

Trabajo Fin de Grado
Grado Universitario en Ingeniería Química

Diseño de tanques de almacenamiento de
combustibles e implantación de la terminal según
Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 y
protección contra incendios

Autor: Juan José Muñoz Marchena

Tutor: Pablo José Matute Martín

Dpto. Ingeniería de la Construcción y Proyectos
de Ingeniería

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2021



Departamento de
Ingeniería de la Construcción
y Proyectos de Ingeniería

Trabajo Fin de Grado
Grado Universitario en Ingeniería Química

Diseño de tanques de almacenamiento de combustibles e implantación de la terminal según Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 y protección contra incendios

Autor:

Juan José Muñoz Marchena

Tutor:

Pablo José Matute Martín

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Trabajo Fin de Grado: Diseño de tanques de almacenamiento de combustibles e implantación de la terminal según Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 y protección contra incendios

Autor: Juan José Muñoz Marchena

Tutor: Pablo José Matute Martín

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

Agradecimientos

A mis padres y hermana

A Lorena

A mis compañeros

A mi tutor D. Pablo Matute

A Rafael Mejías y José Luis del Río

Juan José Muñoz Marchena

Sevilla, 2021

El presente proyecto cuenta con el diseño básico de una terminal de almacenamiento de combustibles de 100.000 m³ de capacidad en la bahía de Algeciras (Cádiz). El diseño se realiza atendiendo fundamentalmente a tres partes principales:

- Diseño de los tanques de almacenamiento conforme al estándar americano API 650 “Welded tanks for oil storage”.
- Implantación de las diferentes áreas de la terminal atendiendo a la instrucción técnica complementaria MI-IP02 “Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos”.
- Diseño de las medidas de protección contra incendio de la terminal, de acuerdo a la normativa aplicable, Reglamento Contra Incendios de Establecimientos Industriales “RSCIEI” y Reglamento de Protección Contra Incendios “RIPCI” y NFPA “National Fire Protection Association”.

Abstract

This Project has the basic design of a 100.000 m³ capacity fuel storage terminal in the bay Algeciras (Cádiz). The design is carried out according to three main parts:

- Design storage tanks according to the American standard API 650 “Welded tanks for oil storage”.
- Implementation of the different areas of the terminal according to the complementary technical instruction MI-IP02 “Petroleum liquids storage parks”.
- Design of the terminal fire protection measures in accordance with the applicable regulations, the Fire Regulations for Industrial Establishments “RSCIEI” and the Fire Protection Regulations “RIPCI” and the NFPA “National Fire Protection Association”.

Agradecimientos	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
Índice	x
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras	xvi
1 Introducción	1
1.1. <i>Objetivo y alcance</i>	1
1.2. <i>Localización y acceso</i>	2
2 Tanques de almacenamiento	4
2.1. <i>Combustibles almacenados</i>	4
2.1.1. <i>Descripción de los combustibles</i>	5
2.1.2. <i>Clasificación de combustibles (RD 656/2017)</i>	5
2.2. <i>Normativa aplicable</i>	6
2.3. <i>Tipos de tanques</i>	7
2.4. <i>Descripción del parque de almacenamiento de combustibles</i>	9
2.5. <i>Diseño de Tanques de almacenamiento según API 650</i>	10
2.5.1. <i>Conceptos en el diseño de tanques</i>	10
2.5.2. <i>Materiales</i>	11
2.5.3. <i>Tubuladuras</i>	15
2.5.4. <i>Condiciones de diseño</i>	20
2.5.5. <i>Diseño del cuerpo del tanque</i>	26
2.5.6. <i>Rigidizadores intermedios</i>	30
2.5.7. <i>Diseño del fondo del tanque</i>	37
2.5.8. <i>Diseño de la cubierta del tanque</i>	41
2.5.9. <i>Cálculo de pesos</i>	65
3. Áreas de la terminal	66
3.1. <i>Descripción de la terminal</i>	66
3.2. <i>Distancias de seguridad</i>	67
3.3. <i>Distancia entre tanques</i>	69
3.4. <i>Capacidad del cubeto</i>	71
3.5. <i>Diseño de la instalación de trasiego de combustibles</i>	73
3.5.1. <i>Distribución de Tuberías en la terminal</i>	73
3.5.2. <i>Uniones entre tramos de tuberías</i>	74
3.5.3. <i>Valvulería</i>	76
3.5.4. <i>Dimensionamiento de las líneas de combustible</i>	78
3.5.5. <i>Fundamentos cálculos hidráulicos</i>	82
3.5.6. <i>Presiones de operación y de diseño de las líneas</i>	101
3.5.7. <i>Espesores de tuberías según ASME B31.33</i>	101

4. Protección contra incendios	102
4.1. <i>Introducción y objeto</i>	102
4.2. <i>Sistemas de protección aplicable según RSCIEI</i>	102
4.2.1. Caracterización por su configuración y su ubicación con relación a su entorno	103
4.2.2. Caracterización por su nivel de riesgo intrínseco	103
4.2.3. Instalación de protección contra incendios en la terminal	108
4.3. <i>Sistemas de Protección Contra Incendio en tanques de almacenamiento</i>	110
4.3.1. Sistemas de agua pulverizada en tanques	110
4.3.2. Hidrantes	116
4.3.3. Sistemas de espuma física en tanques de almacenamiento	117
4.3.4. Extintores en la zona de cubeto	129
4.4. <i>Sistema de protección contra incendio en cargadero de camiones</i>	130
4.4.1. Sistema de rociadores de espuma	130
4.4.2. Extintores en cargadero de camiones	133
4.5. <i>Sistema de abastecimiento de agua contra incendios</i>	134
4.5.1. Caudal de agua y tiempo de autonomía	134
4.5.2. Categorización del abastecimiento de agua y clases de abastecimiento	135
4.5.3. Combinaciones de fuentes de agua y sistemas de impulsión	136
4.5.4. Descripción de los componentes del sistema de abastecimiento	138
4.6. <i>Sistema contra incendio en nave taller y sala de control</i>	142
4.7. <i>Sistema de alarma manual y mando de instalaciones fijas</i>	142
4.8. <i>Sistema contra incendio en edificio administrativo</i>	142
4.8.1. Propagación interior	143
4.8.2. Propagación exterior	143
4.8.3. Evacuación de ocupantes	144
4.8.4. Instalaciones de protección contra incendios	145
4.8.5. Intervención de los bomberos	145
4.8.6. Resistencia al fuego de la estructura	145
5. Presupuesto	146
5.1. <i>Partida Nº 1: Tanques de almacenamiento de combustible</i>	146
5.1.1. Mediciones y precios	146
5.2. <i>Partida Nº 2: Líneas de trasiego de combustible</i>	147
5.2.1. Mediciones y precios	147
5.3. <i>Partida Nº 3: Protección contra incendios</i>	149
5.3.1. Mediciones y precios	149
5.4. <i>Resumen del presupuesto</i>	151
5. Conclusiones	152
Referencias	153
Anexo A: Cálculos hidráulicos	155
A.1. <i>CÁLCULO HIDRÁULICO LLENADO DE TANQUE</i>	155
A.2. <i>CÁLCULO HIDRÁULICO VACIADO TANQUE</i>	160
A.3. <i>Presiones de operación de las líneas de trasiego de combustibles</i>	167
Anexo B. Lista de tuberías de combustible	173
Anexo C. Dimensionado de tuberías de combustible ASME B31.3	174
Anexo D. Planos	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos del tráfico de combustibles según APBA	4
Tabla 2. Densidad y punto inflamación de los combustibles a almacenar	6
Tabla 3. Diferencias entre API 650 y API 620	7
Tabla 4. Tabla de materiales ASTM en función de las propiedades mecánicas	14
Tabla 5. Materiales empleados en el tanque	14
Tabla 6. Materiales empleados en las componentes principales del tanque	15
Tabla 7. Dimensiones de las tubuladuras ubicadas en el cuerpo del tanque	18
Tabla 8. Dimensiones de las tubuladuras ubicadas en el techo del tanque	18
Tabla 9. Tabla 5-6 API 650, mínimas dimensiones respecto a las soldaduras de las tubuladuras	19
Tabla 10. Datos iniciales de los tanques	20
Tabla 11. Datos del producto almacenado	21
Tabla 12. Datos sísmicos de la zona	21
Tabla 13. Cargas de diseño en la zona	21
Tabla 14. Sobreespesor por corrosión	22
Tabla 15. Valores de las distintas partes de la capacidad de un tanque	26
Tabla 16. Espesores mínimos de las placas del cuerpo del tanque en función del diámetro	26
Tabla 17. Tabla paramétrica cálculo espesores de virolas <i>EES</i>	28
Tabla 18. Espesores de las láminas del cuerpo del tanque de Fuel-Oil	29
Tabla 19. Espesores de las láminas del cuerpo del tanque de Gas-Oil	29
Tabla 20. Corrección de la velocidad básica del viento en periodo de servicio, CTE DB SE-AE	31
Tabla 21. Coeficientes para tipo de entorno, tabla D.2 CTE DB SE-AE	31
Tabla 22. Altura transformada tanque Fuel-Oil, H_w	32
Tabla 23. Resultados de H_w y H_1	33
Tabla 24. Resumen de la altura transformada H_w	33
Tabla 25. Ubicación del rigidizador intermedio	34
Tabla 26. Aumento de espesores de virola	35
Tabla 27. Espesores mínimos para tanques sin rigidizadores	37
Tabla 28. Tensiones de diseño y prueba hidrostática placas del fondo	39
Tabla 29. Espesores de la placa anular del fondo, tabla 5-1a API 650	39
Tabla 30. Resultados dimensiones del ancho de la chapa anular del fondo	41
Tabla 31. Resultados de radio de curvatura, altura del techo y ángulos del techo	42
Tabla 32. Resultados de la carga muerta D_L , en la primera iteración	44
Tabla 33. Resultado de las combinaciones de carga en la primera iteración	44
Tabla 34. Factores de sitio F_a , tabla E-1 API 650	50

Tabla 35. Factores de sitio F_v , Tabla E-2 API 650	50
Tabla 36. Factores de diseño sísmico, tabla E-4 API 650	51
Tabla 37. Factores de importancia I, tabla E-5 API 650	51
Tabla 38. Cargas de los diferentes componentes del tanque	53
Tabla 39. Criterios frente a los valores del factor J, tabla E-6 API 650	59
Tabla 40. Mínimos tamaños de ángulos, API 650	64
Tabla 41. Cálculo de los pesos de tanque	65
Tabla 42. Distancias mínimas entre instalaciones, cuadro I, ITC MI-IP02	67
Tabla 43. Coeficientes de reducción de distancias, cuadro II, ITC MI-IP02	67
Tabla 44. Coeficientes de reducción en función de las medidas de protección contra incendios, cuadro III, ITC MI-IP02	68
Tabla 45. Coeficientes de reducción de distancia según ITC IP-02	68
Tabla 46. Distancias mínimas de separación en la terminal	69
Tabla 47. Distancias mínimas entre tanques	70
Tabla 48. Coeficientes de reducción de distancias por medidas de protección contra incendios	70
Tabla 49. Propiedades de los combustibles para el dimensionado de las tuberías	79
Tabla 50. Caudales de circulación por cada tramo de línea de la terminal	79
Tabla 51. Velocidades de flujo utilizadas habitualmente	80
Tabla 52. Velocidades de circulación a partir de las velocidades impuestas en cada sección	81
Tabla 53. Diámetros reales comerciales y velocidades reales de circulación	82
Tabla 54. Propiedades del Fuel-Oil	90
Tabla 55. Presiones y cotas en la aspiración e impulsión de la bomba	90
Tabla 56. Propiedades de la tubería Sección 2 (Tanque-colector reparto)	91
Tabla 57. Rugosidad relativa, n° Re y factor de Fanning en Sección 2 (Tanque-colector de reparto)	91
Tabla 58. Pérdida de carga por accesorios en sección 2	92
Tabla 59. Propiedades de la tubería Sección 3 y 4 (Colector reparto-cargadero de camiones)	92
Tabla 60. Rugosidad relativa, n° Re y factor de fanning sección 3 y 4	92
Tabla 61. Pérdida de carga por accesorios en sección 3 y 4	93
Tabla 62. Propiedades de la tubería Sección 5 y 6 (Colector de reparto-Barcos)	93
Tabla 63. Rugosidad relativa, n° Re y factor de Fanning en Sección 5 y 6 (Colector de reparto-Barcos)	93
Tabla 64. Pérdida de carga por accesorios en sección 5 y 6	94
Tabla 65. Presión de suministro de la bomba P-1 A/B	94
Tabla 66. Presión de suministro de la bomba P-2 A/B	94
Tabla 67. Propiedades de la tubería Sección 3 (Colector reparto-Bomba camiones)	95
Tabla 68. Rugosidad relativa, n° Re y factor de Fanning en Sección 3 (Colector de reparto-Bomba camiones)	95
Tabla 69. Pérdida de carga por accesorios en sección 3	95
Tabla 70. Propiedades de la tubería Sección 5 (Colector reparto- Bomba barcos)	96
Tabla 71. Rugosidad relativa, n° Re y factor de Fanning en Sección 5 (Colector reparto-bomba barcos)	96

Tabla 72. Pérdida de carga por accesorios en sección 5	97
Tabla 73. Propiedades de la tubería Sección 5 (Colector reparto- tanques)	98
Tabla 74. Rugosidad relativa, nº Re y factor de Fanning en Sección 5 (Colector reparto-tanques)	98
Tabla 75. Pérdida de carga por accesorios en sección 5	98
Tabla 76. Cotas y presiones del colector de entrada y llenado de tanques	99
Tabla 77. Resultados obtenidos de las bombas con el software <i>FLUID FLOW</i>	100
Tabla 78. Resultados obtenidos de las bombas con el software <i>FLUID FLOW</i>	100
Tabla 79. Resultado de las presiones ejercidas por los grupos de bombeo	101
Tabla 80. Factor Y en función de los materiales y la temperatura	101
Tabla 81. Coeficientes de peligrosidad por combustibilidad	104
Tabla 82. Coeficientes de peligrosidad por activación y carga de fuego aportada	105
Tabla 83. Nivel de riesgo intrínseco en función de la densidad de carga ponderada y corregida	105
Tabla 84. Coeficientes de peligrosidad por activación y carga de fuego aportada de oficina	106
Tabla 85. Superficie ocupada y construida de oficina	106
Tabla 86. Coeficientes de peligrosidad por activación y carga de fuego aportada de cargadero de camiones	107
Tabla 87. Coeficientes de peligrosidad por activación y carga de fuego aportada de nave taller	107
Tabla 88. Protección contra incendios en cada zona	110
Tabla 89. Caudal de agua en función del combustible almacenado, ITC MI-IP02	111
Tabla 90. Caudales necesarios para los tanques incendiados	112
Tabla 91. Caudales de agua para los tanques afectados	112
Tabla 92. Caudal total de tanques incendiados y afectados	113
Tabla 93. Volumen total de reserva de agua para tanques	113
Tabla 94. Cobertura de boquillas comerciales	115
Tabla 95. Condiciones de instalación de hidrantes según <i>RSCIEI</i>	116
Tabla 96. Necesidades de caudales en hidrantes para combustible almacenado	116
Tabla 97. Factores de corrección para espumas de baja expansión Norma EN 1568-3	120
Tabla 98. Resumen aplicación espuma en tanques	121
Tabla 99. Caudal y volumen de espumante para cada tanque	121
Tabla 100. Volumen de agua y espumógeno para cada tanque	121
Tabla 101. Nº cámara de espuma en tanques según UNE 13565-2	122
Tabla 102. Número y disposición de cámaras de espuma en cada tanque	123
Tabla 103. Caudal de espumante por vertedera	124
Tabla 104. Nº mínimo de lanza monitora por tanque según <i>ITC MIE APQ-1</i>	125
Tabla 105. Resumen de lanza monitora	125
Tabla 106. Demanda de espumógeno	126
Tabla 107. Reserva de espumógeno	126
Tabla 108. Almacenamiento de espumógeno en zona de almacenamiento de combustibles	128
Tabla 109. Caudal de agua para espuma en tanques	129

Tabla 110. Extintores en la zona de cubeto	129
Tabla 111. Distancias recomendadas según NFPA 16	131
Tabla 112. Resumen de cálculo de la instalación de rociadores en cargadero de camiones	133
Tabla 113. Extintores en cargadero de camiones	134
Tabla 114. Caudal total de agua para la red de abastecimiento	135
Tabla 115. Categorización de la red de abastecimiento de agua	135
Tabla 116. Combinaciones de fuentes de agua y sistemas de impulsión, UNE 23.500	137
Tabla 117. Dimensiones del depósito de agua según UNE 23.500	139
Tabla 118. Dimensiones extraídas de la Norma UNE 23.500	139
Tabla 119. Dimensiones calculadas del depósito de agua	140
Tabla 120. Equipos de impulsión para los tipos de fuente según UNE 23.500	140
Tabla 121. Tipos de equipos de bombeo y accionamiento según UNE 23.500	141
Tabla 122. Características teóricas aproximadas de los grupos de bombeo contra incendios	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Vista aérea del Puerto de Isla Verde	2
Ilustración 2. Plano aéreo de la explanada de Isla Verde Exterior	2
Ilustración 3. Plano de la Bahía de Algeciras (Cádiz)	3
Ilustración 4. Tanque fijo de techo domo	8
Ilustración 5. Tanque de techo flotante	9
Ilustración 6. Gráfica de temperaturas en el Puerto de Isla Verde	11
Ilustración 7. Gráficas de temperaturas de diseño y espesores de láminas, ASTM	13
Ilustración 8. Esquema de los tipos de tubuladuras ubicadas en el tanque	16
Ilustración 9. Cotas de los componentes de las tubuladuras del tanque	17
Ilustración 10. Boquillas con láminas de refuerzo y sin refuerzo	19
Ilustración 11. Esquema de la capacidad de un tanque	22
Ilustración 12. Resultados de capacidades obtenidos con EES	25
Ilustración 13. Esquema de las dimensiones de la chapa anular del fondo	40
Ilustración 14. Acciones del viento sobre el tanque	46
Ilustración 15. Diagrama de flujo para el diseño de tanque ante presiones internas	62
Ilustración 16. Unión techo-virola y angular de coronación	63
Ilustración 17. Dimensiones del cubeto	72
Ilustración 18. Diagrama de flujo del proceso de trasiego de combustibles en la terminal	73
Ilustración 19. Racks de tuberías	74
Ilustración 20. Bridas	75
Ilustración 21. Tuberías de uniones roscadas	75
Ilustración 22. Tubería de unión soldada	75
Ilustración 23. Válvula de mariposa	76
Ilustración 24. Válvula de bola	77
Ilustración 25. Válvula de retención o antirretorno	77
Ilustración 26. Válvula de globo	78
Ilustración 27. Diferencia de cotas	84
Ilustración 28. Coeficiente de rozamiento en función de Re y la rugosidad relativa de la tubería ϵ/D	85
Ilustración 29. Rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de diversos materiales	85
Ilustración 30. Factores de pérdida k en función del diámetro y tipo de accesorio	86
Ilustración 31. Longitud de tubo equivalente al frotamiento en válvulas y accesorios	87
Ilustración 32. Gráfica del NPSH _D frente al caudal	88
Ilustración 33. PFD de trasiego de combustible	89
Ilustración 34. Línea de llenado de tanque	97
Ilustración 35. Isométrico del modelo para el vaciado de los tanques	99

Ilustración 36. Isométrico del modelo para el llenado de los tanques	100
Ilustración 37. Tipos de configuración según <i>RSCIEI</i>	103
Ilustración 38. Radio de incidencia sobre los tanques adyacentes	111
Ilustración 39. Hidrante	117
Ilustración 40. Funcionamiento de espuma en tanque	118
Ilustración 41. Cámara de espuma en tanque de almacenamiento	122
Ilustración 42. Vertedera de espuma	123
Ilustración 43. Lanza monitora	124
Ilustración 44. Esquema de una instalación FireDos	127
Ilustración 45. Unidad FireDos real	127
Ilustración 46. Depósitos de espumógeno SABO española	128
Ilustración 47. Extintor polvo 21A y 113B	130
Ilustración 48. Esquema de la instalación de pulverizadores en cargadero de camiones	131
Ilustración 49. Área de protección del rociador	132
Ilustración 50. Red de uso público tipo 2+equipo de bombeo doble aspirando de depósito	137
Ilustración 51. Depósito para abastecimiento de agua según UNE 23.500	138

1 INTRODUCCIÓN

El placer más noble es el júbilo de comprender.

- Leonardo da Vinci -

1.1. Objetivo y alcance

El objetivo principal del proyecto es la implantación de una terminal portuaria dedicada al almacenamiento de derivados petrolíferos; gasóleo y fuel-oil, con el fin de asegurar el abastecimiento de camiones cisterna y de los petroleros que atracan en el Puerto Bahía de Algeciras, más específicamente en el Puerto de Isla Verde, zona estratégica de la que parte una gran cantidad de la energía secundaria procedente de la transformación y refinado de crudo en la refinería Gibraltar-San Roque, propiedad de la empresa CEPSA.

El presente documento, abarca tanto el diseño de tanques, como la distribución de las diferentes áreas que componen el parque de almacenamiento, acogiéndose siempre a la legislación requerida, principalmente el Real Decreto 1562/1998, por el que se modifica la Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 «Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos», necesario para el perfecto cumplimiento de la instalación y la seguridad de la misma.

El parque de almacenamiento contará con una capacidad de 100.000 m³ de combustibles, distribuidos en diferentes tanques verticales diseñados según la norma americana API 650, cubriendo el diseño y cálculo de los elementos constitutivos del tanque y por la cual se contemplan los requerimientos necesarios que garantizan la calidad y seguridad de dichos equipos.

El asentamiento de una provisión de hidrocarburos a granel viene unido irremediamente a la creación de un Sistema Contra Incendios, debido al riesgo de incendio que atesora las propiedades químicas de las sustancias. Es por ello, que la instalación de grandes almacenamientos de hidrocarburos a granel, estará asegurada primordialmente por el cumplimiento del Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (en adelante, *RSCIEI*) y Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios "*RIPCI*", entre otros.

1.2. Localización y acceso

La terminal portuaria se encuentra incluida en el Puerto de la Bahía de Algeciras, situado en el extremo sur de la Península Ibérica, en la provincia de Cádiz. La bahía acoge un trayecto de costa de 10 km, desde Punta Carnero hasta Punta Europa, bañado por las aguas del Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo.

Por el este, la Bahía gaditana recibe su nombre al albergar mayoritariamente el municipio de Algeciras, acogiendo la mayor población con 121.000 habitantes. Siguiendo perimetralmente por el litoral, se encuentra asomada minoritariamente, Palmones, un pueblo perteneciente al término municipal de Los Barrios, instalándose principalmente al noroeste de la Bahía. De manera contigua, la costa norte acoge al municipio de San Roque, donde se instala la refinería Cepsa que ofrece a la bahía esa fuerte actividad industrial petrolera. Finalizando por el oeste, se sitúa el municipio de La Línea de la Concepción y el territorio de Gibraltar, aunque este último se encuentra fuera del Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía.



Ilustración 1. Vista aérea del Puerto de Isla Verde

Es el puerto más importante de España en el tráfico de mercancías, debido especialmente a su localización estratégica en dicho ámbito, situándose en la orilla norte del Estrecho de Gibraltar y tratándose así mismo, del nexo de unión entre el Sur de Europa y el Norte de África. Igualmente, se caracteriza por albergar una variedad de infraestructuras marítimas encaminadas a distintas actividades y usos, que dotan al puerto de una mayor diversidad de servicios portuarios. Entre las que destaca fundamentalmente el tráfico de mercancías, la transformación de productos derivados del petróleo, el trasiego de combustibles a granel, tanto sólidos como líquidos y el transporte de pasajeros.



Ilustración 2. Plano aéreo de la explanada de Isla Verde Exterior

Dentro de la Bahía de Algeciras, la instalación del parque de almacenamiento de combustibles se localiza en la fase B de la explanada de Isla Verde Exterior, s/n, ubicado en el término municipal de Algeciras. Comprende una superficie de 30,5 hectáreas, de manera contigua a la Fase A de ampliación de la explanada de Isla Verde Exterior, que acoge a la terminal de contenedores Total Terminal International Algeciras (TTI-A) y que abarca una superficie de concesión de 30 hectáreas. Las coordenadas de la localización de la terminal vienen definidas por 36.0724 N y 5.2530 W.

La explanada de Isla Verde Exterior cuenta con 122 hectáreas de superficie con 2.525 metros de líneas de atraque con calados que varían entre los 17,5 y los 18,5 metros de profundidad. Además, atesora un dique de abrigo exento de 2 km de longitud contribuyendo a una mejor operatividad en el tráfico de los petroleros.

El acceso en coche a la terminal se realiza rodeando Algeciras por la A-7, dirección Sur, tomando la salida 103 hacia N-350/Puerto sur/Algeciras Sur. Igualmente, dispone de comunicaciones con el aeropuerto de Gibraltar más cercano a 14 km. La existencia de acceso ferroviario aporta a la terminal mejoras logística en el transporte de mercancías, la Red Ferroviaria Interior del Puerto Bahía de Algeciras (RFPBA) se compone de tres tramos, aunque solo uno de ellos alcanza la Terminal Ferroportuaria de Isla Verde Exterior, Terminal 1 (T-1) desde el acceso sur, con una longitud total de vía de 3.898 m.

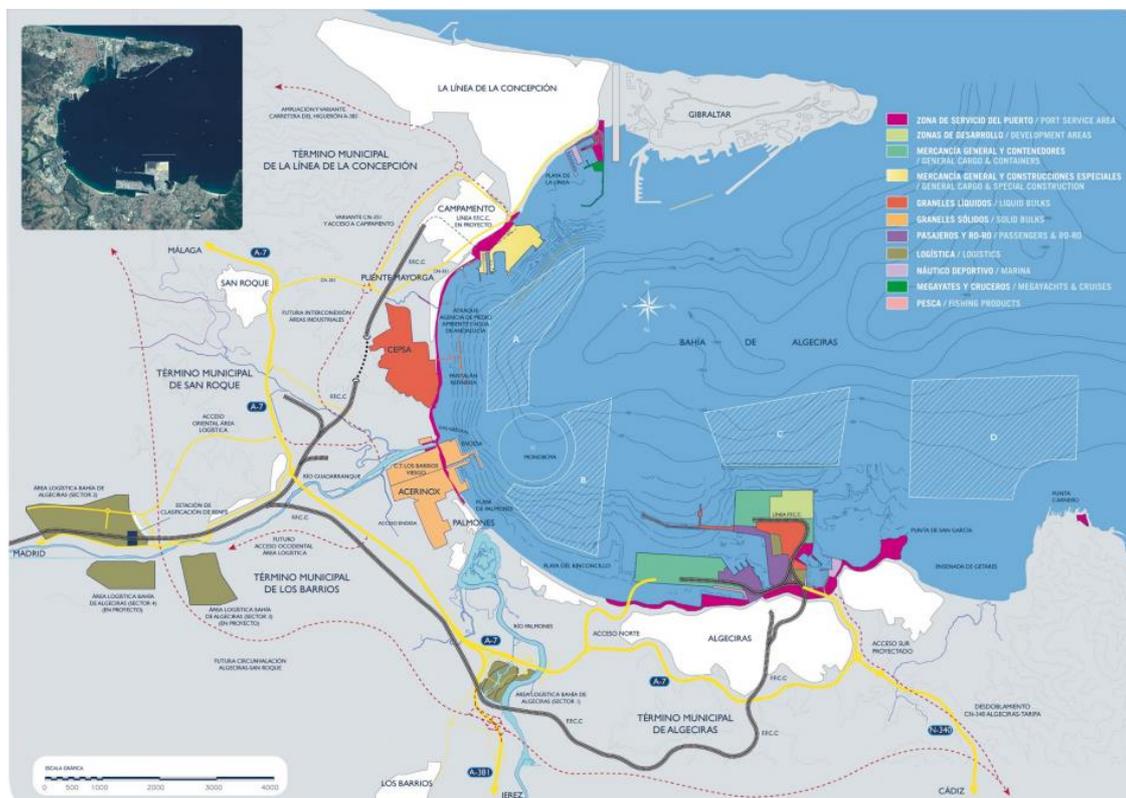


Ilustración 3. Plano de la Bahía de Algeciras (Cádiz)

2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad

- Albert Einstein -

A continuación, como bien se ha descrito anteriormente en los objetivos del presente documento, se procede al diseño e implantación de tanques de almacenamiento de productos líquidos derivados del petróleo, con la finalidad de alcanzar una capacidad de 100.000 m³, que irán destinados a amortiguar la demanda de dichos productos hacia los buques que atracan en la terminal portuaria.

2.1. Combustibles almacenados

Los combustibles almacenados en los tanques que se van a diseñar, se han elegido siguiendo un estudio estadístico de aquellos productos petroleros con mayor tráfico y demanda en la zona de la Bahía de Algeciras, atendiendo especialmente a los datos que ofrece cada año la Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras (APBA) y cuyos datos son influenciados por la actividad de las empresas líderes en el sector de combustibles de la zona, como son CEPSA, REPSOL o Península Petroleum.

Según la última memoria anual publicada es del año 2019, arrojando los siguientes datos referidos al tráfico de combustibles en el sector energético:

TIPO	CABOTAJE			EXTERIOR			TOTAL		
	EMBARC.	DESEMBARC.	TOTAL	EMBARC.	DESEMBARC.	TOTAL	EMBARC.	DESEMBARC.	TOTAL
ENERGÉTICO	4.058.423	1.367.159	5.425.582	6.993.929	17.401.999	24.395.928	11.052.352	18.769.158	29.821.510
Petróleo crudo		17.586	17.586	385	10.942.261	10.942.646	385	10.959.847	10.960.232
Fuel-oil	1.525.804	286.216	1.812.020	4.123.383	4.902.403	9.025.786	5.649.187	5.188.618	10.837.805
Gas-oil	1.254.125	301.652	1.555.778	643.580	244.428	888.008	1.897.706	546.080	2.443.785
Gasolina	912.242	680.331	1.592.573	1.712.880	652.004	2.364.885	2.625.122	1.332.336	3.957.457
Otros productos petrolíferos	129.044	5.487	134.531	280.804	204.123	484.927	409.848	209.610	619.458
Gases energéticos del petróleo	204.782	27.894	232.676	123.571	7.867	131.438	328.353	35.761	364.114
Carbones y coque de petróleo	6.580	2.110	8.690	54.429	397.658	452.087	61.009	399.768	460.778
Gas natural			0	282.34		282	282	0	282
Biocombustibles	25.845	45.883	71.728	54.614	51.255	105.869	80.459	97.138	177.598

Tabla 1. Datos del tráfico de combustibles según APBA

Como se puede ver en el capítulo 4, referente a estadísticas de tráfico en Algeciras y más específicamente en la sección 4.3. referida a mercancías, se puede observar aquellos productos derivados del refinado de petróleo crudo, que se embarcan y desembarcan en el puerto en mayor cantidad. Atendiendo a dicho criterio, los combustibles elegidos para ser almacenados en los tanques son productos originados en la refinera de la empresa CEPSA ubicada en San Roque:

- Fuel-oil nº1 Cogeneración CEPSA.
- Gas-oil tipo A CEPSA.

2.1.1. Descripción de los combustibles

Fuel-oil o fuelóleo

El fuel-oil está compuesto por moléculas orgánicas compuesta por más de 20 átomos de carbono. Es una mezcla de hidrocarburos parafínicos, cicloparafínicos, olefínicos y aromáticos. Se trata de un combustible líquido, de color negro, originado a partir de los productos residuales del refinado de petróleo crudo, ya que se trata de la fracción más pesada separada en la destilación atmosférica y posteriormente de la destilación a vacío.

Sus propiedades críticas son la viscosidad, que aumenta proporcionalmente en función de la longitud de su cadena molecular, el alto contenido en azufre, la estabilidad para eliminar su reacción en depósitos y su alto contenido de cenizas en los cortes pesados.

Su principal función es utilizarlo como combustibles en hornos y calderas, así como en plantas de generación de energía eléctrica y como combustibles en buques.

Debido a su punto de ebullición, su uso y su composición se puede clasificar en 6 tipos. En este caso se utiliza el fuelóleo nº1 (combustible utilizado en los motores de cogeneración).

Gas-oil o diésel

El gas-oil es un combustible líquido derivado del petróleo, formado principalmente por hidrocarburos saturados como parafinas y cicloparafinas y una menor proporción de hidrocarburos aromáticos. Su cadena representativa es más pequeña que el fuel-oil que va desde 14 a 22 átomos de carbono.

Presenta gran utilidad en el sector industrial y tiene su auge a finales del siglo XIX en motores, gracias a Rudolf Diesel que le da nombre al ciclo termodinámico, y actualmente en motores de automoción diésel, aunque en países sometidos a bajas temperaturas se utiliza como combustible de calefacción.

En función de la utilidad del combustible y su contenido de impurezas se diferencian tres tipos de gas-oil en A, B y C, para usos de automoción, agrícola e industriales y para calefacción respectivamente.

2.1.2. Clasificación de combustibles (RD 656/2017)

Según el artículo 2 de la ITC MIE-APQ1, la presente instrucción tiene su ámbito de aplicación en las instalaciones de almacenamiento, carga y descarga y trasiego de los líquidos inflamables y combustibles comprendidos en la clasificación establecida en el artículo 4 “Clasificación de productos”. Por tanto, haciendo referencia a este último artículo, se pueden catalogar los combustibles a almacenar en diferentes clases, según su punto de inflamación:

- **Clase A:** Productos licuados cuya presión absoluta de vapor a 15 °C sea superior a 1 bar.

