las obras ejecutadas. De su importe se deducirá el tanto por cien que para la construcción de la fianza se haya preestablecido.

El material acopiado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del propietario, podrá certificarse hasta el 90% de su importe, a los precios que figuren en los documentos del proyecto, sin afectarlos del % de contrata.

Las certificaciones se remitirán al propietario, dentro del mes siguiente al período a que se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la liquidación final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. En el caso de que el arquitecto director lo exigiera, las certificaciones se extenderán al origen.

Mejoras de obras libremente ejecutadas

Cuando el contratista, incluso con autorización del ingeniero director, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el proyecto o sustituyese una clase de fábrica con otra que tuviese asignado mayor precio o ejecutase con mayores dimensiones cualquiera parte de la obra, o, en general, introdujese en ésta y sin pedírsela, cualquiera otra modificación que sea beneficiosa a juicio del arquitecto director, no tendrá derecho, sin embargo, más que al abono de lo que pudiera corresponder en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

Salvo lo preceptuado en el pliego de condiciones particulares de índole económica, vigente en la obra, el abono de los trabajos presupuestados en partidaalzada, se efectuará de acuerdo con el procedimiento que corresponda entre los que a continuación se expresan:

- Si existen precios contratados para unidades de obras iguales, las presupuestadas mediante partidaalzada, se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.
- Si existen precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partidaalzada, deducidos de los similares contratados.
- Si no existen precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partidaalzada se abonará íntegramente al contratista, salvo el caso de que en el presupuesto de la obra se exprese que el importe de dicha partida debe justificarse, en cuyo caso el arquitecto director indicará al contratista y con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que de seguirse para llevar dicha cuenta, que en realidad será de administración, valorándose los materiales y jornales a los precios que figuren en el presupuesto aprobado o, en su defecto, a los que con anterioridad a la ejecución convengan las dos partes, incrementándose su importe total con el porcentaje que se fije en el pliego de condiciones particulares en concepto de gastos generales y beneficio industrial del contratista.

Pagos

Los pagos se efectuarán por el propietario en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de obra conformadas por el arquitecto director, en virtud de las cuales se verifican aquellos.

Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía

Efectuada la recepción provisional y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

- Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el contratista a su debido tiempo; y el arquitecto director exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en los pliegos particulares o en su defecto en los generales, en el caso de que dichos precios fuesen inferiores a los que rijan en la época de su realización; en caso contrario, se aplicarán estos últimos.
- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el propietario, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.
- Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al contratista.

2.1.4 Indemnizaciones mutuas*Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras*

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un tanto por mil del importe total de los trabajos contratados, por cada día natural de retraso, contados a

partir del día de terminación fijado en el calendario de obra, salvo lo dispuesto en el pliego particular del presente proyecto.

Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

Demora de los pagos por parte del propietario

Si el propietario no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que corresponde el plazo convenido el contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de un 5% anual (o el que se defina en el pliego particular), en concepto de intereses de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación.

Si aún transcurrieran 2 meses a partir del término de dicho plazo de 1 mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

No obstante lo anteriormente expuesto, se rechazará toda solicitud de resolución del contrato fundada en dicha demora de pagos, cuando el contratista no justifique que en la fecha de dicha solicitud ha invertido en obra o en materiales acopiados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado en el contrato.

2.1.5 Varios

Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra

No se admitirán mejoras de obra, más que en el caso en que el ingeniero director haya ordenado por escrito la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los

contratados, así como la de los materiales y aparatos previstos en el contrato. Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del proyecto a menos que el arquitecto director ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

En todos estos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o aparatos ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el arquitecto director introduzca innovaciones que supongan una reducción apreciable en los importes de las unidades de obra contratadas.

Unidades de obra defectuosas, pero aceptables

Cuando por cualquier causa fuera menester valorar obra defectuosa, pero aceptable a juicio del arquitecto director de las obras, éste determinará el precio o partida de abono después de oír al contratista, el cual deberá conformarse con dicha resolución, salvo el caso en que, estando dentro del plazo de ejecución, prefiera demoler la obra y rehacerla con arreglo a condiciones, sin exceder de dicho plazo.

Seguro de las obras

El contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

El importe abonado por la sociedad aseguradora, en el caso de siniestro, se ingresará en cuenta a nombre del propietario, para que con cargo a ella se abone la obra que se construya, y a medida que ésta se vaya realizando.

El reintegro de dicha cantidad al contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la construcción. En ningún caso, salvo conformidad expresa del contratista, hecho en documento público, el propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres distintos del de reconstrucción de la parte siniestrada.

La infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el contratista pueda resolver el contrato, con devolución de fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al contratista por el siniestro y que no se le hubiesen abonado, pero sólo en proporción equivalente a lo que suponga la indemnización abonada por la compañía aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el arquitecto director.

En las obras de reforma o reparación, se fijarán previamente la porción de edificio que debe ser asegurada y su cuantía, y si nada se prevé, se entenderá que el seguro ha de comprender toda la parte del edificio afectada por la obra.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuren en la póliza o pólizas de seguros, los pondrá el contratista, antes de contratarlos, en conocimiento del propietario, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

Conservación de la obra

Si el contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de que el edificio no haya sido ocupado por el propietario antes de la recepción definitiva, el arquitecto director, en representación del propietario, podrá disponer todo lo que sea preciso para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuese menester para su buena conservación, abonándose todo ello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como en el caso de resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el arquitecto director fije.

Después de la recepción provisional del edificio y en el caso de que la conservación del edificio corra a cargo del contratista, no deberá haber en él más herramientas, útiles, materiales, muebles, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuese preciso ejecutar.

En todo caso, ocupado o no el edificio, está obligado el contratista a revisar y reparar la obra, durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente pliego de condiciones económicas.

Uso por el contratista de edificio o bienes del propietario

Cuando durante la ejecución de las obras ocupe el contratista, con la necesaria y previa autorización del propietario, edificios o haga uso de materiales o útiles pertenecientes al mismo, tendrá obligación de repararlos y conservarlos para hacer entrega de ellos a la terminación del contrato, en perfecto estado de conservación, reponiendo los que se hubiesen inutilizado, sin derecho a indemnización por esta reposición ni por las mejoras hechas en los edificios, propiedades o materiales que haya utilizado.

En el caso de que al terminar el contrato y hacer entrega del material, propiedades o edificaciones, no hubiese cumplido el contratista con lo previsto en el párrafo anterior, lo realizará el propietario a costa de aquel y con cargo a la fianza.

3 Pliego de condiciones técnicas particulares

Prescripciones sobre los materiales

Para facilitar la labor a realizar, por parte del Director de la Ejecución de la Obra, para el control de recepción en obra de los productos, equipos y sistemas que se suministren a la obra de acuerdo con lo especificado en el artículo 7.2 del CTE, en el presente

proyecto se especifican las características técnicas que deberán cumplir los productos, equipos y sistemas suministrados.

Los productos, equipos y sistemas suministrados deberán cumplir las condiciones que sobre ellos se especifican en los distintos documentos que componen el Proyecto. Asimismo, sus calidades serán acordes con las distintas normas que sobre ellos estén publicadas y que tendrán un carácter de aquellos materiales que estén en posesión de Documento de Idoneidad Técnica que avale sus calidades, emitido por Organismos reconocidos

Este control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas comprenderá el artículo 7.2 del CTE:

- El control de la documentación de los suministros, realizado de acuerdo con el artículo 7.2.1.
- El control mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad, según el artículo 7.2.2.
- El control mediante ensayos, conforme al artículo 7.2.3. Por parte del Constructor o Contratista debe existir obligación de comunicar a los suministradores de productos las calidades que se exigen para los distintos materiales, aconsejándose que previamente al empleo de los mismos se solicite la aprobación del Director de Ejecución de la Obra y de las entidades y laboratorios encargados del control de calidad de la obra.

El Contratista será responsable de que los materiales empleados cumplan con las condiciones exigidas, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para la aceptación de los mismos.

El contratista notificará al Director de Ejecución de la Obra, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando, cuando así lo solicite el Director de Ejecución de la Obra, las muestras y datos necesarios para decidir acerca de su aceptación.

Estos materiales serán reconocidos por el Director de Ejecución de la Obra antes de su empleo en obra, sin cuya aprobación no podrán ser acopiados en obra ni se podrá proceder a su colocación. Así mismo, aún después de colocados en obra, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en el primer reconocimiento, siempre que vaya en perjuicio del buen acabado de la obra, serán retirados de la obra.

Todos los gastos que ello ocasione serán a cargo del Contratista.

El hecho de que el Contratista subcontrate cualquier partida de obra no le exime de su responsabilidad.

La simple inspección o examen por parte de los Técnicos no supone la recepción absoluta de los mismos, siendo los oportunos ensayos los que determinen su idoneidad, no extinguiéndose la responsabilidad contractual del contratista a estos efectos hasta la recepción definitiva de la obra.

3.2 Prescripciones en cuanto a la ejecución por unidad de obra

3.2.1 Medidas para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos que componen la unidad de obra

Se especifican en este apartado, en el caso de que existan, las compatibilidades o incompatibilidades, tanto físicas como químicas entre los diversos componentes que componen la unidad de obra, o entre el soporte y los componentes.

3.2.2 Características técnicas

En este apartado se describe la unidad de obra, detallando de manera pormenorizada los elementos que la componen, con la nomenclatura específica correcta de cada uno de ellos, de acuerdo a los criterios que marca la propia normativa.

3.2.3. Normas de aplicación

Se especifican las normas que afectan a la realización de la unidad de obra.

3.2.4 Criterio de medición en proyecto

Indica cómo se ha medido la unidad de obra en la fase de redacción del proyecto, medición que luego será comprobada en obra.

3.2.5 Proceso de ejecución

Antes de iniciarse los trabajos de ejecución de cada una de las unidades de obra, el Director de Ejecución de la Obra, habrá recibido los materiales y los certificados acreditativos exigibles, en base a lo establecido en la documentación pertinente por el técnico redactor del proyecto

En este apartado se desarrolla el proceso de ejecución de cada unidad de obra, asegurando en cada momento las condiciones que permitan conseguir el nivel de calidad previsto para cada elemento constructivo en particular.

3.2.6 Condiciones previas

Antes de iniciarse las actividades correspondientes al proceso de ejecución de cada unidad de obra, se realizarán una serie de comprobaciones sobre el estado de las unidades de obra, realizadas previamente, y que pueden servir e soporte a la nueva unidad de obra. Además, en algunos casos, será necesario la presentación al Director de Ejecución de la Obra, de una serie de documentos por parte del Contratista para poder éste iniciar las obras.

Aceptadas las diferentes unidades de inspección, sólo se dará por aceptada la unidad de obra en caso de no estar programado ningún ensayo o prueba de servicio.

3.2.7 Ensayos y pruebas de servicio

En este sub apartado se recogen, en caso de tener que realizarse, los ensayos o pruebas de servicio a efectuar para la aceptación final de la unidad de obra. Se procederá a su realización, a cargo del Contratista, y se comprobará si sus resultados están de acuerdo con la normativa. En caso afirmativo, se procederá de nuevo, hasta la aceptación final de la unidad de obra.

3.2.8 Condiciones de terminación

Este sub apartado hace referencia a las condiciones en las que debe finalizarse cada unidad de obra una vez aceptada, para que no interfiera negativamente en el proceso de ejecución del resto de unidades y quede garantizado su buen funcionamiento.

Una vez terminados los trabajos correspondientes a la ejecución de cada unidad de obra, el Contratista retirará los medios auxiliares y procederá a la limpieza del elemento realizado y de las zonas de trabajo, recogiendo los restos de materiales y demás residuos originados por las operaciones realizadas para ejecutar esta unidad de obra, siendo todos ellos clasificados, cargados y transportados a centro de reciclaje, vertedero específico o centro de acogida o transferencia. De entre todas ellas se enumeran las que se consideran básicas.

3.2.9 Garantías de calidad

En algunas unidades de obra será obligatorio presentar al Director de Ejecución de obra, por parte del Contratista, una serie de documentos que garantizan la calidad de la unidad de obra.

3.2.10 Comprobación en obra de las mediciones efectuadas en proyecto y abono de las mismas

Indica cómo se comprobarán en obra las mediciones de Proyecto, una vez superados todos los controles de calidad y obtenida la aceptación final por parte del Director de Ejecución de la Obra.

La medición del número de unidades de obra que ha de abonarse, en su caso, se realizará de acuerdo con las normas que establece este capítulo, tendrá lugar en presencia y con intervención del Contratista, entendiéndose que éste renuncia a tal derecho si, avisado oportunamente, no compareciere a tiempo. En tal caso, será válido el resultado que el Director de Ejecución de la Obra consigne. Todas las unidades de obra se abonarán a los precios establecidos en el Presupuesto. Dichos precios se abonarán por las unidades terminadas y ejecutadas con arreglo al presente Pliego de Condiciones Técnicas Particulares.

Estas unidades comprenden el suministro, cánones, transporte, manipulación y empleo de los materiales, maquinaria, medios auxiliares, mano de obra necesaria para su ejecución y costes indirectos derivados de estos conceptos, así como cuantas necesidades circunstanciales se requieran para la ejecución de la obra, tales como indemnizaciones por daños a terceros u ocupaciones temporales y costos de obtención de los permisos necesarios, así como de las operaciones necesarias para la reposición de servidumbres y servicios públicos o privados afectados tanto por el proceso de ejecución de las obras como por las instalaciones auxiliares.