Según la temperatura de almacenamiento se pueden considerar 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.
- **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.
- **Clase C:** Productos cuyo punto de inflamación está comprendido entre 55 °C y 100°C.
- **Clase D:** Productos cuyo punto de inflamación es superior a 100 °C.

A continuación, en la tabla 2, se detallan las propiedades de las sustancias a almacenar, indicando la clase a la que se encuentran enmarcadas dentro de la instrucción:

	Densidad, ρ (Kg/m ³), 15 °C	Punto de inflamación (°C)	Clase
Fuel-oil nº1 Cogeneración CEPSA	991	>65	C
Gas-oil tipo B CEPSA	820-880	>60	C

Tabla 2. Densidad y punto inflamación de los combustibles a almacenar

Punto de inflamación o flash point

Según el artículo 3 del RD 145/1989 por el cual se aprueba el Reglamento Nacional de Admisión y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas en los Puertos, el punto de inflamación o flash point es la temperatura mínima a la cual un líquido desprende vapores en suficiente cantidad para formar una mezcla inflamable con el aire mediante una fuente de ignición interior.

Atendiendo al artículo 3 de la ITC MIE APQ-1 se define como líquido combustible aquel líquido con un punto de inflamación igual o superior a 55 °C, mientras que un líquido inflamable hace referencia a un líquido con un punto de inflamación inferior a 55 °C.

Estas definiciones permiten diferenciar los combustibles de la clase B y C en un rango de peligrosidad, debido a la presencia de vapores a diferentes temperaturas, asumiendo dicha peligrosidad a temperatura ambiente y por tanto catalogando las gasolinas como líquidos inflamables mientras que los fuelóleos y el gas-oil como líquidos combustibles.

2.2. Normativa aplicable

En España y en numerosos países del mundo, el cálculo y diseño de los tanques de almacenamiento están basados en normativas de reconocido prestigio, entre las que destaca las publicadas por el Instituto Estadounidense del Petróleo (American Petroleum Institute), cuyas siglas vienen definidas como A.P.I. Esta institución originada en Estados Unidos se basa entre otras muchas funciones, en el establecimiento y certificación de los estándares de la industria del petróleo y gas natural, favoreciendo la seguridad de las operaciones de la industria, asegurando la calidad y la optimización de los costes y facilitando la fiabilidad de la ejecución en la realización de proyectos, convirtiéndose así en líder mundial con la publicación de más de 700 estándares durante sus primeros 100 años de historia.

Uno de muchos estándares publicados en relación con la construcción de tanques de almacenamiento son los Standard A.P.I. 650 y Standard A.P.I. 620, basados en una larga experiencia en la fabricación, ofreciendo el cálculo y diseño de los elementos constitutivos de los tanques en relación a los materiales, soldaduras, inspección, así como montaje y ensamblaje.

La utilización de uno u otro estándar recae en los diferentes ámbitos de aplicación de los mismos, encontrando también Standard A.P.I. 12B, A.P.I. 12D, A.P.I. 12F... utilizados para diferentes requerimientos.

Dentro del alcance del Standard A.P.I. 650 están incluidos aquellos tanques construidos de material de acero generalmente, fabricados y ensamblados mediante soldadura, de geometría cilíndrica y orientación vertical, soportados sobre suelo plano de arena, grava o asfalto y en los que se almacenan fluidos líquidos a una presión de operación atmosférica o presiones internas que no sobrepasen el peso del techo, con temperaturas no superiores a 93 °C ,pudiendo alcanzar los 260 °C cuando se cumplen ciertas propiedades de material y diseño.

Cabe destacar que los estándares A.P.I. y en particular Standard 650 son normas que no actúan de manera aislada, sino que se ayudan de referencias en otras instituciones especialistas en otros campos, como es el caso

de AISC (American Institute of Steel Construction), ASME (American Society of Mechanical Engineers), ASTM (American Society for Testing and Materials), AWS (American Welding Society)...

A diferencia del Standard A.P.I. 650 que se va a utilizar, el Standard A.P.I. 620 se utiliza principalmente para almacenar fluidos a bajas presiones, con temperaturas por debajo de las que permite el Standard A.P.I. 650. Estas diferencias se pueden observar mejor en la imagen siguiente:

Tabla 1.1	A.P.I. 650			A.P.I. 620			A.N.S.I.	AWWA
	Básico	Apéndice A	Apéndice F	Básico	Apéndice R	Apéndice Q	B96.1	
Presión Interna Máxima	Atm.	Atm.	0.17 Kg/cm ²	1 Kg/cm ²	1 Kg/cm ²	1 Kg/cm ²	Atm.	Atm.
Temperatura Mínima	NS	(-)28.8°C	NS	(-)45.5°C	(-)54.4°C	(-)167°C	(-)28.8°C	(-)48.3°C
Temperatura Máxima	93.3°C	93.3°C	93.3°C	93.3°C	(-)40°C	93.3°C	204°C	RT
Espesor Máximo del Cuerpo	44.4 cm.	12.7 cm.	44.4 mm.	NS	NS	NS	NS	50.8 mm.
Espesor Mínimo del Cuerpo								
D < 15.2 m.	4.76 mm.			4.76 mm.			4.76 mm.	
15.2 m. < D > 36.5 m.	6.35 mm.			6.35 mm.			6.36 mm.	
36.5 m. < D > 60.9 m.	7.93 mm.			7.93 mm.			7.93 mm.	
D > 60.9 m.	9.52 mm.			9.52 mm.			9.52 mm.	
Espesor Mínimo del Techo	4.76 mm.			NS			4.76 mm.	4.76 mm.
Espesor Máximo del Techo	6.35 mm. + CA			NS			6.35 mm.	NS
Ángulo Mínimo de Coronamiento								
D < 10.6 m.	50.8 mm. x 50.8 mm. x 4.76 mm.			NS			63.5 mm. x 63.5 mm. x 6.35 mm.	NS
10.6 m. < D > 18.2 m.	50.8 mm. x 50.8 mm. x 6.35 mm.			NS			63.5 mm. x 63.5 mm. x 7.93 mm.	NS
D > 18.2 m.	76.2 mm. x 76.2 mm. x 9.52 mm.			NS			76.2 mm. x 76.2 mm. x 9.52 mm.	NS

NS = Sin Especificación CA = Corrosión Permisible RT = Temperatura Ambiente

- La temperatura puede ser elevada hasta 260° C cuando se cumplen ciertas especificaciones del material y requerimientos de diseño adicionales.
- Este espesor aplica para tanques con diámetros menores a 6.096 m.
- Este espesor aplica para tanques con diámetros entre 6.096 m. y 36.57 m.
- El espesor mínimo de cualquier placa es 4.76 mm. + corrosión.
- Para espesores mayores de 50.8 mm. se deben cumplir algunos requerimientos especiales
- Para techos cónicos, el espesor de placa puede ser calibre No. 7.

Tabla 3. Diferencias entre API 650 y API 620

2.3. Tipos de tanques

En la industria del petróleo los tanques de almacenamiento son generalmente construidos por componentes metálicos, utilizando distintos tipos de recipientes para almacenar de manera eficiente, productos como crudo y sus derivados. Estos tanques se pueden clasificar en función de los siguientes criterios:

- **Por su construcción:**
 - **Empernados:** Son construidos para capacidades menores donde cumplan su función de manera temporal y sean de fácil desmontaje.
 - **Soldados:** Están destinados a capacidades de almacenamiento mayores, evitando posibles fugas debido a la permanente soldadura de las juntas de las planchas.
- **Por su forma:**
 - **Cilíndricos:** Están diseñados para operar a presiones cercanas a la atmosférica o relativamente pequeñas.
 - **Esféricos:** Se usan para el almacenamiento de productos líquidos y gaseoso a presión. Se caracterizan por ser altamente eficientes.
- **Por su capacidad:**
 - **Cilíndricos horizontales:** Principalmente son construidos para albergar volúmenes bajos, debido a la aparición de problemas por fallas de corte y flexión.

- **Cilíndricos verticales:** Están diseñados para ser empleados en el almacenaje de grandes volúmenes con un costo relativamente bajo, usados a presiones atmosféricas o presiones internas pequeñas.

Como se ha especificado anteriormente el Standard A.P.I. 650 se utilizarán para los tipos de tanques cilíndricos verticales, soldados y apoyados uniformemente, aunque es en los tipos de techos donde esta Norma presenta importantes distinciones, en función al producto almacenado y al servicio que se preste. Entre los tipos de techos que se pueden clasificar están:

- **Techo fijo:** Son utilizados para almacenar líquidos no volátiles y todos se apoyan sobre la pared del tanque. En función de la soportación del techo se pueden diferenciar en:
 - **Autosportados:** Se tratan de techos que se presentan solamente soportados en su periferia, diseñados para absorber tanto las cargas generadas por las cargas vivas más su peso.
 - **Rafter Girder o sombrilla:** Lo forma un polígono regular curvado por su eje vertical.
 - **Domo:** La cubierta presenta una forma esférica realizada a través del acoplo de diferentes segmentos siguiendo un radio de curvatura, por lo que su fabricación se hace más compleja.
 - **Cónico:** Presenta una cubierta con la forma de un cono recto, como su propio nombre indica, realizado mediante el soldado de placas. El ángulo de inclinación del techo con respecto a la horizontal varía en torno a 9,5 y 37°.
 - **Soportados:** Se tratan de tanques cuyo techo se haya no solo apoyado en la periferia del tanque, sino que se encuentra estabilizado por una serie de apoyos internos fuera de la periferia. Dentro de este tipo se pueden encontrar techos cónicos para tanques de gran diámetro.



Ilustración 4. Tanque fijo de techo domo

- **Techo flotante:** Este tipo de techos se encuentran apoyados sobre el fluido y tienen el objetivo de eliminar la cámara de aire entre la superficie del líquido y el techo, evitando la evaporización del líquido, manteniendo constante el volumen del producto almacenado. Son utilizados para líquidos

inflamables. Sus especificaciones se encuentran dentro del Anexo C del estándar. Dentro de este tipo se clasifican:

- **Cubiertos:** Son techos flotantes que no se encuentran expuestos al ambiente y por tanto se encuentran aislados de la radiación solar, lluvias, nieve ...
- **Externos:** Son techos que se encuentran expuestos a las condiciones ambientales. Estos tipos de techos pueden estar fabricados por una o dos capas de materiales, recibiendo el nombre de techos flotantes de cubierta externa simple y doble respectivamente.



Ilustración 5. Tanque de techo flotante

2.4. Descripción del parque de almacenamiento de combustibles

El parque de almacenamiento de combustibles localizado en la explanada de Isla Verde Exterior presenta una capacidad de 100.000 m³ de combustibles distribuidos en Fuel-Oil n°1 de Cogeneración y Gas-Oil tipo B. El volumen total de almacenamiento se dividirá en 10 tanques de 10.000 m³ de capacidad cada uno, para así garantizar una mayor seguridad en el abastecimiento de los productos almacenados.

El parque de almacenamiento estará basado en 10 tanques de forma cilíndrica, verticales, destinados a almacenar grandes volúmenes de productos a presiones atmosféricas o similares, no refrigerados y apoyados sobre cimentación como define el Standard API 650.

En cuanto a los materiales, serán de acero soldado, elegidos siguiendo las especificaciones técnicas del Standard API 650 y la Norma Europea UNE EN ISO 14015 tanto para techo, cuerpo, fondo y accesorios.

El tipo de fondo de los tanques estará basado en función de distintas consideraciones, como el tamaño del tanque, cimientos, desalojo del producto y corrosión del fondo entre otros.

La elección de los techos de dichos tanques se ha realizado en función del producto a almacenar, por tanto, según lo establecido en la ITC IP-02 se puede afirmar que dentro de los combustibles a almacenar se encuentran combustibles no inflamables, llegando a la decisión de construir tanques de almacenamiento cilíndricos verticales de techo fijo autosoportados para los combustibles tipo C (Fuel-Oil y Gas-Oil).

2.5. Diseño de Tanques de almacenamiento según API 650

Para acometer el diseño de los tanques según el Standard API 650, dicha norma considera una serie de criterios para comenzar a calcular los elementos del tanque, se pueden encontrar aproximadamente cinco criterios de diseño establecidos en el apartado 3.2 de dicho estándar:

- **Cargas:** Son consideradas todas las cargas que actúan en el tanque (carga muerta, prueba hidrostática, carga viva, nieve, viento...)
- **Combinaciones de cargas:** Se trata de las combinaciones de las cargas anteriores que puedan ocasionar en el tanque deformaciones externas. De todas esas combinaciones hay que considerar las condiciones más desfavorables sometidas a diferentes escenarios para el diseño.
- **Factores de diseño:** El usuario, a través de las condiciones ambientales de la zona en la que se aloja el tanque, es el encargado de definir la temperatura de diseño del metal, la gravedad específica de diseño, la tolerancia a la corrosión y la máxima temperatura de diseño.
- **Medidas de protección:** El comprador debe considerar la tolerancia por corrosión, test de dureza u otras medidas para tener una garantía en el uso de su planta.
- **Capacidad del tanque:** Se refiere a la máxima capacidad del tanque, es decir el volumen de fluido que alcanza el nivel de diseño del tanque. Igualmente se debe especificar la capacidad neta del tanque, como el volumen de producto disponible bajo las condiciones de operación y el nivel de sobrellenado del tanque. También es importante tener en cuenta la capacidad mínima operativa para tener en cuenta las cargas de viento para que el tanque no vuelque.

2.5.1. Conceptos en el diseño de tanques

- **Carga muerta (D_L):** Peso propio del tanque y de los elementos que componen el tanque (techo, escaleras...)
- **Presión interna de diseño (P_i):** Presión (manométrica) en el interior del tanque, generalmente 0, aunque en dicho estándar se pueden aplicar a veces una presión de 18 kPa.
- **Prueba hidrostática (H_t):** Consiste en el llenado del tanque por un fluido, generalmente agua, hasta el nivel de diseño del líquido.
- **Cargas de techo flotante interno (D_f , L_{f1} , L_{f2}):** Son los efectos que puede causar el peso del techo sobre el fluido en el caso de que hubiera un techo flotante.
- **Carga viva mínima en el techo (L_r):** Es una carga variable externa que son aplicadas en el techo, una de las cargas más usadas es la carga de tránsito debido a que el personal tiene que caminar por encima del techo a la hora de la inspección.
- **Sismo (E):** Presenta las cargas aplicadas en el tanque como consecuencia de los sismos, por tanto, hay que tener en cuenta las características y el historial sismoterrestre de la zona.
- **Nieve (S):** Son las cargas que origina el peso de la nieve que se acumula en el techo del tanque, por lo que se deberá de considerar el clima de la zona.
- **Líquido almacenado (F):** Hay que considerar la densidad y peso específico del fluido que se va a almacenar.
- **Prueba de presión (P_t):** Ensayo de presurización interna para contemplar esa presión que algunos tanques reciben. Por lo general es un poco mayor a la presión interna de trabajo.
- **Presión externa (P_e):** No deberá ser menor de 0,25 kPa y mayor de 6,9 kPa.
- **Viento (W):** Se refiere a la acción del viento sobre el tanque que puede ocasionar el volcado o la deformación del tanque.

2.5.2. Materiales

Antes de empezar el cálculo y diseño de los tanques, es imprescindible seleccionar el material que van a conformar el cuerpo, fondo, cubierta, accesorios y tubuladuras del tanque, dentro del rango de aceros que existen en el mercado y los cuales son habilitados en la Sección 4 del código API 650.

El estándar API 650 no trabaja de manera individual, sino que se apoya en especificaciones de normativas de otras instituciones especializadas en dicho ámbito, como es el caso de las normas A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials), CSA (Canadian Standard Association), ISO (International Organization for Standardization). Igualmente se pueden elegir materiales que no estén especificados en dichos códigos, pero estos deben estar certificado en el perfecto cumplimiento de todos los requisitos del tanque.

Láminas

Atendiendo a la sección 4.2 se puede saber que placas o láminas que forman parte del cuerpo, fondo o techo se piden en función de los espesores o el peso por unidad de área (kg/m^2), teniendo en cuenta que no deben ser menor que los espesores permitidos y el peso debe ser suficientemente grande para no obtener espesores por debajo de lo permitido, teniendo una aproximación en 0,25 mm de espesor real que o debe ser inferior al diseñado. Dichos espesores de las láminas pueden alcanzar espesores máximos de 45 mm a menos que las especificaciones de los estándares no permitan otro rango, aunque las placas utilizadas en protecciones o bridas pueden ser más gruesas.

Dentro de la sección 4.2 de materiales de dicho estándar y como bien se ha añadido antes, existen especificaciones individuales de otras instituciones de estandarizaciones de materiales indicando aquellos materiales que son aprobados por el API 650 y que se encuentran establecidos desde el apartado 4.2.2 hasta el apartado 4.2.5.

Según la sección 4.2.9 destinada a los requerimientos de tenacidad del material, los espesores o temperaturas mínimas de diseño de todas las láminas que conforman el cuerpo del tanque o en otros casos presentan uniones a él, deben de estar conforme a la figura 1 y 2.

Por tanto, un criterio para la elección del material será la temperatura máxima y mínima de diseño. Atendiendo al apartado 4.2.9.5, la temperatura media mínima se define como 8 °C por encima de la temperatura media mínima de un día en el emplazamiento donde se ubica el tanque. Del mismo modo se expone una restricción en cuanto a la temperatura máxima de diseño del material, que debe ser mayor o igual que la temperatura de operación del tanque, considerando como temperatura de operación, la temperatura más alta esperada durante la vida útil del tanque. Es por eso que para la elección de dichos materiales se tomarán los datos climatológicos de la zona.

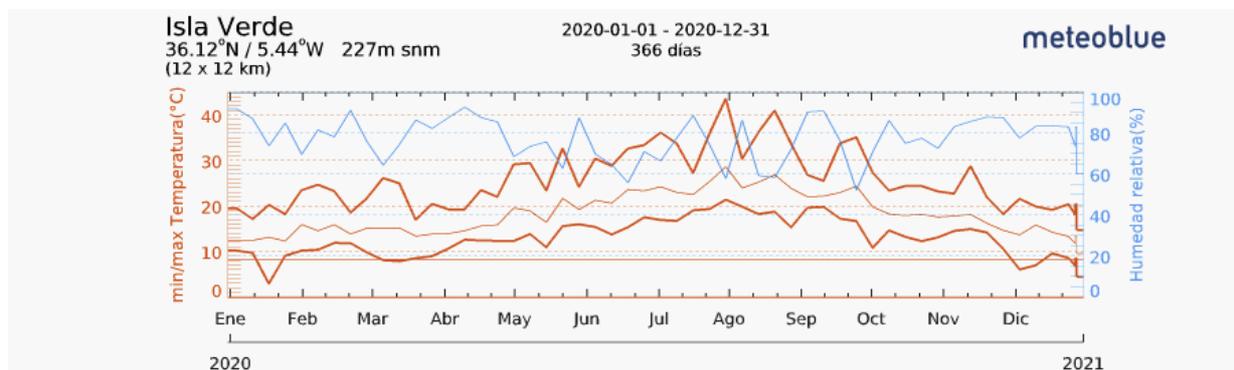


Ilustración 6. Gráfica de temperaturas en el Puerto de Isla Verde

Los datos climatológicos extraídos de la Bahía de Algeciras (Puerto de Isla Verde) están basados durante el año 2020. Del presente gráfico se puede extraer que las temperaturas máximas se obtienen durante los meses de verano, alcanzando una temperatura media máxima de 28 °C, alcanzándose picos en verano que llegan a sobrepasar los 40 °C. Por el contrario, como se ve en la línea inferior las temperaturas mínimas medias de la zona llegan a 11 °C, aunque se observa en la ilustración 6, una temperatura mínima de -1 °C alcanzada en raras ocasiones.

Se llega a la conclusión que las temperaturas de diseño para la elección de los materiales son:

- T_{min} diseño: -1 °C
- T_{max} operación: 40 °C
- T_{max} diseño: T_{max} operación + $\Delta T = 60$ °C (Suponiendo un margen $\Delta T = 20$ °C)

Como bien se ha dicho, dentro de los materiales especificados por la normativa americana ASTM se pueden encontrar diversos rangos de aceros inoxidables y aceros al carbón cuyas tensiones admisibles cumplan con las características funcionales del tanque:

Láminas, perfiles

- ASTM A-36 (Acero estructural): Se utilizan para espesores iguales o menores de 40 mm en perfiles comerciales o ensamblados de los elementos estructurales del tanque.
- ASTM A-131 (Acero estructural)
 - Grado A: Presenta espesor menor o igual a 12,7 mm.
 - Grado B: Para espesor menor o igual a 25,4 mm.
 - Grado C: Para espesores iguales o menores a 38 mm.
 - Grado EH36: Para espesores iguales o menores a 44,5 mm.
- ASTM A-283 (Placas de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión)
 - Grado C: Para espesores iguales o menores a 25 mm. Se trata de un material polivalente ya que puede formar parte del cuerpo, techo y fondo, así como para accesorios y perfiles estructurales.
- ASTM A-285 (Placa de acero al carbón con medio y bajo esfuerzo a la tensión)
 - Grado C: Para espesores iguales o menores de 25,4 mm. Es un material muy recomendable para las partes principales del tanque y menos recomendable para elementos estructurales debido a su elevado coste.
- ASTM A-516 (Placa de acero al carbón para temperaturas de servicio moderado)
 - Grados 55, 60, 65 y 70: Presentan espesores iguales o menores de 38 mm. Es un material de alta calidad, de costo elevado utilizados en casos donde el esfuerzo a la tensión es alto.
- ASTM A-537, Clase 1 y 2: Para placas con un espesor máximo de 40 mm. Son láminas utilizadas para tanques a presión.
- ASTM A-573: Láminas de acero al carbono estructural en grados 58, 65 y 70 de 40 mm de espesor máximo.
- ASTM A-633: Acero de alta dureza, presenta baja aleación. Grados C y D para placas de espesor máximo 45 mm
- ASTM A-662: Este material se utiliza para tanques a presión para bajas o temperaturas moderadas, en grados C y D en espesores no mayores a 40 mm.

Tuberías

- A-53: Tubos de acero y conformados por medio de proceso al caliente. Grados A y B.
- A-106: Acero al carbono usadas para altas temperaturas sin costuras. Grados A y B.

- A-333: Tubo en acero soldado y sin costura, usados a bajas temperaturas. Grados 1 y 6.
- A-334: Acero con aleaciones al carbono para tubos soldados y si costuras, utilizados a baja temperatura. Grados 1 y 6.
- A-524: Acero al carbono sin costura, usados a bajas temperaturas y a presión atmosférica. Grados 1 y 2.
- A-671: Acero fundido para ser soldado a fusión eléctrica, usados a bajas temperaturas y presiones atmosféricas.

Forjas

- A-105: Forja de acero al carbón para accesorios de acoplamiento de tuberías.
- A-181: Forja de acero al carbón para usos en general en tuberías
- A-350: Aceros de baja aleación al carbono utilizados para forjas que requieren pruebas de dureza de ranuras, utilizados en tuberías. Grados LF1 y LF2.

Tornillería

- A-193
 - Grado B7: Material de tornillería sometidos a elevadas temperaturas y resistencia, menores a 64 mm de diámetro.
- A-194
 - Grado 2H: Material para tuercas a alta temperatura y resistencia
- A-307
 - Grado B: Material de tornillos y tuercas para usos en general.

Una vez establecida la temperatura mínima de diseño se procede a la elección de materiales que van a conformar el tanque en función de la ilustración 7, en las que se relacionan la temperatura de diseño con el espesor del material a utilizar. El procedimiento para la elección del material es seleccionar el grupo de materiales por espesor a la temperatura mínima de diseño, estableciendo el material elegido dentro de los grupos detallados en las tablas 4-4a y 4-4b de la normativa americana.

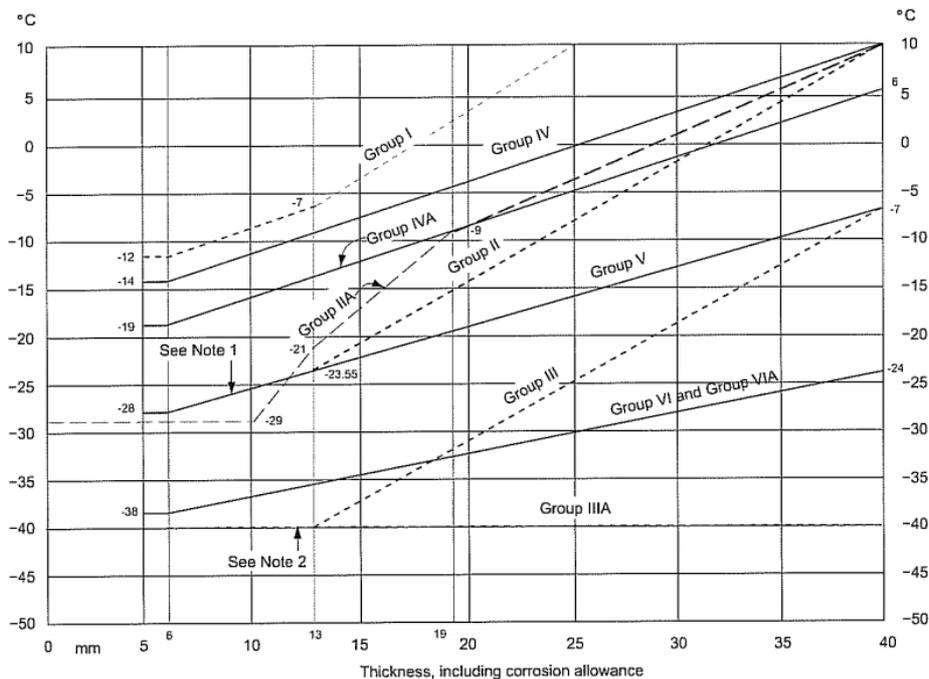


Ilustración 7. Gráficas de temperaturas de diseño y espesores de láminas, ASTM

Los materiales del cuerpo, fondo y techo también serán elegidos en función de las propiedades mecánicas de los materiales, haciendo referencia a la tensión máxima permisible de diseño (S_d), calculado con el llenado del fluido a almacenar (tomando la densidad relativa) y con la tensión máxima admisible para la prueba hidrostática (S_t) calculada con el llenado de agua para el mismo nivel de llenado.

Los valores de S_d y S_t para cada material se obtienen de los valores proporcionados por el estándar en la tabla 5-2^a, para aquellos materiales acogidos al estándar ASTM:

Plate Specification	Grade	Plate Thickness t mm	Minimum Yield Strength Mpa	Minimum Tensile Strength Mpa	Product Design Stress S_d Mpa	Hydrostatic Test Stress S_t Mpa
ASTM Specifications						
A 283M	C		205	380	137	154
A 285M	C		205	380	137	154
A 131M	A, B, CS		235	400	157	171
A 36M	—		250	400	160	171
A 131M	EH 36		360	490 ^a	196	210
A 573M	400		220	400	147	165
A 573M	450		240	450	160	180
A 573M	485		290	485 ^a	193	208
A 516M	380		205	380	137	154
A 516M	415		220	415	147	165
A 516M	450		240	450	160	180
A 516M	485		260	485	173	195
A 662M	B		275	450	180	193
A 662M	C		295	485 ^a	194	208
A 537M	1	$t \leq 65$	345	485 ^a	194	208
		$65 < t \leq 100$	310	450 ^b	180	193
A 537M	2	$t \leq 65$	415	550 ^a	220	236
		$65 < t \leq 100$	380	515 ^b	206	221
A 633M	C, D	$t \leq 65$	345	485 ^a	194	208
		$65 < t \leq 100$	315	450 ^b	180	193
A 678M	A		345	485 ^a	194	208
A 678M	B		415	550 ^a	220	236
A 737M	B		345	485 ^a	194	208
A 841M	Class 1		345	485 ^a	194	208
A 841M	Class 2		415	550 ^a	220	236

Tabla 4. Tabla de materiales ASTM en función de las propiedades mecánicas

Los valores de los esfuerzos máximos permitidos de diseño se originan del menor valor entre dos tercios del límite elástico ($2 \cdot S_y/3$) y dos quintos de la tensión de rotura ($2 \cdot S_u/5$) del material. De la misma forma, los esfuerzos máximos permisibles para prueba hidrostática surgen del menor valor entre tres cuartos del límite elástico ($3 \cdot S_y/4$) y tres séptimos de la tensión a la rotura ($3 \cdot S_u/7$).

En conclusión, atendiendo a las especificaciones de la sección 4 de Materiales del API 650 se han seleccionado los materiales de construcción que se indican a continuación para cada una de las partes principales del tanque:

Cuerpo		S275JR
Techo		S275JR
Fondo		S275JR
Tubuladuras		A-106 Gr.B
Tubuladuras	Bridas	A-105
	Tuberías	A-106 Gr.B
Accesorios y elementos internos		A-36 / A-573 Gr.70
Tornillos / Tuercas		A-193 Gr.B7 / A-194 Gr.2H

Tabla 5. Materiales empleados en el tanque

En base a la experiencia, para las partes principales del tanque se va a utilizar el acero estructural S275JR, similar o equivalente al acero ASTM A-36 para la normativa EN 10025:2020. Cuyas propiedades mecánicas son las siguientes:

Material	Límite elástico, S_y (Mpa)	Resistencia a la tracción, S_u (Mpa)	Tensión admisible de servicio, S_a (Mpa)	Tensión admisible de prueba hidrostática, S_t (Mpa)
S275JR	275	430	172	184,29

Tabla 6. Materiales empleados en las componentes principales del tanque

2.5.3. Tubuladuras

Los tanques de almacenamiento no constan solamente de cuerpo, techo y fondo, sino que están provistos de muchos más elementos destinados al perfecto cumplimiento de las necesidades del tanque, necesitando la presencia de tubuladuras, así como los distintos instrumentos utilizados para el perfecto control de la seguridad del tanque.

Las tubuladuras son conexiones que pueden estar presente en las paredes, cubierta o fondo del tanque, que sirven para poner en contacto el tanque con el exterior.

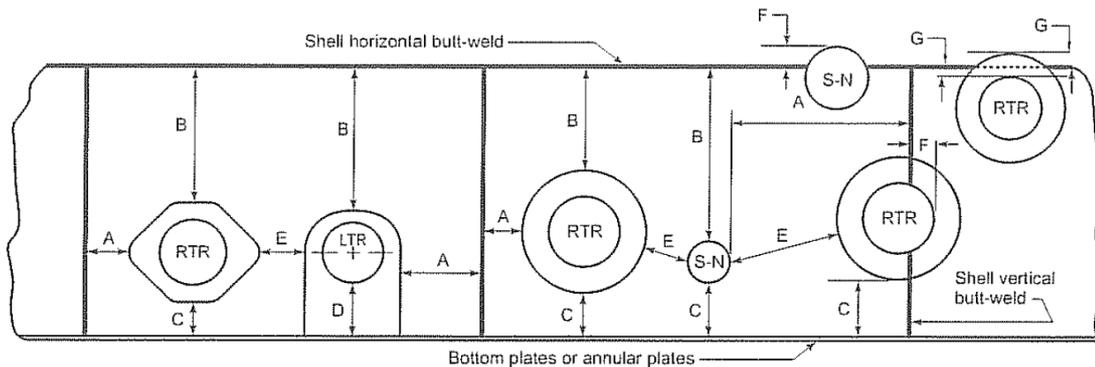
Los accesorios que están integrados en los tanques de almacenamiento son:

- Entradas de producto: Sirve para el llenado del tanque del producto a almacenar. En este caso, dicha apertura estará colocada en la parte alta del cuerpo, definiendo el nivel máximo de llenado o nivel de diseño del tanque.
- Salidas del producto: Dicha apertura define el mínimo nivel de producto del tanque, por lo que estará situada en la parte baja del cuerpo del tanque con la finalidad de realizar una descarga por gravedad.
- Drenaje: Se encuentra en la parte más baja del fondo del tanque cuya finalidad es la de vaciar completamente el tanque.
- Venteo: Se encuentran colocados en el techo del tanque con la finalidad de amortiguar las posibles sobrepresiones que se puedan originar en el interior del tanque.
- Entradas de hombre-envolvente (Manhole): Se trata de grandes aperturas situadas en el cuerpo del tanque, diseñadas para realizar labores de limpieza en el interior por parte del personal de mantenimiento.
- Entradas de hombre-techo: La finalidad es la misma que la situada en el cuerpo del tanque, aunque en este caso se utiliza para posibles mantenimientos en el techo cuando el tanque está vacío.
- Toma de muestras: Dicha apertura se encuentra situada en el cuerpo del tanque, con la finalidad de obtener pequeñas cantidades del producto almacenado para controles de calidad.
- Entrada/Salida serpentín: La instalación del serpentín se realiza en el fondo del tanque, con el objetivo de mantener la temperatura del producto a almacenar, controlando la viscosidad ante posibles bajadas de temperatura en líquidos viscosos. En este caso, el fluido calefactor utilizado se trata de vapor.
- Rebose: Se encuentra situado en la parte alta del cuerpo del tanque, específicamente por debajo de la cota de la tubuladura de entrada de producto y justo por encima del nivel de diseño del producto. Esta apertura de dimensiones iguales a las de entrada de producto sirve para prevenir que el nivel de llenado no llegue al nivel geométrico del tanque en la ocasión en la que los sensores o elementos de control fallen.