3.3 Prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado

De acuerdo con el artículo 7.4 del CTE, en la obra terminada, bien sobre el edificio en su conjunto, o bien sobre sus diferentes partes y sus instalaciones, parcial o totalmente terminadas, deben realizarse, además de las que puedan establecerse con carácter voluntario, las comparaciones y pruebas de servicio previstas en el proyecto u ordenadas por la Dirección Facultativa y las exigidas por la legislación aplicable.

4 Instalación de protección contra incendios

4.1 Instaladores

La instalación de aparatos, equipos, sistemas y sus componentes se realizará por Instaladores debidamente autorizados según condicionado del Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios (Real Decreto 2267/2004 de 3 de Diciembre).

Será responsabilidad de la Contrata la presentación de cuanta documentación sea solicitada por el Ingeniero Director.

La empresa Instaladora deberá proporcionar al fin de obra cuantos certificados de homologación de idoneidad de instalación le sean solicitados por el Ingeniero Director de la Obra.

4.2. Aparatos, equipos, sistemas y componentes

Todos los aparatos, equipos, sistemas y componentes deberán justificarse mediante certificación de organismo de control que posibilite la comprobación de conformidad a normas.

La contrata será la encargada de suministrar todos los certificados de conformidad a normas de cuantos equipos, aparatos, sistemas, medios pasivos, etc. hayan sido empleados en la ejecución de la obra.

4.3 Sistemas de detección y de alarma de incendios

1.

La norma UNE-EN 54-1, describe los componentes de los sistemas de detección y alarma de incendio.

El diseño, la instalación, la puesta en servicio y el uso de los sistemas de detección y alarma de incendio, serán conformes a la norma UNE 23007-14.

La compatibilidad de los componentes del sistema se verificará según lo establecido en la norma UNE-EN 54-13.

2.

El equipo de suministro de alimentación (e.s.a.) deberá llevar el marcado CE, de conformidad con la norma EN 54-4, adoptada como UNE 23007-4.

3.

Los dispositivos para la activación automática de alarma de incendio, esto es, detectores de calor puntuales, detectores de humo puntuales, detectores de llama puntuales, detectores de humo lineales y detectores de humos por aspiración, de que se dispongan, deberán llevar el marcado CE, de conformidad con las normas UNE-EN 54-5, UNE-EN 54-7, UNE-EN 54-10, UNE-EN 54-12 y UNE-EN 54-20, respectivamente.

Los detectores con fuente de alimentación autónoma deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma UNE-EN 14604.

4.

Los dispositivos para la activación manual de alarma de incendio, es decir, los pulsadores de alarma, deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma EN 54-11.

Los pulsadores de alarma se situarán de modo que la distancia máxima a recorrer, desde cualquier punto que deba ser considerado como origen de evacuación, hasta alcanzar un pulsador, no supere los 25 m. Los pulsadores se situarán de manera que la parte superior del dispositivo quede a una altura entre 80 cm. y 120 cm.

Los pulsadores de alarma estarán señalizados conforme indica el anexo I, sección 2.^a del presente Reglamento.

5.

Los equipos de control e indicación (e.c.i.) deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma EN 54-2, adoptada como UNE 23007-2.

El e.c.i. estará diseñado de manera que sea fácilmente identificable la zona donde se haya activado un pulsador de alarma o un detector de incendios.

6.

Tanto el nivel sonoro, como el óptico de los dispositivos acústicos de alarma de incendio y de los dispositivos visuales (incorporados cuando así lo exija otra legislación aplicable o cuando el nivel de ruido donde deba ser percibida supere los 60 dB(A), o cuando los ocupantes habituales del edificio/establecimiento sean personas sordas o sea probable que lleven protección auditiva), serán tales que permitirán que sean percibidos en el ámbito de cada sector de detección de incendio donde estén instalados.

Los dispositivos acústicos de alarma de incendio deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma UNE-EN 54-3.

Los sistemas electro-acústicos para servicios de emergencia, serán conformes a lo establecido en la norma UNE-EN 60849. Los sistemas de control de alarma de incendio por voz y sus equipos indicadores deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma UNE-EN 54-16. Los altavoces del sistema de alarma de incendio por voz deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma UNE-EN 54-24.

Los dispositivos visuales de alarma de incendio deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma UNE-EN 54-23.

7.

El sistema de comunicación de la alarma permitirá transmitir señales diferenciadas, que serán generadas, bien manualmente desde un puesto de control, o bien de forma automática, y su gestión será controlada, en cualquier caso, por el e.c.i.

Los equipos de transmisión de alarmas y avisos de fallo deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma EN 54-21.

Cuando las señales sean transmitidas a un sistema integrado, los sistemas de protección contra incendios tendrán un nivel de prioridad máximo.

8.

El resto de componentes de los sistemas automáticos de detección de incendios y alarma de incendio, deberán llevar el marcado CE, de conformidad con las normas de la serie UNE-EN 54, una vez entre en vigor dicho marcado. Hasta entonces, dichos componentes podrán optar por llevar el marcado CE, cuando las normas europeas armonizadas estén disponibles, o justificar el cumplimiento de lo establecido en las normas europeas UNE-EN que les sean aplicables, mediante un certificado o marca de conformidad a las correspondientes normas, de acuerdo al artículo 5.2 del presente Reglamento.

En caso de utilizar sistemas anti-intrusión, éstos deberán ser compatibles con el sistema de apertura de emergencia del sistema de sectorización automática.

4.4 Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios

El sistema de abastecimiento de agua contra incendios estará formado por un conjunto de fuentes de agua, equipos de impulsión y una red general de incendios destinada a asegurar, para uno o varios sistemas específicos de protección, el caudal y presión de agua necesarios durante el tiempo de autonomía requerido.

Cuando se exija un sistema de abastecimiento de agua contra incendios, sus características y especificaciones serán conformes a lo establecido en la norma UNE 23500.

Para los sistemas de extinción de incendios que dispongan de una evaluación técnica favorable de la idoneidad para su uso previsto, según se establece en el artículo 5.3 de este Reglamento, los sistemas de abastecimiento de agua contra incendios, contemplados en dichos documentos, se considerarán conformes con este Reglamento.

4.5 Sistemas de hidrantes contra incendios

1.

Los sistemas de hidrantes contra incendios, estarán compuestos por una red de tuberías para agua de alimentación y los hidrantes necesarios.

Los hidrantes contra incendios, serán del tipo de columna o bajo tierra.

2.

Los hidrantes de columna deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma UNE-EN 14384.

Los hidrantes bajo tierra deberán llevar el marcado CE, de conformidad con la norma UNE-EN 14339.

Para asegurar los niveles de protección de los distintos hidrantes contra incendios, solo se admiten hidrantes de columna de rango de par «2» y de tipos «B» o «C». Cuando se prevean riesgos de heladas, solo se admitirán los de tipo «C». El mST, requerido para el tipo «C» será de 250 N•m. Solo se admiten hidrantes bajo tierra, con PFA de 1600 kPa (16 kg/cm²).

Los hidrantes contra incendios, alcanzarán el coeficiente de flujo, Kv (presión en bar y caudal en m³/h), en función de las conexiones de entrada, de las salidas y de su número.

Los racores y mangueras, utilizados en los hidrantes contra incendios, necesitarán, antes de su fabricación o importación, ser aprobados, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 5.2 de este Reglamento, justificándose el cumplimiento de lo establecido en las normas UNE 23400 y UNE 23091, respectivamente.

3.

Para considerar una zona protegida por hidrantes contra incendios se harán cumplir las condiciones que se indican a continuación, salvo que otra legislación aplicable imponga requisitos diferentes:

- a) La distancia de recorrido real, medida horizontalmente, a cualquier hidrante, será inferior a 100 m en zonas urbanas y 40 m en el resto.
- b) Al menos, uno de los hidrantes (situado, a ser posible, en la entrada del edificio) deberá tener una salida de 100 mm, orientada perpendicular a la fachada y de espaldas a la misma.
- c) En el caso de hidrantes que no estén situados en la vía pública, la distancia entre el emplazamiento de cada hidrante y el límite exterior del edificio o zona protegidos, medida perpendicularmente a la fachada, debe estar comprendida entre 5 m y 15 m.

En cualquier caso, se deberá cumplir que:

- a) Los hidrantes contra incendios deberán estar situados en lugares fácilmente accesibles, fuera de espacios destinados a la circulación y estacionamiento de vehículos y debidamente señalizados, conforme a lo indicado en el anexo I, sección 2.^a, del presente Reglamento.

b) En lugares donde el nivel de las aguas subterráneas quede por encima de la válvula de drenaje, ésta debe taponarse antes de la instalación. En estos casos, si se trata de zonas con peligro de heladas, el agua de la columna deberá sacarse por otros medios después de cada utilización. Se identificarán estos hidrantes para indicar esta necesidad.

c) El caudal ininterrumpido mínimo a suministrar por cada boca de hidrante contra incendios será de 500 l/min. En zonas urbanas, donde la utilización prevista del hidrante contra incendios sea únicamente el llenado de camiones, la presión mínima requerida será 100 kPa (1 kg/cm²) en la boca de salida. En el resto de zonas, la presión mínima requerida en la boca de salida será 500 kPa (5 kg/cm²), para contrarrestar la pérdida de carga de las mangueras y lanzas, durante la impulsión directa del agua sobre el incendio.

4.6 Extintores de incendio

1.

El extintor de incendio es un equipo que contiene un agente extintor, que puede proyectarse y dirigirse sobre un fuego, por la acción de una presión interna. Esta presión puede producirse por una compresión previa permanente o mediante la liberación de un gas auxiliar.

En función de la carga, los extintores se clasifican de la siguiente forma:

a) Extintor portátil: Diseñado para que puedan ser llevados y utilizados a mano, teniendo en condiciones de funcionamiento una masa igual o inferior a 20 kg.

b) Extintor móvil: Diseñado para ser transportado y accionado a mano, está montado sobre ruedas y tiene una masa total de más de 20 kg.

2.

Los extintores de incendio, sus características y especificaciones serán conformes a las exigidas en el Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, por el que se dictan las

disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión y se modifica el Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, que aprobó el Reglamento de aparatos a presión.

3.

Los extintores de incendio portátiles necesitarán, antes de su fabricación o importación, ser certificados, de acuerdo con lo establecido en el artículo 5.2 de este Reglamento, a efectos de justificar el cumplimiento de lo dispuesto en la norma UNE-EN 3-7 y UNE-EN 3-10. Los extintores móviles deberán cumplir lo dispuesto en la norma UNE-EN 1866-1.

4.

El emplazamiento de los extintores permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio, a ser posible, próximos a las salidas de evacuación y, preferentemente, sobre soportes fijados a paramentos verticales, de modo que la parte superior del extintor quede situada entre 80 cm y 120 cm sobre el suelo.

Su distribución será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio, que deba ser considerado origen de evacuación, hasta el extintor, no supere 15 m.

5.

Los agentes extintores deben ser adecuados para cada una de las clases de fuego normalizadas, según la norma UNE-EN 2:

- Clase A: Fuegos de materiales sólidos, generalmente de naturaleza orgánica, cuya combinación se realiza normalmente con la formación de brasas.
- Clase B: Fuegos de líquidos o de sólidos licuables.
- Clase C: Fuegos de gases.

- Clase D: Fuegos de metales.
- Clase F: Fuegos derivados de la utilización de ingredientes para cocinar (aceites y grasas vegetales o animales) en los aparatos de cocina.

6.

Los generadores de aerosoles podrán utilizarse como extintores, siempre que cumplan el Real Decreto 1381/2009, de 28 de agosto, por el que se establecen los requisitos para la fabricación y comercialización de los generadores de aerosoles, modificado por el Real Decreto 473/2014, de 13 de junio y dispongan de una evaluación técnica favorable de la idoneidad para su uso previsto, de acuerdo con lo establecido en el artículo 5.3 de este Reglamento. Dentro de esta evaluación se deberá tomar en consideración que estos productos deben de cumplir con los requisitos que se les exigen a los extintores portátiles en las normas de aplicación, de forma que su capacidad de extinción, su fiabilidad y su seguridad de uso sea, al menos, la misma que la de un extintor portátil convencional. Adicionalmente, deberá realizarse un mantenimiento periódico a estos productos donde se verifique que el producto está en buen estado de conservación, que su contenido está intacto y que se puede usar de forma fiable y segura. La periodicidad y el personal que realice estas verificaciones será el mismo que el que le correspondería a un extintor portátil convencional.

7.

Los extintores de incendio estarán señalizados conforme indica el anexo I, sección 2.^a, del presente Reglamento. En el caso de que el extintor esté situado dentro de un armario, la señalización se colocará inmediatamente junto al armario, y no sobre la superficie del mismo, de manera que sea visible y aclare la situación del extintor.

4.7 Sistemas de bocas de incendio equipadas

1.

Los sistemas de bocas de incendio equipadas (BIE) estarán compuestos por una red de tuberías para la alimentación de agua y las BIE necesarias.

Las BIE pueden estar equipadas con manguera plana o con manguera semirrígida.

La toma adicional de 45 mm de las BIE con manguera semirrígida, para ser usada por los servicios profesionales de extinción, estará equipada con válvula, racor y tapón para uso normal.

2.

Las BIE con manguera semirrígida y con manguera plana deberán llevar el marcado CE, de conformidad con las normas UNE-EN 671-1 y UNE EN 671-2, respectivamente.

Los racores deberán, antes de su fabricación o importación, ser aprobados, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 5.2 de este Reglamento, justificándose el cumplimiento de lo establecido en la norma UNE 23400 correspondiente.

De los diámetros de mangueras contemplados en las normas UNE-EN 671-1 y UNE-EN 671-2, para las BIE, solo se admitirán 25 milímetros de diámetro interior, para mangueras semirrígidas y 45 milímetros de diámetro interior, para mangueras planas.

Para asegurar los niveles de protección, el factor K mínimo, según se define en la norma de aplicación, para las BIE con manguera semirrígida será de 42, y para las BIE con manguera plana de 85.

Los sistemas de BIE de alta presión demostrarán su conformidad con este Reglamento mediante una evaluación técnica favorable, según lo indicado en el artículo 5.3 de este Reglamento. Las mangueras que equipan estas BIE deben ser de diámetro interior nominal no superior a 12 mm. Se admitirán diámetros superiores siempre que en la evaluación técnica se justifique su manejabilidad.

3.

Las BIE deberán montarse sobre un soporte rígido, de forma que la boquilla y la válvula de apertura manual y el sistema de apertura del armario, si existen, estén situadas, como máximo, a 1,50 m. sobre el nivel del suelo.

Las BIE se situarán siempre a una distancia, máxima, de 5 m, de las salidas del sector de incendio, medida sobre un recorrido de evacuación, sin que constituyan obstáculo para su utilización.

El número y distribución de las BIE tanto en un espacio diáfano como compartimentado, será tal que la totalidad de la superficie del sector de incendio en que estén instaladas quede cubierta por, al menos, una BIE, considerando como radio de acción de ésta la longitud de su manguera incrementada en 5 m.

Para las BIE con manguera semirrígida o manguera plana, la separación máxima entre cada BIE y su más cercana será de 50 m. La distancia desde cualquier punto del área protegida hasta la BIE más próxima no deberá exceder del radio de acción de la misma. Tanto la separación, como la distancia máxima y el radio de acción se medirán siguiendo recorridos de evacuación.

Para facilitar su manejo, la longitud máxima de la manguera de las BIE con manguera plana será de 20 m y con manguera semirrígida será de 30 m.

Para las BIE de alta presión, la separación máxima entre cada BIE y su más cercana será el doble de su radio de acción. La distancia desde cualquier punto del local protegido hasta la BIE más próxima no deberá exceder del radio de acción de la misma. Tanto la separación, como la distancia máxima y el radio de acción, se medirán siguiendo recorridos de evacuación. La longitud máxima de las mangueras que se utilicen en estas B.I.E de alta presión, será de 30 m.

Se deberá mantener alrededor de cada BIE una zona libre de obstáculos, que permita el acceso a ella y su maniobra sin dificultad.

4.

Para las BIE con manguera semirrígida o con manguera plana, la red de BIE deberá garantizar durante una hora, como mínimo, el caudal descargado por las dos hidráulicamente más desfavorables, a una presión dinámica a su entrada comprendida entre un mínimo de 300 kPa (3 kg/cm²) y un máximo de 600 kPa (6 kg/cm²).

Para las BIE de alta presión, la red de tuberías deberá proporcionar, durante una hora como mínimo, en la hipótesis de funcionamiento simultáneo de las dos BIE hidráulicamente más desfavorables, una presión dinámica mínima de 3.450 kPa (35 kg/cm²), en el orificio de salida de cualquier BIE

Las condiciones establecidas de presión, caudal y reserva de agua deberán estar adecuadamente garantizadas.

5.

Para las BIE con manguera semirrígida o con manguera plana, el sistema de BIE se someterá, antes de su puesta en servicio, a una prueba de estanquidad y resistencia mecánica, sometiendo a la red a una presión estática igual a la máxima de servicio y, como mínimo, a 980 kPa (10 kg/cm²), manteniendo dicha presión de prueba durante dos horas, como mínimo, no debiendo aparecer fugas en ningún punto de la instalación.

En el caso de las BIE de alta presión, el sistema de BIE se someterá, antes de su puesta en servicio, a una prueba de estanquidad y resistencia mecánica, sometiendo a la red a una presión de 1,5 veces la presión de trabajo máxima, manteniendo dicha presión de prueba durante dos horas, como mínimo, no debiendo aparecer fugas en ningún punto de la instalación.

6.

Las BIE estarán señalizadas conforme indica el anexo I, sección 2.^a, del presente Reglamento. La señalización se colocará inmediatamente junto al armario de la BIE y no sobre el mismo.

4.8 Sistemas fijos de extinción por rociadores automáticos y agua pulverizada

1.

Los sistemas de extinción por rociadores automáticos y agua pulverizada, estarán compuestos por los siguientes componentes principales:

- a) Red de tuberías para la alimentación de agua.
- b) Puesto de control.
- c) Boquillas de descarga necesarias.

Los componentes de los sistemas de extinción por rociadores automáticos y agua pulverizada deberán llevar el marcado CE, de conformidad con las normas de la serie UNE-EN 12259, una vez entre en vigor dicho marcado. Hasta entonces, dichos componentes podrán optar por llevar el marcado CE, cuando las normas europeas armonizadas estén disponibles, o justificar el cumplimiento de lo establecido en las normas europeas UNE-EN que les sean aplicables, mediante un certificado o marca de conformidad a las correspondientes normas, de acuerdo con el artículo 5.2 del presente Reglamento.

El diseño y las condiciones de instalación de los sistemas de extinción por rociadores automáticos, serán conformes a la norma UNE-EN 12845.

2.

Los sistemas de diluvio o inundación total con rociadores y/o boquillas de pulverización abiertas, sus características y especificaciones, así como las condiciones de instalación,

serán conformes a las normas UNE 23501, UNE 23502, UNE 23503, UNE 23504, UNE 23505, UNE 23506 y UNE 23507.

3.

Los mecanismos de disparo y paro manuales estarán señalizados, conforme indica el anexo I, sección 2.^a, del presente Reglamento.

4.9 Sistemas fijos de extinción por espuma física

1.

Los sistemas de extinción por espuma física, estarán compuestos por los siguientes componentes principales:

- a) Red de tuberías.
- b) Tanque de almacenamiento de espumógeno.
- c) Dosificador o proporcionador.
- d) Boquillas de descarga.

2.

El diseño y las condiciones de instalación de los sistemas de extinción por espuma física serán conformes a la norma UNE-EN 13565-2.

Los componentes de los sistemas fijos de extinción por espuma física serán conformes a la norma UNE-EN 13565-1.

Los espumógenos de alta, media y baja expansión, serán conformes a las normas UNE-EN 1568-1, UNE-EN 1568-2, UNE-EN 1568-3 y UNE-EN 1568-4.

3.

Los mecanismos de disparo y paro manuales estarán señalizados, conforme indica el anexo I, sección 2.^a, del presente Reglamento.

4.10 Sistemas fijos de extinción por agentes extintores gaseosos

1.

Los sistemas por agentes extintores gaseosos estarán compuestos, como mínimo, por los siguientes elementos:

- a) Dispositivos de accionamiento.
- b) Equipos de control de funcionamiento.
- c) Recipientes para gas a presión.
- d) Tuberías de distribución.
- e) Difusores de descarga.

Los dispositivos de accionamiento serán por medio de sistemas de detección automática, apropiados para la instalación y el riesgo, o mediante accionamiento manual, en lugar accesible.

Las concentraciones de aplicación se definirán en función del riesgo y la capacidad de los recipientes será la suficiente para asegurar la extinción del incendio, debiendo quedar justificados ambos requisitos.

Estos sistemas solo serán utilizables cuando quede garantizada la seguridad o la evacuación del personal. Además, el mecanismo de disparo incluirá un retardo en su acción y un sistema de prealarma, de forma que permita la evacuación de dichos ocupantes, antes de la descarga del agente extintor.

2.

El diseño y las condiciones de su instalación serán conformes a la norma UNE-EN 15004-1. Esta norma se aplicará conjuntamente, según el agente extintor empleado, con las normas de la serie UNE-EN 15004. Las tecnologías no desarrolladas en las citadas normas se diseñarán de acuerdo con normas internacionales (ISO, EN) que regulan la aplicación de estas tecnologías, entre tanto no se disponga de una norma nacional de aplicación.

Los componentes de los sistemas de extinción mediante agentes gaseosos deberán llevar el marcado CE, de conformidad con las normas de la serie UNE-EN 12094, una vez entre en vigor dicho marcado. Hasta entonces, dichos componentes podrán optar por llevar el marcado CE, cuando las normas europeas armonizadas estén disponibles, o justificar el cumplimiento de lo establecido en las normas europeas UNE-EN que les sean aplicables, mediante un certificado o marca de conformidad a las correspondientes normas, de acuerdo al artículo 5.2 del presente Reglamento.

3.

Los mecanismos de disparo y paro manuales estarán señalizados, conforme indica el anexo I, sección 2.^a, del presente Reglamento.

5 Actuaciones a cargo del adjudicatario de mantenimiento

Mantenimiento preventivo y correctivo

El adjudicatario asegurará el mantenimiento preventivo y correctivo de todos los elementos constitutivos de las instalaciones dimensionadas en este proyecto, con el fin de permitir el buen funcionamiento y estado de éstas a corto y largo plazo, realizando principalmente las siguientes prestaciones:

El adjudicatario efectuará a su cargo sobre los elementos de las instalaciones todas las operaciones periódicas necesarias para asegurar su buen funcionamiento. En determinadas circunstancias será necesario que estas operaciones periódicas se ejecuten en sábados, domingos o festivos para garantizar que la actividad en refinería no se vea afectada y que no hayan paradas en el proceso que supongan pérdidas.

Las operaciones periódicas de mantenimiento preventivo de las instalaciones serán las establecidas en la Propuesta Técnica del adjudicatario, sin perjuicio de las modificaciones que se pudiera introducir en caso de que no se obtuvieran resultados satisfactorios, sin que ello suponga coste adicional. Asimismo, se consideran incluidas en este apartado de mantenimiento preventivo y por tanto, a cargo del adjudicatario, las reparaciones de averías que hayan sido ocasionadas por deficiencias durante la ejecución del Plan de Mantenimiento, ya sea por la utilización de materiales o repuestos en mal estado o bien por una deficiente ejecución de los trabajos.

El adjudicatario suministrará, a su cargo, todos los materiales y repuestos necesarios para llevar a cabo todas las operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo objeto del presente contrato y pondrá a disposición de su personal todos los medios tales como herramientas, útiles, materiales, aparatos de medida y control, etc., así como los equipos de protección individual reglamentarios con objeto de que los trabajos se realicen de manera correcta y segura. Con tal fin, el adjudicatario está obligado a disponer a su cargo, de un stock suficiente de repuestos que garantice la ejecución de las operaciones de mantenimiento programadas según el Plan de Mantenimiento.

Quedan incluidas en este apartado, y por tanto a cargo del adjudicatario, el retimbrado de extintores o botellas y las recargas de agente extintor.

Programa de mantenimiento de las instalaciones de protección contra incendios

La periodicidad del mantenimiento a realizar por parte del adjudicatario del servicio, es el establecido como mínimo en el Reglamento de Protección Contra Incendios y

siguiendo lo establecido en el “*Anexo A: Análisis de Riesgos y medios de protección*” en su apartado “*Mantenimiento de los equipos y revisiones*”.

Presupuesto

Introducción

En el siguiente apartado se dará una visión aproximada y lo más certera posible del presupuesto a disponer para poder llevar a cabo la instalación contra incendios dimensionada.

Para la estimación de los precios se han empleado catálogos de precios del fabricante, catálogos similares en casos donde el precio no se encuentra disponible y herramientas informáticas como el generador de precios del programa CYPE.

Antes de empezar cabe mencionar que esta clase de proyectos no están orientados a generar ningún tipo de beneficio económico, por lo que por ello no se realizará ningún tipo de justificación económica, ni se analizará la rentabilidad del proyecto mediante indicadores como el Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN).

El presupuesto se divide en dos apartados:

1. Presupuesto de la instalación

Incluye el coste de los equipos dimensionados en los diferentes anexos del proyecto.

2. Honorarios de ingeniería

Incluye los costes humanos y materiales asociados al proyecto, todo personal técnico superior y/o todo gasto de recurso vinculado. El gasto por honorarios suele fijarse al 4 % del presupuesto total de la instalación

Presupuesto de la instalación

En la **Tabla 97** se muestra el desglose del presupuesto con los elementos principales de la instalación contra incendios, teniendo en cuenta el IVA el presupuesto de la instalación asciende a **5.233.091,71 €** (cinco millos dos cientos treinta y tres mil novecientos un coma setenta y un euros).