- Transmisor de temperatura: Sensor colocado en el tanque para detectar posibles aumentos de temperatura.
- Nivel radar: Se trata de un instrumento capaz de proporcionar el valor porcentual de llenado del tanque. A parte controla la válvula de llenado del tanque.
- Sensor nivel alto y bajo: Ambos sensores se encuentran situados en la cota máxima y mínima del nivel de líquido, con el objetivo de enviar una señal al controlador en momento que se supera el set point de la variable a controlar, en este caso el nivel máximo y mínimo de líquido.

El diseño de dichas tubuladuras viene especificado en el estándar API 650 en la sección 5.7. En virtud del apartado 5.7.1. del estándar API 650, se pueden distinguir aquellas tubuladuras que requieren refuerzos y aquellas que no. En el caso de los tanques diseñados todos estarán ataviados de conexiones bridadas welding neck.

Para diseñar la situación de las tubuladuras en el tanque, así como el dimensionamiento de las mismas, se tendrá en cuenta el apartado 5.7.1.9, donde gracias a la figura 5-6 se definirán las distancias mínimas necesarias entre las aperturas u otros elementos del tanque.



Note:

- RTR = Regular-Type Reinforced Opening (nozzle or manhole) with diamond or circular shape reinforcing plate or insert plate that does not extend to the bottom (see Figure 5-7A and Figure 5-8).
- LTR = Low-Type Reinforced Opening (nozzle or manhole) using tombstone type reinforcing plate or insert plate that extends to the bottom [see Figure 5-8, Detail (a) and Detail (b)].
- S-N = Shell openings with neither a reinforcing plate nor with a thickened insert plate (i.e., integrally reinforced shell openings; or openings not requiring reinforcing).

Ilustración 8. Esquema de los tipos de tubuladuras ubicadas en el tanque

Para el diseño de los tanques se utilizarán refuerzos tipo RTR y S-N como se ven en la siguiente imagen:

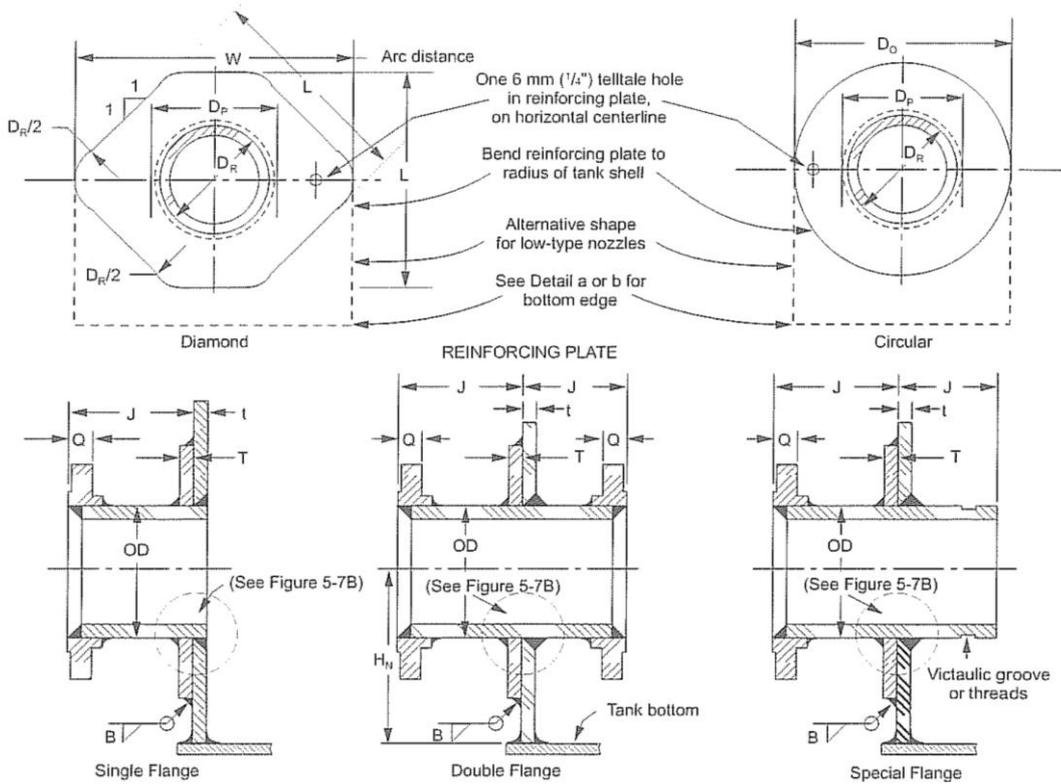


Ilustración 9. Cotas de los componentes de las tubuladuras del tanque

Atendiendo al apartado 5.7.2.1, se indica que la mínima área de la sección transversal del refuerzo, no deberá ser menor que el producto del diámetro vertical de la apertura realizada en la carcasa por el espesor nominal de las placas donde se encuentre dicha apertura.

De la misma forma en el apartado 5.7.2.3 se establece que el radio exterior del refuerzo de dicho agujero debe ser mayor que el diámetro de este.

Una vez establecido, los requerimientos aplicables por el estándar, se va a insertar la lista de tubuladuras, donde se especificarán las dimensiones de los refuerzos atendiendo a la tabla 5-6a para las localizadas en el cuerpo:

		BRIDAS				TUBERIAS Y DIMENSIONES REFUERZOS TABLA 5-6a API650							
CÓDIGO	NPS (inch)	TIPO	UBICACIÓN	RATING	MATERIAL	MATERIAL	J (mm)	SERVICIO	Do (mm)	Dr (mm)	t _n (mm)	H _N (mm)	MATERIAL REFUERZO
N1	12"	Welding Neck	Cuerpo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	200	Entrada producto	685	327	12,7	593	S-275JR
N2	14"	Welding Neck	Cuerpo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	275	Salida producto	750	359	12,7	625	S-275JR
N3	12"	Welding Neck	Cuerpo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	200	Rebose	685	327	12,7	593	S-275JR
N4	24"	API 650	Cuerpo	150#	S-275JR	S-275JR	300	Boca de hombre	1255	613	12,7	734	S-355JR
N5	4"	Welding Neck	Fondo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	175	Drenaje	-	-	8,56	259	S-275JR
N6	2"	Welding Neck	Cuerpo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	150	Entrada Serpentin	-	-	5,54	175	S-275JR
N7	2"	Welding Neck	Cuerpo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	150	Salida Serpentin	-	-	5,54	175	S-275JR
N8	1 ½"	Welding Neck	Cuerpo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	150	Indicador Nivel Bajo	-	-	5,08	150	S-275JR
N9	1 ½"	Welding Neck	Cuerpo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	150	Indicador Nivel Alto	-	-	5,08	150	S-275JR
N10	1 ½"	Welding Neck	Cuerpo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	150	Transmisor de Temperatura	-	-	5,08	150	S-275JR

Tabla 7. Dimensiones de las tubuladuras ubicadas en el cuerpo del tanque

Para las dimensiones de los refuerzos de las tubuladuras ubicadas en el techo, se utilizará la tabla 5-14a, donde los valores de Hr para las boquillas del techo son equivalentes a los de J en el cuerpo (avance del cuello), al igual que Dr (Diámetro exterior del refuerzo) equivalente a Do en el cuerpo. Para las bocas de hombres se utilizará la tabla 5-13a:

		BRIDAS				TUBERIAS Y DIMENSIONES REFUERZOS TABLA 5-6a API650						
CÓDIGO	NPS (inch)	TIPO	UBICACIÓN	RATING	MATERIAL	MATERIAL	SERVICIO	Dp (mm)	Dr (mm)	T (mm)	Hr (mm)	MATERIAL REFUERZO
N11	24"	API 650	Techo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	Boca de hombre	625	1150	6	150	S-275JR
N12	8"	Welding Neck	Techo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	Venteo	225	450	6	150	S-275JR
N13	8"	Welding Neck	Techo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	Venteo emergencia	225	450	6	150	S-275JR
N14	1 ½"	Welding Neck	Techo	150#	ASTM A-105	ASTM A-106 Gr.B	Venteo emergencia	50	125	6	150	S-275JR

Tabla 8. Dimensiones de las tubuladuras ubicadas en el techo del tanque

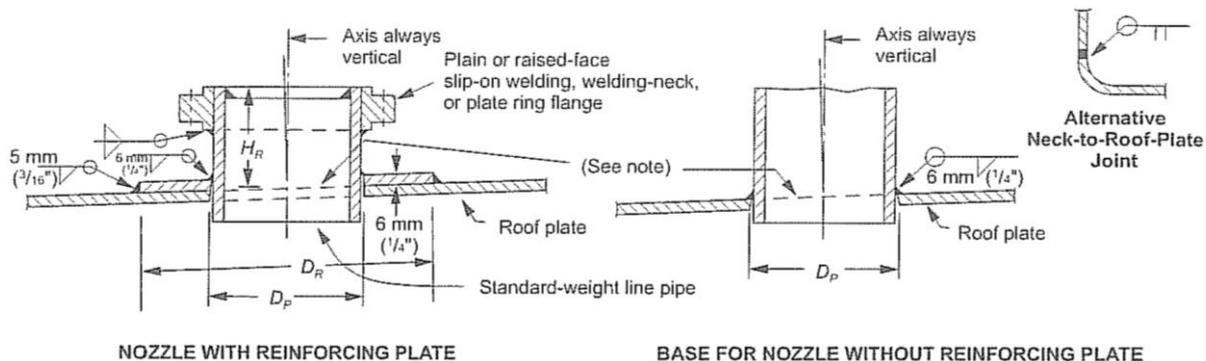


Ilustración 10. Boquillas con láminas de refuerzo y sin refuerzo

2.5.3.1. Ubicación de las tubuladuras

A modo de ejemplo se ubicarán las tubuladuras de entrada y salida de producto, así como la tubuladura de rebose, atendiendo a la figura 5-6 del API 650:

Variables		Reference	Minimum Dimension Between Weld Toes or Weld Centerline (1)(3)						
Shell t	Condition	Paragraph Number	A (2)	B (2)	C (2)	D (3)	E (2)	F (4)	G (4)
$t \leq 12.5$ mm ($t \leq 1/2$ in.)	As welded or PWHT	5.7.3.2	150 mm (6 in.)	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$ 75 mm (3 in.) for S-N	Table 5-6a and Table 5-6b	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	$8t$ or $1/2 r$	$8t$
		5.7.3.3							
		5.7.3.3							
		• 5.7.3.4 • 5.7.3.4							
$t > 12.5$ mm ($t > 1/2$ in.)	As Welded	5.7.3.1.a	$8W$ or 250 mm (10 in.)	$8W$ or 250 mm (10 in.)	$8W$ or 250 mm (10 in.) 75 mm (3 in.) for S-N	Table 5-6a and Table 5-6b	$8W$ or 150 mm (6 in.)	$8t$ or $1/2 r$	$8t$
		5.7.3.1.b							
		5.7.3.3							
		• 5.7.3.4 • 5.7.3.4							
$t > 12.5$ mm ($t > 1/2$ in.)	PWHT	5.7.3.2	150 mm (6 in.)	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$ 75 mm (3 in.) for S-N	Table 5-6a and Table 5-6b	75 mm (3 in.) or $2^{1/2}t$	$8t$ or $1/2 r$	$8t$
		5.7.3.3							
		5.7.3.3							
		• 5.7.3.4 • 5.7.3.4							

Notes:
 1. If two requirements are given, the minimum spacing is the greater value, except for dimension "F." See Note 4.
 2. t = shell thickness. $8W$ = 8 times the largest weld size for reinforcing plate or insert plate periphery weld (fillet or butt-weld) from the toe of the periphery weld to the centerline of the shell butt-weld.
 3. D = spacing distance established by minimum elevation for low-type reinforced openings from Tables 5-6a and 5-6b, column 9.
 4. Purchaser option to allow shell openings to be located in horizontal or vertical shell butt-welds. See Figure 5-9.
 t = shell thickness, r = radius of opening. Minimum spacing for dimension F is the lesser of $8t$ or $1/2 r$.

Tabla 9. Tabla 5-6 API 650, mínimas dimensiones respecto a las soldaduras de las tubuladuras

Al tener refuerzos tipo S-N RTR se tendrán en cuenta las siguientes distancias:

- A: Distancia mínima a las soldaduras verticales.
- B: Distancia mínima a las soldaduras horizontales superiores.
- C: Distancia mínima a las soldaduras horizontales inferiores.

- **Ubicación tubuladura de entrada:**

La ubicación se realizará en la zona alta del tanque, específicamente en la última virola, de espesor menor que el espesor establecido en la figura 5-6 del estándar igual a 12,5 mm. Por tanto, en función a dicha condición los valores de A, B y C toman los valores mínimos de 150, 75 y 75 mm respectivamente.

- **Ubicación tubuladura de vaciado:**

La tubuladura de salida de producto se situará en la parte baja del tanque, en la virola n°1, de espesor 16 mm, mayor que el espesor recomendado en la figura 5-6. Es por ello, que las distancias A, B y C toman valores de 250 mm.

2.5.4. Condiciones de diseño

En todos los criterios en los que se basa la Norma, el usuario y el receptor final del tanque es el encargado de proporcionar la información relativa a las condiciones de diseño ya que es el mejor conocedor de las características del fluido que va a almacenar, las condiciones ambientales y la localización de dicho tanque. Si no fuera así la constructora tendrá la obligación de proporcionar dicha información al cliente y este aprobar o no las condiciones. En este caso la figura tanto del usuario como de la constructora serán una, debido al carácter académico de dicho documento.

El Anexo L del Estándar API 650 presenta un “data sheet” (hoja de datos) que sirve de ejemplo para orientar a compradores y fabricantes para el cálculo de tanques de almacenamiento atmosférico y es el documento que servirá de guía para especificar cada uno de los datos que hay que incorporar y calcular, para definir el tanque de almacenamiento de combustible correctamente.

De este modo, se comenzará con los principales datos de partida requeridos para comenzar con el diseño de los tanques y que se especificarán para cada uno de los productos a almacenar:

Datos Geométricos	Símbolo	T-01 ; T-10	T-01 ; T-10	Unidades
Tipo de Techo		Fijo	Fijo	
N° de depósitos		10	10	
Vol. Nominal tanque	Vn	10.000	10.000	m ³

Tabla 10. Datos iniciales de los tanques

Datos del producto	Símbolo	T-01 ; T-10	T-01 ; T-10	Unidades
Producto almacenado		Fuel-Oil n°1	Gas-Oil tipo B	
Densidad de diseño	ρ	991	880	Kg/m ³
Densidad de prueba	ρ_h	1000	1000	Kg/m ³
Temperatura de operación	T_{op}	40	40	°C
Temperatura de diseño max	T_{dmax}	60	60	°C
Temperatura de diseño min	T_{dmin}	-1	-1	°C
Temperatura min diseño metal	MDMT	-1	-1	°C
Presión de operación	P_{op}	0	0	Kg/cm ² (g)
Presión de diseño interna	P_{dint}	0	0	Kg/cm ² (g)
Presión diseño externa	P_{dext}	0.005	0.005	Kg/cm ² (g)
Gravedad específica producto	S_g	0.991	0.880	-
Gravedad específica agua	S_{gl}	1	1	-
Caudal de llenado	Q_{in}	500	500	m ³ /h
Caudal de vaciado	Q_{out}	600	600	m ³ /h

Tabla 11. Datos del producto almacenado

Datos sísmicos	Símbolo	T-01 ; T-10	T-01 ; T-10	Unidades
Localización		Algeciras	Algeciras	-
Aceleración sísmica básica	a_b/g	0.04	0.04	-
Coefficiente de contribución	k	1.2	1.2	-

Tabla 12. Datos sísmicos de la zona

Cargas de diseño	Símbolo	T-01 ; T-10	T-01 ; T-10	Unidades
Velocidad de viento	W	29	29	m/s
Velocidad de viento especif.		190	190	Km/h
Sobrecargas de nieve	S	0.2	0.2	kN/m ²
Categoría de exposición		C	C	-
Carga viva del techo	L_r	1	1	kN/m ²

Tabla 13. Cargas de diseño en la zona

Materiales	Símbolo	T-01 ; T-10	T-01 ; T-10	Unidades
Espesor de corrosión techo	C.A.R.	2	2	mm
Espesor de corrosión cuerpo	C.A.	2	2	mm
Espesor de corrosión fondo	C.A.B.	2	2	mm

Tabla 14. Sobreespesor por corrosión

2.5.4.1. Cálculo de la capacidad del tanque

Dentro del apartado 5.2.6 del API 650 se desarrolla los distintos factores que intervienen dentro de la capacidad del tanque.

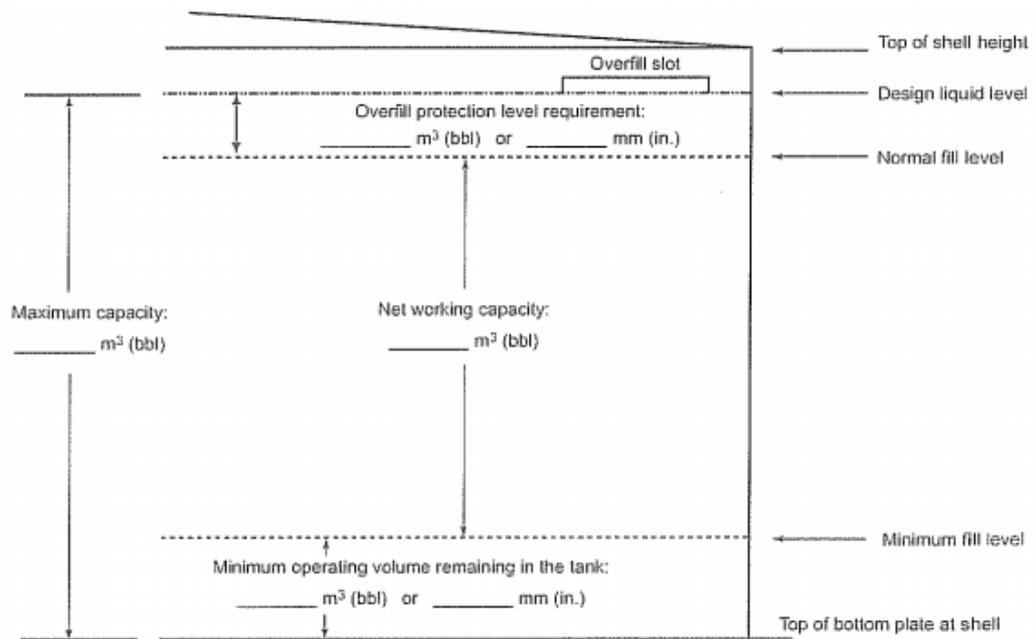


Ilustración 11. Esquema de la capacidad de un tanque

A continuación, se van a definir cada una de las partes que componen la ilustración 12 y se detallará el procedimiento de cálculo para tener dimensionadas todas las partes que componen el volumen de los tanques, fijando para cada uno de los tanques los parámetros siguientes:

- Di Diámetro interno del tanque (m)
- Ai Área interna del tanque (m²)
- Sg_{f-o} Gravedad específica de diseño del Fuel-Oil
- Sg_{g-o} Gravedad específica de diseño del Gas-Oil
- Sgl Gravedad específica del agua para prueba hidrostática

DLL	Nivel máximo de líquido de diseño (m)
dH	Nivel neto de operación (m)
MFL	Nivel mínimo de llenado (m)
NFL	Nivel normal de llenado (m)
Hf	Espacio libre (m)
Hh	Nivel de líquido en prueba hidrostática (m)
Ht	Altura del depósito hasta bordillo del techo (m)
Vn	Capacidad neta del tanque (m ³) o Volumen neto de operación
Vm	Capacidad máxima del tanque (m ³)
Vh	Volumen durante la prueba hidrostática (m ³)
Vg	Capacidad geométrica del tanque (m ³)
Vmin	Volumen mínimo del tanque (m ³)
Wc	Peso del fluido de operación (Kg)
Wh	Peso medio de la prueba hidrostática (Kg)

El principal objetivo a la hora de determinar el volumen de los tanques es definir una capacidad neta de operación V_n , de 10.000 m³ de combustible para cada uno de los tanques.

Para calcular el volumen de un tanque solamente hay que aplicar la ecuación que determina el volumen de un cilindro:

$$Vn = \frac{\pi * Di^2}{4} * dH \quad \text{Ecuación 1}$$

A partir de este momento, se obtiene una fórmula con dos grados de libertad, el diámetro interno Di y el nivel neto de operación. Por tanto, para resolver este obstáculo, se integra una restricción que relacione dos variables y que es conocida gracias a la experiencia en el dimensionamiento de tanques de almacenamiento atmosféricos:

$$0,6 \leq \frac{Ht}{Di} \leq 0,8 \quad \text{Ecuación 2}$$

Con el diámetro Di fijado, se puede calcular la variable restante siempre y cuando se cumpla dicha restricción.

En el almacenamiento de los productos es importante que los tanques nunca lleguen a estar completamente vacíos, con el objetivo de evitar la cavitación de las bombas que impulsan el fluido a almacenar a los distintos destinos y así tenerlas completamente cebadas. En función de la situación de la tubuladura de vaciado se deja un nivel mínimo de 0,8 m de llenado. Además, para avisar del bajo nivel de almacenamiento se suelen localizar sensores a 10 cm por encima del nivel mínimo de llenado de las bombas, llegando a la conclusión de 0,9 m de nivel mínimo de llenado MFL.

Siguiendo con los demás parámetros, se puede determinar el nivel normal de llenado NFL, introduciendo los datos de nivel mínimo de llenado MFL junto con el nivel de operación del tanque dH:

$$NFL = dH + MFL \quad \text{Ecuación 3}$$

Por otro lado, es primordial fijar el nivel máximo de líquido de diseño con la restricción siguiente:

$$NFL \leq DLL \quad \text{Ecuación 4}$$

Con esta restricción, se puede garantizar que el nivel normal de llenado jamás alcanzará cotas que provoque una sobrepresión al sobrepasar el nivel máximo de diseño, implementadas normalmente en los elementos de control que respaldan la seguridad de los tanques.

Para el caso de los tanques de techo fijo la altura libre H_f , se calcula con la dimensión de la ola provocada por sismo. A esto, se suma la existencia de la instalación de elementos de control, como la alarma de nivel alto, que requieren dicho espacio, a una cota 0,1 m por debajo de la tubuladura de rebose, situada a 0,7 m del techo. Por tanto, en función de la experiencia se ha definido la cota de nivel de líquido de operación NFL, como 0,1 m por debajo del nivel máximo de llenado (tubuladura de rebose), DLL, fijándose un espacio libre en el techo H_f , aproximadamente de 0,8 m.

$$NFL = DLL - 0,1 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$H_f = H_t - NFL \quad \text{Ecuación 6}$$

Por consiguiente, quedará una altura total del tanque que responde a la suma del nivel máximo de llenado y el espacio libre:

$$H_t = DLL + H_f \quad \text{Ecuación 7}$$

Los demás volúmenes característicos se calcularán atendiendo a dichas fórmulas:

$$V_n = \frac{\pi * Di^2}{4} * (NFL - MFL) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$V_m = \frac{\pi * Di^2}{4} * (DLL) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$V_h = \frac{\pi * Di^2}{4} * (H_h) \quad \text{Ecuación 10}$$

$$V_g = \frac{\pi * Di^2}{4} * (H_t) \quad \text{Ecuación 11}$$

$$V_{min} = \frac{\pi * Di^2}{4} * (MFL) \quad \text{Ecuación 12}$$

Para saber el peso tanto de los productos a almacenar como de la prueba hidrostática se calculan de la siguiente manera:

Peso de fuel-oil en operación: $W_{c_{f-o}} = Vm * Sg_{f-o} * 1000$ Ecuación 13

Peso del gas-oil en operación: $W_{c_{g-o}} = Vm * Sg_{g-o} * 1000$ Ecuación 14

Peso medio de la prueba hidrostática: $Wh = Vm * Sgl * 1000$ Ecuación 15

Una vez desarrollado todo el procedimiento para definir las capacidades de los tanques, se inserta los resultados principales, cumpliendo con la restricción $0,6 \leq Ht/Di \leq 0,8$ y $DLL \geq NFL$ especificada y obteniendo un solo resultado en la tabla paramétrica gracias al programa de cálculo *EES*:

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

dH = 16,3 [m] Di = 28 [m] DLL = 17,2 [m] Hf = 0,8 [m] Ht = 18 [m] MFL = 0,9 [m] NFL = 17,2 [m] rel = 0,6429 vn = 10036 [m³]

Ilustración 12. Resultados de capacidades obtenidos con EES

Como se puede observar, en virtud de los resultados obtenidos, al aproximar los valores del diámetro y la altura geométrica del tanque, se obtiene un volumen aprovechable de 10.036 m³.

	Valores	Unidades
Diámetro interno del tanque	28	m
Área interna del tanque	615,75	m ²
Gravedad específica de diseño del Fuel-Oil	0,991	-
Gravedad específica de diseño del Gas-Oil	0,820-0,880	-
Gravedad específica del agua para prueba hidrostática	1	-
Nivel máximo de líquido de diseño	17,3	m
Volumen neto de operación	10.036≈ 10.000	m ³
Nivel neto de operación	16,3	m
Nivel mínimo de llenado	1	m
Nivel normal de llenado	17,2	m
Espacio libre para techo	0,8	m
Nivel de líquido en prueba hidrostática	17,3	m
Altura del depósito hasta bordillo del techo	18	m
Capacidad máxima del tanque	10.652,5	m ³
Volumen durante la prueba hidrostática	10.652,5	m ³
Capacidad geométrica del tanque	11.083,5	m ³
Volumen mínimo del tanque	554,2	m ³

Peso medio de la prueba hidrostática	10.590.000	kg
Peso de fuel-oil en operación	10.495.618554	kg
Peso del gas-oil en operación	8.832.348	kg

Tabla 15. Valores de las distintas partes de la capacidad de un tanque

Atendiendo al Anexo A de Standard API 650 en la tabla 4-1.a, por la cual se muestran los tamaños típicos de capacidades nominales de almacenamiento, se puede comprobar que el tanque entra dentro de las capacidades recomendadas según la siguiente fórmula:

$$C = 0.785 * Di^2 * Ht$$

Donde:

C o Vg: Capacidad de tanque (m³).

Di: Diámetro interno (m).

Ht: Altura del tanque hasta el bordillo (m).

Dando lugar a $C = 11077 \text{ m}^3 \approx 11083,5 \text{ m}^3$

2.5.5. Diseño del cuerpo del tanque

En esta subsección se va a llevar a cabo el método de cálculo para obtener los espesores de las virolas que conforman el tanque. Igualmente se determinará la cantidad de virolas que completarán la altura del tanque, así como la elección del material para cada una de ellas.

Para las láminas que forman el cuerpo, el espesor requerido tiene que ser el mayor de los espesores calculados entre las condiciones de diseño contando el sobreespesor por corrosión y las condiciones de prueba hidrostática, pero en ningún caso debe ser menor que los espesores mostrados en la siguiente tabla:

Nominal Tank Diameter		Nominal Plate Thickness	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
< 15	< 50	5	³ / ₁₆
15 to < 36	50 to < 120	6	¹ / ₄
36 to 60	120 to 200	8	⁵ / ₁₆
> 60	> 200	10	³ / ₈

Tabla 16. Espesores mínimos de las placas del cuerpo del tanque en función del diámetro

Puesto que los tanques presentan un diámetro de 28 m, el espesor mínimo necesario, incluyendo la tolerancia a la corrosión para el cuerpo debe ser 6 mm.

Se aconseja un ancho de lámina mínimo de 1800 mm en el apartado 5.6.1.2 de la Norma, unidas mediante soldadura a tope y cortadas a escuadra. En este caso el ancho de lámina buscado en el mercado es mayor al ancho mínimo aconsejado por el estándar, 2 metros.

A la hora de calcular los espesores de las virolas hay que tener en cuenta que el esfuerzo calculado para cada virola no debe ser mayor que el esfuerzo permisible del material (impuesto en la tabla 2 del presente documento) y el ancho de las virolas que componen el tanque nunca deben tener valores inferiores a las virolas que les anteceden.

Los valores de S_d y S_t para cada material se obtienen de los valores de las propiedades mecánicas proporcionados en la tabla 2, del documento.

Para calcular el espesor de las láminas del cuerpo del tanque existen dos métodos:

- Cálculo del espesor por el método de un pie.
- Cálculo de espesor por el método punto de diseño variable.

Ambos métodos son utilizados para el cálculo de los espesores de las láminas, pero su utilización está condicionada al diámetro del tanque. El método de un pie se maneja para diámetros menores de 60 m y el método punto de diseño variable para tanques de mayor de 60 m, llegando a la conclusión del empleo del primer método para el cálculo de los espesores.

2.5.5.1. Método de un pie (Method 1-Foot)

El método de un pie calcula espesores permitidos en puntos del tanque situados a 0,3 m (1pie) por encima del borde inferior de cada virola.

En dicho método entran en juego las condiciones de diseño (almacenamiento del producto) y de prueba hidrostática (almacenamiento de agua) que dan el valor del espesor mínimo requerido para cada virola, seleccionando el valor mayor de los resultados de dichas fórmulas:

$$t_d = \frac{4,9 * D * (H_d - 0,3) * S_g}{S_d} + CA \quad \text{Ecuación 16}$$

$$t_t = \frac{4,9 * D * (H_H - 0,3)}{S_t} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

t_d : Espesor por condición de diseño (mm).

t_t : Espesor por condición de prueba hidrostática (mm).

D: Diámetro nominal del tanque, medido desde el punto medio de la virola más baja (m).

H_d : Columna de líquido de diseño (m).

H_H : Columna de líquido de prueba hidrostática (m)

S_d : Tensión permisible de almacenamiento del producto (MPa).

S_t : Tensión admisible de prueba hidrostática (MPa).

S_g : Gravedad específica de diseño del producto almacenado.

CA: Sobrespesor de corrosión de las virolas (mm).

Como se ha seleccionado en la subsección 2.5.2 del presente documento se calcularán los espesores del cuerpo para el material S275JR.

El número de niveles o de virolas que compondrán el cuerpo del tanque se calcula en función de la altura del tanque y el ancho comercial suministrado por el fabricante, designado en 2 m.

$$n^{\circ} \text{ de virolas} = \frac{Ht}{\text{Ancho lámina comercial}} = \frac{18 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 9 \text{ virolas}$$

Para calcular el diámetro nominal del tanque, D, se procede a un procedimiento iterativo con el programa de cálculo EES suponiendo como dato de diámetro:

$$D = Di + t_{max} \quad \text{Ecuación 18}$$

De modo que se obtendrá el valor D cuando el espesor máximo t_{max} coincida con el espesor máximo de la primera virola t_{d1} o t_{t1} .

1..10	1	2	3	4
	t_{d1f}	t_{t1f}	t_{max}	D
Run 1	15,52	12,74	0,0155	28,02
Run 2	15,52	12,74	0,01552	28,02
Run 3	15,52	12,74	0,01554	28,02
Run 4	15,52	12,74	0,01557	28,02
Run 5	15,52	12,74	0,01559	28,02
Run 6	15,53	12,74	0,01561	28,02
Run 7	15,53	12,74	0,01563	28,02
Run 8	15,53	12,74	0,01566	28,02
Run 9	15,53	12,74	0,01568	28,02
Run 10	15,53	12,74	0,0157	28,02

Tabla 17. Tabla paramétrica cálculo espesores de virolas EES

Como se puede observar el diámetro nominal D para el tanque de Fuel-Oil toma el valor de $28,02 \approx 28,0155$ m para un espesor calculado de 15,52 mm y un espesor comercial de 16 mm. Por tanto, para dicho valor D se calcularán los espesores de las virolas del cuerpo del tanque. De igual manera se procede al cálculo del diámetro nominal del tanque de gas-oil, llegando a alcanzar los siguientes valores:

$$DN_{\text{Fuel-Oil}} \text{ (m):} \quad 28,016 \text{ m}$$

$$DN_{\text{Gas-Oil}} \text{ (m):} \quad 28,014 \text{ m}$$

A modo de ejemplo se realizará el cálculo del espesor para las dos primeras virolas del tanque de Fuel-Oil:

- Virola 1:

$$t_{d1} = \frac{4,9 * 28,016 * (17,2 - 0,3) * 0,991}{172} + 2 = 15,53 \text{ mm}$$

$$t_{t1} = \frac{4,9 * 28,016 * (17,2 - 0,3)}{184,29} = 12,74 \text{ mm}$$

$$t_1: \text{máx} (15,53-12,74) = 15,53 \text{ mm}$$

- Virola 2:

$$t_{d2} = \frac{4,9 * 28,016 * (17,2 - 2 - 0,3) * 0,991}{172} + 2 = 13,94 \text{ mm}$$

$$t_{t2} = \frac{4,9 * 28,016 * (17,2 - 2 - 0,3)}{184,29} = 11,25 \text{ mm}$$

$$t_2: \text{máx} (13,94-11,25) = 13,94 \text{ mm}$$

N° Virola	Altura, Hi (mm)		Material	Tensiones (MPa)		Espesores (mm)		Espesor calculado (mm)	Espesor comercial (mm)
	H _d	H _H		S _d	St	t _d	t _t		
1	17,2	17,2	S275JR	172	184,29	15,53	12,74	15,53	16
2	15,2	15,2	S275JR	172	184,29	13,94	11,25	13,94	14
3	13,2	13,2	S275JR	172	184,29	12,36	9,76	12,36	13
4	11,2	11,2	S275JR	172	184,29	10,78	8,27	10,78	11
5	9,2	9,2	S275JR	172	184,29	9,2	6,78	9,2	10
6	7,2	7,2	S275JR	172	184,29	7,62	5,29	7,62	8
7	5,2	5,2	S275JR	172	184,29	6,03	3,8	6,03	7
8	3,2	3,2	S275JR	172	184,29	4,45	2,31	4,45	6
9	1,2	1,2	S275JR	172	184,29	2,87	0,82	2,87	6

Tabla 18. Espesores de las láminas del cuerpo del tanque de Fuel-Oil

N° Virola	Altura, Hi (mm)		Material	Tensiones (Mpa)		Espesores (mm)		Espesor calculado (mm)	Espesor comercial (mm)
	H _d	H _H		S _d	St	t _d	t _t		
1	17,4	17,4	S275JR	172	184,29	14	12,74	14	14
2	15,4	15,4	S275JR	172	184,29	12,6	11,25	12,6	13
3	13,4	13,4	S275JR	172	184,29	11,2	9,76	11,2	12
4	11,4	11,4	S275JR	172	184,29	9,8	8,27	9,8	10
5	9,4	9,4	S275JR	172	184,29	8,39	6,78	8,39	9
6	7,4	7,4	S275JR	172	184,29	6,99	5,29	6,99	7
7	5,4	5,4	S275JR	172	184,29	5,58	3,8	5,58	6
8	3,4	3,4	S275JR	172	184,29	4,18	2,31	4,18	6
9	1,4	1,4	S275JR	172	184,29	2,77	0,82	2,77	6

Tabla 19. Espesores de las láminas del cuerpo del tanque de Gas-Oil

Para una mayor versatilidad operacional de la terminal, a partir de aquí, todos los cálculos se han diseñado en función del almacenamiento de Fuel-Oil, al ser el fluido más restrictivo. Con esto se puede asegurar que todos los tanques pueden almacenar en un futuro ambos combustibles.