Objeto	Fabricante	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Sistema de bombeo				
Motor diésel 500 kW	Cumins	3	50864	152592
Motor eléctrico 500 kW	Cumins	1	50864	50864
Bombas CPKN de 573 mm	KSB	4	10690	42760
Paneles de control	KSB	2	676	1352
Bombas Jockey (Orientativo)	KSB	2	6155.4	12310.8
Canalizaciones principales de la RCI				
Tubería de 400 STD de acero con 10 % extra por accesorios		8900	153.71	1368019
Tubería de 450 STD de acero con 10 % extra por accesorios		1100	172.84	190124
Extintores de incendio				
Extintor 50 kg polvo ABC	TodoExtintor	332	166.62	55317.84
Sistemas de agua pulverizada				
Boquillas pulverizadoras modelo E VK817	SABO	100	59.42	5942.00
Boquillas pulverizadoras modelo E VK816	SABO	1098	59.42	65243.16
Boquillas pulverizadoras modelo E VK815	SABO	3064	59.42	182062.88
Tubería de 32 mm STD con 10 % extra por accesorios		306.38	12.92	3958.16
Tubería de 40 mm STD con 10 % extra por accesorios		547.70	15.98	8752.09
Tubería de 50 mm STD con 10 % extra por accesorios		1355.47	19.81	26846.26
Tubería de 65 mm STD con 10 % extra por accesorios		1184.44	25.54	30256.34
Tubería de 80 mm STD con 10 % extra por accesorios		1835.91	31.28	57434.20
Tubería de 100 mm STD con 10 % extra por accesorios		2753.23	38.94	107199.39
Tubería de 125 mm STD con 10 % extra por accesorios		2673.41	48.50	129662.52
Tubería de 150 mm STD con 10 % extra por accesorios		2696.68	58.07	156584.68
Tubería de 200 mm STD con 10 % extra por accesorios		922.61	77.20	71221.78
Tubería de 250 mm STD con 10 % extra por accesorios		121.46	96.33	11699.36
Sistemas de espuma fija				
Cámaras de espuma modelo SE-CS 2	SABO	228	2341.67	533900.76

Cámaras de espuma modelo SE-CS 8	SABO	2	2985.22	5970.44
Cámaras de espuma modelo SE-CS 15	SABO	6	3676.36	22058.16
Cámaras de espuma modelo SE-CS 20	SABO	2	4403.2	8806.4
Vertedera de espuma SE-VF-3	SABO	226	413.44	93437.44
Vertedera de espuma SE-VKS-8	SABO	2	674.42	1348.84
Vertedera de espuma SE-VKS-15	SABO	2	1048.54	2097.08
Vertedera de espuma SE-VKS-20	SABO	15	1319.56	19793.4
Contenedores de 1000 litros de espumógeno Hydral AR 3-6 M	SABO	6	13408	80448
Bidones de 200 litros de espumógeno Hydral AR 3-6 M	SABO	117	1796	210132
Depósito de 6000 litros atmosférico modelo SE-A	SABO	1	980	980
Monitores de espuma por palanca modelo SE-KM-L-2.5X	SABO	67	310	20770
Monitores de espuma por palanca modelo SE-KM-L-3X	SABO	91	310	28210
Lanza Firex - Chorro lleno y nebulizado autoaspirante modelo SE-FX-A-50-AL	SABO	91	1624	147784
Lanza Firex - Chorro lleno y nebulizado autoaspirante modelo SE-FX-30-BZ	SABO	67	1624	108808
Tubería de 32 mm STD con 10 % extra por accesorios		2099.36	12.92	27121.66
Tubería de 40 mm STD con 10 % extra por accesorios		1108.26	15.98	17709.77
Tubería de 50 mm STD con 10 % extra por accesorios		227.10	19.81	4497.89
Tubería de 65 mm STD con 10 % extra por accesorios		1571.47	25.54	40142.77
Tubería de 80 mm STD con 10 % extra por accesorios		1291.06	31.28	40389.30
Tubería de 100 mm STD con 10 % extra por accesorios		2470.80	38.94	96202.53
Tubería de 125 mm STD con 10 % extra por accesorios		1495.66	48.50	72540.79
Señalización				
Señales de extintores de 50 kg, pulsadores de alarma e hidrantes		828	13.91	11517.48

Subtotal	4324869.18
IVA	21 %
Total	5233091.71

Tabla 97: Presupuesto total de la instalación.

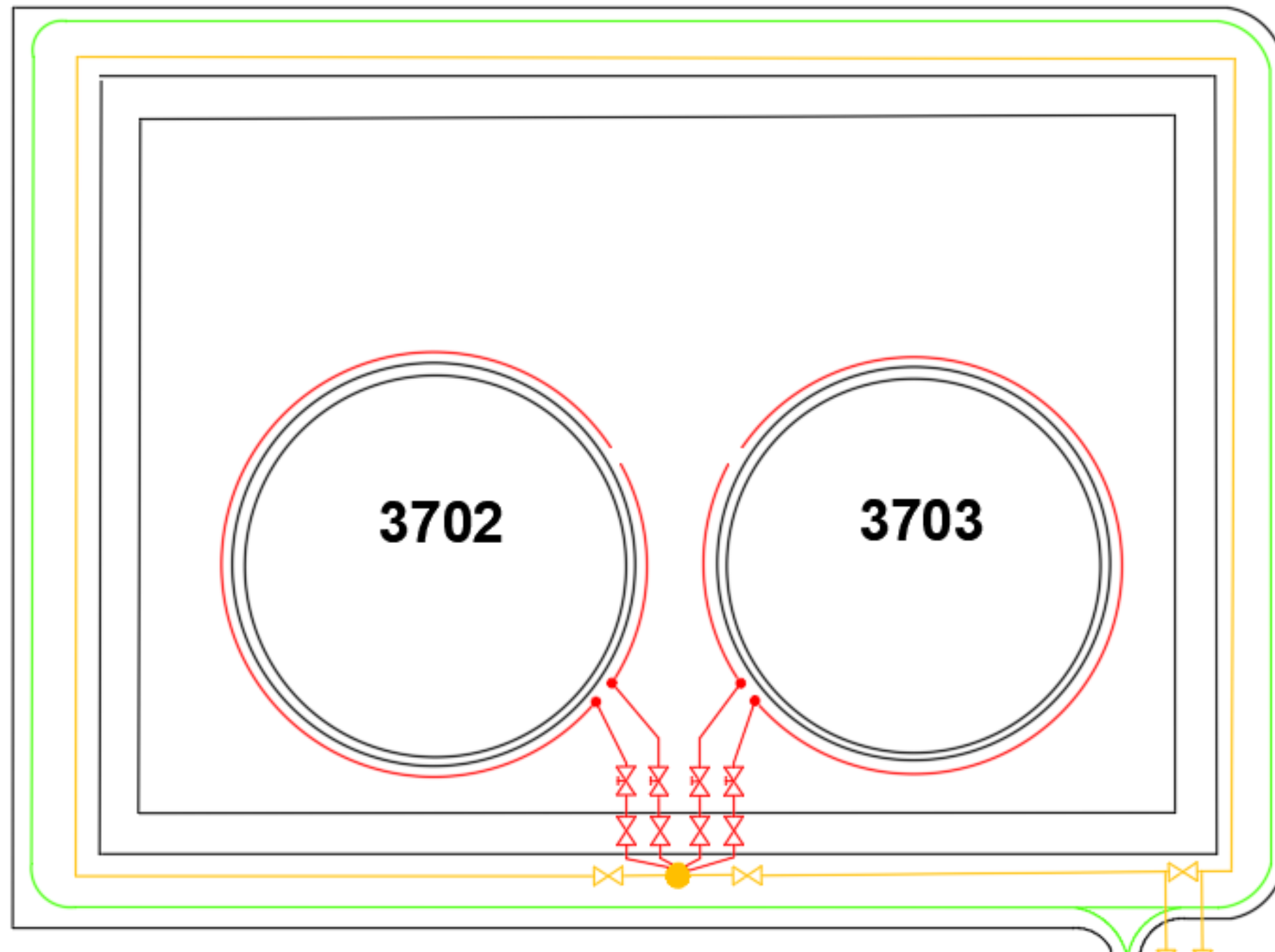
Honorarios de ingeniería

Se consideran unos honorarios del 4 % total del presupuesto de la instalación con IVA, esto asciende a un total de **209.323,66 €** en costes de honorarios.

Presupuesto total de la instalación

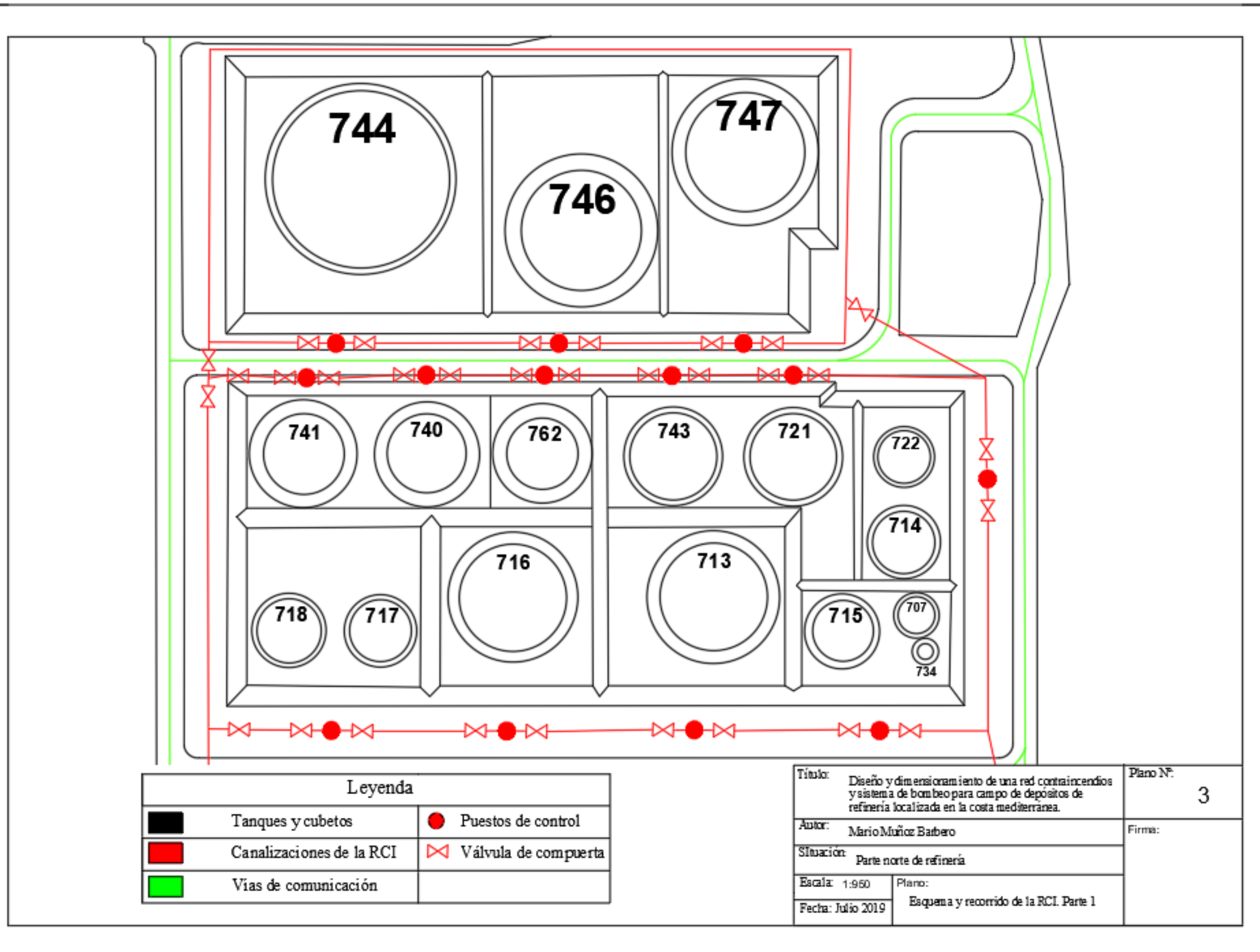
Así que, teniendo en cuenta los honorarios y el coste total de los equipos dimensionados en este proyecto, el presupuesto necesario para hacer frente al proyecto es de **5.442.415,38 €** (cinco millos cuatrocientos cuarenta y dos mil cuatrocientos quince coma treinta y ocho euros).

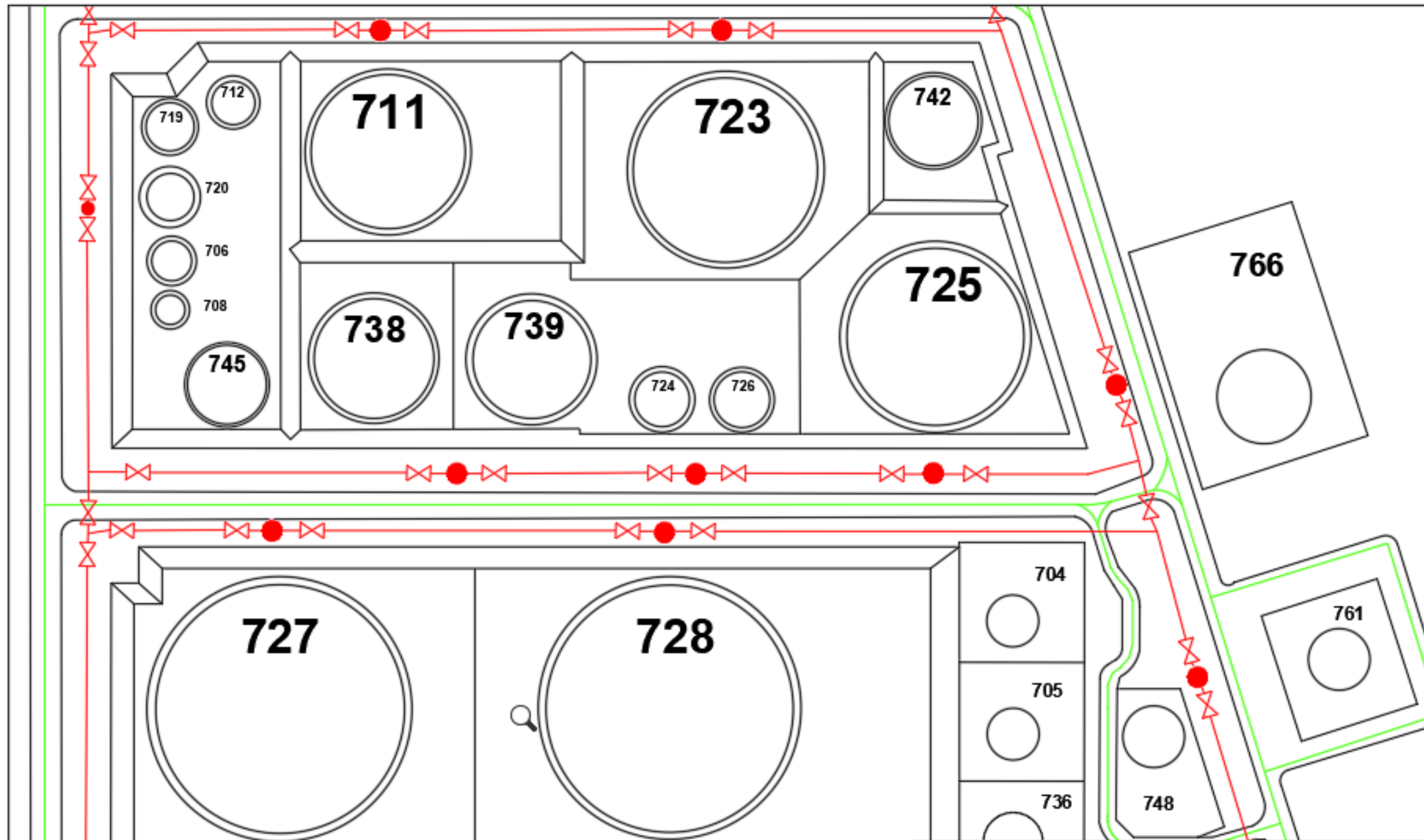
Planos







Leyenda	
	Válvula de regulación
	Válvula de compuerta

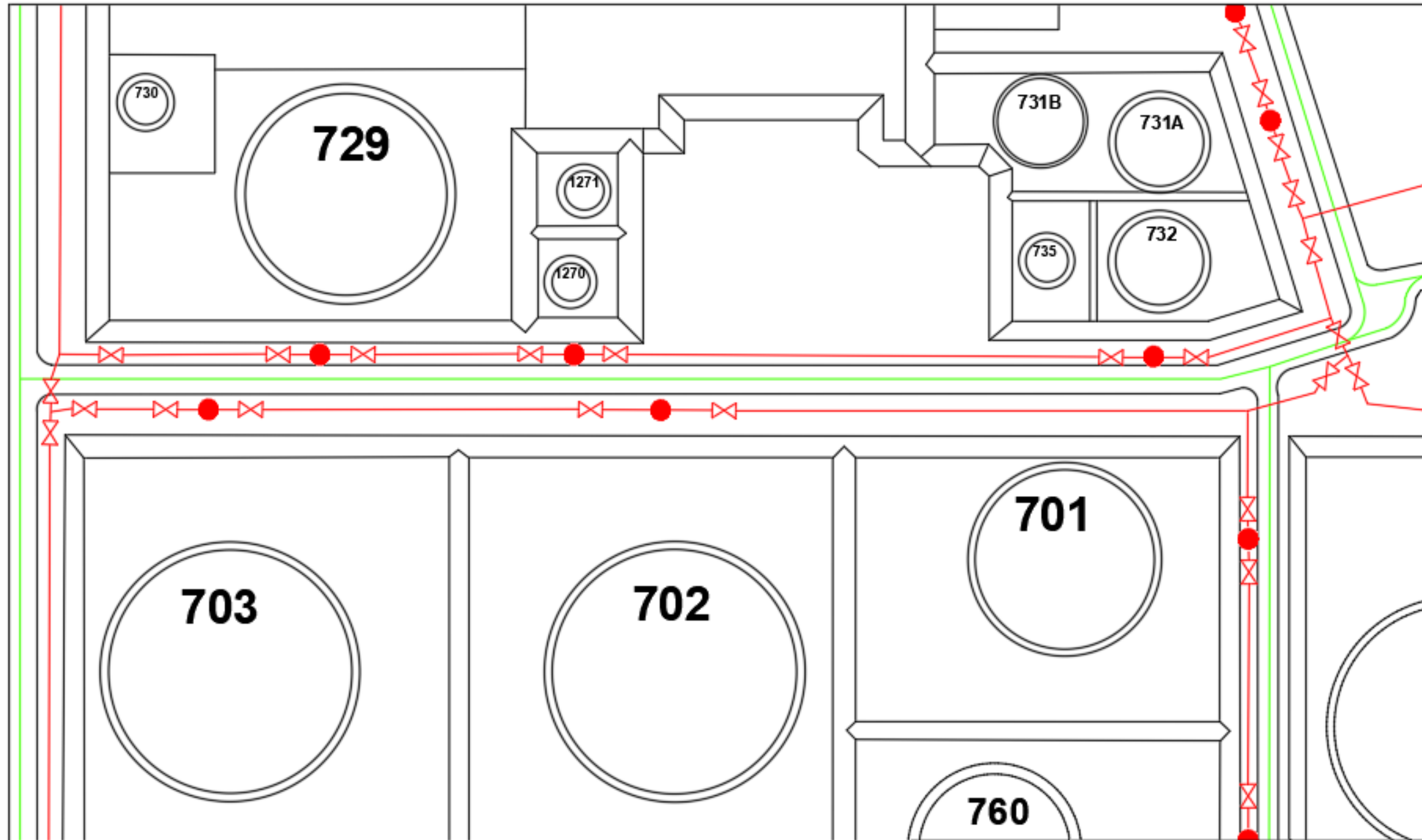
Título: Diseño y dimensionamiento de una red contraincendios y sistema de bombeo para campo de depósitos de refinería localizada en la costa mediterránea.		Plano N.º: 2
Autor: Mario Muñoz Barbero		Firma:
Situación: Sector de incendio 1		
Escala: 1:966	Plano:	
Fecha: Julio 2019	Esquema de conexionado de los sistemas de agua pulverizada del sector 1	





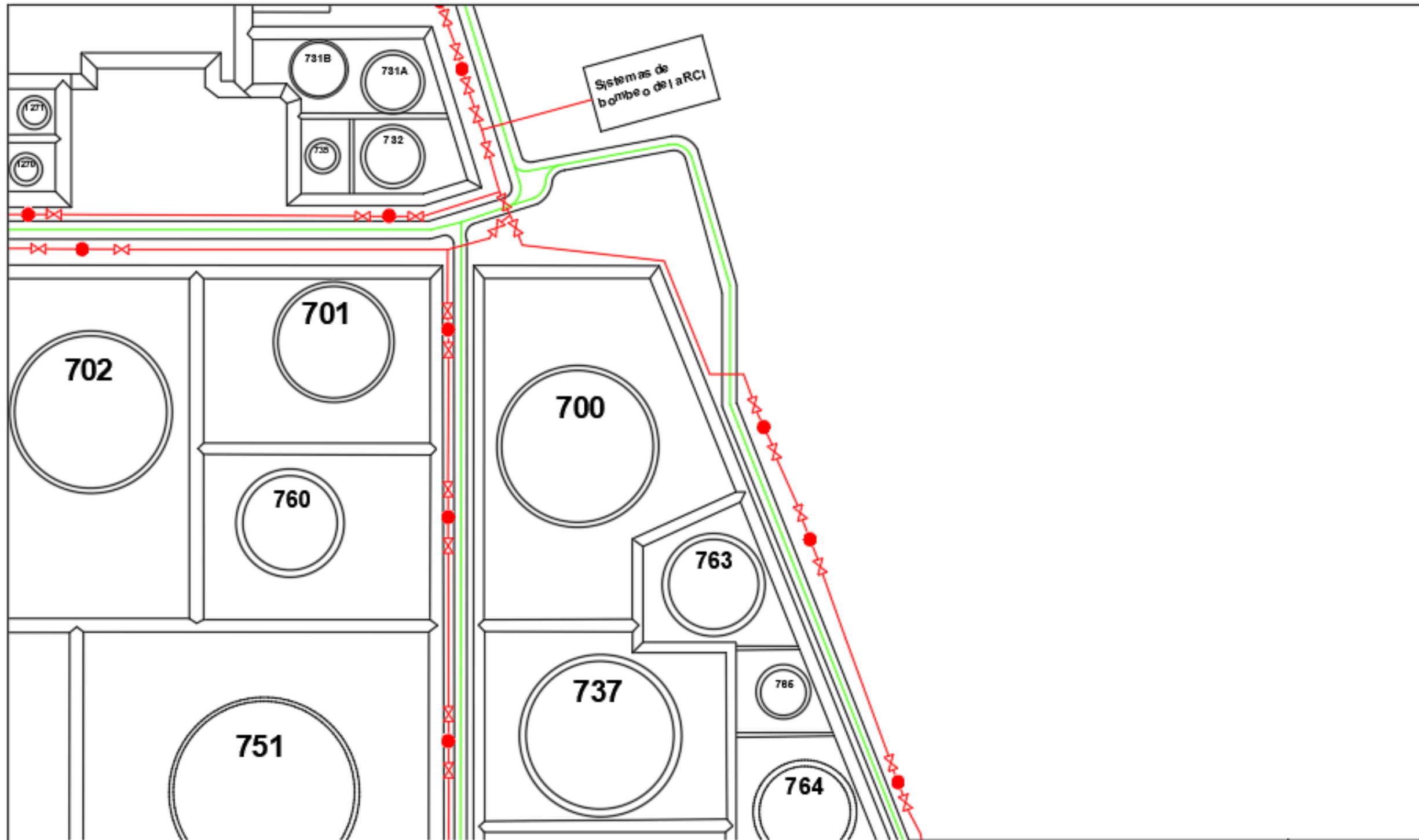
Leyenda	
	Tanques y cubetos
	Canalizaciones de la RCI
	Vias de comunicación
	Puestos de control
	Válvula de compuerta






Título: Diseño y dimensionamiento de una red contraincendios y sistema de bombeo para campo de depósitos de refinería localizada en la costa mediterránea.		Plano N.º 4
Autor: Mario Muñoz Barbero		Firma:
Situación: Parte de esferas de gas		
Escala: 1:960	Plano: Esquema y recorrido de la RCI. Parte 2	
Fecha: Julio 2019		



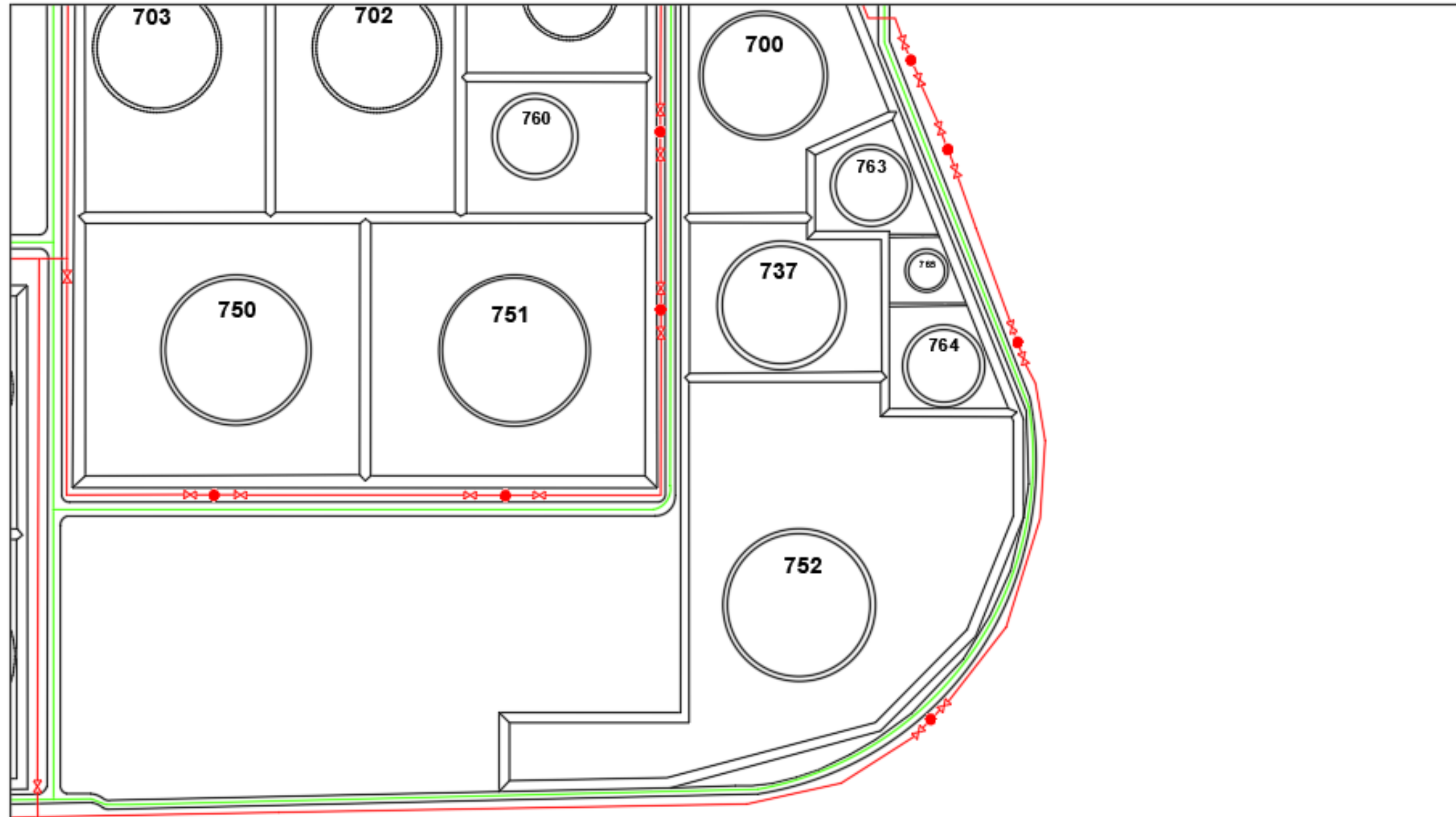
Leyenda	
	Tanques y cubetos
	Canalizaciones de la RCI
	Vías de comunicación
	Puestos de control
	Válvula de compuerta