2.5.6. Rigidizadores intermedios

La acción del viento puede afectar de manera importante a la rigidez del cuerpo del tanque, provocando acciones de pandeo en las virolas y produciendo considerables deformaciones. Este hecho es especialmente considerable en tanques de techo abierto o flotante externo, ya que se pueden producir presiones internas de vacío provocando la necesidad de instalar anillos rigidizadores o viga contra-viento en la parte superior, que mantengan la estabilidad del tanque. De igual forma, aunque en menor medida, debido a la mejora en la rigidez del tanque, la instalación de techos fijos, puede llegar a necesitar la construcción de rigidizadores, que eviten las tensiones axiales hacia el fondo del tanque.

En este apartado se va a estudiar la necesidad de instalar rigidizadores intermedios o la necesidad de aumentar el espesor de las virolas evitando la construcción de dichos rigidizadores y disponiendo únicamente de uno solo en la parte superior del tanque. Para ello, se justificará atendiendo a los apartados de la sección 5.9 del Standard API 650.

En primer lugar, atendiendo al apartado 5.9.7. de la Norma, se indica la condición para la cual los tanques a estudiar no necesitan rigidizadores intermedios.

$$H_w \leq H_1 \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

H_w : Altura transformada del cuerpo (m)

H_1 : Altura sin necesidad de rigidizadores intermedios (m)

La altura transformada del cuerpo es un método que propone el estándar API 650 para igualar los espesores de las virolas del cuerpo a las superiores y reducir sus alturas. La altura transformada del tanque H_w , se calcula transformando el ancho de cada virola y sumando cada una de ellas como se indica en la siguiente expresión:

$$H_w = \sum_{i=1}^{n=10} W_{tri} = \sum_{i=1}^{n=10} W_i * \sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_i}\right)^5} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

W_{tri} : Ancho transformado de cada virola (mm)

W_i : Ancho real de cada virola (m)

$t_{uniform}$: Espesor comercial real en nivel de la virola transformada, en este caso la virola superior del cuerpo (mm)

t_i : Espesores comerciales para cada virola para la que se calcula el ancho transformado (mm)

La máxima altura del cuerpo sin rigidizadores se calcula con la siguiente fórmula:

$$H_1 = 9,47 * t * \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 * \left(\frac{190}{v}\right)^2} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

H_1 : Distancia vertical entre el rigidizador intermedio y la viga superior del tanque (m)

t: Espesor de la última virola (mm)

D: Diámetro nominal del tanque (m)

v: Velocidad del viento específica (km/h)

La velocidad de diseño del viento se determinará a partir del “Código técnico de la edificación. Documento Básico SE-AE. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación”, atendiendo a los apartados 3.3.2 “Acción del viento” y el Anejo D de dicho documento. La velocidad específica para la carga de viento, se calcula siguiendo la siguiente fórmula:

$$v_c = C_e * C_{pe} * v_b \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

C_e : Coeficiente de exposición para una altura z del terreno

C_{pe} : Coeficiente de presión exterior

v_b : Velocidad básica del viento (m/s)

La velocidad básica del viento v_b , se obtiene de figura D.1 de SE-AE en función de la zona de instalación del tanque. En este caso, al tratarse de Algeciras (zona C) la velocidad básica del viento es de 29 m/s. A continuación, se establece un coeficiente corrector obtenido de la tabla D.1 de dicho documento para la velocidad básica, suponiendo un periodo de retorno de 50 años, manteniéndose inalterada el valor de la velocidad básica.

Periodo de retorno (años)	1	2	5	10	20	50	200
Coeficiente corrector	0,41	0,78	0,85	0,90	0,95	1,00	1,08

Tabla 20. Corrección de la velocidad básica del viento en periodo de servicio, CTE DB SE-AE

El cálculo del coeficiente de exposición C_e , para una altura del terreno, z, no mayor de 200 m, se determina siguiendo la siguiente expresión:

$$C_e = F * (F + 7 * k) \quad \text{Ecuación 23}$$

$$F = k * \ln\left(\frac{Z}{L}\right) \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

Z, L, k: Parámetros para tipo de entorno en función del grado de aspereza. Tabla D.2 CTE DB SE-AE.

Tomando como grado de aspereza tipo I (borde del mar o de un lago) los valores obtenidos son:

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Tabla 21. Coeficientes para tipo de entorno, tabla D.2 CTE DB SE-AE

$$k = 0,156$$

$$L = 0,003 \text{ (m)}$$

$$Z = 1 \text{ (m)}$$

Por tanto, los valores de F y C_e :

$$F = 0,156 * \ln\left(\frac{1}{0,003}\right) = 0,906$$

$$C_e = 0,906(0,906 + 7 * 0,156) = 1,81$$

Finalmente, la velocidad de viento específica queda calculada de la siguiente manera:

$$v_c = 1,81 * 1 * 29 = 52,5 \text{ m/s} \approx 190 \text{ km/h}$$

Como anotación, en la Nota 1 del apartado 5.9.7.1 del API 650, es preciso especificar si los cálculos para el estudio del pandeo de las virolas del cuerpo son en situaciones corroídas o no. Como aclaración, se realizarán dichos cálculos en situaciones no corroídas.

Una vez obtenido la velocidad del viento específica, se calcula la altura máxima sin rigidizar, H_1 :

$$H_1 = 9,47 * t * \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 * \left(\frac{190}{v}\right)^2} = 9,47 * 6 * \sqrt{\left(\frac{6}{28}\right)^3 * \left(\frac{190}{190}\right)^2} = 5,63 \text{ m}$$

Una vez desarrollado el procedimiento, en función de los resultados se decidirá cuál será la opción elegida para evitar los efectos de pandeo en las virolas, gracias a los cálculos realizados en el programa *EES*:

Altura transformada tanque Fuel-Oil, H_w				
Nº Virolas	Ancho, W_i (m)	$t_{uniform}$ (mm)	t_i (mm)	$W_{tr i}$ (m)
1	2	6	16	0,172
2	2	6	14	0,241
3	2	6	13	0,289
4	2	6	11	0,439
5	2	6	10	0,558
6	2	6	8	0,974
7	2	6	7	1,36
8	2	6	6	2
9	2	6	6	2
$H_w = \sum W_{tr}$ (m)				8,034

Tabla 22. Altura transformada tanque Fuel-Oil, H_w

En conclusión:

	H_w	H_1
Tanque de Fuel-Oil	8,034	5,63

Tabla 23. Resultados de H_w y H_1

En la tabla de resultados, se puede afirmar que se cumple la condición inicial para la cual hace falta instalar rigidizadores intermedios, por tanto, para solucionar dicha cuestión, se optará por la ubicación de dichas vigas en cada uno de los tanques o intentar cumplir la condición aumentando los espesores de las virolas.

La viga contra-viento debe estar situada a la mitad de la altura que se obtenga de la fórmula de la altura transformada H_w . Si se cumple la condición de que $H_w/2$, sobrepasa la altura máxima H_1 , es necesario instalar un segundo rigidizador para limitar la distancia libre sin rigidizar.

Dichas vigas se deben colocar a una distancia sobre las virolas que se encuentren a 150 mm mínimo de cualquier soldadura horizontal al tanque que une los distintos niveles.

A continuación, se especificará detalladamente la ubicación de los rigidizadores para cada tanque:

Ubicación rigidizador Tanque Fuel-Oil			
Nº Virolas	$W_{tr i}$ (m)	Altura acumulada real	Altura acumulada transf.
1	0,172	18	8,034
2	0,241	16	7,86
3	0,289	14	7,62
4	0,439	12	7,33
5	0,558	10	6,89
6	0,974	8	6,33
7	1,36	6	5,36
8	2	4	4
9	2	2	2

Tabla 24. Resumen de la altura transformada H_w

1° Rigidizador (Desde top angle)					
$\zeta H_w \geq H_1?$		8,034 \geq 5,63		Cumple	
Altura rigidizador, $H_w/2$ (m):	N° virola:	Distancia transf desde base virola a rigidizador (m)	Distancia real desde base virola a rigidizador (m)	ζ 150 mm mín entre rigidizador y soldadura horizontal?	Distancia superior del rigidizador hasta el techo
4,017 (4,5)	7	0,86	1,5	Cumple	4,5
2° Rigidizador (Desde top angle)					
$\zeta H_w' \geq H_1?$		4,017 \geq 5,63		No Cumple	
Altura rigidizador, $H_w/2$ (m):	N° virola:	Distancia transf desde base virola a rigidizador (m)	Distancia real desde base virola a rigidizador (m)	ζ 150 mm mín entre rigidizador y soldadura horizontal?	Distancia superior del rigidizador hasta el techo
-	-	-	-	-	-

Tabla 25. Ubicación del rigidizador intermedio

Como segunda solución a los problemas de pandeo en las placas del cuerpo, se propone otra alternativa, encaminada en aumentar el espesor de las virolas para evitar disponer de rigidizadores y así poder ahorrar en soldadura. En este caso, se va a calcular el espesor mínimo para cada virola del tanque que cumpla la condición de igualdad de la altura transformada con la altura máxima sin rigidizar:

$$H_w = H_1$$

Desarrollando cada termino según las expresiones ante citadas, dicha expresión se deja en función de la variable a $t=t_{uniform}$ a determinar:

$$\sum_{i=1}^{n=10} W_i * \sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_i}\right)^5} = 9,47 * t * \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 * \left(\frac{190}{v}\right)^2} \quad \text{Ecuación 25}$$

Una vez realizados los cálculos para el tanque, se obtienen los siguientes espesores mínimos:

$$t_{min,fuel-oil} = 7,96 \approx 8 \text{ mm}$$

Por tanto, para evitar la construcción de rigidizadores se pueden adquirir espesores comerciales de 8 mm para las ultimas virolas del tanque de gas-oil, verificando siempre que se cumple la condición principal:

$$H_w = 11,49 \text{ m}$$

$$H_1 = 11,56 \text{ m}$$

$$H_w \geq H_1 \text{ (CUMPLE)}$$

Dichos resultados se han obtenido optimizando el aumento de los espesores de las virolas, aumentando dichos espesores de las virolas adyacentes a aquellas de mayor espesor hasta cumplir con la condición, variando solo la virola n° 7 en 8 mm:

Nº Virola	Espesor comercial (mm)
1	16
2	14
3	13
4	11
5	10
6	8
7	8
8	8
9	8

Tabla 26. Aumento de espesores de virola

2.5.6.1. Verificación Apéndice V para tanques sin rigidizadores

En dicho apéndice se definen los requerimientos mínimos que debe poseer los tanques que operan ante presiones externas a vacío. Está destinado a tanques que trabajen con presiones externas entre 0,25 y 6,9 kPa.

En este caso se prestará atención al apartado V.8 de la Norma donde se utiliza los espesores mínimos y el método del cuerpo transformado para establecer el número de refuerzos y su localización. Las ecuaciones V.8.1.2 y V.8.1.3 del estándar contienen las variables de factor de estabilidad, en función de la magnitud de la presión externa a vacío. Las ecuaciones presentan también un factor para imperfecciones en el cuerpo del tanque igual a 0,8. La carcasa del cuerpo estará probada bajo dos condiciones, donde se utilizará un valor del factor de estabilidad ψ :

- **Condición 1:** Presión de viento más presión externa a vacío.

El valor que adopta el factor de estabilidad ψ , para presiones externas a vacío P_e , que son mayores que 0,25 kPa y menor o igual que 7 kPa es:

$$\psi_1 = \frac{P_e + 0,7}{0,95} = 1,3$$

- **Condición 2:** Presión a vacío únicamente.

No depende de la presión externa P_e .

$$\psi_2 = 3$$

Según el apartado V.8.1.1 del estándar, las virolas que forman el cuerpo del tanque, sufren pandeo elástico debido a la presión externa si se cumple el siguiente criterio. Por el contrario, si dicho criterio de pandeo no se cumple se deberá estudiar de acuerdo a la Norma ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, División 1.

$$\left(\frac{D}{t_{smin}} \right) \left[\left(\frac{H_{TS}}{D} \right) \left(\frac{S_y}{E} \right)^{0,5} \right] \geq 0,00675$$

Ecuación 26

Donde:

D : Diámetro del tanque (m)

t_{smin} : Espesor más delgado de la carcasa (mm)

$H_{TS} = H_w$: Altura transformada (m)

S_y : Límite elástico del material = 275 MPa

E : Módulo de elasticidad del material S275 JR=210.000 N/mm²

Resolviendo dicha ecuación:

$$\left(\frac{28}{8}\right) \left[\left(\frac{11,49}{28}\right) \left(\frac{275}{210.000}\right)^{0,5} \right] = 0,0519 \geq 0,00675 \quad \text{CUMPLE}$$

Al cumplirse el criterio de pandeo, se debe comprobar la presión externa de diseño P_s y la presión externa a vacío P_e (para $\psi=3$), para las siguientes condiciones:

$$P_s \text{ o } P_e \leq \frac{E}{15203 * \psi * \left(\frac{H_{Ts}}{D}\right) * \left(\frac{D}{t_{smin}}\right)^{2,5}} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

P_s : El mayor valor entre las 2 presiones de diseño externa.

$$P_{s1} = |P_e| - W \quad \text{Ecuación 28}$$

$$P_{s2} = W + 0,4 * |P_e| \quad \text{Ecuación 29}$$

Siendo:

$$W = 1,48 * \left(\frac{v}{190}\right)^2 \quad \text{Ecuación 30}$$

Calculando dichas expresiones:

$$W = 1,48 * \left(\frac{190}{190}\right)^2 = 1,48 \text{ kPa}$$

$$P_{s1} = |-0,5| - 1,48 = -0,98 \text{ kPa}$$

$$P_{s2} = 1,48 + 0,4 * |-0,5| = 1,68 \text{ kPa}$$

$$P_s = 1,68 \text{ kPa}$$

Para cada una de las presiones P_s y P_e :

$$1,68 \leq \frac{210.000}{15203 * 1,3 * \left(\frac{11,49}{28}\right) * \left(\frac{28}{8}\right)^{2,5}} = 1,13 \text{ kPa (NO CUMPLE)}$$

$$0,5 \leq \frac{210.000}{15203 * 3 * \left(\frac{11,49}{28}\right) * \left(\frac{28}{8}\right)^{2,5}} = 0,48 \text{ kPa (NO CUMPLE)}$$

Como no se cumple dichas condiciones, según el apartado V.8.1.3 del estándar, se vuelve a recalcular los espesores mínimos de virola requeridos para la presión externa de diseño, con la siguiente ecuación:

$$t_{smin} \geq \frac{47,07 * (\psi * H_{Ts} * P_s)^{0,4} * D^{0,6}}{E^{0,4}} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$t_{smin} \geq \frac{47,07 * (1,3 * 11,49 * 1,68)^{0,4} * 28^{0,6}}{210.000^{0,4}} = 9,5 \text{ mm}$$

Los nuevos espesores de las virolas del cuerpo son:

Nº virolas	Espesores, t (mm)
1	16
2	14
3	13
4	11
5	10
6	10
7	10
8	10
9	10

Tabla 27. Espesores mínimos para tanques sin rigidizadores

2.5.7. Diseño del fondo del tanque

En primer lugar, para acometer el diseño del fondo es imprescindible conocer la resistencia permisible del suelo donde se localizará el tanque, ya que este estará apoyado sobre una base que soportarán el peso de la columna de combustible y proporcionará hermeticidad al almacenamiento. Es por ello, que gracias a los datos establecidos se supone una tensión superficial de 1,5 kg/cm², proporcionado por cimientos planos de hormigón, cumpliendo con el límite establecido.

El fondo debe presentar un diámetro superior que el diámetro exterior del tanque incluyendo el filete de soldadura entre el cuerpo y el fondo. Aproximadamente ese sobredimensionamiento de diámetro es de 50 mm hacia afuera del diámetro exterior.

Si no se especifica lo contrario, tanto las placas centrales como las del borde donde descansa el cuerpo, deben tener un ancho mínimo comercial de 1800 mm y deben ser de forma rectangular.

El espesor de las placas utilizadas en el fondo de los tanques, deben ser de un tamaño menor al utilizado en el cuerpo, según la norma se define dicha restricción a un espesor nominal mínimo (t_{fmin}) de 6 mm excluyendo toda tolerancia a la corrosión. Dicha restricción se debe a la flexión y compresión que se pueda generar en la zona donde descansa el cuerpo del tanque.

En consecuencia, añadiendo el sobreespesor por corrosión, el espesor t_f , adoptado para el fondo del tanque son:

$$t_f = t_{fmin} + CA \quad \text{Ecuación 32}$$

Espesor fondo tanque fuel-oil, $t_{f,\text{fuel-oil}}$ (mm): 8 mm

Las láminas de fondo deben ser soldadas según apartado soldadura 3.1.5.4 y 3.1.5.5 del API 650.

Según lo indicado en el apartado 5.5.1 cuando el material del anillo inferior del cuerpo está diseñado utilizando el criterio de límite elástico para materiales referentes a los grupos ASTM IV, IVA, V o VI, el estándar aconseja usar una placa anular bajo ellas, soldadas a tope. Por el contrario, si los anillos inferiores del cuerpo están diseñados con los mismos materiales citados para la posibilidad de la placa anular y las tensiones de servicio en la primera virola del cuerpo son menores o iguales a 160 MPa o los esfuerzos máximos de prueba hidrostática para el primer anillo es inferior o igual a 171 Mpa, cabe la posibilidad de usar para el fondo soldaduras traslapadas en lugar de chapas anulares con soldaduras a tope.

Como se ha añadido anteriormente en la tabla 1, los materiales elegidos para el cuerpo son:

Virolas	Material	Grupo
Virola 1	S-275JR	-

A continuación, se calcula las tensiones máximas en la primera virola, de diseño y prueba hidrostática con las siguientes formulas obtenidas en la nota b) de la tabla 5-1ª del apartado 5.5.3 del standard:

$$S_{dmax} = \left(\frac{t_{d1}}{t - CA} \right) * S_d \quad \text{Ecuación 33}$$

$$S_{tmax} = \left(\frac{t_{t1}}{t} \right) * S_t \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

t_{d1} : Espesor calculado de la 1ª virola con la condición de diseño (mm)

t_{t1} : Espesor calculado de la 1ª virola con la condición de prueba hidrostática (mm)

S_d : Tensión de diseño (MPa)

S_t : Tensión de prueba hidrostática (MPa)

t : Espesor comercial de la 1ª virola (mm)

La solución a las ecuaciones 26 y 27 se adjuntan a continuación:

	Tanque de Fuel-Oil
S_{dmax} (MPa)	190,79
S_{tmax} (MPa)	146,74
$\max(S_{dmax}, S_{tmax})$ (MPa)	190,79

Tabla 28. Tensiones de diseño y prueba hidrostática placas del fondo

Puesto que en este caso las tensiones sobrepasan los 160 MPa, es necesario utilizar chapas anulares para el fondo de todos los tanques.

Atendiendo al apartado 5.5.2 del código, las chapas anulares deben tener un ancho mínimo radial de 600 mm entre el interior del cuerpo y cualquier solape con las placas del fondo, dejando al menos 50 mm de proyección por el exterior del cuerpo.

El ancho de la placa anular es calculado con la siguiente expresión:

$$w_{b \min} = \frac{215 * t_b}{(H * S_g)^{0,5}} \geq 600 \text{ mm} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

t_b : Espesor de la placa anular (mm)

H: Altura de diseño del producto (m)

S_g : Gravedad específica de producto almacenado

El valor del espesor de la placa anular t_b , se obtiene de la tabla 5-1a del apartado 5.5.3, en función del espesor de la primera virola del cuerpo (incluyendo el sobreespesor de corrosión) y las tensiones de diseño del producto y prueba hidrostática. Los espesores de la placa anular no deben ser menor que los especificados en dicha tabla, aplicable a rangos de altura efectiva $H * S_g$ menores o iguales de 23 m (Si sobrepasa dicha altura se requiere análisis elástico para determinar el espesor).

Plate Thickness ^a of First Shell Course (mm)	Stress ^b in First Shell Course (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t \leq 45$	9	13	16	19

^aPlate thickness refers to shell plate thickness exclusive of corrosion allowance for product design and thickness as constructed for hydrostatic test design.

^bThe stress to be used is the maximum stress in the first shell course (greater of product or hydrostatic test stress). The stress may be determined using the required thickness divided by the thickness from "a" then multiplied by the applicable allowable stress:

Product Stress = $(t_d / \text{as-constructed } t \text{ exclusive of } CA) (S_d)$

Hydrostatic Test Stress = $(t_t / \text{as-constructed } t) (S_t)$

Note: The thicknesses specified in the table, as well as the width specified in 5.5.2, are based on the foundation providing uniform support under the full width of the annular plate. Unless the foundation is properly compacted, particularly at the inside of a concrete ringwall, settlement will produce additional stresses in the annular plate.

Tabla 29. Espesores de la placa anular del fondo, tabla 5-1a API 650

Cumpliendo con la restricción dada ($H \cdot S_g \leq 23m$) y como se puede observar en dicha tabla, la totalidad de los tanques presentarán un espesor de placa anular mínimo de 6 mm, al presentar espesores en la primera virola del cuerpo inferiores a 19 mm y tensión máxima sobre dicha virola menores a 190 o 210 Mpa. Sumando la tolerancia de corrosión para las placas del fondo de 2 mm, se alcanza un espesor en la placa anular de 8 mm.

$$t_b = 8 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el espesor de la placa anular, se procede al cálculo del ancho mínimo de dicho anillo mediante la ecuación 28:

Ancho mínimo de la placa anular, $w_{b \text{ min}}$ (mm): 414,21 mm

Como en todos los anchos de placa anular calculados no cumplen la restricción de ancho mínimo de 600 mm, todas las placas anulares de los tanques presentarán dicho ancho mínimo.

El ancho de las chapas anulares quedará entonces de la siguiente manera:

$$w_{\text{placa anular}} = w_{b \text{ min}} + t + \text{Proyección min. exterior}$$

Donde:

$w_{\text{placa anular}}$: Ancho de la placa anular (mm)

$w_{b \text{ min}}$: Ancho mínimo de placa anular, 600 (mm)

t: Espesor de la 1ª virola del cuerpo (mm)

Proyección min. Exterior: 50 (mm).

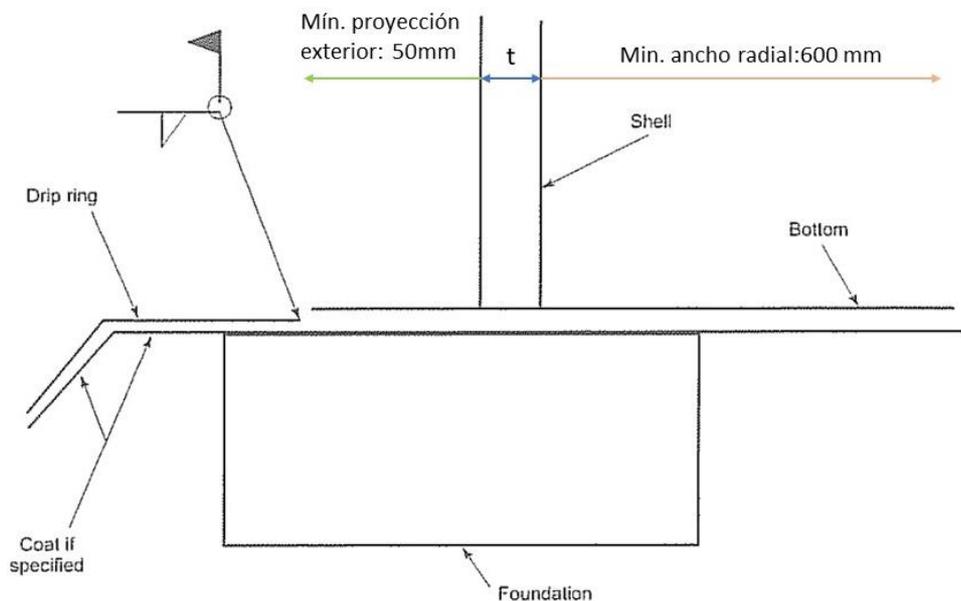


Ilustración 13. Esquema de las dimensiones de la chapa anular del fondo

El ancho de placa anular para el fondo en cada uno de los tanques adquiere los siguientes valores:

$w_{b \min}$ (mm)	t (mm)	$w_{placa \text{ anular}}$ (mm)
600	16	666

Tabla 30. Resultados dimensiones del ancho de la chapa anular del fondo

2.5.8. Diseño de la cubierta del tanque

Como bien se ha clasificado en el apartado 2.3 de dicho documento, los tanques pueden diferenciarse en función del tipo de techo. En este apartado se diseñará los tanques para techos cubiertos tipo domo o semicasquete esférico autosoportados, estudiando la viabilidad de la autosoportación del techo solamente en la periferia, unido al casco, sin necesidad de rigidizadores, diseñando una corona anular para estabilizar las uniones más frágiles del tanque si hiciera falta.

El diseño de los techos en general, se realizan en función de las combinaciones de cargas más desfavorables incluidas en el Apéndice R de la Norma.

Para el diseño de este tipo de techo se seguirá la sección 5.10.6 del standard API 650 para techos tipo domo o sombrillas autoportantes.

2.5.8.1. Geometría de la cubierta del tanque

El primer requerimiento especificado en el standard hace referencia a la geometría de la cubierta del tanque, más bien con el radio del casquete esférico o radio de curvatura, limitando dicho valor en función del diámetro nominal del tanque como sigue:

$$0,8 * D \leq R_c \leq 1,2 * D \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

D : Diámetro nominal del tanque (m)

r_r : Radio del techo (m)

Se ha considerado un radio de techo para los tanques igual al diámetro nominal de los mismos:

$$R_c = D$$

Siguiendo con dicha geometría es preciso calcular el ángulo que forma la cubierta esférica con la horizontal y la altura de la cubierta desde el techo del tanque:

$$\theta = \arcsen\left(\frac{D}{2 * R_c}\right) \quad \text{Ecuación 37}$$

$$\theta_2 = 180 - 90 - \theta \quad \text{Ecuación 38}$$

$$\theta' = 90 - \theta_2 \quad \text{Ecuación 39}$$

$$H_r = R_c * (1 - \cos(\theta)) \quad \text{Ecuación 40}$$

En función de las ecuaciones anteriores se obtienen los siguientes resultados:

R_c (m)	28
θ	30°
θ_2	60°
θ'	30°
H_r (m)	3,75

Tabla 31. Resultados de radio de curvatura, altura del techo y ángulos del techo

2.5.8.2. Espesor de las placas de la cubierta

En el mismo apartado del estándar se indica el espesor máximo de la chapa de la cubierta definido en 13 mm excluyendo el espesor de corrosión y el espesor mínimo $t_{r, \min}$, calculado mediante la fórmula x, aunque se debe tener en cuenta que para aceros inoxidable el espesor mínimo calculado no debe ser menor de 3 mm y para aceros de otro tipo de 5 mm.

$$\frac{r_r}{2,4} \sqrt{\frac{T}{2,2}} + CA \quad \text{Ecuación 41}$$

$$\frac{r_r}{2,7} \sqrt{\frac{U}{2,2}} + CA \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde:

r_r : Radio del techo (m)

CA : Sobre-espesor por corrosión (mm)

Atendiendo al Apéndice R del estándar API 650, las combinaciones de cargas existentes para el diseño de la cubierta del tanque son las combinaciones de cargas gravitatorias e.1 y e.2, diseñando con el valor de la máxima presión:

$$P_{e.1} = D_L + (L_r \text{ o } S_u \text{ o } S_b) + 0,4 * P_e \quad \text{Ecuación 43}$$

$$P_{e.2} = D_L + P_e + 0,4 * (L_r \text{ o } S_u \text{ o } S_b) \quad \text{Ecuación 44}$$

$$P = \text{máx}(P_{e.1}, P_{e.2}) \quad \text{Ecuación 45}$$

T : Mayor combinación de cargas del Apéndice R con carga de nieve equilibrada S_b (kPa)

$$T_1 = D_L + \text{max}(L_r \text{ o } S_b) + 0,4 * P_e \quad \text{Ecuación 46}$$

$$T_2 = D_L + P_e + 0,4 * \text{max}(L_r \text{ o } S_b) \quad \text{Ecuación 47}$$

$$T = \text{max}(T_1, T_2) \quad \text{Ecuación 48}$$

U : Mayor combinación de cargas del Apéndice R con carga de nieve desequilibrada S_u (kPa)

$$U_1 = D_L + \max(L_r \text{ o } S_u) + 0,4 * P_e \quad \text{Ecuación 49}$$

$$U_2 = D_L + P_e + 0,4 * \max(L_r \text{ o } S_u) \quad \text{Ecuación 50}$$

$$U = \max(U_1, U_2) \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde:

D_L : Cargas muertas del tanque (kPa)

L_r : Mínimas cargas vivas sobre la proyección horizontal del techo=1kPa (ASCE 7)

S : Carga de nieve

S_u : Carga de nieve no desequilibrada. En función de la pendiente del techo (kPa)

$$\theta \leq 10^\circ ; S_u = S_b$$

$$\theta > 10^\circ ; S_u = 1,5 * S_b$$

S_b : Carga de nieve equilibrada=0,84*S (kPa)

S : Sobrecarga de nieve.DBTE CE (kPa)

P_e : Presión externa específica = 0 (kPa)

El espesor adoptado para el techo del tanque debe incluir el sobreespesor de corrosión si el cliente no dice lo contrario. Por tanto, el espesor del techo quedaría de la siguiente manera:

$$t_r = t_{r,min} + CA \quad \text{Ecuación 52}$$

A la hora de calcular la carga ejercida por el peso muerto de la chapa que forma el casquete esférico es importante calcular tanto el área de dicho casquete como su área horizontal proyectada:

$$A_{casquete} = 2 * \pi * R_c * H_r \quad \text{Ecuación 53}$$

$$A_h = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ecuación 54}$$

A continuación, se calculan las cargas muertas ejercidas por el peso de la cubierta, formadas por la presión ejercida por las chapas que forman la cubierta.

Siguiendo con el cálculo de la presión ejercida por las láminas de la cubierta, esta se calcula de la siguiente forma:

$$D_L = \rho_{acero} * t_r * \frac{A_{casquete}}{A_h} * g \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde:

ρ_{acero} : Densidad del acero = 7860 kg/m³

t_r : Espesor adoptado del domo (mm)

g : Aceleración de la gravedad = 9,8 m/s²

Una vez desarrollado el procedimiento de cálculo de espesores del techo, se procede a la ejecución para el diseño de los tanques, de manera iterativa:

Primera iteración:

- En primer lugar, se calcula la carga muerta D_L , impuesta por el peso propio del techo tipo domo. Para ello, se supone un espesor de placa mínimo tipo domo de 13 mm.

t_r (mm)	13
$A_{casquete}$ (m ²)	659,73
A_h (m ²)	615,75
D_L (kPa)	1,073

Tabla 32. Resultados de la carga muerta D_L , en la primera iteración

- A continuación, se calculan las seis combinaciones de cargas gravitatorias posibles según el apéndice R de la Norma. Como el ángulo que forma el casquete esférico con la horizontal es mayor de 10° $S_b=0,84*S$ y $S_u=1,5*S_b$:

P_1 (kPa)	$D_L + L_r + 0,4 P_e$	2,073 kPa
P_2 (kPa)	$D_L + S_u + 0,4 P_e$	1,325 kPa
P_3 (kPa)	$D_L + S_b + 0,4 P_e$	1,241 kPa
P_4 (kPa)	$D_L + P_e + 0,4 L_r$	1,473 kPa
P_5 (kPa)	$D_L + P_e + 0,4 S_u$	1,174 kPa
P_6 (kPa)	$D_L + P_e + 0,4 S_b$	1,140 kPa

Tabla 33. Resultado de las combinaciones de carga en la primera iteración

- Una vez calculadas todas las combinaciones de cargas, se procede a la definición de la mayor combinación de cargas con carga de nieve equilibrada y desequilibrada, T y U:

$$T = \max(P_1, P_4) = 2,073 \text{ kPa}$$

$$U = \max(P_1, P_4) = 2,073 \text{ kPa}$$

- Por último, ya se pueden calcular los espesores mínimos de las placas del techo tipo domo, siendo este el máximo de los tres valores:

$$t_1 = 5 \text{ mm}$$

$$t_2 = \frac{r_r}{2,7} \sqrt{\frac{T}{2,2}} + CA = \frac{28}{2,7} \sqrt{\frac{2,073}{2,2}} + 2 = 12 \text{ mm}$$

$$t_3 = \frac{r_r}{2,4} \sqrt{\frac{U}{2,2}} + CA = \frac{28}{2,4} \sqrt{\frac{2,073}{2,2}} + 2 = 13 \text{ mm}$$

Como el máximo espesor de las placas debe ser 13 mm y el mayor valor obtenido es este, se adoptará un espesor del techo de 13 mm.

2.5.8.3. Diseño de la cubierta según EuroCode 3: Design of Steel structures- Part 4-2: Tanks

El estándar API 650 no posee el contenido para el diseño de las estructuras de las cubiertas de los tanques, por ello es preciso utilizar el EuroCode 3: Design of Steel structures- Part 4-2: Tanks, destinado a dicho diseño. Dentro de dicho código el diseño estará centrado en el apartado 11.2.1 “Unstiffened roof shell butt welded or with double lap Weld”.

Para comenzar se citan una serie de condiciones a tener en cuenta para el diseño de la estructura de la cubierta:

- Siempre que el valor máximo local de las cargas de diseño distribuidas es usado en las siguientes condiciones para representar la presión distribuida sobre el techo, no es necesario considerar la posible falta de uniformidad de las cargas distribuidas.
- La resistencia del techo por debajo de la presión interna de diseño $p_{0,Ed}$ debe ser verificada usando:

$$\frac{p_{0,Ed} * R_s}{2 * t} \leq j * f_{y,d} \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde:

$p_{0,Ed}$: Suma de la presión interna de diseño más la presión externa de diseño = 0,5 kPa

R_s : Radio de curvatura del techo = 28 m

t : Espesor adoptado de las placas del techo = 13 mm

j : Factor de eficiencia de la junta = 0,5 (para juntas traslapadas con soldadura en ángulo para ambos lados)

$f_{y,d}$: Límite elástico de diseño, calculado de la siguiente manera:

$$f_{y,d} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{Ecuación 57}$$

f_y : Resistencia elástica del acero S 275 JR=275 MPa

γ_{M0} : Factor de acuerdo al apartado 9.2.2.2 del código = 1

Calculando dichas expresiones:

$$f_{y,d} = 275 \text{ MPa}$$

$$\frac{0,5 * 28}{2 * 13} \leq 0,5 * 275$$

$$0,54 \leq 137,5$$

CUMPLE

- La estabilidad del techo esférico bajo la presión de diseño externa debe cumplir la siguiente condición:

$$p_{i,Ed} \leq 0,05 \left[1,25 * E * \left(\frac{t}{R_0} \right)^2 \right] \quad \text{Ecuación 58}$$

Donde:

$p_{i,Ed}$: Componente radial de las cargas de diseño distribuidas del techo (multiplicada por un factor sacado del apartado 2.9.2.1)

E : Módulo de elasticidad del material S275 JR=210.000 N/mm²

R_0 : Radio de curvatura = 28 m

Desarrollando dicha condición:

$$1,073 * 1,4 \leq 0,05 \left[1,25 * 210.000 * \left(\frac{t}{28 * 1000} \right)^2 \right] * 1000$$

$$t_{min} = 9,47 \text{ mm} < 13 \text{ mm} \quad \text{CUMPLE}$$

2.5.8.4. Cargas de viento sobre el tanque

El apartado 5.11 del estándar API 650 está destinado a estudiar la acción de las cargas del viento que actúan sobre el tanque, con la finalidad de hacer un estudio de la estructura para la seguridad de la estabilidad ante momentos de vuelco del tanque. Si fuese necesario, dicho apartado estudia la posibilidad de usar varias formas de anclajes.

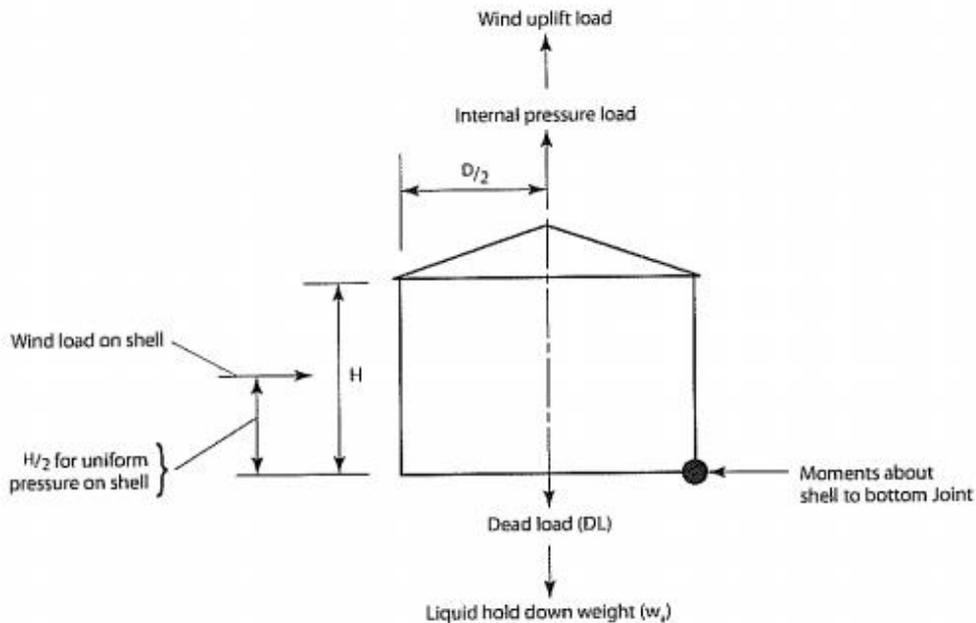


Ilustración 14. Acciones del viento sobre el tanque

2.5.8.4.1. Carga producida por el viento

La presión ejercida por el viento en el cuerpo y techo del tanque es el único factor externo que pueda provocar un vuelco de la estructura del tanque. Dicha presión es proyectada tanto horizontal como verticalmente y calculada gracias al apartado 5.2.1 y 5.2.2 del API 650, en función de la velocidad del viento, v_i definida anteriormente gracias al CTE.DB SE-AE.

$$P_{wh} = 0,86 * \left(\frac{v_i}{190}\right)^2 \quad \text{Ecuación 59}$$

$$P_{wv} = 1,44 * \left(\frac{v_i}{190}\right)^2 \quad \text{Ecuación 60}$$

Donde:

P_{wh} : Presión horizontal del viento (Kpa)

P_{wv} : Presión vertical del viento (kPa).

$$P_{wh} = 0,86 * \left(\frac{190}{190}\right)^2 = 0,86 \text{ kPa}$$

$$P_{wv} = 1,44 * \left(\frac{190}{190}\right)^2 = 1,44 \text{ kPa}$$

Dicha presión incide tanto en el cuerpo como en el techo del tanque, por tanto, el cálculo del área de incidencia del viento se calcula como sigue:

$$A_{ph} = (H + H_r) * D \quad \text{Ecuación 61}$$

$$A_{pv} = \pi * \frac{D^2}{4} \quad \text{Ecuación 62}$$

Donde:

A_{ph} : Área de proyección horizontal (m^2).

A_{pv} : Área de proyección vertical (m^2).

H : Altura del cuerpo del tanque (m).

H_r : Altura del techo del tanque (m).

El cálculo del área es simplificado suponiendo un área rectangular de incidencia para la proyección horizontal y un área circular para la proyección vertical. Por tanto, siguiendo con dicho cálculo:

$$A_{ph} = (18 + 3,75) * 28 = 609 \text{ m}^2$$

$$A_{pv} = \frac{\pi * 28^2}{4} = 615,75 \text{ m}^2$$

Una vez calculada la presión del viento y el área de incidencia sobre el tanque, se puede calcular la fuerza puntual que actúa sobre el tanque y el punto de aplicación de dicha fuerza, establecidas en el punto medio del cuerpo del tanque y en el centro del techo del mismo:

$$W_{wh} = P_{wh} * A_p = 0,86 * 609 = 523,74 \text{ kN}$$

$$\frac{H}{2} = 9 \text{ m}$$

$$W_{wv} = P_{wv} * A_{pv} = 1,44 * 615,75 = 886,68 \text{ kN}$$

$$\frac{D}{2} = 14 \text{ m}$$

Por tanto, multiplicando la fuerza del viento por la distancia de aplicación de dicha fuerza, se obtiene el momento de vuelco del tanque debido a la presión del viento horizontal y vertical:

$$M_{wh} = W_{wh} * \frac{H}{2} = 523,74 * 9 = 4.713,66 \text{ kNm}$$

$$M_{wv} = W_{wv} * \frac{D}{2} = 886,68 * 14 = 12.413,52 \text{ kNm}$$

En definitiva, el momento resultante es la suma de los momentos horizontal y vertical, por lo que el momento de vuelco alrededor de la unión cuerpo-fondo originado por la acción del viento queda:

$$M_w = M_{wh} + M_{wv} = 4.713,66 + 12.413,52 = 17.127,18 \text{ kNm}$$

2.5.8.4.2. Momentos unión cuerpo-fondo por peso propio de cuerpo, techo y combustible:

Los momentos producidos por el peso propio del cuerpo, techo y el producto almacenado se calculan a continuación:

$$M_{pi} = P_{di} * \frac{D}{2} * \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ecuación 63}$$

$$M_{dl} = W_{s,r} * g * \frac{D}{2} \quad \text{Ecuación 64}$$

$$M_f = W_f * \frac{D}{2} \quad \text{Ecuación 65}$$

En cuanto al peso de líquido w_L , este se calcula considerando el peso de una banda de líquido sobre el cuerpo usando una gravedad específica de 0,7 y la mitad de la altura del nivel de diseño del líquido. W_L deberá ser para unidades del SI menor que $14,8 \text{ H D}$:

$$w_L = 59 * t_b * \sqrt{Fby * H}$$

$$W_f = w_L * \pi * D$$

Calculando:

$$w_L = 59 * 6 * \sqrt{172 * \frac{18}{2}} = 13.928 \text{ N/m}$$

$$W_f = 13.928 * \pi * 28 = 1.225.170,8 \text{ N} = 1.225,2 \text{ kN}$$

$$M_{dl} = 197.394,73 * 0,00981 * \frac{28}{2} = 27.110,2 \text{ kNm}$$

$$M_f = 1.225,2 * \frac{28}{2} = 17.152,4 \text{ kNm}$$

2.5.8.4.3. Comprobación al vuelco en tanques sin anclar:

Atendiendo al apartado 5.11.2 se establecerán los requisitos mínimos de la sustentación del tanque:

$$0,6 * M_w + M_{pi} < \frac{M_{dl}}{1,5} \quad \text{Ecuación 66}$$

$$M_w + 0,4 * M_{pi} < \frac{(M_{dl} + M_f)}{2} \quad \text{Ecuación 67}$$

Siendo:

M_{pi} : Momento sobre la junta cuerpo-fondo por la presión interna. ($M_{pi}=0$, al ser un tanque atmosférico)

Resolviendo dichas ecuaciones:

$$0,6 * 17.127,18 < \frac{27.110,2}{1,5}$$
$$10.276,31 < 18.073,5 \quad \text{(CUMPLE)}$$

$$17.127,18 < \frac{(27.110,2 + 17.152,4)}{2}$$
$$17.127,18 < 22.131,3 \quad \text{(CUMPLE)}$$

Dicha condición se cumple en las dos situaciones de estabilidad al vuelco por lo que no es necesario la instalación de anclajes.

2.5.8.5. Fricción de deslizamiento

En el apartado 5.11.4 dedicado a la estabilidad del tanque frente al deslizamiento provocado por el viento, se usará una condición de fricción para evaluar si se produce dicha situación:

$$W_{wh} < 0,4 * (P_{tanque} - W_{wv}) \quad \text{Ecuación 68}$$

Donde:

P_{tanque} : Peso del tanque (kN). Se calcula sumando los diferentes pesos de los componentes del tanque.

$$P_{tanque} = 0,0098 * (P_r + P_s + P_b)$$
$$P_{tanque} = 0,0098 * (67.411,21 + 129.983,5 + 38.718,4) = 2.316,3 \text{ kN}$$

Resolviendo dicha condición:

$$523,74 < 0,4 * (2.316,3 - 886,68)$$
$$523,74 < 571,8 \quad \text{CUMPLE}$$

2.5.8.6. Comprobación de cargas sísmicas

Los requerimientos mínimos de diseño de tanques de acero soldados ante cargas sísmica están sujetos al apéndice E del estándar API 650.

En primer lugar, atendiendo al apartado E.4.3 del estándar se calcularán las aceleraciones sísmicas para sitios que no se encuentran definidos por la Norma ASCE 7, ya que el lugar de asentamiento de los tanques no se encuentra dentro del territorio de USA. Las nuevas aceleraciones calculadas tomarán los siguientes valores corregidos en función de la aceleración sísmica obtenida en la “Norma de Construcción Sismorresistente. Parte general y edificación”, NCSE-02 y especificadas en la hoja de datos del apartado 2.5.4.

$$S_s = 2,5 * S \quad \text{Ecuación 69}$$

$$S_1 = 1,25 * S \quad \text{Ecuación 70}$$

Donde:

$S=0,04$ g Aceleración sísmica de la zona de Algeciras obtenida de NCSE-02.

Por tanto:

$$S_s = 2,5 * S = 2,5 * 0,04 = 0,1 \text{ g}$$

$$S_1 = 1,25 * S = 1,25 * 0,04 = 0,05 \text{ g}$$

Seguidamente se calcularán las modificaciones para la condición de suelo del sitio de asentamiento de los tanques. Las máximas respuestas de aceleración espectral consideradas estarán modificadas según los factores de sitio F_a y F_v obtenidos en las tablas E-1 y E-2 del apartado E.4.4 del estándar, en función de los valores S_s y S_1 y el tipo de asentamiento.

Site Class	Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Accelerations at Short Periods				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.0$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	a	a	a	a	a

^aSite-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis is required.

Tabla 34. Factores de sitio F_a , tabla E-1 API 650

Site Class	Mapped Maximum Considered Earthquake Spectral Response Accelerations at 1 Sec Periods				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	a	a	a	a	a

^aSite-specific geotechnical investigation and dynamic site response analysis is required.

Tabla 35. Factores de sitio F_v , Tabla E-2 API 650

Considerando un tipo de sitio D y los valores S_s y S_1 se obtienen los siguientes factores de sitio:

$$F_a = 1,6$$

$$F_v = 2,4$$

A continuación, se calcularán los factores de diseño sísmico, en este caso los factores de modificación de respuesta se obtendrán de la tabla E-4 del apartado E.5.1.1 de la Norma, suponiendo un tanque auto-anclado con la finalidad de evitar los deslizamientos frente al viento.

Anchorage system	R_{wi} (impulsive)	R_{wc} (convective)
Self-anchored	3.5	2
Mechanically-anchored	4	2

Tabla 36. Factores de diseño sísmico, tabla E-4 API 650

$$R_{wi} = 3,5$$

$$R_{wc} = 2$$

De la tabla E-5 de la Norma se obtendrán los factores de importancia, I , en función de SUG (Seismic Use Group) proporcionado por el cliente y definidos en el apartado E.3.1. del estándar.

Seismic Use Group	I
I	1.0
II	1.25
III	1.5

Tabla 37. Factores de importancia I , tabla E-5 API 650

Tomando un valor de SUG igual a 1, el factor de importancia toma el siguiente valor:

$$I = 1$$

Atendiendo al apartado E.4.6.1 se calcularán los coeficientes de aceleración espectral impulsiva A_i y convectiva A_c , con las expresiones E.4.6.1-1 y E.4.6.1-5 respectivamente:

$$A_i = 2,5 * Q * F_a * S * \left(\frac{I}{R_{wi}} \right) \quad \text{Ecuación 71}$$

$$A_i = 2,5 * 1 * 1,6 * 0,04 * \left(\frac{1}{3,5} \right) = 0,0457 \text{ g}$$

Donde:

Q : Scaling factor from MCE to the design level spectral accelerations. Toma el valor de 1 para zonas no especificadas en la normativa ASCE 7.

Como $T_c > T_L$ el parámetro espectral de aceleración convectiva se calcula con la siguiente expresión:

$$A_c = 2,5 * K * Q * F_a * S * \left(\frac{T_s T_L}{T_c^2} \right) * \left(\frac{I}{R_{wc}} \right) \leq A_i \quad \text{Ecuación 72}$$

Donde:

T_L : Regional-dependent transition period for longer period ground motion. Toma el valor de 4 segundos para regiones fuera de USA no especificadas en ASCE 7.

$$T_s = \frac{F_v S_1}{F_a S_s} \quad \text{Ecuación 73}$$

$$T_s = \frac{2,4 * 0,05}{1,6 * 0,1} = 0,75 \text{ seg}$$

T_c : Periodo natural convectivo definido en el apartado E.4.5.2 de la norma:

$$T_c = 1,8 * K_s \sqrt{D} \quad \text{Ecuación 74}$$

$$K_s = \frac{0,578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3,68 * H}{D}\right)}} \quad \text{Ecuación 75}$$

$$K_s = \frac{0,578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3,68 * 18}{28}\right)}} = 0,5831$$

K : Factor de ajuste espectral de aceleración por amortiguamiento (paso del 5% en componente impulsiva, al 0,5% de la componente convectiva), recibe el valor de 1,5.

Por tanto, el periodo convectivo T_c recibe el siguiente valor:

$$T_c = 1,8 * 0,5831 \sqrt{28} = 5,55 \text{ seg}$$

Como bien se ha cumplido la condición anterior para el cálculo del parámetro espectral de aceleración convectiva A_c ($T_c > T_L$; $5,55 \text{ seg} > 4 \text{ seg}$), este toma el siguiente valor:

$$A_c = 2,5 * 1,5 * 1 * 1,6 * 0,04 * \left(\frac{0,75 * 4}{5,55^2} \right) * \left(\frac{1}{2} \right) = 0,0117 \leq A_i$$

Una vez obtenido los parámetros de aceleración espectral impulsiva y convectiva se calcula la aceleración lateral equivalente como sigue:

$$A = \sqrt{A_i^2 + A_c^2} = \sqrt{0,0457^2 + 0,0117^2} = 0,0471$$

La aceleración vertical equivalente A_v se calcula siguiendo la siguiente expresión:

$$A_v = 0,14 * S_{ds} \quad \text{Ecuación 76}$$

Donde:

S_{ds} : Aceleración de cálculo. Calculada según la siguiente expresión:

$$S_{ds} = Q * F_a * S_s \quad \text{Ecuación 77}$$

$$S_{ds} = 1 * 1,6 * 0,1 = 0,16 \text{ g}$$

Por tanto, el valor de la aceleración vertical equivalente recibe el siguiente valor:

$$A_v = 0,14 * S_{ds} = 0,14 * 0,16 = 0,0224 \text{ g}$$

De acuerdo al apartado E.6 de la Norma, se calcularán las cargas de diseño para hacer de las diferentes partes del cuerpo, componentes resistentes frente a fuerzas sísmicas, considerando la masa efectiva y dinámica de la presión del líquido.

Las masas efectivas del producto almacenado se calcularán en el apartado E.6.1.1 de la Norma. En ella hay que distinguir entre la masa que actúa de manera impulsiva W_i y aquella que actúa de manera convectiva W_c . Para ello se adjuntará una tabla resumen de las cargas de los diferentes componentes del tanque:

W_p	Peso del producto almacenado	107.641.112 N
W_r	Peso del techo + 10% carga nieve	670.201,6 N
W_s	Peso de las virolas y accesorios	1.273.838,5 N
W_f	Peso del fondo	414.682,1 N
$W_{efectivo}$	Peso total del tanque + W_i	72.145.418 N

Tabla 38. Cargas de los diferentes componentes del tanque

Para tanques donde $D/H \geq 1,333$, la masa efectiva impulsiva del producto W_i , se calcula siguiendo la siguiente expresión:

$$W_i = \frac{\tanh\left(0,866 * \frac{D}{H}\right)}{0,866 * \frac{D}{H}} * W_p \quad \text{Ecuación 78}$$

$$W_i = \frac{\tanh\left(0,866 * \frac{28}{18}\right)}{0,866 * \frac{28}{18}} * 107.641.112 = 69.786.734 \text{ N}$$

De la misma manera, la masa efectiva convectiva del producto W_c , se calcula con la siguiente expresión:

$$W_c = 0,230 * \frac{D}{H} * \tanh\left(\frac{3,67 * H}{D}\right) * W_p \quad \text{Ecuación 79}$$

$$W_c = 0,230 * \frac{28}{18} * \tanh\left(\frac{3,67 * 18}{28}\right) * 107.641.112 = 37.830.025 \text{ N}$$

Una vez calculadas las masas efectivas convectivas e impulsivas del producto almacenado, se calcularán los puntos de aplicación de estas y así determinar el momento transmitido al tanque.

Cuando $D/H \geq 1,333$, la altura X_i se determina con la siguiente ecuación:

$$X_i = 0,375 * H \quad \text{Ecuación 80}$$

$$X_i = 0,375 * 18 = 6,75 \text{ m}$$

La altura X_c es determinada con la siguiente ecuación:

$$X_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67 * H}{D}\right) - 1}{\frac{3,67 * H}{D} * \sinh\left(\frac{3,67 * H}{D}\right)} \right] \quad \text{Ecuación 81}$$

$$X_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67 * 18}{28}\right) - 1}{\frac{3,67 * 18}{28} * \sinh\left(\frac{3,67 * 18}{28}\right)} \right] * 18 = 11,68 \text{ m}$$

En el apartado E.6.1.2.2 de la Norma se calcularán los puntos de aplicación de dichas fuerzas para evaluar el momento de vuelco transmitido a la cimentación del tanque.

Cuando $D/H \geq 1,333$ la altura X_{is} se determina con la siguiente expresión:

$$X_{is} = 0,375 * \left[1 + 1,333 * \left(\frac{0,866 * \frac{D}{H}}{\tanh\left(0,866 * \frac{D}{H}\right)} - 1 \right) \right] * H \quad \text{Ecuación 82}$$

$$X_{is} = 0,375 * \left[1 + 1,333 * \left(\frac{0,866 * \frac{28}{18}}{\tanh\left(0,866 * \frac{28}{18}\right)} - 1 \right) \right] * 18 = 11,63$$

Siguiendo con el cálculo de la altura X_{cs} :

$$X_{cs} = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67 * H}{D}\right) - 1,937}{\frac{3,67 * H}{D} * \sinh\left(\frac{3,67 * H}{D}\right)} \right] * H \quad \text{Ecuación 83}$$

$$X_{cs} = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67 * 18}{28}\right) - 1,937}{\frac{3,67 * 18}{28} * \sinh\left(\frac{3,67 * 18}{28}\right)} \right] * 18 = 13,051 \text{ m}$$

Según el apartado E.5.1 la fuerza lateral equivalente del sismo es determinada según la siguiente expresión:

$$F = A * W_{efectivo} \quad \text{Ecuación 84}$$

$$F = 0,0471 * 72.145.418 = 3.398.049 \text{ N N}$$

De acuerdo con el apartado E.6.1.3 de la Norma el parámetro de aceleración vertical máximo se calcula con la siguiente expresión:

$$F_v = \pm A_v * W_{efectivo} \quad \text{Ecuación 85}$$

$$F_v = \pm 0,0224 * 72.145.418 = 1.587.199 \text{ N}$$

Como bien se ha adelantado antes, atendiendo al apartado E.6 de la Norma se calcularán las cargas de diseño.

Cortante transmitido

En primer lugar, se calculará el cortante transmitido, definido en el apartado E.6.1:

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2} \quad \text{Ecuación 86}$$

Donde:

$$V_i = A_i (W_s + W_r + W_f + W_i) \quad \text{Ecuación 87}$$

$$V_c = A_c * W_c \quad \text{Ecuación 88}$$

Resolviendo dichas ecuaciones se obtiene:

$$V_i = 0,0457 (1.273.838,5 + 670.201,6 + 414.682,1 + 69.786.734) = 3.297.047 \text{ N}$$

$$V_c = 0,0117 * 37.830.025 = 442.611 \text{ N}$$

$$V = \sqrt{3.297.047^2 + 442.611^2} = 3.326.623 \text{ N}$$

Fuerzas de membranas circunferenciales dinámicas:

Las fuerzas de membranas circunferenciales dinámicas se diferencian en aquellas originadas por las fuerzas impulsivas y convectivas. Estas se calcularán atendiendo al apartado E.6.1.4 de la Norma.

Para tanques de almacenamiento donde se cumpla que $D/H \geq 1,333$, los esfuerzos de membrana circunferenciales impulsivos se calcularán siguiendo la siguiente expresión:

$$N_i = 8,48 * A_i * G * D * H * \left[\frac{Y}{H} - 0,5 * \left(\frac{Y}{H} \right)^2 \right] \tanh \left(0,866 * \frac{D}{H} \right) \quad \text{Ecuación 89}$$

Donde:

G : Peso específico del combustible

Y : Distancia desde la superficie del líquido hasta el punto de análisis (m)

Resolviendo la expresión se obtiene:

$$N_i = 8,48 * 0,0457 * 0,991 * 28 * 18 * \left[\frac{18 - 6,75}{18} - 0,5 * \left(\frac{18 - 6,75}{18} \right)^2 \right] \tanh \left(0,866 * \frac{28}{18} \right) \\ = 72,6 \text{ N/mm}$$

Siguiendo con el cálculo de los esfuerzos de membrana convectivos:

$$N_c = \frac{1,85 * A_c * G * D^2 * \cosh \left[\frac{3,68 * (H - Y)}{D} \right]}{\cosh \left(\frac{3,68 * H}{D} \right)} \quad \text{Ecuación 90}$$

$$N_c = \frac{1,85 * 0,0117 * 0,991 * 28^2 * \cosh \left[\frac{3,68 * (18 - 11,68)}{28} \right]}{\cosh \left(\frac{3,68 * 18}{28} \right)} = 4,27 \text{ N/mm}$$

Tras calcular los esfuerzos de membrana circunferenciales tanto impulsivos como convectivos, se procederá al cálculo de la tensión de la virola inferior. El cálculo de dicha tensión se realizará con la expresión E.6.1.4-6 de la Norma al tener en cuenta la aceleración vertical:

$$\sigma_T = \sigma_h \pm \sigma_s = \frac{N_h \pm \sqrt{N_i^2 + N_c^2 + (A_v * N_h)^2}}{t} \quad \text{Ecuación 91}$$

Donde:

N_h : Fuerza de membrana producido por el producto hidrostático (N/mm)

$$N_h = 4,9 * H * D * G \quad \text{Ecuación 92}$$

Resolviendo dichas expresiones:

$$N_h = 4,9 * 18 * 28 * 1 = 2.469,6 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_T = \sigma_h \pm \sigma_s = \frac{2.469,6 \pm \sqrt{72,6^2 + 4,27^2 + (0,0224 * 2.469,6)^2}}{16} = 160 \text{ MPa} ; 148,6 \text{ MPa}$$

Una vez calculado la tensión que sufre la virola del fondo por acción de los esfuerzos de membrana, se deberá de prever que estas no sufran plastificación. Para ellos se debe de cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_T < \min (1,33 * S_d; 0,9 * F_y)$$

Donde:

S_d : Tensión de diseño de la lámina de la primera virola, $S_d=172$ MPa.

F_y : Límite elástico de la lámina de la primera virola, $F_y=275$ MPa.

Como se puede observar se cumple la condición impuesta:

$$160 \text{ MPa} < 228,76 \text{ MPa} \quad \text{CUMPLE}$$

$$148,6 \text{ MPa} < 228,76 \text{ MPa} \quad \text{CUMPLE}$$

Momento del vuelco

En cuanto al momento de vuelco por sismo se calculará tanto el momento transmitido a la pared del tanque como a la base. El momento del vuelco del tanque se calculará según el apartado E.6.1.5 de la Norma:

- Momento transmitido a la pared del tanque:

$$M_{rw} = \sqrt{(A_i * (W_s * X_s + W_r * X_r + W_i * X_i))^2 + (A_c * W_c * X_c)^2} \quad \text{Ecuación 93}$$

$$M_{rw} = 23.147.017 \text{ Nm}$$

- Momento del vuelco del tanque:

$$M_s = \sqrt{(A_i * (W_i * X_{is} + W_r * X_r + W_s * X_s))^2 + (A_c * W_c * X_{cs})^2} \quad \text{Ecuación 94}$$

$$M_s = 38.591.964 \text{ Nm}$$

2.5.8.7. Comprobación de anclajes

El apartado E.6.2 del API 650 está destinado al cálculo de la resistencia de los anclajes para prevenir los momentos de vuelco de las paredes del tanque. Los principales puntos en los que se centra son: ratio de anclaje, J, requisitos del anillo anular, máxima tensión longitudinal en la carcasa del tanque y altura de la ola del líquido almacenado.

- **Ratio de anclaje, J:**

El ratio de anclaje se calcula de acuerdo al apartado E.6.2.1.1.1 de la Norma. Dicho ratio se calcula con la siguiente expresión:

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2 [w_t (1 - 0,4 * A_v) + w_a - 0,4 * w_{int}]} \quad \text{Ecuación 95}$$

Donde para tanques auto-anclados:

$$w_t = \left[\frac{W_s}{\pi * D} + w_{rs} \right] \quad \text{Ecuación 96}$$

$$w_a = 99 * t_a * \sqrt{F_y * H * G_e} \leq 201,1 * H * D * G_e \quad \text{Ecuación 97}$$

$$w_{rs} = \frac{1,1 * W_r}{\pi * D} \quad \text{Ecuación 98}$$

$$G_e = G(1 - 0,4 * A_v) \quad \text{Ecuación 99}$$

Siendo:

w_t : Peso del tanque actuando en la base de la virola (N/m)

w_a : Fuerza de resistencia al levantamiento en la base de la virola (N/m)

w_{rs} : Carga del techo con un incremento del 10% por peso de la nieve (N/m)

w_{int} : Carga de levantamiento por presión interior (N/m)

t_a : Espesor de la placa anular sin corrosión (mm).

G_e : Gravedad específica incluyendo efectos de sismo vertical.

Procediendo al cálculo de dichas expresiones:

$$w_t = \left[\frac{1273838,5}{\pi * 28} + 8.381 \right] = 22.862,3 \text{ N/m}$$

$$w_a = 99 * 8 * \sqrt{275 * 18 * 0,961} \leq 201,1 * 18 * 28 * 0,961$$

$$w_a = 54.624,75 \text{ N/m} \leq 97.401,57 \text{ N/m}$$

$$w_{rs} = \frac{1,1 * 670201,6}{\pi * 28} = 8.381 \text{ N/m}$$

$$G_e = 0,991(1 - 0,4 * 0,0224) = 0,982$$

$$J = \frac{23.147.017}{28^2[22.862,3(1 - 0,4 * 0,0224) + 54.624,75 - 0,4 * 0]} = 0,38$$

Atendiendo al resultado obtenido y evaluándolo según la tabla E-6 de la Norma, este tanque no se ve afectado ante un momento de vuelco producido por las cargas sísmicas, por lo que puede ser auto-anclado.

Anchorage Ratio J	Criteria
$J \leq 0.785$	No calculated uplift under the design seismic overturning moment. The tank is self-anchored.
$0.785 < J \leq 1.54$	Tank is uplifting, but the tank is stable for the design load providing the shell compression requirements are satisfied. Tank is self-anchored.
$J > 1.54$	Tank is not stable and cannot be self-anchored for the design load. Modify the annular ring if $L < 0.035D$ is not controlling or add mechanical anchorage.

Tabla 39. Criterios frente a los valores del factor J, tabla E-6 API 650

- **Requisitos de la placa anular del fondo:**

El espesor de las láminas del fondo del tanque, debajo de la carcasa pueden ser mayor o igual que el espesor de resto de láminas que conforman el resto del fondo, como se ha visto en el apartado destinado al diseño del fondo del tanque.

Gracias al apartado E.6.2.1.1.2 de la Norma se calculará la proyección mínima de la placa anular hacia el interior del tanque, para cumplir con la seguridad ante cargas por sismo. Según la nota 3 de dicho apartado se aplica dicha condición:

$$L = 0,01723 * t_a \sqrt{\frac{F_y}{H * G_e}} < 0,035 * D \quad \text{Ecuación 100}$$

Calculando dicha expresión:

$$L = 0,01723 * (8 - 2) \sqrt{\frac{275}{18 * 0,961}} = 0,412 \text{ m} < 0,98 \text{ m} \quad \text{CUMPLE}$$

Como se puede observar se cumple con la condición impuesta.

- **Tensión de compresión longitudinal máxima en la carcasa del tanque:**

Atendiendo al apartado E.6.2.2.1 encaminado a los tanques auto-anclados, es decir para tanques cuyos valores de $J < 0,785$, la tensión máxima longitudinal deberá ser calculada con la siguiente fórmula:

$$\sigma_c = \left(w_t (1 + 0,4 * A_v) + \frac{1,273 * M_{rw}}{D^2} \right) \frac{1}{1000 * t_s} \quad \text{Ecuación 101}$$

Donde:

t_s : Espesor de la placa anular en situaciones no corroídas (mm).