Título: Diseño y dimensionamiento de una red contra incendios y sistema de bombeo para campo de depósitos de refinería localizada en la costa mediterránea.		Plano N.º
Autor: Mario Muñoz Barbero		5
Situación: Parte central		Firma:
Escala: 1:950	Plano: Esquema y recorrido de la RCI. Parte 3	
Fecha: Julio 2019		



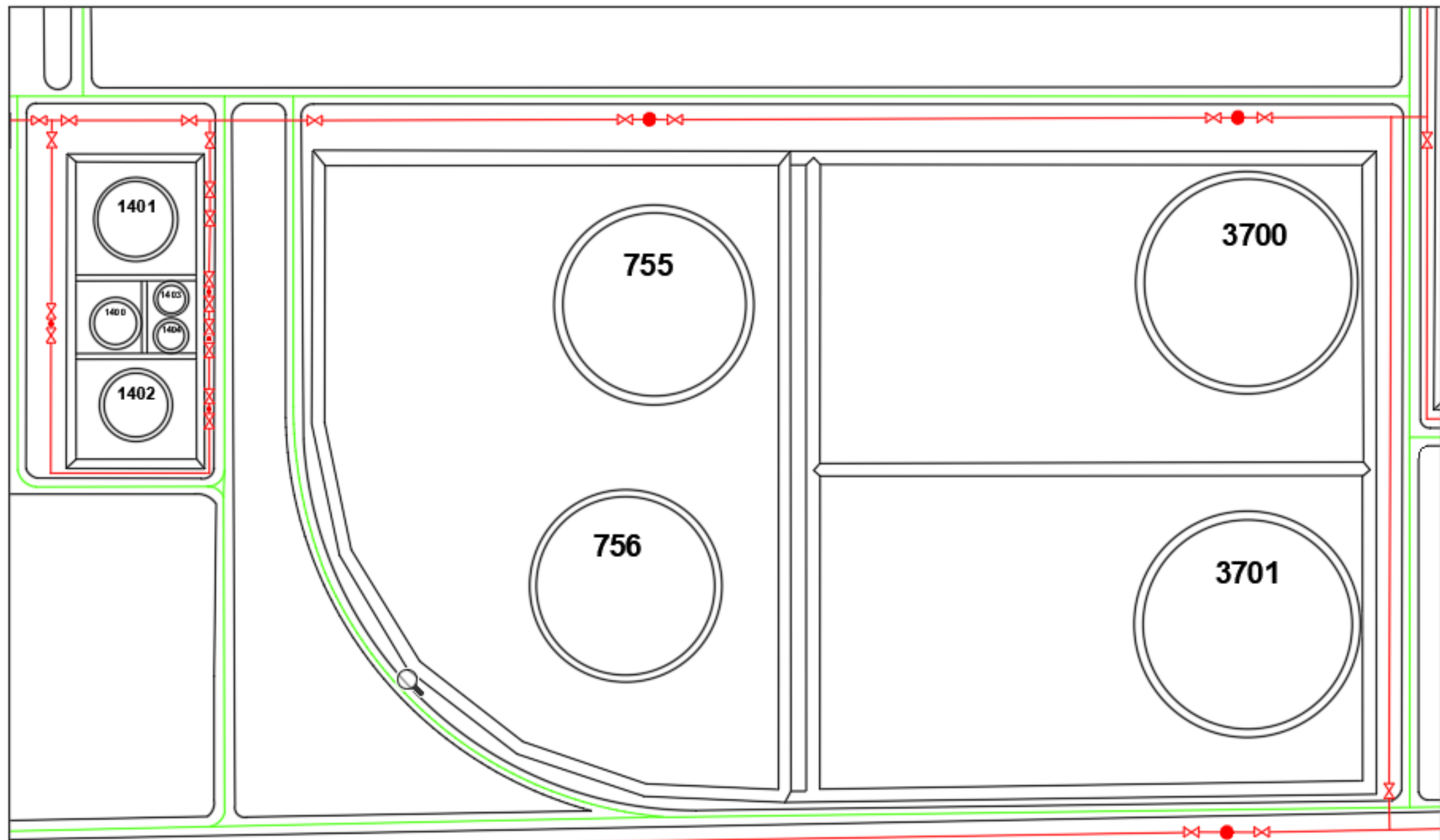
Leyenda	
	Tanques y cubetos
	Canalizaciones de la RCI
	Vías de comunicación
	Puestos de control
	Válvula de compuerta

Título:	Diseño y dimensionamiento de una red contra incendios y sistema de bombeo para campo de depósitos de refinería localizada en la costa mediterránea.	Plano Nº:	6
Autor:	Mario Muñoz Barbero	Firma:	
Situación:	Parte dársena		
Escala:	1:1568	Plano:	Esquema y recorrido de la RCI. Parte 4
Fecha:	Julio 2019		



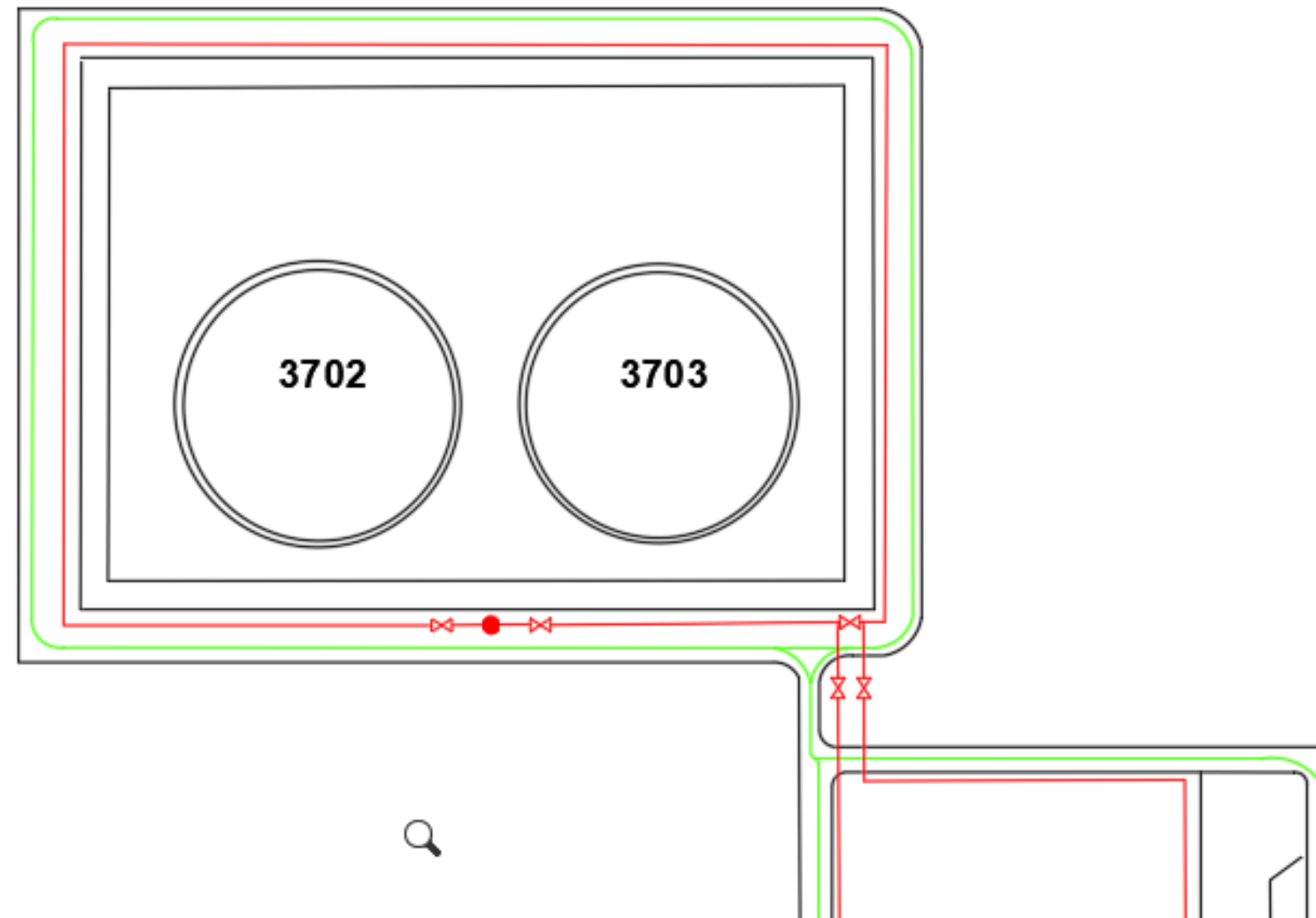
Leyenda	
	Tanques y cubetos
	Canalizaciones de la RCI
	Vías de comunicación
	Puestos de control
	Válvula de compuerta






Título: Diseño y dimensionamiento de una red contra incendios y sistema de bombeo para campo de depósitos de refinera localizada en la costa mediterranea.		Plano N.º
Autor: Mario Muñoz Barbero		7
Situación: Parte sur de refinera		Firma:
Escala: 1:2000	Plano:	
Fecha: Julio 2019	Esquema y recorrido de la RCI. Parte 5	



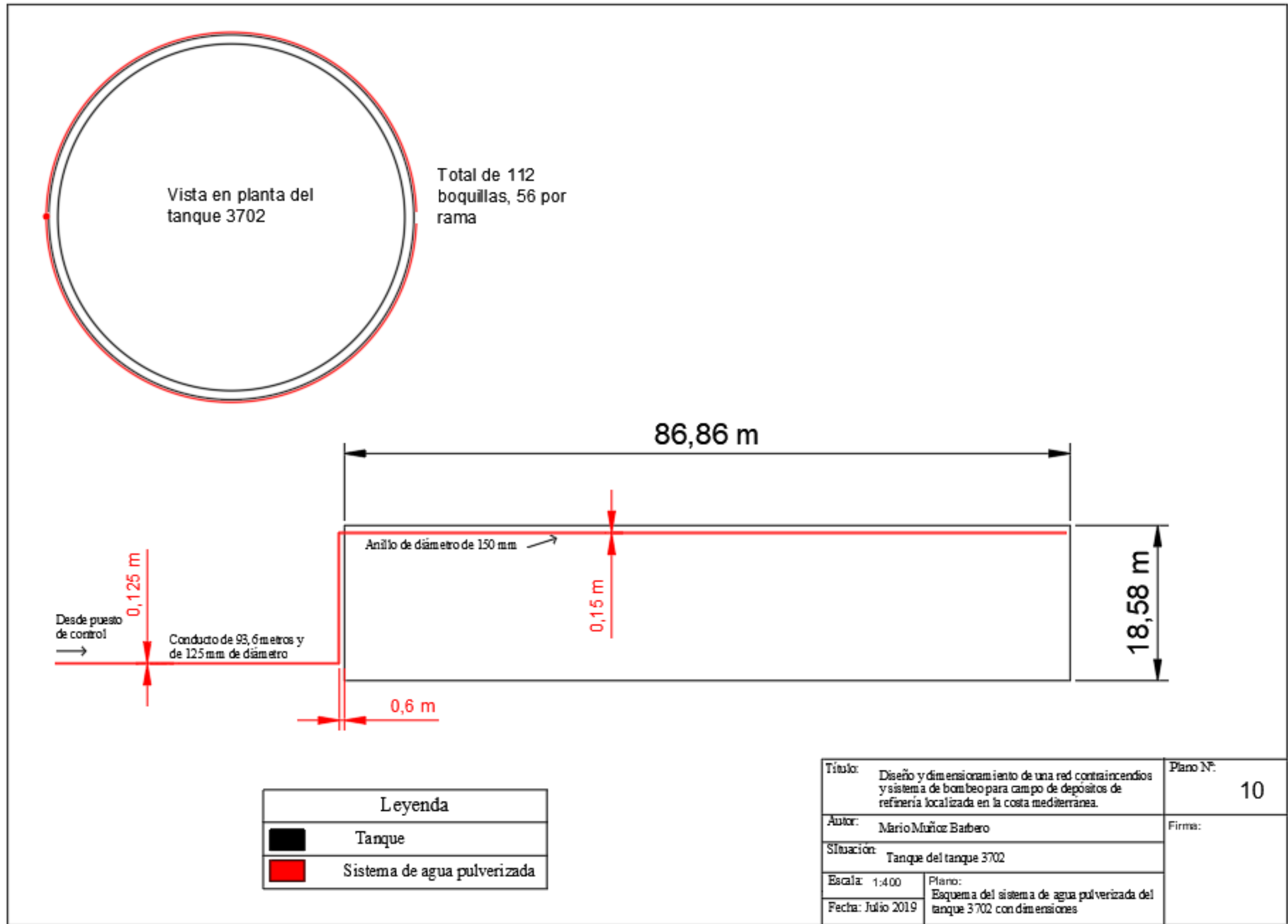
Leyenda	
	Tanques y cubetos
	Canalizaciones de la RCI
	Vías de comunicación
	Puestos de control
	Válvula de compuerta

Título:	Diseño y dimensionamiento de una red contra incendios y sistema de bombeo para campo de depósitos de refinería localizada en la costa mediterránea.	Piano Nº:	8
Autor:	Mario Muñoz Barbero	Firma:	
Situación:	Parte sur-oeste de refinería		
Escala:	1:1600	Piano:	
Fecha:	Julio 2019		Esquema y recorrido de la RCI. Parte 6



Leyenda	
	Tanques y cubetos
	Canalizaciones de la RCI
	Vías de comunicación
	Puestos de control
	Válvula de compuerta

Título: Diseño y dimensionamiento de una red contraincendios y sistema de bombeo para campo de depósitos de refinera localizada en la costa mediterranea.		Plano N.º: 9
Autor: Mario Muñoz Barbero		Firma:
Situación: Parte oeste de refinera		
Escala: 1:1500	Plano: Esquema y recorrido de la RCI. Parte 7	
Fecha: Julio 2019		



Catálogos y Fichas Técnicas



MONITOR POR PALANCA
LEVER MONITOR

MATERIAL CONTRA INCENDIOS
FIRE FIGHTING EQUIPMENT

Mod. **SE-KM-L**



CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Cuerpo en acero inoxidable AISI 316
- Rótula de acero inoxidable AISI 316, montada sobre esferas en bronce fosforoso y provista de engrasador
- Brida de la base DIN o ANSI de acero al carbono
- Presión de diseño: 16 bar
- Presión de trabajo máxima (aconsejada): 12 bar
- Rotación: 360° continua
- Acabado: esmalte poliuretano (RAL 3000)

OPCIONAL

- Base de la brida en acero inoxidable AISI 316
- Base de la brida de diferentes a los estándar
- Ángulo de elevación: +85°
- Test hidráulico y/o de funcionamiento
- Como reductor incluyendo brida (DIN ó ANSI) para su instalación con válvula de mariposa.