Resolviendo la fórmula:

$$\sigma_c = \left(22.862,3 (1 + 0,4 * 0,0224) + \frac{1,273 * 23.147.017}{28^2} \right) \frac{1}{1000 * 16} = 3,79 \text{ MPa}$$

Una vez calculado la máxima tensión longitudinal, esta debe ser menor que la tensión permisible sísmica F_c , donde se considera la presión interna debido al contenido del líquido. Dicha expresión se adjunta en el apartado E.6.2.2.3 en función de la siguiente condición:

$$GHD^2/t^2 \geq 44$$

$$0,991 * 18 * \frac{28^2}{16^2} = 54,62 \geq 44$$

Para el cumplimiento de dicha condición, la tensión permisible debido al sismo F_c , se calcula de la siguiente manera:

$$F_c = \frac{83 * t_s}{D} \quad \text{Ecuación 102}$$

$$F_c = \frac{83 * 16}{28} = 47,43 \text{ MPa}$$

Como se puede observar se cumple dicha condición:

$$\sigma_c = 3,21 < 47,43 = F_c \quad \text{CUMPLE}$$

- **Espacio libre del techo:**

Como bien se comentó en el apartado destinado a los cálculos de la geometría de tanque, para cumplir con la capacidad de diseño, se dejó un espacio libre de seguridad entre la superficie del líquido y el techo del tanque. En el apartado E.7.2 de la Norma, se comprobará que dicho espacio no se ve afectado por la altura de la ola del combustible almacenado, gracias a la siguiente expresión:

$$\delta_s = 0,5 * D * A_f \quad \text{Ecuación 103}$$

Para SUG I y II y $T_c > 4$ seg:

$$A_f = 2,5 * K * Q * F_a * S * I * \left(\frac{4 * T_s}{T_c^2} \right) \quad \text{Ecuación 104}$$

Resolviendo dichas expresiones:

$$A_f = 2,5 * 1,5 * 1 * 1,6 * 0,04 * 1 * \left(\frac{4 * 0,15}{5,55^2} \right) = 0,0047$$

$$\delta_s = 0,5 * 28 * 0,0047 = 0,0658 \text{ m} < 0,8 \text{ m} \quad \text{CUMPLE}$$

Por tanto, la altura libre del techo cumple con dicha condición.

2.5.8.8. Diseño de la corona anular para soporte del techo

En los tanques sometidos a una presión interna que sobrepase el peso de las láminas de la cubierta, se debe de estudiar la posibilidad de construir una corona anular o placa de compresión, con la finalidad de que la unión techo-cuerpo y cuerpo-fondo no sean tan frágiles, ya que es ahí donde se acusan las discontinuidades de la estructura del tanque.

La acción de la presión bajo la cubierta puede provocar esfuerzos de compresión en la unión techo-cuerpo. Es por ello, que el área de esta zona debe ser lo suficientemente fuerte para solucionar las posibles deformaciones que se puedan producir en dicha zona.

Siguiendo con el apartado 5.10.6.2 del estándar señala que el área participativa de la unión techo-virola en los tipos domo y el angular de coronación que hace posible dicha unión, debe ser igual o exceder a:

$$A = \frac{p * D^2}{8 * F_a * \tan(\theta)} \quad \text{Ecuación 105}$$

Donde:

P: Máxima combinación de cargas establecidas en el apéndice R, específicamente e.1 y e.2. (kPa)

D: Diámetro del tanque = 28 m

F_a: Tensión del material en condiciones de operación = 172 MPa

θ: Ángulo del techo con la horizontal del tanque = 30°.

$$A = \frac{2,073 * 28^2}{8 * 172.000 * \tan(30)} = 0,002046 \text{ m}^2 = 2046 \text{ mm}^2$$

2.5.8.9. Comprobación según Apéndice F de API 650

El apéndice F del standard API 650 permite el diseño para el incremento de la presión interna en tanques de techos fijos no refrigerados hasta la máxima presión permisible de 18 kPa.

Para la comprobación y el diseño de los tanques ante un incremento de la presión interna, se seguirá una serie de interrogantes detallados en el estándar para una conclusión final:

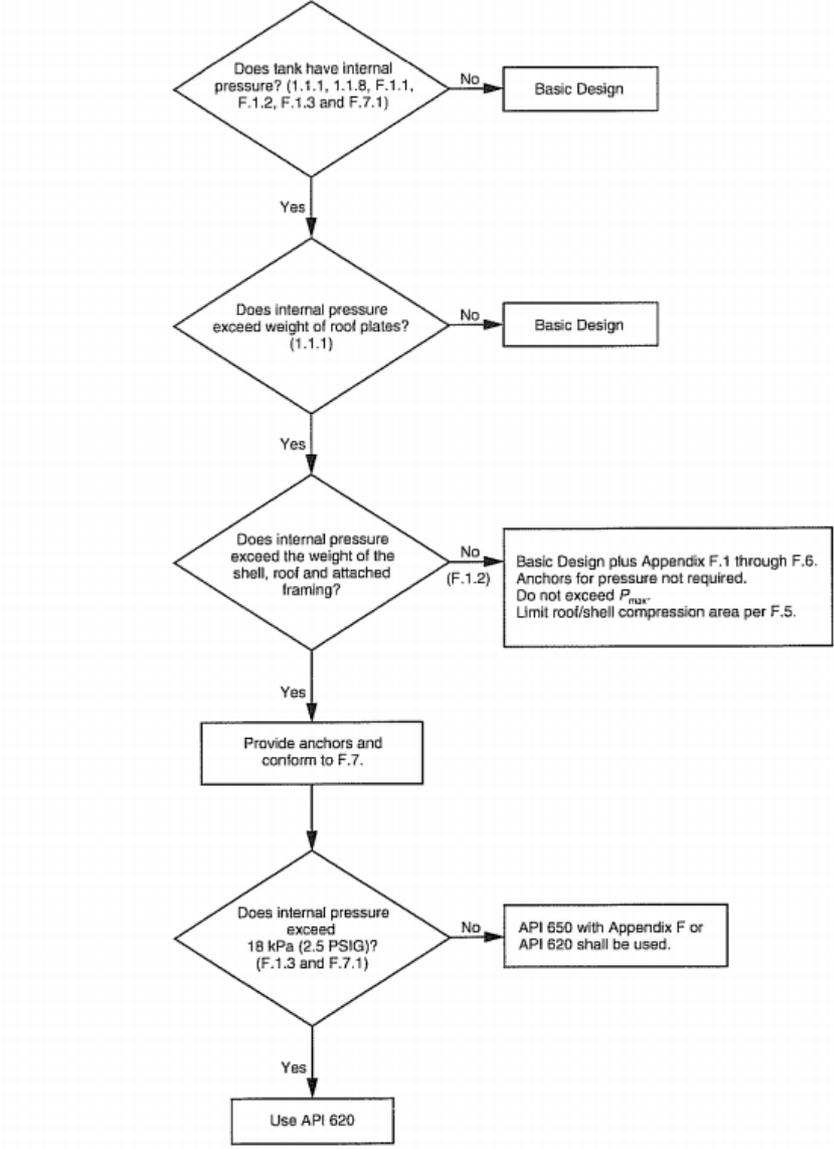


Ilustración 15. Diagrama de flujo para el diseño de tanque ante presiones internas

Como se puede observar siguiendo el diagrama de flujo, al no presentar el tanque presión interna se opta por un diseño básico de la corona anular.

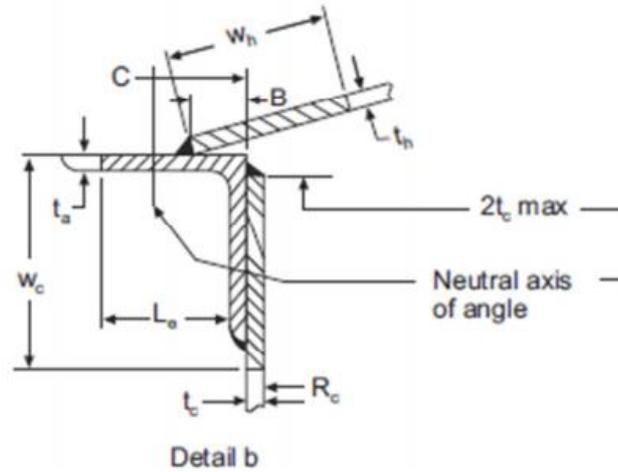


Ilustración 16. Unión techo-virola y angular de coronación

Como se puede ver en la ilustración 14, la unión techo-virola está compuesta por tres elementos:

- Área de la lámina del techo.
- Área de la lámina de la virola.
- Angular de coronación.

Estos tres elementos estarán colocados conforme a la imagen adjunta, calculándose para dicha composición las áreas participativas del techo y la virola:

$$A_{cubierta} = w_r * t_r = 0,6 * (R_c * t_r)^{0,5} * t_r \quad \text{Ecuación 106}$$

$$A_{cuerpo} = w_h * t_h = 0,6 * (R_2 * t_h)^{0,5} * t_h \quad \text{Ecuación 107}$$

Donde:

w_c : Ancho participante de la virola del cuerpo

w_h : Ancho participante del techo

t_r : Espesor de las placas del techo

t_h : Espesor de condiciones corroídas de la virola más alta

R_c : Radio de la virola en condiciones corroídas

R_2 : Longitud de la normal al techo

$A_{pared} \text{ (mm}^2\text{)}$	1606,4
$A_{techo} \text{ (mm}^2\text{)}$	3.662,8

En cuanto al angular de coronación, atendiendo al apartado 5.1.5.9 del estándar, el mínimo tamaño del ángulo de coronación para tanques mayores de 18 m es de 75x75x10 mm.

Tank Diameter (D)	Minimum Top Angle Size ^a (mm)	Minimum Top Angle Size ^a (in.)
$D \leq 11 \text{ m}, (D \leq 35 \text{ ft})$	50 × 50 × 5	$2 \times 2 \times \frac{3}{16}$
$11 \text{ m} < D \leq 18 \text{ m}, (35 \text{ ft} < D \leq 60 \text{ ft})$	50 × 50 × 6	$2 \times 2 \times \frac{1}{4}$
$D > 18 \text{ m}, (D > 60 \text{ ft})$	75 × 75 × 10	$3 \times 3 \times \frac{3}{8}$

Tabla 40. Mínimos tamaños de ángulos, API 650

$$A_{eff} = A_{L\ 75 \times 75 \times 10} + A_{pared} + A_{techo} \quad \text{Ecuación 108}$$

Donde:

$$A_{L\ 75 \times 75 \times 10}: 1409 \text{ mm}^2$$

Para el tanque, el área angular de coronación presentará el siguiente valor de área efectiva:

A_{eff}	7721 mm ²
-----------	----------------------

Siguiendo las condiciones impuestas en el apartado 11.2.5. del EuroCode 3: Design of Steel structures- Part 4-2: Tanks, se debe cumplir:

$$\frac{N_{rs,ed}}{A_{eff}} \leq F_y \quad \text{Ecuación 109}$$

$$N_{rs,ed} = \frac{p_{v,Ed} * r^2}{2 \tan \alpha} \quad \text{Ecuación 110}$$

Calculando:

$$N_{rs,ed} = \frac{2,073 * 14^2}{2 \tan (30)} = 351,87 \text{ kN}$$

$$\frac{351,87}{6.678,2 * 10^{-6}} \leq 275.000$$

$$52.689,3 \leq 275.000$$

CUMPLE

2.5.9. Cálculo de pesos

W_s	Peso cuerpo tanque	$\rho_{acero} * \pi * D * e * \frac{\sum_{i=1}^9 t_i}{1000}$	129.983,52 kg
W_b	Peso placa fondo	$\rho_{acero} * \frac{\pi * D^2}{4} * \frac{t_b}{1000}$	38.718,36 kg
$W_{a,b}$	Peso anillo anular fondo	$\rho_{acero} * \pi * (R^2 - r^2) * \frac{t_b}{1000}$	3596,16 kg
W_{Tb}	Peso total del fondo	$W_b + W_{a,b}$	42.314,5 kg
W_r	Peso cubierta	$\rho_{acero} * A_h * \frac{t_r}{1000}$	67.411,21 kg
W_{anillo}	Peso del angular de coronación	$p_{L75x75x10} * \pi * D$	972,88 kg
W_{Tr}	Peso total de la cubierta	$W_r + W_{anillo}$	68.384 kg
$W_{s,r}$	Peso cubierta y cuerpo	$W_s + W_r$	197.394,7 kg
W_p	Peso del contenido del tanque	$\rho_{fuel-oil} * H * \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$	10.556.639,8 kg
W_{acc}	Peso de accesorios y tubuladuras	-	10.000 kg
W_{TOTAL}	Peso total del tanque	$W_s + W_{Tb} + W_{Tr}$	250.682,02 kg

Tabla 41. Cálculo de los pesos de tanque

3. ÁREAS DE LA TERMINAL

Cualquiera que deje de aprender es viejo, ya sea a los veinte u ochenta. Cualquiera que sigue aprendiendo se mantiene joven.

- Henry Ford -

En esta sección se va a diseñar el área de la terminal portuaria en virtud de la Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 “Parques de Almacenamientos de Líquidos Petrolíferos” aplicada en este caso a instalaciones destinadas al almacenamiento de líquidos petrolíferos en superficie de nueva construcción, estableciendo una adecuada implantación, en base a la seguridad que requiere la explotación del parque.

3.1. Descripción de la terminal

La terminal portuaria de almacenamiento de líquidos petrolíferos contará con las siguientes instalaciones definidas en el artículo 4 de la ITC IP02, donde se especificará las áreas que delimitan a dichas construcciones:

- **Cargadero de buques cisterna o barcazas cisterna:** Se integra por la batería de válvulas y tuberías terminales, los brazos y dispositivos en posición de reposo y la superficie del muelle de atraque o pantalán que se determine a efectos de medidas de seguridad.
- **Cargadero de camiones y vagones-cisterna:** Lo conforman los dispositivos de carga en posición normal de operación, más las cisternas de todos los vehículos supuestos cargando simultáneamente.
- **Centrales de vapor de agua:** Lo forman el borde de las carderas con los recuperadores, cuando están situadas a la intemperie, o el edificio que las albergue, incluidas las turbinas de generación de energía si las hubiese. En el caso de la terminal, la central de vapor solo estará integradas por las calderas.
- **Depósitos y tanques de almacenamiento:** Para los tanques de superficie con cubeto, la proyección es tomada desde el borde superior interior de este.
- **Edificios:** La proyección es tomada desde las paredes exteriores. Los únicos edificios integrados en el parque serán el edificio de control, el edificio administrativo, la nave almacén y el puesto de entrada a la terminal.
- **Estación de bombeo:** El área que incluye el conjunto de bombas con sus accionamientos y valvulería aneja, o el vallado mínimo que pudiera serle aplicable o el edificio que las contenga. En este caso los grupos de bombeos estarán localizados en el interior de un edificio.
- **Separadores de agua hidrocarbурadas:** El límite de los mismos y si existiera, el borde de las balsas a plena capacidad.
- **Subestaciones eléctricas y centros de transformación:** La proyección es tomada desde el vallado que exista a su alrededor, a la distancia requerida por el reglamento vigente de instalaciones eléctricas o el edificio que los albergue.

3.2. Distancias de seguridad

A continuación, se definirán las distancias mínimas entre las áreas especificadas anteriormente atendiendo al artículo 7 del capítulo II de la ITC IP 02, cuyas distancias no podrán ser menores a los obtenidos de los cuadros I, II y III.

En el cuadro I se puede obtener las distancias mínimas en proyección horizontal de las áreas definidas en el apartado 3.1. del presente documento.

Instalaciones	Distancias							
1. Estaciones de bombeo de líquidos petrolíferos.								
2. Almacenamiento 2.1 Clase B.	15	(2)						
	(1)							
2.2 Clase C.	15	(2)	(2)					
	(1)							
2.3 Clase D.	10	(2)	(2)					
	(1)							
3. Cargaderos 3.1 Clase B.	20	20	20	20				
	(4)	(3)	(3)	(3)				
3.2 Clases C y D.	15	20	20	20				
	(4)	(3)	(3)	(3)				
4. Balsas separadoras.	15	20	15	10	20	15		
	(5)							
5. Centrales de vapor.	20	30	30	30	20	20	30	
	(6)	(6)	(6)					
6. Edificios administrativos y sociales, laboratorios y talleres.	20	30	20	15	20	15	20	(7)
7. Estaciones de bombeo contra incendios.	20	30	30	10	30	25	20	20
8. Vallado del parque de almacenamiento.	15	20	15	10	20	15	20	(7)
								(8)
9. Terrenos en los que pueden edificarse inmuebles habitados. Vías exteriores (9) (11).	20	30	25	20	40 (10)	30 (10)	20	(7)
10. Locales de pública concurrencia.	30	40	40	20	40	35	40	(7)
Instalaciones.	1	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	4	5

Tabla 42. Distancias mínimas entre instalaciones, cuadro I, ITC MI-IP02

En el cuadro II, se adquieren unos coeficientes de reducción, que son aplicadas a las distancias obtenidas del cuadro I, en virtud de la capacidad máxima de almacenamiento.

Capacidad total de almacenamiento de la instalación en m ³			Coefficiente para reducción de distancias
	Q ≥	50.000	1,00
50.000	> Q ≥	20.000	0,95
20.000	> Q ≥	10.000	0,90
10.000	> Q ≥	7.500	0,85
7.500	> Q ≥	5.000	0,80
5.000	> Q ≥	2.500	0,75
2.500	> Q ≥	1.000	0,70
1.000	> Q ≥	500	0,65
500	> Q ≥	250	0,60
250	> Q ≥	100	0,50
100	> Q ≥	50	0,40
50	> Q ≥	5	0,30
5	> Q ≥	0	0,20

Tabla 43. Coeficientes de reducción de distancias, cuadro II, ITC MI-IP02

Del cuadro III, se obtienen los coeficientes de reducción aplicables a las distancias obtenidas después de aplicar el coeficiente de reducción del cuadro II. En este caso, dichos coeficientes se obtienen en función de la existencia de medidas o sistemas de protección contra incendios, que son aplicadas en ciertas instalaciones ubicadas en la terminal. Los valores de las distancias mínimas finales, no podrán ser menor a 2 metros, excepto las distancias entre instalaciones que puedan contener líquidos y los conceptos 5, 9 y 10 del cuadro I, que no podrán ser inferiores a 6 metros en el caso de combustibles de clase C, contenidos en la terminal.

Medidas o sistemas de protección adoptados		Coeficiente de reducción
Nivel	Cantidad	
0	-	1,00
1	1	0,75
1	2 o más	0,50
2	1 o más	0,50

Tabla 44. Coeficientes de reducción en función de las medidas de protección contra incendios, cuadro III, ITC MI-IP02

Existen tres niveles de protección contra incendios según la ITC IP 02:

- Nivel 0: Protecciones contra incendio de obligado cumplimiento.
- Nivel 1: Sistemas fijos de extinción de incendio de accionamiento manual y/o brigadas de lucha contra incendios.
- Nivel 2: Sistemas fijos de accionamiento automático.

Una vez explicado el procedimiento, se procede a adjuntar un cuadro con las distancias mínimas entre las instalaciones existentes en la terminal, conociendo las siguientes condiciones para los coeficientes de reducción del cuadro I y II respectivamente:

$Q \geq 50.000 \text{ m}^3$	Coef. Reducción cuadro II: 1
2 o más medidas o sistemas de protección contra incendios de nivel 1	Coef. Reducción cuadro III: 0,5

Tabla 45. Coeficientes de reducción de distancia según ITC IP-02

DISTANCIAS (m)	Estación bombeo de combustible	Almacenamiento clase C	Cargadero clase C	Balsas separadoras	Central de vapor	Edificios administrativos y sociales, laboratorios y talleres	Estación bombeo contra incendios	Vallado del parque
Estación bombeo de combustible	-	7,5	7,5	7,5	10	10	10	7,5
Almacenamiento clase C	7,5	-	10	7,5	15	10	15	7,5
Cargadero clase C	7,5	10	-	7,5	10	7,5	12,5	7,5
Balsas separadoras	7,5	7,5	7,5	-	15	10	10	10
Central de vapor	10	15	10	15	-	(5)	10	(7)
Edificios administrativos y sociales, laboratorios y talleres	10	10	7,5	10	(7)	-	-	-
Estación bombeo contra incendios	10	15	12,5	10	10	-	-	-
Vallado del parque	7,5	7,5	7,5	10	(7)	-	-	-

Tabla 46. Distancias mínimas de separación en la terminal

3.3. Distancia entre tanques

En este apartado se definirán las distancias mínimas exigibles por la ITC IP 02 para la separación entre los tanques de almacenamiento de eje vertical, como es el caso.

Para calcular dichas distancias se tomará como punto de partida el diámetro nominal del tanque mayor. Al tratarse de tanques de capacidades iguales se tomará el diámetro de cualquiera de ellos.

En cuanto a la disposición de los depósitos, estos deben estar alineados en 2 filas máximo para así conseguir que cada tanque presente una vía de acceso adyacente para la intervención de los medios contra incendios.

Según el cuadro IV que se adjunta de la ITC IP 02, se obtienen las distancias mínimas de separación entre tanques, en función del tipo de tanque, la clase de producto a almacenar y su diámetro, como se ha comentado antes.

Tipo de tanque	Clase de producto	Diámetros		Observaciones
		D < 40 m	D > 40 m	
Techo fijo.	B	0,80 D	40 m	Mínimo 2,5 m
	C	0,30 D		Máximo 17,0 m
	D	0,25 D		Mínimo 2,0 m
		D < 50 m	D > 50 m	
Techo flotante.	B	0,5 D	25 m	Mínimo 2,5 m
	C	0,3 D		Máximo 17,0 m

Tabla 47. Distancias mínimas entre tanques

Como se puede observar en dicho cuadro, considerando tanques de techo fijo que almacenan combustibles de clase C y que presentan diámetros de 28 m, se obtienen los siguientes valores:

Distancia mínima entre paredes de tanques: $0,3 \cdot 28 = 8,4$ m

Distancia máxima entre paredes de tanques: 17 m

Dichas distancias mínimas pueden ver reducido su valor dependiendo de si dicho almacenamiento presenta medidas de protección contra incendios, como se puede observar en el cuadro VI del Reglamento:

Medidas o sistemas de protección adoptados		Coeficiente de reducción
Nivel	Cantidad	
0	—	1,0
1	1	0,9
1	2 o más	0,8
2	1	0,8
2	2 o más	0,7

Tabla 48. Coeficientes de reducción de distancias por medidas de protección contra incendios

Como se ha definido en el apartado 3.2 la instalación de almacenamiento presenta dos o más medidas de protección contra incendio, es por ello que al valor obtenido del cuadro VI se le aplica un coeficiente de 0,8, obteniéndose las distancias mínimas entre paredes de los tanques definitivas:

Distancia mínima entre paredes de tanques: $0,8 \cdot 8,4 = 6,72$ m

Distancia máxima entre paredes de tanques: 17 m

3.4. Capacidad del cubeto

Atendiendo a la ITC IP 02, un cubeto se define como un recipiente estanco cuya misión es retener los productos almacenados en caso de rotura del continente o del funcionamiento incorrecto del sistema de trasiego.

Según la ITC IP 02, la capacidad de un cubeto se define como el volumen máximo de combustible que puede contener. En este apartado, se dimensionará el cubeto que contiene a los tanques de almacenamiento de combustible atendiendo al artículo 19 del reglamento.

En primer lugar, se debe tener en cuenta que dicho cubeto va a contener más de dos tanques. Es por ello, que su capacidad se calcula en función a tres aspectos:

- **Referido al tanque mayor:** El cálculo de la capacidad del cubeto, se realizar considerando que el tanque de mayor dimensionamiento no existiese, pero si los demás.
- **Referido a la capacidad global de los tanques:** Se dimensiona suponiendo que no existe ningún tanque en su interior
- **Hidrocarburos de las clases B o C:** Se dimensiona teniendo en cuenta que dicho cubeto contendrá a hidrocarburos de la clase B o C y este será igual al mayor de los valores siguientes:
 - 100% de la capacidad del tanque mayor.
 - 30% de la capacidad global de los tanques en el contenido.

Es de especial atención que ningún cubeto debe sobrepasar un volumen de 200.000 m³ y este debe de estar compartimentado por muretes de 0,7 m de altura, de tal forma que cada compartimento contenga como máximo 20.000 m³ de combustible almacenado en uno o más tanques.

A la hora de calcular la capacidad del cubeto, primero hay que calcular el área del mismo, teniendo en cuenta que todos los tanques se van a disponer en el mismo cubeto en dos filas, por ende, este presentará un lado horizontal más largo que el lado vertical:

$$\text{Área}_{\text{cubeto}} = \text{lado}_{\text{horizontal}} * \text{lado}_{\text{vertical}} \quad \text{Ecuación 111}$$

$$\text{lado}_{\text{horizontal}} = (2 * \text{dist}_{\text{pared cubeto}}) + (5 * DN) + (4 * \text{dist}_{\text{pared tanques}}) \quad \text{Ecuación 112}$$

$$\text{lado}_{\text{vertical}} = (2 * \text{dist}_{\text{pared cubeto}}) + (2 * DN) + (\text{dist}_{\text{pared tanques}}) \quad \text{Ecuación 113}$$

Siendo:

$\text{dist}_{\text{pared cubeto}}$: Distancia mínima entre la pared de los tanques y la pared interior del cubeto = 4 m (apartado 3 c) del artículo 19 para muretes de pendiente inferior a 45°.

$\text{dist}_{\text{pared tanques}}$: Distancia entre las paredes de los tanques = 8 m (mayor que la distancia mínima de 6,72 m calculada en apartado 3.3)

$DN=28$ m

Por tanto:

$$\text{lado}_{\text{horizontal}} = (2 * 4) + (5 * 28) + (4 * 8) = 180 \text{ m}$$

$$\text{lado}_{\text{vertical}} = (2 * 4) + (2 * 28) + (8) = 72 \text{ m}$$

$$\text{Área}_{\text{cubeto}} = 180 * 72 = 12.960 \text{ m}^2$$

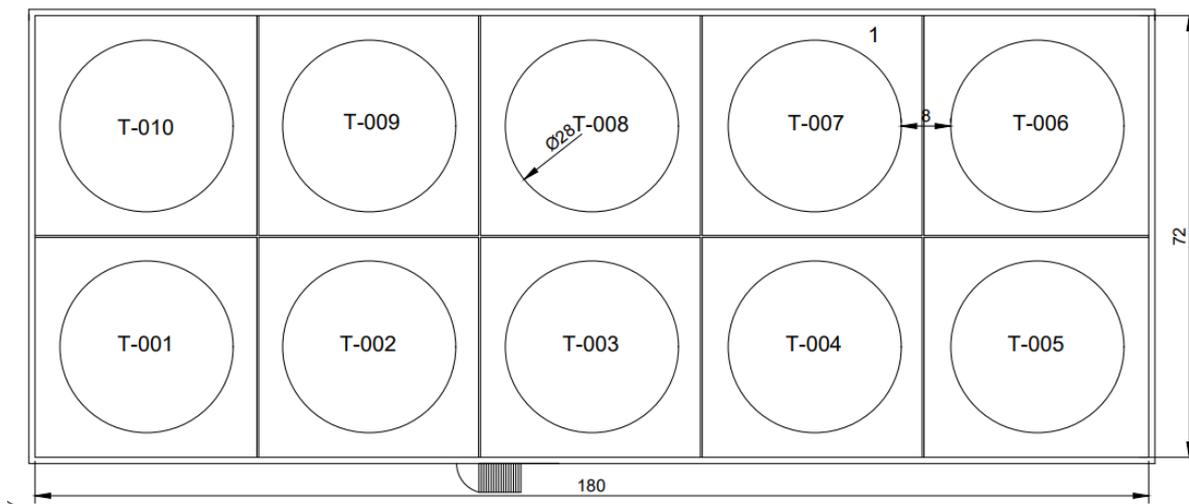


Ilustración 17. Dimensiones del cubeto

Una vez dimensionado el área del cubeto, se procederá al cálculo de la altura interna de las paredes del mismo para así calcular la capacidad mínima. Para ello se tendrá en cuenta las 2 opciones de cálculo de almacenaje de hidrocarburos clase C, explicados anteriormente, eligiendo el mayor valor:

- **Opción 1. Capacidad del cubeto:** 100% de la capacidad del tanque mayor.

$$\text{Capacidad mínima cubeto} = 10.653 \text{ m}^3$$

- **Opción 2. Capacidad del cubeto:** 30% de la capacidad global de los tanques contenidos.

$$\text{Capacidad mínima cubeto} = 10 * 10.653 * 0,3 = 31.960 \text{ m}^3$$

Por tanto, la capacidad mínima del cubeto será igual al valor máximo de las dos opciones, obteniendo el valor mayor en la opción 2 igual a 32.142 m³.

Una vez obtenido el volumen mínimo y la superficie del cubeto se procede al cálculo de la altura de las paredes internas:

$$V (\text{m}^3) = S (\text{m}^2) * h (\text{m}) \quad \text{Ecuación 114}$$

$$h (\text{m}) = \frac{32.142 \text{ m}^3}{12.960 \text{ m}^2} = 2,47 \approx 2,5 \text{ m}$$

Las paredes del cubeto se realizarán de hormigón armado, con una altura interna que ostentará 2,5 m, mientras que las paredes externas adyacentes a las vías de acceso presentarán una altura de 3 m, según el apartado 3 a) del artículo 19 de la normativa, para así facilitar la intervención de los medios de lucha contra incendios.

Como se ha especificado anteriormente el cubeto estará dividido en pequeños compartimentos que albergarán tanques de 20.000 m³ máximo, es por ello que dicho cubeto se dividirá en una sección por tanque, quedando un total de 10 compartimentos de dimensiones 36 m de lado y 0,7 m de altura.

Cabe destacar que el cubeto presentará una pendiente de 1% con la finalidad de encaminar hacia la red de drenaje el contenido de productos derramados.

3.5. Diseño de la instalación de trasiego de combustibles

Una vez que se ha determinado la situación específica de las áreas que componen la terminal, es importante explicar la distribución de las tuberías en la terminal y dimensionar el conjunto de líneas de trasiego de fuel oil y gas oil, así como los equipos e instrumentación que están incluidos en la instalación. Antes de empezar con la distribución y dimensionamiento es importante incluir un PFD, en el cual se pueda expresar el funcionamiento básico que tendrá la terminal.

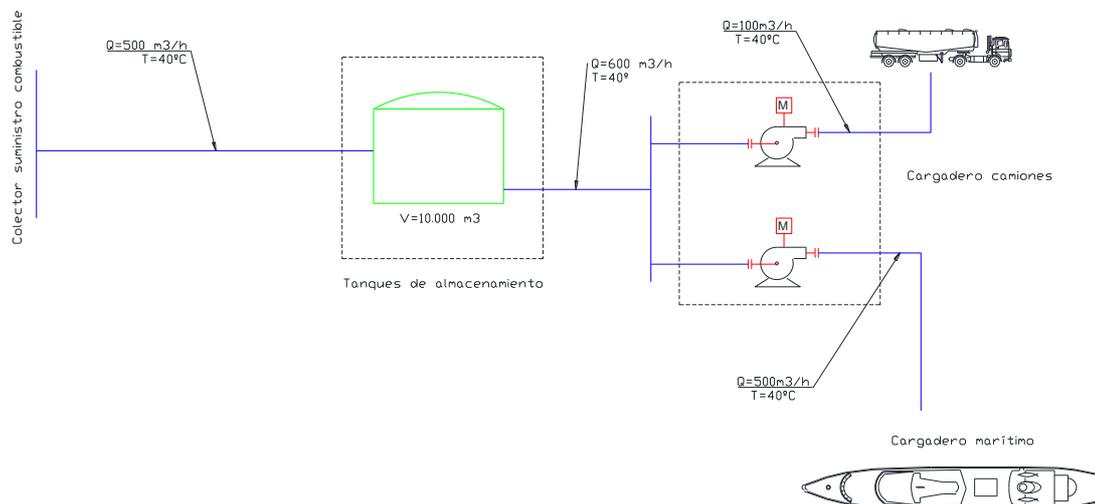


Ilustración 18. Diagrama de flujo del proceso de trasiego de combustibles en la terminal

Como se puede observar en el esquema básico, el funcionamiento de las líneas de transporte de combustible consiste en suministrar desde el colector principal, el combustible procedente desde las refinerías hasta el parque de almacenamiento de 100.000 m³, para abastecer la demanda tanto del cargadero terrestre como del cargadero marítimo. Para facilitar la compresión del trasiego de combustible se divide el conjunto de tuberías en dichas secciones:

- Sección 1: Desde el colector hasta el llenado del tanque.
- Sección 2: Línea de vaciado de tanque.
- Sección 3: Línea de aspiración desde el colector de reparto hasta la bomba de aspiración.
- Sección 4: Línea de impulsión desde las bombas hasta el cargadero de camiones.
- Sección 5: Línea de aspiración desde el colector de reparto hasta bomba de cargadero marítimo.
- Sección 6: Línea de impulsión desde las bombas hasta el cargadero marítimo.

3.5.1. Distribución de Tuberías en la terminal

Para la correcta implantación de las líneas de trasiego de combustibles, estas se acogerán a los requerimientos mínimos impuesto por el artículo 15 de la ITC IP 02.

Atendiendo al reglamento principal, las líneas implantadas en la terminal estarán fabricadas de acero al carbono (Carbon Steel) unidas mediante bridas o liras de dilatación con el fin de absorber las posibles dilataciones térmicas, ofreciendo una garantía de estanqueidad. Las líneas estarán posicionadas en tramos paralelos con una distancia suficiente para evitar el contacto, establecido en 40 cm.

En cuanto a la disposición del haz de tuberías, en la terminal existirán tuberías aéreas, en los tramos de cruce de carreteras o caminos transitados en los cuales se habilitarán estructuras de acero para el apoyo de las líneas denominadas racks de tuberías. Los racks presentan una altura de 7 metros para atravesar los viales y una separación de 12 metros. En la zona del cubeto se presenta un tramo de 3 metros de alto para alcanzar la altura de las paredes del mismo.



Ilustración 19. Racks de tuberías

El mayor tramo de tubería estará localizado a ras de suelo apoyado sobre soportes de tal forma que a 1 m a cada lado de las líneas no exista un excedente de maleza que pueda influir en el perfecto cumplimiento de la seguridad de las mismas.

El único tramo de tuberías enterrada será la dimensión del colector que abastece de combustible la terminal, el cual deberá presentar una altura entre la generatriz de la tubería y la superficie de 60 cm mínimo con los tratamientos específicos para el perfecto cumplimiento de las propiedades mecánicas.

3.5.2. Uniones entre tramos de tuberías

Las tuberías son instaladas mediante uniones realizadas en campo, ya que estas son comercializadas para unas dimensiones de longitud específicas. Entre las uniones existente se encuentra:

- **Uniones bridadas:** Se trata de uniones entre tuberías a través de un anillo de metal soldado a la tubería con varias perforaciones donde penetran los pernos para producir la unión con otra tubería. El empaque es el elemento que queda entre dicha unión y que hace de esta un empalme libre de fugas. Estas uniones son muy eficientes en los equipos y válvulas ya que pueden desmontarse para cualquier tipo de revisión en planta.



Ilustración 20. Bridas

- **Uniones roscadas:** Dichas uniones, como su propio nombre indica necesitan de conectores machos y hembras para su correcto acoplamiento. Son muy comunes para diámetros de tuberías pequeños, alrededor de 2" de diámetro como máximo, por lo que en dicha instalación no existirán dichas uniones.



Ilustración 21. Tuberías de uniones roscadas

- **Uniones soldadas.** En este caso este tipo de unión se utiliza para condiciones de temperatura y presiones elevadas, implantadas en tuberías de diámetros grandes (mayor que 3"). Un ejemplo de dichas soldaduras son las realizadas en el tanque para el acoplamiento de las tubuladuras, así como en las líneas de trasiego de combustible.

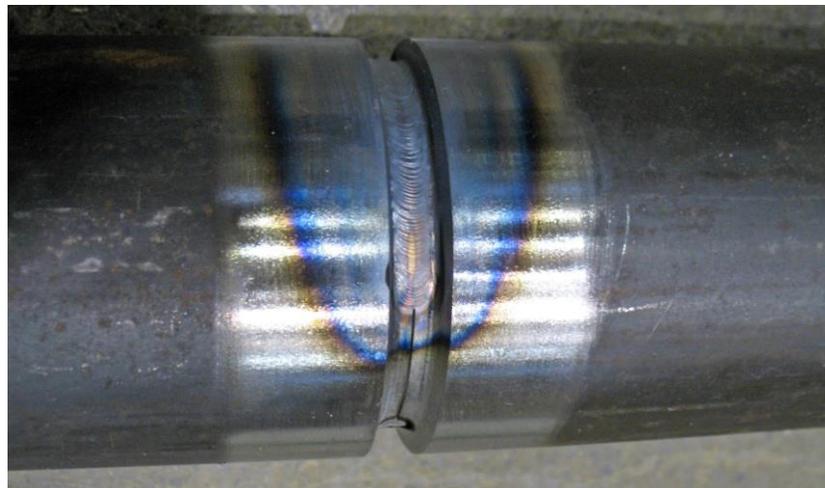


Ilustración 22. Tubería de unión soldada

3.5.3. Valvulería

En este apartado se describirán los diferentes tipos de válvulas implantadas en el conjunto de líneas de trasiego de combustible, tanto de manipulación manual como válvulas de accionamiento automático, explicando su localización en la planta.

3.5.3.1. Válvulas manuales

Las válvulas de accionamiento manual instaladas en las líneas de combustible son principalmente válvulas de corte, este tipo de válvulas tienen un funcionamiento ON/OFF (Todo o nada), y se pueden encontrar los siguientes subtipos dentro instaladas en las líneas de trasiego:

- **Válvulas de mariposa:** Dentro de esta categoría se pueden encontrar las válvulas de mariposas, este subtipo se utiliza para ser instalado en conductos de un diámetro considerable y su función recae en un disco que al girar deja pasar o no el fluido.

Las válvulas de mariposa de 150 libras (ASME B16.34) se han instalado en las líneas de conducción principales, así como en las conexiones del colector y las líneas que van a los diferentes cargaderos. Se suelen situar aguas arriba de las válvulas automáticas para accionarlas manualmente en los casos donde se produzca un fallo en las válvulas de control.



Ilustración 23. Válvula de mariposa

- **Válvulas de bola:** En este tipo de válvulas el elemento que deja o no pasar el fluido es una esfera taladrada, el paso del fluido a través de ella se origina con el giro de un cuarto de vuelta.

Las válvulas instaladas se tratan igualmente de 150 libras utilizadas especialmente para el funcionamiento de drenajes en el caso que haya que vaciar la tubería.

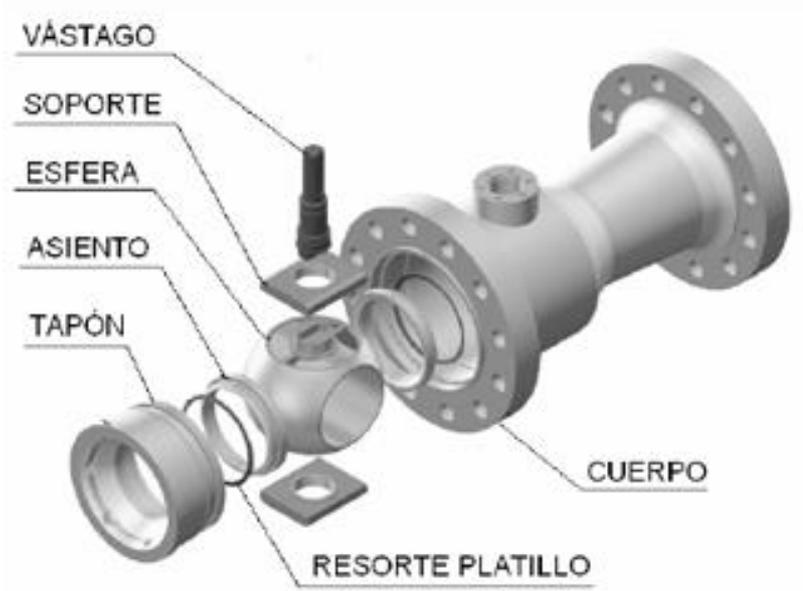


Ilustración 24. Válvula de bola

- **Válvulas de retención o antirretorno:** Esta variedad de válvula se utiliza para dejar pasar el fluido en una dirección, pero no en sentido contrario.

En esta ocasión están situadas en las conexiones presentes aguas arriba de la bomba, exactamente en la conexión al colector y la tubería de impulsión de la misma, de manera que cuando exista una pérdida de presión en el sistema como consecuencia de una parada de la bomba, esta se encuentre llena de fluido (cebada) y no presente cavitación.

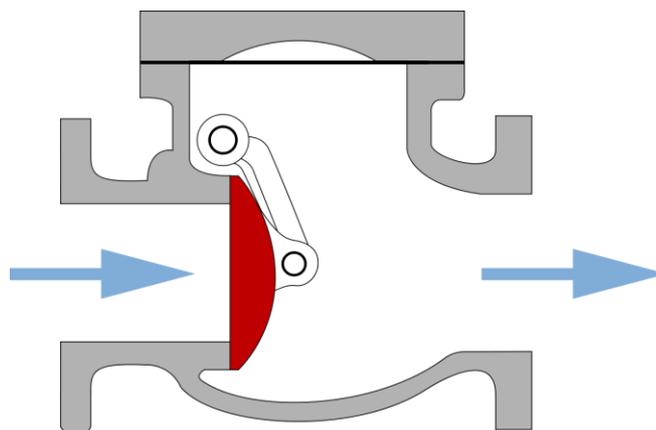


Ilustración 25. Válvula de retención o antirretorno

- **Válvulas de globo:** En este caso este tipo de válvulas se utilizan para regular el flujo de manera continua y manual, provocando una importante pérdida de carga. El obturador que regula dicho flujo presenta una forma semiesférica.

Este tipo de válvulas son instaladas en los tramos de bypass para sustituir a las válvulas automáticas de regulación en el caso que estén en mantenimiento o sean sustituidas.



Ilustración 26. Válvula de globo

3.5.3.2. Válvulas de control

Este tipo de válvulas presentan un funcionamiento automático gracias a que su accionamiento está vinculado a una propiedad específica de los tanques o del propio sistema de tuberías y que hay que controlar, a través de una señal, ya sea neumática, eléctrica que regule la variable manipulada, en este caso la apertura de las válvulas.

- **Válvulas de control todo o nada:** Presentan el mismo funcionamiento que las válvulas manuales pero su accionamiento viene dado de forma automática. Como se ha comentado anteriormente siempre funcionan con una válvula de corte aguas arriba para prevenir posibles fallos en la válvula automática.
- **Válvulas de control:** Presentan una función reguladora en función de la variable a controlar. La instalación de este tipo de válvulas, deben ir acompañada de válvulas de corte, para asegurar la estanqueidad en dicho tramo cuando están fuera de servicio, así como la implantación de un bypass con válvula de regulación manual para asegurar la manipulación de la variable a controlar.

3.5.4. Dimensionamiento de las líneas de combustible

En este apartado se realizará el dimensionado de los diámetros de las líneas de combustible, así como el cálculo del espesor de las tuberías, atendiendo a uno de los estándares más importantes utilizados en dicho ámbito, como es el estándar ASME B31.3 “Tuberías de proceso de refinerías y plantas químicas”. De igual importancia se realizará los cálculos para seleccionar los grupos de bombeo que concederán el caudal y la presión adecuada a las líneas.

Las dimensiones de las líneas estarán en función del fluido que transporten y las condiciones establecidas, por tanto, sus dimensiones dependerán tanto de las propiedades físico-químicas del combustible, como las condiciones impuestas para el transporte del fluido. Las propiedades más importantes en el cálculo de tuberías son la densidad y la viscosidad, detalladas a continuación:

	Fuel Oil	Gas Oil
ρ (kg/m ³)	991 kg/m ³	880 kg/m ³
Viscosidad cinemática (Cp)	52 mm ² /s	18,2 mm ² /s

Tabla 49. Propiedades de los combustibles para el dimensionado de las tuberías

Como se puede observar los parámetros más restrictivos son los mostrados por el Fuel Oil por tanto las líneas se dimensionarán en función de dicho combustible.

3.5.4.1. Cálculo de los diámetros de las tuberías

El principal dato para calcular el diámetro de las líneas de combustible es el caudal que circula por ellas. Este caudal es referido tanto al llenado como al vaciado de los tanques de combustibles, el cual se ha fijado en 500 m³/h y 600 m³/h respectivamente, con la finalidad de vaciar o llenar un tanque en aproximadamente poco más de 16 horas.

Las líneas que abastecen el cargadero de camiones se han dimensionado teniendo en cuenta un volumen de llenado de 25.000 litros en 15 minutos, aplicando un caudal de 100 m³/h. Cabe destacar que, en todas las líneas existentes en la terminal, circularán dichos caudales, no existiendo simultaneidad en las líneas ya que con la demanda de los buques y camiones los tanques se vaciarán uno a uno y cuyo control se explicará posteriormente atendiendo al PID.

Sección o tramo de tuberías	Caudal circulación, Q (m ³ /h)
Sección 1 (Colector principal-tanque)	500 m ³ /h
Sección 2 (Tanque-colector de reparto)	600 m ³ /h
Sección 3 (Colector de reparto-bomba de impulsión a cargadero terrestre)	100 m ³ /h
Sección 4 (Bomba de impulsión a cargadero marítimo-cargadero marítimo)	100 m ³ /h
Sección 5 (Colector de reparto-bomba de impulsión a cargadero marítimo)	500 m ³ /h
Sección 6 (Bomba de impulsión a cargadero marítimo-cargadero marítimo)	500 m ³ /h

Tabla 50. Caudales de circulación por cada tramo de línea de la terminal

Una vez fijado el caudal se aplicará el criterio de la velocidad atendiendo a los valores de las velocidades medias más comunes para fluidos establecidas en el siguiente cuadro:

FLUIDO	UTILIZACIÓN	VELOCIDAD m/s	
Agua	Agua en general	aspiración	0.5 - 1.5
		impulsión	1.0 - 3.0
	Distribución en poblaciones	línea principal	1.0 - 2.0
		red de distribución	0.5 - 1.2
	Turbinas	baja altura	3.0
gran altura		3.0 - 7.0	
Alimentación de calderas	aspiración	0.3 - 0.5	
	impulsión	2.0 - 2.5	
	Con sólidos en suspensión	0.5 - 2.0	
Aceites	Ligeros	1.0 - 2.0	
	Pesados (dependiendo de la necesidad)	0.5 - 2.0	
Aire	Baja presión	12 - 15	
	Alta presión	20 - 25	

Tabla 51. Velocidades de flujo utilizadas habitualmente

En el caso del fuel-oil se tomará en circulación como un aceite pesado, donde se tomará una velocidad máxima en líneas de conducción igual o menor a 2 m/s y 1 m/s en los colectores de aspiración de las bombas.

Para el cálculo del diámetro se utilizará la ecuación de continuidad:

$$Q = v * A = v * \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Ecuación 115}$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/s)

v : Velocidad fluido (m/s)

A : Sección de paso del fluido (m^2)

D : Diámetro de la tubería (m)

Sustituyendo en la expresión, se obtiene el siguiente valor tanto para las líneas de conducción como las líneas de aspiración de las bombas:

$$D_{\text{línea sección 1}} = \sqrt{\frac{4 * 500 \text{ m}^3/h}{2 \frac{m}{s} * \pi * 3600 \text{ s/h}}} = 0,297 \text{ m}$$

$$D_{\text{línea sección 2}} = \sqrt{\frac{4 * 600 \text{ m}^3/h}{2 \frac{m}{s} * \pi * 3600 \text{ s/h}}} = 0,326 \text{ m}$$

$$D_{\text{línea sección 3-4}} = \sqrt{\frac{4 * 100 \text{ m}^3/\text{h}}{2 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \pi * 3600 \text{ s/h}}} = 0,133 \text{ m}$$

$$D_{\text{línea sección 5-6}} = \sqrt{\frac{4 * 500 \text{ m}^3/\text{h}}{2 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \pi * 3600 \text{ s/h}}} = 0,297 \text{ m}$$

$$D_{\text{colectores de aspiración bombas camiones}} = \sqrt{\frac{4 * 100 \text{ m}^3/\text{h}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \pi * 3600 \text{ s/h}}} = 0,188 \text{ m}$$

$$D_{\text{colectores de aspiración bombas barcos}} = \sqrt{\frac{4 * 500 \text{ m}^3/\text{h}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \pi * 3600 \text{ s/h}}} = 0,421 \text{ m}$$

Sección o tramo de tuberías	Velocidades impuestas, v (m/s)	Diámetro, D (mm)
Sección 1	2 m/s	297
Sección 2	2 m/s	326
Sección 3	2 m/s	133
Sección 4	2 m/s	133
Sección 5	2 m/s	297
Sección 6	2 m/s	297
Colector aspiración bomba camión	1 m/s	188
Colector aspiración bomba barco	1 m/s	421

Tabla 52. Velocidades de circulación a partir de las velocidades impuestas en cada sección

Una vez calculado un primer diámetro a través de la suposición de la velocidad de circulación del fluido, la elección de los diámetros propuestos por las empresas fabricantes de tuberías, se basan en el diámetro de tubería inmediatamente superior calculado, con la finalidad de que se cumplan las restricciones de velocidades impuestas. Las dimensiones de dichas tuberías comerciales están en función de la norma ASME B36.10 de acero al carbono definidas en todas las tuberías.

Una vez impuesto el diámetro comercial de las tuberías se debe comprobar que siguen cumpliendo la restricción del rango de la velocidad supuesta en cada uno de los tramos. Por tanto:

- $D_{\text{comercial sección 1}} = 300 \text{ mm (12")}$:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 500}{\pi * 0,3^2 * 3600} = 1,96 \text{ m/s}$$

- $D_{\text{comercial sección 2}} = 350 \text{ mm (14")}$:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 600}{\pi * 0,350^2 * 3600} = 1,73 \text{ m/s}$$

- $D_{\text{comercial sección 3-4}} = 150 \text{ mm (6")}$:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 100}{\pi * 0,150^2 * 3600} = 1,57 \text{ m/s}$$

- $D_{\text{comercial sección 5-6}} = 300 \text{ mm (12")}$:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 500}{\pi * 0,300^2 * 3600} = 1,96 \text{ m/s}$$

- $D_{\text{comercial col.aspi.bomba.camiones}} = 200 \text{ mm (8")}$:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 100}{\pi * 0,200^2 * 3600} = 0,88 \text{ m/s}$$

- $D_{\text{comercial col.aspi.bomba.barco}} = 450 \text{ mm (18")}$:

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 500}{\pi * 0,450^2 * 3600} = 0,87 \text{ m/s}$$

Sección o tramo de tuberías	Diámetro, D (mm)	Diámetro comercial, D (mm)	Velocidades reales, v (m/s)
Sección 1	297	300 mm (12")	1,96 m/s
Sección 2	326	350 mm (14")	1,73 m/s
Sección 3	133	150 mm (6")	1,57 m/s
Sección 4	133	150 mm (6")	1,57 m/s
Sección 5	297	300 mm (12")	1,96 m/s
Sección 6	297	300 mm (12")	1,96 m/s
Colector aspiración bomba camión	188	200 mm (8")	0,88 m/s
Colector aspiración bomba barco	421	450 mm (18")	0,87 m/s

Tabla 53. Diámetros reales comerciales y velocidades reales de circulación

De esta manera se fijan los diámetros de las líneas de la terminal para líneas de conducción y colectores de aspiración respectivamente, llegando a la conclusión del cumplimiento de rango de velocidades de circulación impuesto.

3.5.5. Fundamentos cálculos hidráulicos

En este apartado se va a detallar el procedimiento para el cual se va a calcular la presión que debe tener el colector principal para llenar los tanques y la selección del grupo de bombeo para el vaciado de los tanques hacia los cargaderos terrestres y marítimo.

Para hacer circular un fluido incomprensible por una tubería existen tres opciones:

- Aprovechando la diferencia de cotas y dejando caer el fluido por gravedad.
- Mediante la operación de equipos de impulsión.
- Por cesión de energía cinética mediante otro fluido en movimiento.

El método más empleado es la utilización de equipos de impulsión que aporten energía mecánica para aumentar tanto la velocidad, la presión o la elevación del fluido. En este caso, dichos equipos serán bombas centrífugas cuyas características serán proporcionadas posteriormente.

A todas las máquinas de impulsión y en este caso a las bombas centrífugas se le exige ciertas características de operación y rendimiento entre la que destaca, la altura desarrollada en forma de energía mecánica cedida, imprescindible para saber qué tipo de bomba puede ser elegida.

Para estudiar la circulación de los fluidos se usarán especialmente dos ecuaciones en las cuales se cumplan la conservación de materia y energía entre dos puntos A y B siendo estos, el punto de aspiración e impulsión de la bomba respectivamente:

- **Ecuación de continuidad (Balance de materia)**

$$\dot{m}_A = \dot{m}_B \quad \text{Ecuación 116}$$

$$\rho * u_A * S_A = \rho * u_B * S_B \quad \text{Ecuación 117}$$

$$u = \frac{Q}{S} \quad \text{Ecuación 118}$$

- **Balance de cantidad de movimiento (Ecuación de Bernoulli):**

$$\frac{P_A}{\rho} + g * Z_A + \frac{1}{2} * \alpha * u_A^2 + W_{bomba} * \eta_{bomba} = \frac{P_B}{\rho} + g * Z_B + \frac{1}{2} * \alpha * u_B^2 + h_{f AB} \quad \text{Ecuación 119}$$

Si se desglosa dicha ecuación se puede ver los términos energéticos intervinientes en la ecuación:

$\frac{P_A}{\rho}$: Energía de presión

$g * Z_A$: Energía potencial

$\frac{1}{2} * \alpha * u_A^2$: Energía cinética

$h_{f AB}$: Pérdidas de energía mecánica

Donde:

P_A o P_B : Presión en el punto A (aspiración de la bomba) y Presión en el punto B (impulsión de la bomba).

ρ : Densidad del fluido (kg/m³)

Z_A o Z_B : Cota en el punto A y B (m).

$\alpha = 1$ para flujos en régimen turbulento

u_A o u_B : Velocidad en el punto A y B (m/s).

W_{bomba} : Trabajo ejercido por la bomba

η_{bomba} : Rendimiento de la bomba

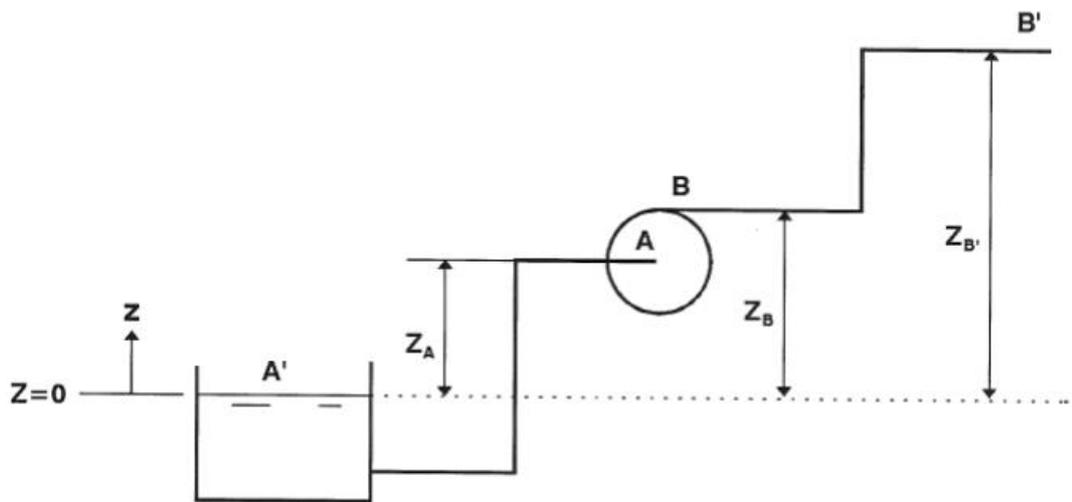


Ilustración 27. Diferencia de cotas

Una vez desarrollada la ecuación de Bernoulli, se prestará atención en calcular las pérdidas de energía mecánica $h_{f AB}$.

Las pérdidas de energía mecánica pueden ser de dos tipos: por fricción o por accesorios.

- **Las pérdidas por fricción:** Se producen debido al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería. Estas pérdidas se pueden calcular gracias a la siguiente expresión:

$$h_{f \text{ fricción}} = 4 * f * \frac{L}{D} * \frac{u^2}{2} \quad \text{Ecuación 120}$$

Donde:

- f : Factor de fricción o Fanning
- L : Longitud de tubería recta (m)
- D : Diámetro de la tubería (m)
- u : Velocidad del fluido (m/s)

El parámetro f , factor de fricción o de Fanning se obtiene a partir de datos experimentales representados en el ábaco de Moody:

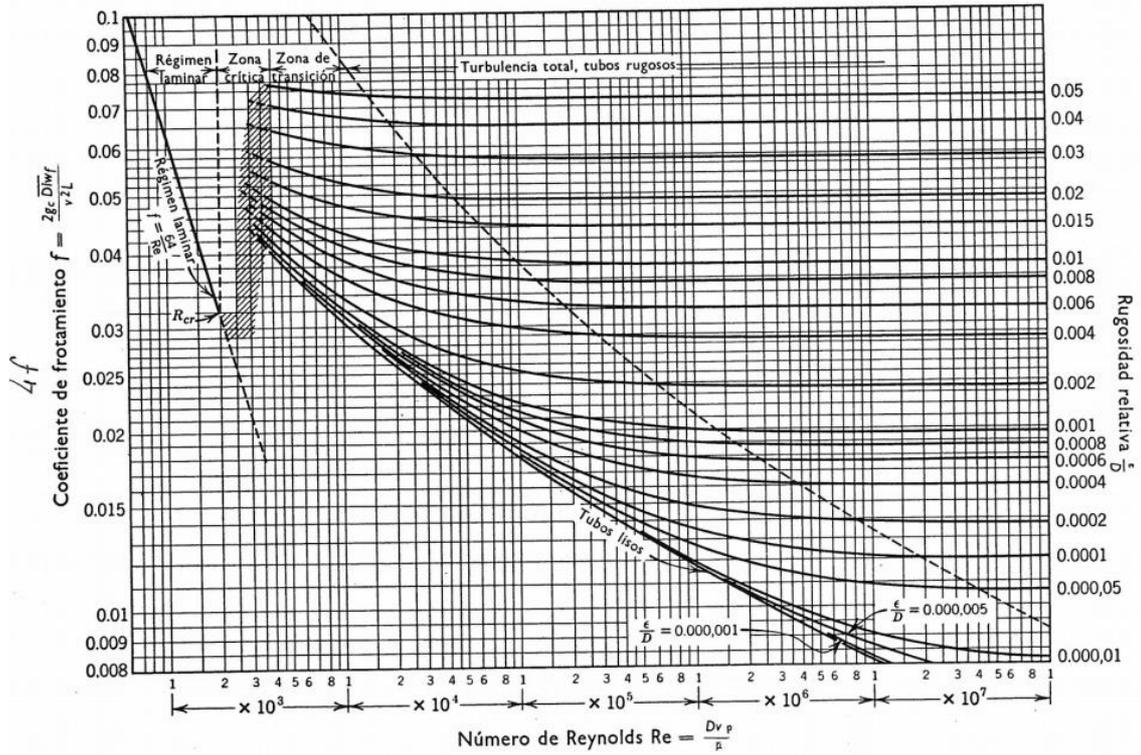


Ilustración 28. Coeficiente de rozamiento en función de Re y la rugosidad relativa de la tubería ϵ/D

Dicha gráfica se encuentra en función del número de Reynolds, Re y la rugosidad relativa de la tubería $\frac{\epsilon}{D}$, donde la rugosidad ϵ , depende de la fabricación de la tubería obtenidas en una gráfica en función del material de fabricación.

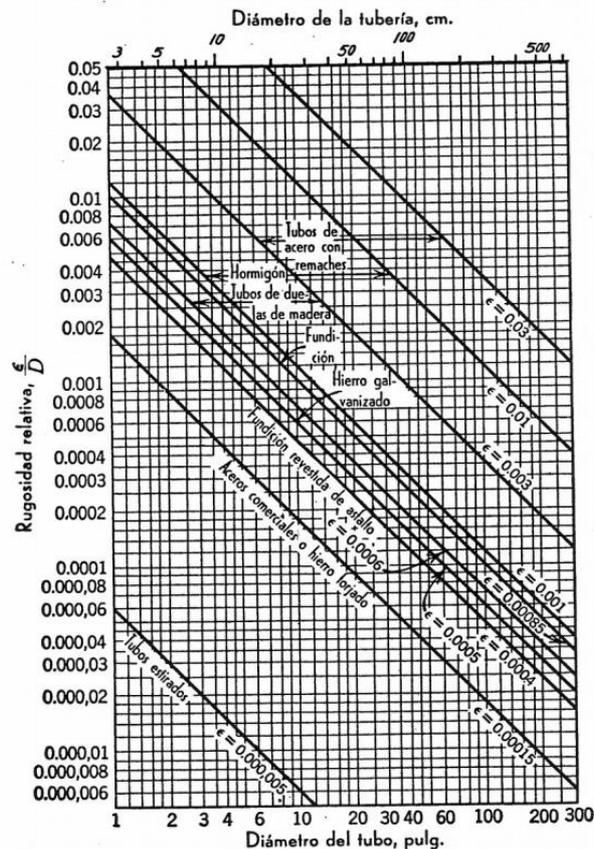


Ilustración 29. Rugosidad relativa en función del diámetro para tubos de diversos materiales

- **Las pérdidas por accesorios:** También llamado por desprendimiento de la capa límite, se producen debido a la pérdida de energía que sufren los fluidos a su paso por los accesorios implantados. Estas pérdidas se pueden calcular mediante dos formas:

- Por unidad de velocidad o coeficiente k, de tal forma que la pérdida de carga que produce un accesorio es proporcional a la energía cinética del fluido:

$$h_{fi} = k_i * \frac{u^2}{2} \quad \text{Ecuación 121}$$

Dichos factores k, se obtienen de la tabla que se adjunta a continuación:

Díámetro interior del tubo, en pulgadas	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Codo de 90°	2-2,5	4-5	6-7	9-10	10-11	12-14	18	27	26	31	35	40	45	52
Codo largo de 90°	1,5-2	2,5-4	5	6-7	7-8	9-11	12-14	16-17	20	23	27	30	34	40
Codo de 45°	1,5	2,5	3,5	4,5	6	7,5	10	12,5	15	17	19	21	23	28
Codo largo de 45°	1	1,5	2	2,7	3,5	4	5	6	7	9	10	12	14	16
Curva de 180°						36	46	60	75					
Curva de 180°, de gran radio						20	25	30	40					
Curvas de 90° soldadas = 0,5		7	10	12	15	19	25	32	38	44	50	56		
1,0		3	5	6	7	8	11	14	17	20	23	28		
1,5		2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18		
2,0		1	2	3	3,5	4	6	8	10	12	14	16		
3,0		1	1,5	2,5	3	4	6	7	9	11	13	15		
Tes	5,5	10	15	20	25	32	41	55	65	75	85	100	115	130
Válvula de compuerta abierta	0,6	1,25	1,7	2,3	2,9	3,5	4,5	6	7	8	9	10	12	14
cerrada 1/4		7	10	13	16	19	26	33	40					
cerrada 1/2		33	50	70	86	100	130	160	190					
cerrada 3/4		140	200	280	340	400	540	700	800					
Válvula esférica	27	56	80	107	133	160	215	270	320	375	430	480	540	640
Válvula de retención	7	13	20	27	33	40	53	67	80	93	107	120	136	160
Válvula de pie	2	4	6	8	10	12	16	20	24	28	32	36	40	48
Colador	4	5	6	8	10	11	13	16	18	21	24	30	36	40
Entrada típica	1,5	3	4,5	6	7,5	9	12	15	18	21	24	27	30	36

NOTA. Estos valores son necesariamente aproximados porque el valor específico variará con el tipo de accesorio (por ejemplo, roscado o con pletina), las dimensiones geométricas reales y el sistema de construcción (por ejemplo, forjado o soldado).

Tabla 23. Coeficientes de resistencia para codos y accesorios. $\Delta h = K \frac{V^2}{2}$

Díámetro del tubo, en pulgadas	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Tubo curvado R = 3D R = 4D						0,04 0,025								
Codo de 90°	1,5	1,0	0,8	0,7	0,55	0,3	0,27	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,20
Codo largo de 90°	0,75	0,4	0,3	0,26	0,20	0,18	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,07
Codo de 45°	0,35	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Codo largo de 45°	0,25	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,12
Curva de 180°	1,5	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,23	0,22	0,21	0,2	0,19
Curva de 180° de gran radio	0,8	0,5	0,4	0,35	0,3	0,2	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10
Tes-Flujo principal						0,9								
Flujo derivado	1,8	1,4	1,2	1,1	1,0									
Válvula de compuerta, abierta		0,2-0,3	0,15-0,25	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
cerrada 1/4		0,8 a 0,2							0,15					
cerrada 1/2		4,0 a 0,8							0,6					
cerrada 3/4		16,0 a 2,0							1,5					
Válvula esférica	12,5	8,5	7,5	6,5	6	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Válvula de retención	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Válvula de pie						0,8								
Colador		1,5	1,0					1,0	0,4					

NOTA. Estos valores son necesariamente aproximados porque los valores específicos variarán con el tipo de accesorio (por ejemplo, roscado o de pletina), con las dimensiones geométricas reales y con el sistema de construcción (por ejemplo, forjado o soldado).

Tabla 24. Coeficientes de resistencia para cambios de sección transversal.

	Razón del diámetro menor al mayor									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
10% de concididad				0,35	0,25	0,20				
20% de concididad				0,15	0,12	0,10				
Expansión brusca	2,0								0,15	
Contracción brusca	0,5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,4	0,3	0,2	0,15	
Entrada: Brusca										
Gradual										
Tubo saliente										
Salida: Brusca										
Gradual										

Tabla 25. Cambios de sección transversal: Longitudes aproximadas equivalentes de tubería recta.