NOTA:

Gráficas de prestaciones en las siguientes páginas.

CONSTRUCTION FEATURES

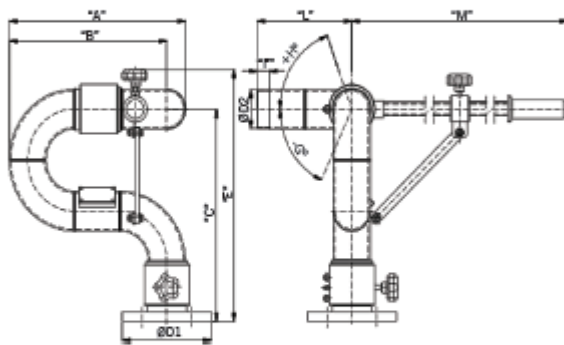
- Body material: stainless steel AISI 316
- Joints material: stainless steel AISI 316, phosphor bronze balls mounted with greasers
- DIN or ANSI Inlet flange material: carbon steel
- Design pressure: 16 bar
- Max. working pressure (advised): 12 bar
- Rotation: 360° continuous
- Finish: polyurethane enamel (RAL 3000)

OPTIONAL

- Inlet flange material: stainless steel AISI 316
- Different inlet flange sizes
- Elevation angle: +85°
- Hydraulic and/or functional test witnessed
- Reducer cone including flange (DIN or ANSI) for installation with butterfly valve.

NOTE:

Performance diagrams are shown in the next pages.



MODELO MODEL	CAUDAL FLOW RATE L/min. m³/h	"A" mm.	"B" mm.	"C" mm.	"ØD1" mm.	"ØD2"	"E" mm.	"F" mm.	"G" "	"H" mm.	"L" mm.	"M" mm.	PESO WEIGHT kg
SE-KM-L-2,5X	2000	328	306	407	2"1/2 -3"	2"1/2	483	25	65	70	198	636	14,9
SE-KM-L-3X	4000	420	376	473	3" - 4"	3"	550	25	70	70	214	702	20,5
SE-KM-L-4X	7000	465	522	589	4" - 6"	4"	670	25	70	70	303	838	24,4



LANZA FIREX – CHORRO LLENO Y NEBULIZADO AUTO ASPIRANTE

SELF SUCTION FIREX NOZZLE – FULL FLOW – FOG

MATERIAL CONTRA INCENDIOS
FIRE FIGHTING EQUIPMENT

Mod. **SE-FX-A**



ACCESORIOS

- Válvula de aspiración de espumígeno en bronce con bola en acero inoxidable AISI 304. (0% - 3% - 0%)
- Conducto de succión en PVC con espiral interna de acero reforzado

NOTA:

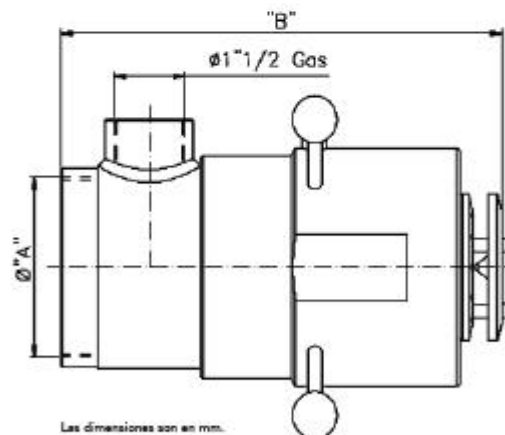
- Especificar en el pedido el diámetro de la conexión.
- Especificar en el pedido el caudal.
- Los diagramas de prestaciones se presentan en las páginas siguientes.

SUPPLIED ACCESSORIES

- Foam suction valve in brass material with inox AISI 316 ball. (0% - 3% - 0%)
- Pick up tube in PVC material with internal spiral steel reinforcement

NOTE:

- Specify on order the connection diameter.
- Specify on order the flow rate.
- Performance diagrams are shown in the next pages.



Las dimensiones son en mm.
Dimensions are in mm.

MODELO MODEL	CAUDAL FLOW RATE <i>Link. max @7bar.</i>	MATERIAL MATERIAL	"B" Gas - Ø"	"B" mm.	PESO WEIGHT Kg
SE-FX-A-50-AL	3000 ÷ 6000	Aluminio y bronce <i>Light alloy and bronze</i>	3" / 4"	277,5 (320)	8,2
SE-FX-A-50-I	3000 ÷ 6000	Acero inoxidable AISI304 y bronce <i>Stainless steel AISI304 and bronze</i>	3" / 4"	277,5 (320)	17,2



**LANZA FIREX – CHORRO LLENO Y NEBULIZADO
AUTO ASPIRANTE**
SELF SUCTION FIREX NOZZLE – FULL FLOW – FOG

MATERIAL CONTRA INCENDIOS
FIRE FIGHTING EQUIPMENT

Mod. **SE-FX-A-BZ**



CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Material cuerpo: bronce
- Material parte interna: bronce / latón
- Material mango: acero inoxidable AISI 304

NOTA:

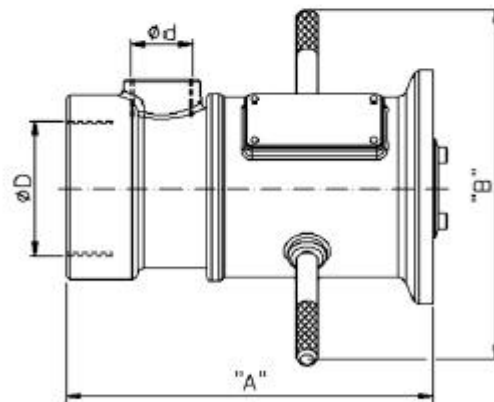
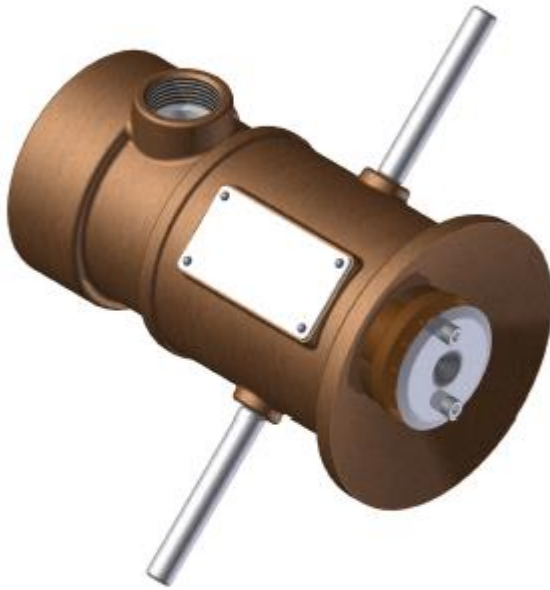
Los diagramas de prestaciones se muestran en las páginas sucesivas

CONSTRUCTION FEATURES

- Body material: bronze
- Internal parts material: bronze / brass
- Handle material: stainless steel AISI 304.

NOTE:

Performance diagrams are shown in the next page.



MODELO MODEL	CAUDAL FLOW RATE <i>L/min. rate @7bar</i>	"A" mm.	"B" mm.	"D1" GAS - BSP	"D2" GAS - BSP	PESO WEIGHT Kg
SE-FX-A-30-BZ	1000 ÷ 2250	203	270	2,5" / 3"	1"	8,2



CÁMARA DE ESPUMA FOAM CHAMBER

MATERIAL CONTRA INCENDIOS
FIRE FIGHTING EQUIPMENT

Mod. **SE-CS**



CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Cuerpo en acero al carbono.
- Bridas en acero al carbono DIN o ANSI.
- Diafragma de rotura de cristal.
- Orificio calibrado desmontable, acero inox AISI 304.
- Acabado: esmalte poliuretano (RAL 3000)

OPCIONAL

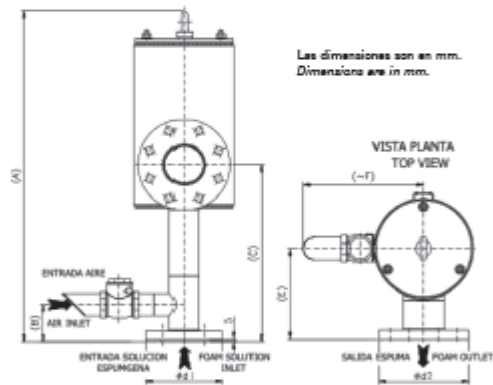
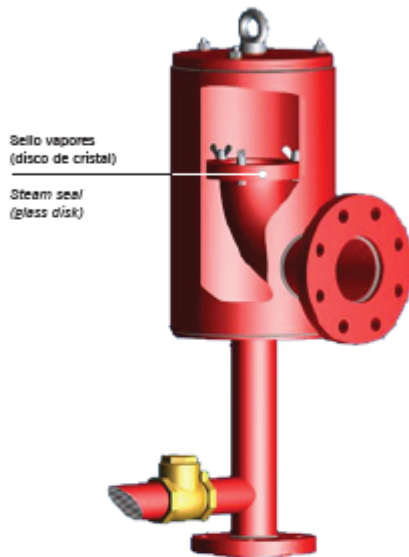
- Cuerpo en acero inox. (AISI 304 / AISI 316)
- Bridas en acero inox. (AISI 304 / AISI 316)
- Galvanizado.

CONSTRUCTION FEATURES

- Body in carbon steel.
- Flanges in carbon steel DIN or ANSI.
- Steam seal
- Detachable calibrated orifice material in AISI 304.
- Finish: polyurethane enamel (RAL 3000)

OPTIONAL

- Body in stainless steel material (AISI 304 / AISI 316)
- Flanges in stainless steel material (AISI 304 / AISI 316)
- Hot dip galvanized.



MODELO MODEL	"A" mm.	"B" mm.	"C" mm.	"Ød1" mm.	"Ød2" mm.	"E" mm.	"F" mm.	PRESIÓN DE TRABAJO WORKING PRESSURE bar	CAUDAL FLOW RATE (min./@5bar)	PRODUCCIÓN ESPUMA FOAM PRODUCTION (min. @ 5 bar (L))	PESO WEIGHT Kg UNI / ANS
SE-CS-2	743	82	400	2"	3"	200	205	3 ÷ 7	200	1300	29.2 / 32
SE-CS-4	743	82	400	2"	4"	200	205	3 ÷ 7	400	3000	31.3 / 35
SE-CS-8	977	104	535	3"	6"	300	355	3 ÷ 7	800	6000	67.4 / 71
SE-CS-15	996	120	535	4"	8"	300	355	3 ÷ 7	1300	11000	76.6 / 81
SE-CS-20	1223	120	710	4"	8"/10"	400	385	3 ÷ 7	2000	14000	108.3 / 111 123.6 / 130

1. La producción de espuma es con aire fresco.
2. Depende del tipo de espumígeno.
3. Posibilidad de calibrar para otros caudales.

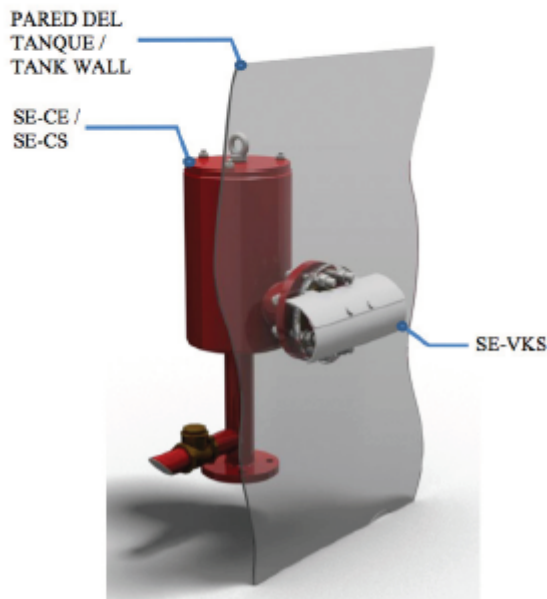
1. The foam production understands with fresh air.
2. Depending on foam concentrate type.
3. Possible alternative flow rates.



VERTEDERA DE ESPUMA
FOAM POURER

MATERIAL CONTRA INCENDIOS
FIRE FIGHTING EQUIPMENT

Mod. **SE-VKS**



CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Cuerpo en acero al carbono.
- Acabado: esmalte poliuretano (RAL 3000)

OPCIONAL

- Cuerpo en acero inoxidable (AISI 304 / AISI 316)
- Cincado en caliente

NOTA

Especificar en el pedido la versión (DIN o ANSI)

CONSTRUCTION FEATURES

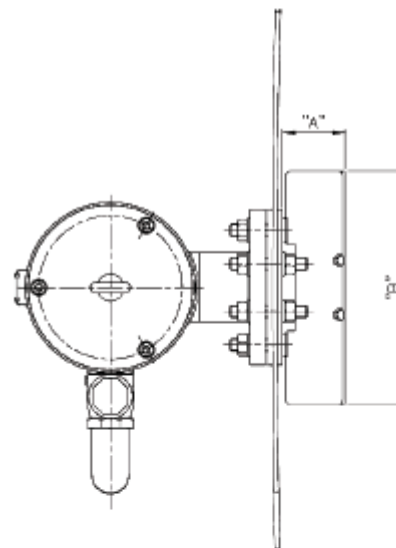
- Body material: carbon steel
- Finish: red epoxy paint (RAL 3000)

OPTIONAL

- Body material: stainless steel (AISI 304 / AISI 316)
- Hot dip galvanized

NOTE

When ordering, please specify flange (DIN or ANSI)



MODELO MODEL	COMPATIBLE CON BRIDA: COMPATIBLE WITH FLANGES: UNI (ANSI)	"A" mm.	"B" mm.	PESO WEIGHT Kg
SE-VKS-3 (1)	3"	80	300	1,4
SE-VKS-4 (2)	4"	80	300	1,6
SE-VKS-6 (2)	6"	120	430	3,5
SE-VKS-8 (2)	8"	164	530	6
SE-VKS-10 (2)	10"	184	600	8,5

(1) se debe montar desde el INTERIOR del tanque / to be assembled from INSIDE the tank.

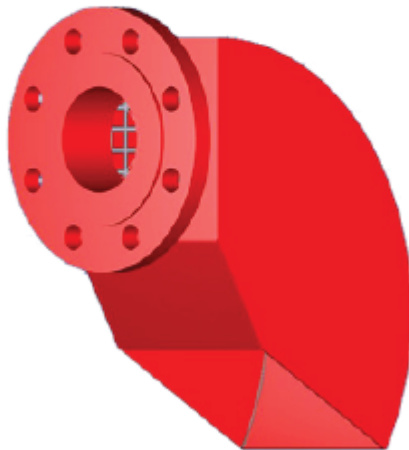
(2) se puede montar desde el EXTERIOR del tanque / can be assembled from OUTSIDE the tank.



VERTEDERA DE ESPUMA
FOAM POURER

MATERIAL CONTRA INCENDIOS
FIRE FIGHTING EQUIPMENT

Mod. **SE-VF**



CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Cuerpo en acero al carbono
- Brida en acero al carbono
- Acabado: esmalte poliuretano (RAL 3000)

OPCIONAL

- Cuerpo en acero inoxidable (AISI 304 / AISI 316)
- Red de protección AISI 316
- Cincado en caliente

NOTA

- Especificar en el pedido la versión (DIN o ANSI)

CONSTRUCTION FEATURES

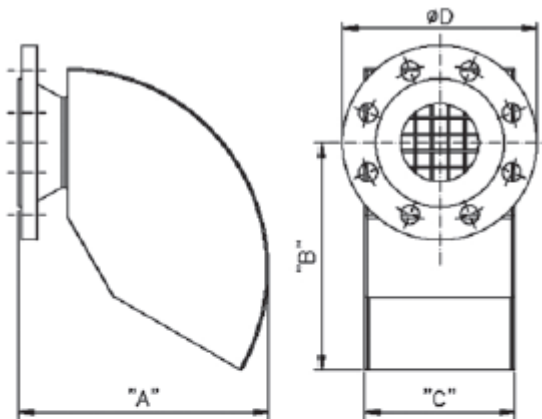
- Body material: carbon steel
- Flanges material: carbon steel
- Finish: polyurethane enamel (RAL 3000)

OPTIONAL

- Body material: stainless steel (AISI 304 / AISI 316)
- Strainer material: stainless steel AISI 316
- Hot dip galvanized

NOTES

- Specify version (DIN/ANSI) on the order



MODELO MODEL	"A" DNI (ANSI) mm.	"B" mm.	"C" mm.	"D" mm.	PESO WEIGHT kg
SE-VF-3	257 (277)	234	154	3"	7,2 (7,5)
SE-VF-4	250 (283)	234	154	4"	8 (10,5)
SE-VF-6	312 (346)	284	204	6"	12,4 (15,8)
SE-VF-8	300 (400)	334	254	8"	17,8 (24,5)
SE-VF-10	427 (458)	384	306	10"	27,4 (37,2)
SE-VF-12	485 (521)	434	356	12"	36,6 (54,7)

92

	<h2 style="margin: 0;">DATOS TÉCNICOS</h2>	<h3 style="margin: 0;">BOQUILLAS PULVERIZADORAS MODELO E VK810 - VK817</h3>
---	--	---

1. DESCRIPCIÓN

Las boquillas pulverizadoras 3D Viking modelo E son boquillas abiertas diseñadas para aplicaciones de descarga direccional en sistemas de protección contra incendios fijos. Tienen un diseño abierto (no automático) con un deflector externo que aplica una descarga de agua pulverizada de cono lleno de baja y media velocidad. Las boquillas de pulverización modelo E están disponibles con diferentes diámetros de orificios y ángulos de pulverización para satisfacer los requisitos de diseño e incluyen una rosca externa NPT de 1/2" (15 mm). La base es de latón pero puede aplicarse un recubrimiento de níquel electroless a toda la boquilla para que sea resistente a la corrosión. El ángulo de pulverización es el ángulo de descarga indicado para cada boquilla y también está marcado en el deflector. Las Figuras 1a y 1b muestran la anchura de la distribución en función de la altura, basándose en pruebas en posición vertical para presiones de descarga de 10, 20 y 60 psi (0,7 bar, 1,4 bar y 4,1 bar). Tenga en cuenta que la presión de descarga máxima de las boquillas de pulverización modelo E es 12 bar (175 psi). A partir de 4,1 bar (60 psi), se reduce la anchura de la descarga porque ésta tiende a retraerse. Para la protección contra la exposición, las figuras 6a, 6b, y 7 muestran, para diversos ángulos fijos de montaje, la distancia máxima entre la boquilla y el plano a proteger. Para las boquillas con factor K nominal 17 (1,2 US), 26 (1,8 US) y 33 (2,3 US), se usa un reductor, insertado a ras del borde de entrada para evitar la formación de cavidades con ángulos agudos y depósitos. Las boquillas con factor K 46 (3,2 US), 59 (4,1 US), 81 (5,6 US) y 104 (7,2 US) tienen orificios maquinados. Hay tapones de protección opcionales para proteger la boquilla del polvo, plagas de insectos y otros residuos.



Los datos técnicos de los productos Viking pueden consultarse en la página Web de la Corporación <http://www.vikinggroupinc.com> Esta página puede contener información más reciente sobre este producto.

3. LISTADOS Y APROBACIONES

- Listado cULus: categoría VGYZ
 - Aprobada por FM para sistemas de extinción fijos
 - Aprobada por NYC: MEA 89-92-E, volumen 29
 - Aprobada por CCCF: Aprobado por el Centro de Certificación de China para productos de protección contra incendios (CCCF)
- Véase la Tabla de aprobaciones y los criterios de diseño para consultar las normas de aprobación cULus y FM aplicables.

LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD
El contenido de este documento puede no incluir todas las especificaciones de los productos descritos con exactitud, y por lo tanto, no constituye garantía de ningún tipo en relación con dichos productos. Las características exactas de los productos se publican en inglés: The Viking Corporation's Technical Data Sheets. Las condiciones de garantía se indican en las Condiciones de Venta que aparecen en los documentos oficiales de Viking. Lo indicado en este documento no constituye alteración de ninguna de las características de los productos en relación a lo indicado en el documento original indicado más arriba. Se puede solicitar copia de dicho documento a Viking Technical Services, The Viking Corporation, Hastings Michigan, USA, Form No. F_062104 Rev 16.1

4. DATOS TÉCNICOS

ESPECIFICACIONES

- Presión mínima de trabajo: 10 psi (0,7 bar)
- Presión máxima de trabajo: 175 psi (12 bar)
- Tamaño de rosca: 1/2" (15 mm) NPT
- Factor K nominal: 7,2 U.S.A (103,7 métrico*)
 - 5,6 U.S.A (80,6 métrico)
 - 4,1 U.S.A (59,0 métrico)
 - 3,2 U.S.A (46,1 métrico)
 - 2,3 U.S.A (33,1 métrico)
 - 1,8 U.S.A (25,9 métrico)
 - 1,2 U.S.A (17,3 métrico)

El factor K, marcado en el deflector, indica el diámetro de los orificio. Consulte las curvas de descarga nominales en la página 32f de cada boquilla para varias presiones residuales.

*El factor K métrico mostrado es aplicable cuando la presión se mide en bar. Si la presión se mide en kPa, dividir la cifra indicada entre 10.

Longitud total: 2-7/16" (61 mm)

MATERIALES

- Cuerpo: latón UNS-C84400
- Separador: latón UNS-C36000
- Casquillo (para las boquillas con factor K nominal 17, 26 y 33): latón UNS-C36000
- Deflector: Bronce de fósforo UNS-C51000
- Tomillo: latón UNS-C65100.

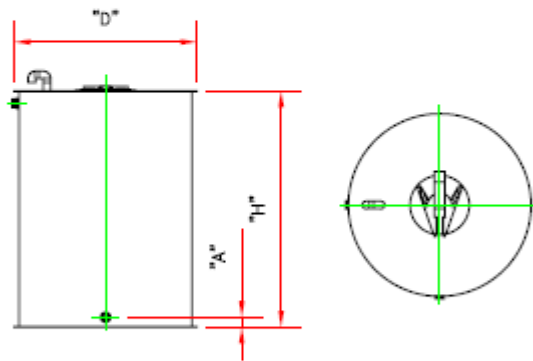
INFORMACIÓN DEL PEDIDO (consultar también la lista de precios Viking en vigor)

Para pedir las boquillas pulverizadoras modelo E seleccione primero la referencia de la base correspondiente al factor K y al

Formulario _ No. F_062104_ES_110917



DEPÓSITO ESPUMÓGENO POLIETILENO
POLYETHYLENE FOAM CONCENTRATE TANK



CAPACIDAD CAPACITY L	A mm.	DIAMETRO DIAMETER mm.	ESPEJOR THICKNESS mm.	H mm.	PESO WEIGHT kg
135	80	477	4	750	11,3
300	80	637	4	1.000	15,7
500	80	955	6	750	27,1
1.000	80	955	6	1.500	43,8
1.400	80	955	6	2.000	59,3
2.000	80	1.300	6	1.500	93,3
2.400	80	1.430	8	1.500	102,3
3.000	80	1.430	8	1.900	114,8
4.000	80	1.430	10	2.300	156,3
4.800	80	1.430	10/12	3.000	182,6
6.000	80	1.600	10/12	3.000	234,8
8.500	80	1.910	12	3.000	323,3
12.750	80	1.910	12/15	4.500	407,0
20.000	80	2.340	12/20	4.000	603,2

MATERIAL CONTRA INCENDIOS
FIRE FIGHTING EQUIPMENT

Mod. **SE-A**

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Plancha de polietileno PE100 de alta tenacidad y rigidez, estabilizada frente a UV.
- Alta resistencia a los productos químicos.
- Tapa practicable superior de cierre, y tubuladura de vaciado de rosca macho de 1". (según versión)
- Aptos para líquidos de densidad $\leq 1.4 \text{ kg/l}$.

OPCIONAL

- Se pueden entregar en otras formas y con otro equipamiento, tal como, bocas, niveles, válvulas y accesorios adicionales

CONSTRUCTION FEATURES


- Polyethylene PE100, UV stabilized.
- High resistance to chemicals.
- Closing Head and vacuum tube male thread 1". (depending on version)
- Suitable for liquid density $\leq 1.4 \text{ kg/l}$.

OPTIONAL

- Other shapes and accessories, such as levels, opening valves...

Type series booklet
2730.5/6-10 G2

CPKN



Standardized Chemical Pumps
to EN 22858/ISO 2858/ISO 5199

Automation products available:

- PumpExpert
- PumpDrive (MM)
- Hyamaster
- hystronic

Fields of Application

For handling aggressive organic and inorganic fluids in the chemical and petrochemical industries.

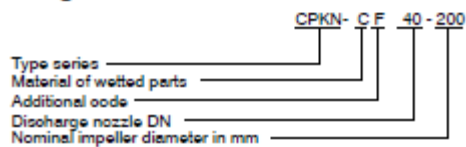
They are also used in: refinery off-sites, the paper and cellulose industries, the foodstuffs industry, the sugar industry, sea water desalination plants, absorption equipment in environmental engineering, power stations, etc.

Design

Horizontal, radially split volute casing pump in back pull-out design, with radial impeller, single-entry, single-stage, to EN 22 858/ISO 2858/ISO 5199.

Complemented by pumps of DN 25, DN 200 and above.

Designation



Additional codes:

- H = Heated model
- O = Open impeller
- F = Off-standard flange design
- K = Intensively cooled shaft seal chamber
- X = Special design

Operating Data

Capacity	Q	up to	4150 m ³ /h (1150 l/s)
Heads	H	up to	185 m
Pump sizes	DN		25 to 400
Operating pressures	p	up to	25 bar
Operating temperatures	t		-40 to +400 °C
Operating temperatures	t		-40 to +400 °C

Certification

Certified quality management ISO 9001.