Díámetro del tubo, en pulgadas	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Expansión d/D = 0,25	3	5	8	11	14	16	20	26	31	36	42	48	55	65
0,5	2	4	6	7	9	11	15	18	22	25	29	34	46	52
0,75	0,5	1	2	2	3	3	4	6	7	8	10	12	15	20
Contracción d/D = 0,5	1	2	3	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	26

Ilustración 30. Factores de pérdida k en función del diámetro y tipo de accesorio

- Por longitudes equivalentes L_{eq} , donde cada accesorio lleva emparejado una longitud equivalente de tubería recta que causa la misma pérdida de carga que el accesorio:

$$h_{fi} = 4 * f * \frac{L_{eq}}{D} * \frac{u^2}{2}$$

Ecuación 122

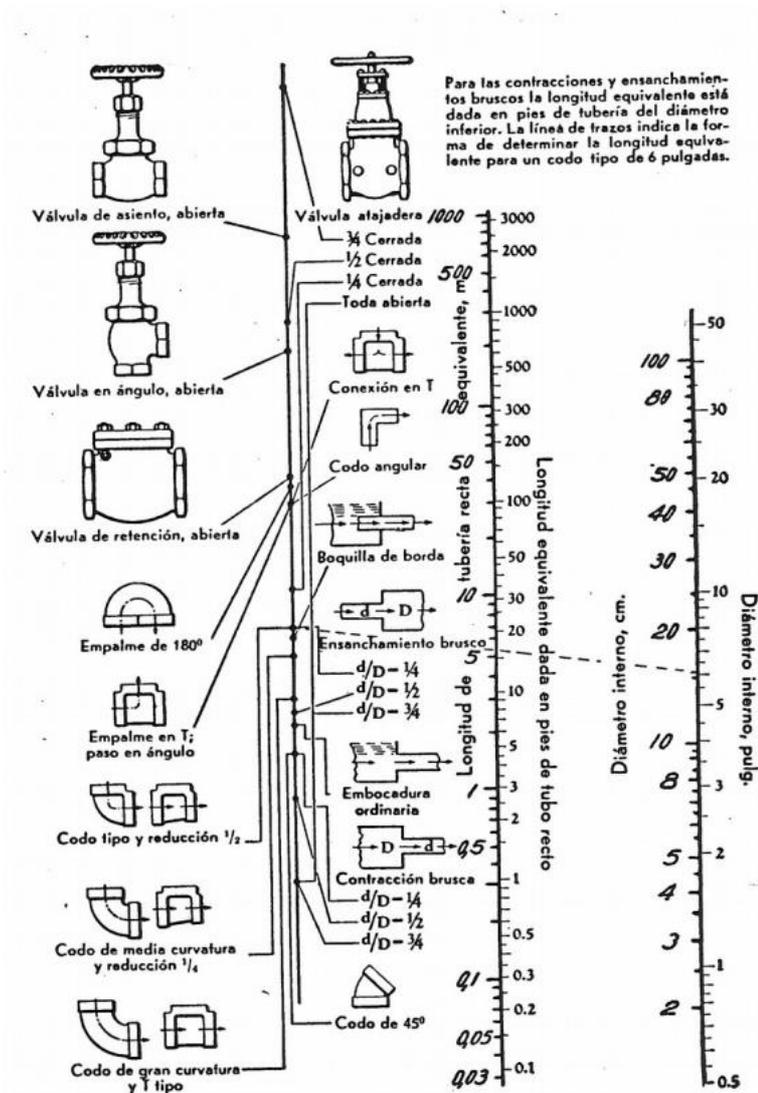


Ilustración 31. Longitud de tubo equivalente al frotamiento en válvulas y accesorios

Sumando las pérdidas por fricción y por accesorios queda la siguiente expresión:

$$h_{f AB} = 4 * f * \frac{(L + \sum_i^n L_{eq i})}{D} * \frac{u^2}{2} + \sum_j k_j * \frac{u^2}{2}$$

Ecuación 123

La altura que da la bomba es independiente de los órdenes de magnitud de las presiones de trabajo. Sin embargo, la presión influye en el funcionamiento de la bomba, un ejemplo de esta influencia es la altura neta positiva de succión (NPSH).

El NPSH, es una medida de presión en el punto de aspiración de la bomba donde dicha presión puede estar por debajo o por encima de la presión de vapor del fluido. Este hecho es de gran importancia, ya que, si el fluido se encuentra por debajo de la presión de vapor en la aspiración de la bomba, empezarán a vaporizarse parte del líquido produciéndose una mezcla bifásica. Esta presión al subir por la acción de la bomba provoca condensación de las burbujas de vapor produciendo desgaste y fatiga en los álabes del rodete y pérdida de eficacia de la bomba, produciendo un fenómeno denominado cavitación.

Por tanto, la NPSH es la diferencia entre la altura de aspiración y la altura que tendría el fluido a su presión de vapor y en reposo, cuya expresión viene definida de la siguiente manera:

$$NPSH = \frac{P_A}{\rho} + \frac{\alpha * u_A^2}{2 * g} - \frac{P_v}{\rho * g} \quad \text{Ecuación 124}$$

Donde:

P_v : Presión de vapor del fluido

Una vez explicado el proceso de cavitación, para evitarlo, el NPSH debe ser siempre mayor o igual a cero. El valor del NPSH calculado se denomina NPSH disponible calculado en un punto de fácil medición como es el punto A', aplicando la ecuación de Bernoulli en dicho tramo:

$$NPSH_D = \frac{P_{A'}}{\rho * g} - Z_A - \frac{h_{fA'A}}{g} - \frac{P_v}{\rho * g} \geq 0 \quad \text{Ecuación 125}$$

Donde:

$h_{fA'A}$: Pérdidas de energía mecánica entre el punto A' y A.

Se puede observar que los términos de presión y de cota son constantes mientras que el valor de las pérdidas mecánicas es dependiente de la velocidad y el caudal al cuadrado, quedando la siguiente representación gráfica:

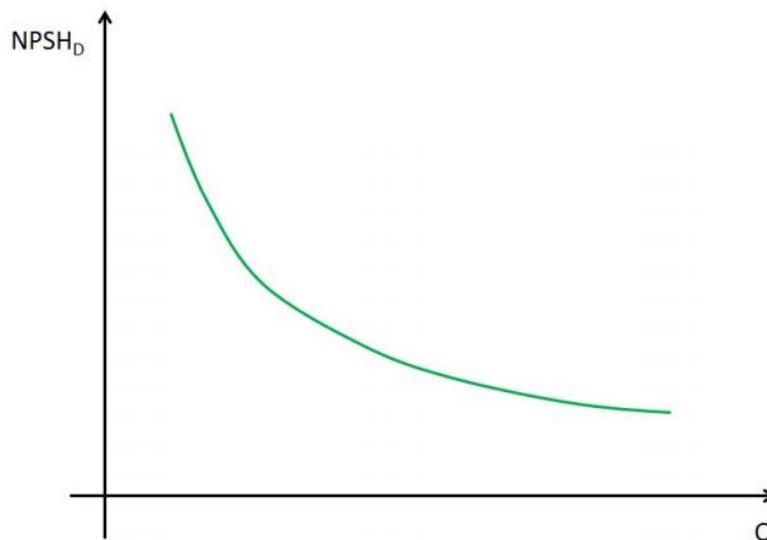


Ilustración 32. Gráfica del NPSH_D frente al caudal

Como se puede observar en dicha representación el NPSH disponible disminuye con el caudal debido a que a mayor caudal las pérdidas por fricción son mayores.

Cabe destacar que el NPSH disponible se calcula solo en el tramo que va desde el punto de aspiración del circuito al punto de aspiración de la bomba, pero no entre el punto de aspiración de la bomba y el punto donde el rodete le cede la energía mecánica al fluido, no teniendo en cuenta las pérdidas generadas en dicho tramo que puede producir cavitación, es por eso por el cual el NPSH disponible debe ser mayor al NPSH requerido por el comercial de las bombas en un 20% como margen de seguridad:

$$NPSH_{disponible} \geq 1,2 * NPSH_{requerido}$$

Ecuación 126

3.5.5.1. Cálculos hidráulicos

3.5.5.1.1. Vaciado de tanques

Los cálculos hidráulicos destinados al vaciado de los tanques están gobernados por un total de 4 ecuaciones, al ser una tubería ramificada. Estas ecuaciones se basan en dicho sistema de tuberías:

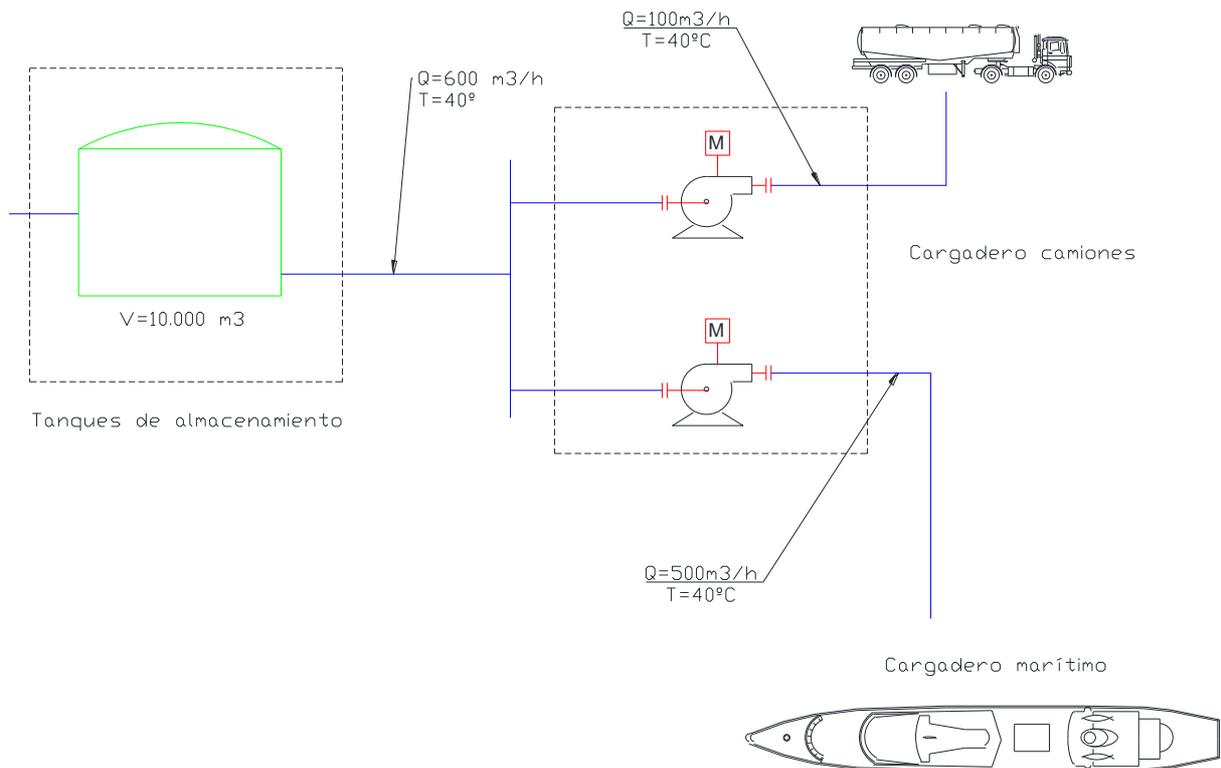


Ilustración 33. PFD de trasiego de combustible

El sistema se ha resumido en un trazado de tuberías compuesto por una línea principal de vaciado que desemboca en un nodo que subdivide en dos tramos la línea de descarga del tanque. Las ecuaciones de Bernoulli estarán basadas en dichos puntos:

Punto A	Descarga del tanque
Punto B	Cargadero de camiones
Punto C	Cargadero marítimo
Nodo O	Nodo de bifurcación

Tramo A-O	Tanque-Nodo
Tramo O-B	Nodo-Cargadero de camiones
Tramo O-C	Nodo-Cargadero marítimo

$$\frac{P_A}{\rho} + g * Z_A = \frac{P_O}{\rho} + g * Z_O + h_{f AO}$$

$$\frac{P_O}{\rho} + g * Z_O + W_{bomba1} = \frac{P_B}{\rho} + g * Z_B + h_{f OB}$$

$$\frac{P_O}{\rho} + g * Z_O + W_{bomba2} = \frac{P_C}{\rho} + g * Z_C + h_{f OC}$$

$$Q_{AO} = Q_{OB} + Q_{OC}$$

En primer lugar, es imprescindible saber algunas propiedades del fluido (Fuel-Oil) a las condiciones de operación que son necesarias para el cálculo de las líneas. Estas propiedades a una temperatura de 40°C son:

Densidad, ρ (kg/m ³)	991
Viscosidad cinemática, ν (mm ² /s)	52
Presión de vapor (Pa)	0

Tabla 54. Propiedades del Fuel-Oil

En segundo lugar, se indican las presiones y cotas de los puntos a considerar:

	A (salida tanque fuel-oil)	B (cargadero terrestre)	C (cargadero marítimo)
P (Pa)	0	1,01325*10 ⁵	1,01325*10 ⁵
Z (m)	1,1	7	7
u (m/s)	0	0	0

Tabla 55. Presiones y cotas en la aspiración e impulsión de la bomba

Como se puede observar se ha escogido como cota 0, la cota del nivel del suelo, estando las bombas a -2 metros. También se supone que la energía cinética entre ambos puntos es despreciable. Las líneas van desde un tanque atmosférico a la cota del nivel mínimo de llenado hasta un cargadero de camiones cisterna a 7 metros de altura.

A continuación, se calcula las pérdidas de carga de las líneas del tramo A-O, O-B y O-C:

- h_{fA-O} :

Diámetro nominal, DN	14" (350 mm)
SCH	10
Diámetro exterior	406,4 mm
Área de paso, S	0,096 m ²
Material tubería	Acero al carbono
Velocidad, v	1,96 m/s
Longitud tubería recta, L	203 m

Tabla 56. Propiedades de la tubería Sección 2 (Tanque-colector reparto)

Cálculo del factor de Fanning, f:

En función de dichos datos se obtienen los siguientes valores en la tabla 57:

ε/D	0,00015
Re	Complet. desarrollado
4f	0.012

Tabla 57. Rugosidad relativa, n° Re y factor de Fanning en Sección 2 (Tanque-colector de reparto)

Las pérdidas de carga por accesorios se calculan gracias a la ilustración 29 y 30, donde se obtienen las longitudes equivalentes para cada uno de los accesorios existentes en la línea:

Accesorios	Nº de accesorios	$L_{eq\ i}$	k_i	total
Válvula corte automática todo/nada	5	3,5	-	17,5
Válvula manual de mariposa	6	3	-	18
Válvula antirretorno	1	30	-	30
Codo 90°	5	8	-	40
T	5	25		125

Tabla 58. Pérdida de carga por accesorios en sección 2

$$h_{f\ A-O} = 7,43 * u^2 = 803 * Q_{A-O}^2$$

- $h_{f\ O-B}$:

Diámetro nominal, DN	6" (150 mm)
SCH	10
Diámetro exterior	168,3 mm
Área de paso, S	0,0176 m ²
Material tubería	Acero al carbono
Velocidad, v	2 m/s
Longitud tubería recta, L	126 m

Tabla 59. Propiedades de la tubería Sección 3 y 4 (Colector reparto-cargadero de camiones)

ε/D	0,0003
Re	Complet. desarrollado
4f	0,015

Tabla 60. Rugosidad relativa, nº Re y factor de fanning sección 3 y 4

Las pérdidas de carga por accesorios se calculan gracias a la ilustración 29 y 30, donde se obtienen las longitudes equivalentes para cada uno de los accesorios existentes en la línea:

Accesorios	Nº de accesorios	$L_{eq\ i}$	k_i	total
Válvula corte automática todo/nada	1	1,2	-	1,2
Válvula manual de mariposa	3	1	-	3
Válvula antirretorno	1	15	-	15
Codo 90°	11	4,3	-	47,3

Tabla 61. Pérdida de carga por accesorios en sección 3 y 4

$$h_{f\ O-B} = 9,63 * u^2 = 30.821 * Q^2$$

- $h_{f\ o-c}$:

Diámetro nominal, DN	12" (300 mm)
SCH	10
Diámetro exterior	323,9 mm
Área de paso, S	0,071 m ²
Material tubería	Acero al carbono
Velocidad, v	1,96 m/s
Longitud tubería recta, L	411 m

Tabla 62. Propiedades de la tubería Sección 5 y 6 (Colector de reparto-Barcos)

ε/D	0,0012
Re	Completo desarrollado
4f	0,015

Tabla 63. Rugosidad relativa, nº Re y factor de Fanning en Sección 5 y 6 (Colector de reparto-Barcos)

Las pérdidas de carga por accesorios se calculan gracias a la tabla 29 y 30, donde se obtienen las longitudes equivalentes para cada uno de los accesorios existentes en la línea:

Accesorios	Nº de accesorios	$L_{eq\ i}$	k_i	total
Válvula corte automática todo/nada	1	2,1	-	2,1
Válvula manual de mariposa	3	2	-	6
Válvula antirretorno	1	25	-	25
Codo 90°	11	7	-	77

Tabla 64. Pérdida de carga por accesorios en sección 5 y 6

Por tanto:

$$h_{f\ o-c} = 13,03 * u^2 = 2.607,33 * Q^2$$

Para calcular la potencia de las bombas se puede aplicar la ecuación de Bernoulli entre el punto inicial (A) y final (B o C), sumando las pérdidas de carga calculadas en cada tramo como sigue:

$$h_{f\ A-B} = h_{f\ A-O} + h_{f\ O-B}$$

$$h_{f\ A-C} = h_{f\ A-O} + h_{f\ O-C}$$

$$\frac{P_A}{\rho} + g * Z_A + W_{bomba1} = \frac{P_B}{\rho} + g * Z_B + h_{f\ A-B}$$

$$\frac{P_A}{\rho} + g * Z_A + W_{bomba2} = \frac{P_C}{\rho} + g * Z_C + h_{f\ A-C}$$

Desarrollando dichas fórmulas se calculan la presión que debe suministrar las bombas para satisfacer dichos caudales:

EQUIPO	$P_A(Pa)$	$P_B(Pa)$	$Z_A(m)$	$Z_B(m)$	$h_{f\ A-B} (m)$	P (bar g)	P (m)
P-1 A/B	0	$1,013 * 10^5$	1,1	7	5	2,1	21,33

Tabla 65. Presión de suministro de la bomba P-1 A/B

EQUIPO	$P_A(Pa)$	$P_B(Pa)$	$Z_A(m)$	$Z_B(m)$	$h_{f\ A-B} (m)$	P (bar g)	P (m)
P-2 A/B	0	$1,013 * 10^5$	1,1	7	2,5	2,3	23,34

Tabla 66. Presión de suministro de la bomba P-2 A/B

A continuación, se calcula el NPSH disponible de la línea para evitar la cavitación con la ecuación 125:

- **NPSH disponible Tramo A a A' (aspiración bomba P-1 A/B):**

Se calculan las pérdidas hasta el tramo de aspiración de la bomba P-1 A/B

$$h_{fAA'} = h_{fA-O} + h_{fOA'}$$

$h_{fOA'}$:

Diámetro nominal, DN	6" (150 mm)
SCH	10
Diámetro exterior	168,3 mm
Área de paso, S	0,0176 m ²
Material tubería	Acero al carbono
Velocidad, v	2 m/s
Longitud tubería recta, L	20 m

Tabla 67. Propiedades de la tubería Sección 3 (Colector reparto-Bomba camiones)

ϵ/D	0,0003
Re	Completo desarrollado
4f	0,015

Tabla 68. Rugosidad relativa, nº Re y factor de Fanning en Sección 3 (Colector de reparto-Bomba camiones)

Las pérdidas de carga por accesorios se calculan gracias a las ilustraciones 29 y 30, donde se obtienen las longitudes equivalentes para cada uno de los accesorios existentes en la línea:

Accesorios	Nº de accesorios	$L_{eq i}$	k_i	total
Codo 90°	5	4,3	-	21,5
Válvula manual de mariposa	2	1		2

Tabla 69. Pérdida de carga por accesorios en sección 3

Donde:

$$h_{f O-A'} = 2,17 * u^2 = 6.965 * Q^2$$

El total de las pérdidas en el tramo desde el tanque a la bomba es:

$$h_{f_{A-A'}} = 803 * Q^2 + 6.965 * Q^2$$

Por tanto, el NPSH disponible queda:

$$NPSH_D = \frac{1,013 * 10^5}{991} + 9,8 * 3,2 - 803 * Q^2 + 6.965 * Q^2$$

$$NPSH_{D_{P-1 A/B}} = \frac{106}{9,8} = 10,8 \text{ m}$$

- **NPSH disponible Tramo A a B' (aspiración bomba P-2 A/B):**

Se calculan las pérdidas hasta el tramo de aspiración de la bomba P-2 A/B

$$h_{f_{AB'}} = h_{f_{A-O}} + h_{f_{OB'}}$$

$h_{f_{OB'}}$:

Diámetro nominal, DN	12" (300 mm)
SCH	10
Diámetro exterior	323,9 mm
Área de paso, S	0,071 m ²
Material tubería	Acero al carbono
Velocidad, v	1,96 m/s
Longitud tubería recta, L	20 m

Tabla 70. Propiedades de la tubería Sección 5 (Colector reparto- Bomba barcos)

ϵ/D	0,0012
Re	Completo. desarrollado
4f	0,015

Tabla 71. Rugosidad relativa, n° Re y factor de Fanning en Sección 5 (Colector reparto-bomba barcos)

Accesorios	Nº de accesorios	$L_{eq i}$	k_i	total
Codo 90°	6	7	-	42
Válvula manual de mariposa	2	2		4

Tabla 72. Pérdida de carga por accesorios en sección 5

Donde:

$$h_{f O-B'} = 1,65 * u^2 = 330,2 * Q^2$$

El total de las pérdidas en el tramo desde el tanque a la bomba es:

$$h_{f A-B'} = 803 * Q^2 + 330,2 * Q^2$$

Por tanto, el NPSH disponible para 500 m³/h queda:

$$NPSH_D = \frac{1,013 * 10^5}{991} + 9,8 * 3,2 - 803 * Q^2 - 330,2 * Q^2 = 116$$

$$NPSH_{D P-2 A/B} = \frac{105}{9,8} = 10,7m$$

3.5.5.1.2. Tramo de llenado de tanques

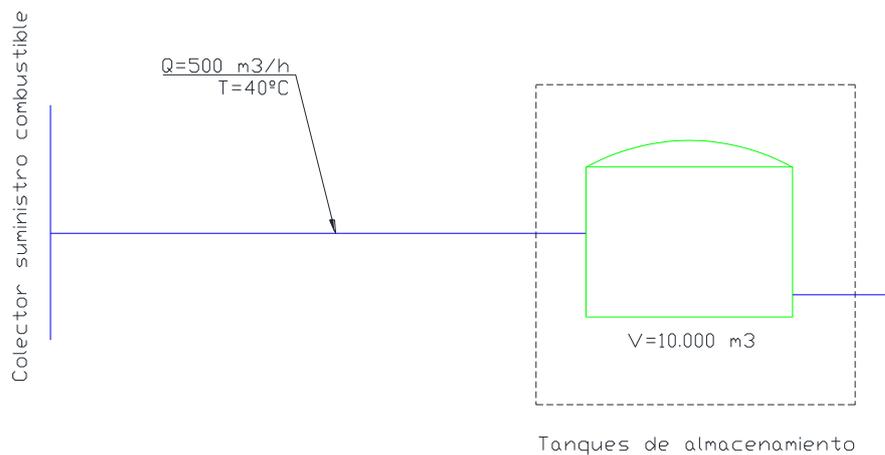


Ilustración 34. Línea de llenado de tanque

Para el llenado de los tanques, no se necesita bombas de impulsión, ya que el combustible procedente de las refinerías presenta la suficiente presión como para llenar los tanques.

A continuación, se calculará la presión que debe presentar el colector a presión procedente de la refinería en el punto de entrada a la terminal para poder llenar los tanques de fuel-oil.

Las pérdidas de carga, en la tubería de llenado, suponiendo la situación más desfavorable (suponiendo el tanque más lejano) se calcula como sigue:

Diámetro nominal, DN	12" (300 mm)
SCH	10
Diámetro exterior	323,9 mm
Área de paso, S	0,071 m ²
Material tubería	Acero al carbono
Velocidad, v	1,96 m/s
Longitud tubería recta, L	262 m

Tabla 73. Propiedades de la tubería Sección 5 (Colector reparto- tanques)

ε/D	0,0012
Re	Complet. desarrollado
4f	0,012

Tabla 74. Rugosidad relativa, n° Re y factor de Fanning en Sección 5 (Colector reparto-tanques)

Accesorios	N° de accesorios	$L_{eq\ i}$	k_i	total
Válvula corte automática todo/nada	6	2,1	-	12,6
Válvula manual de mariposa	6	2	-	12
Válvula antirretorno	1	25	-	25
Codo 90°	4	7	-	28
T	5	21		105

Tabla 75. Pérdida de carga por accesorios en sección 5

Sustituyendo en la ecuación 112:

$$h_{f\ AB} = 0,012 * \frac{(262 + 183)}{0,3} * \frac{u^2}{2}$$

$$h_{f\ AB} = 9 * \frac{4^2 * Q^2}{(\pi * 0,3^2)^2} = 1801,3 * Q^2$$

Las cotas del colector procedente de la refinería y la descarga del tanque son las siguientes:

	A (colector de entrada)	B (entrada a tanque)
P (Pa)	¿?	atm
Z (m)	-1	17,6
u (m/s)	0	0

Tabla 76. Cotas y presiones del colector de entrada y llenado de tanques

Aplicando la ecuación de Bernoulli para un caudal de 500 m³/h:

$$P_{colector} = \frac{1,0132 \cdot 10^5}{991} * 9,8 * (17,6 + 1) + 1801,3 * \left(\frac{500}{3600}\right)^2 = 319 \left(\frac{m^2}{s^2}\right) = 32,6 m = 3,2 bar g$$

3.5.5.1.3. Cálculos hidráulicos con el programa FLUID FLOW:

Para comprobar los resultados obtenidos manualmente en los cálculos hidráulicos de las líneas de vaciado, se ha simulado el vaciado de las líneas con el software Fluid Flow, donde se han calculado las pérdidas de carga en las líneas y la presión de operación de cada tramo de línea, con la finalidad de poder caracterizarlas. Los resultados obtenidos se encuentran en el anexo x.

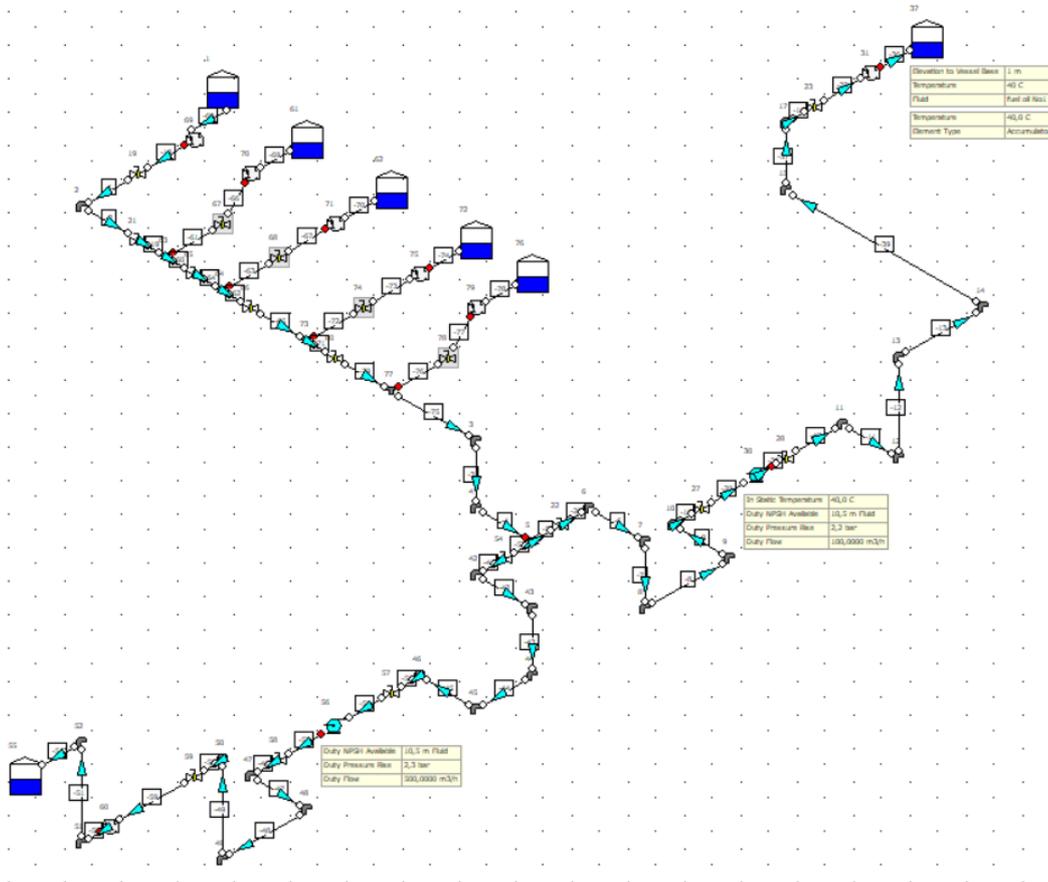


Ilustración 35. Isométrico del modelo para el vaciado de los tanques

Los resultados obtenidos para el cálculo de la presión que deben suministrar las bombas se aproximan a los valores obtenidos manualmente:

Centrifugal Pump

#	Duty Flow (m3/h)	Duty Pressure Rise (bar)	Duty NPSH Available (m Fluid)	Duty Efficiency (%)	Duty Power (Watt)	Duty NPSH Required (m Fluid)
30	100,0000	2,2	10,5	0,00	0,0	0,0
56	500,0000	2,3	10,5	0,00	0,0	0,0

Tabla 77. Resultados obtenidos de las bombas con el software *FLUID FLOW*

En cuanto al llenado de los tanques la presión suministrada por el oleoducto procedente de la refinería en el punto de llegada de la terminal según el modelo en *FLUID FLOW* es prácticamente el mismo que el calculado manualmente:

Known Pressure Boundary

#	Flow (m3/h)	Stagnation Pressure (bar g)	Static Pressure (bar g)	Temperature (C)	Density (kg/m3)	Viscosity (cP)	Composition Mass %
20	495,3726	3,2	3,2	40,0	991,00	1,295	"fuel oil No1=100,0%"

Tabla 78. Resultados obtenidos de las bombas con el software *FLUID FLOW*

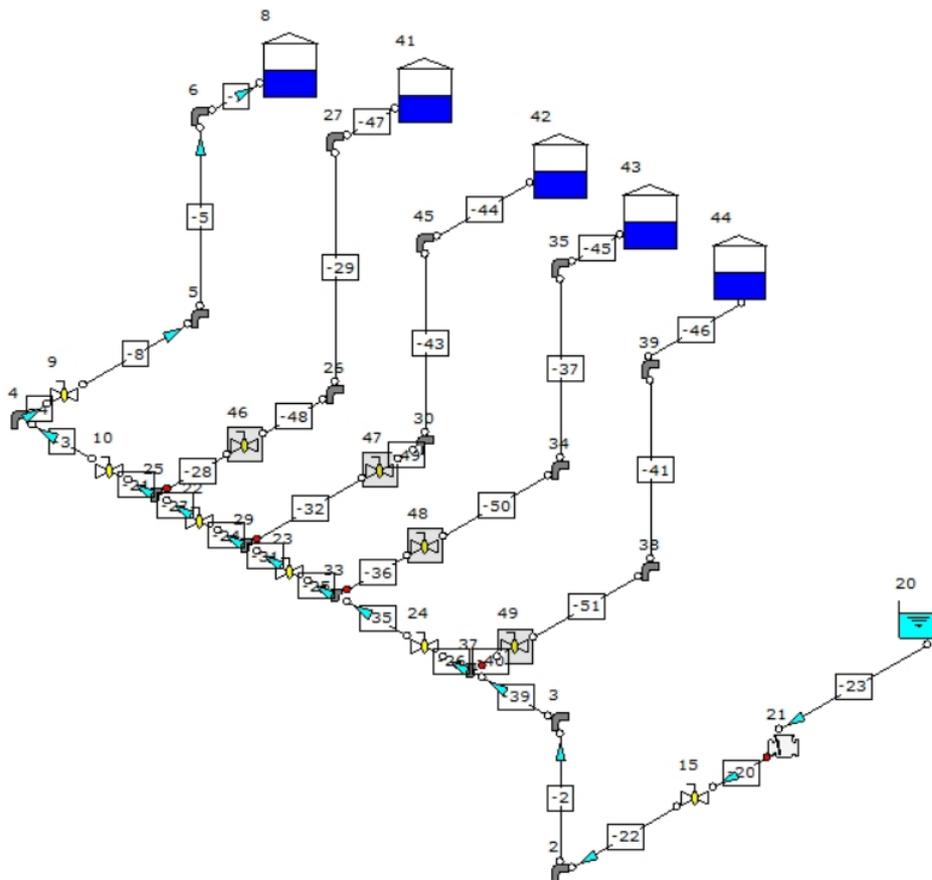


Ilustración 36. Isométrico del modelo para el llenado de los tanques

Por tanto, la presión suministrada por ambos grupos de bombes y la presión de entrada del oleoducto en la terminal son:

EQUIPOS	Caudal (m ³ /h)	Presión (bar g)	Presión (m)	NPSH _{disp.} (m)
P-1 A/B	100 m ³ /h	2,2	21,7 m	10,5 m
P-2 A/B	500 m ³ /h	2,3	23,7 m	10,5 m
Oleoducto	500 m ³ /h	3,2	33 m	

Tabla 79. Resultado de las presiones ejercidas por los grupos de bombeo

3.5.6. Presiones de operación y de diseño de las líneas

Las presiones de operación de las tuberías intervinientes en los cálculos hidráulicos son importantes para definir la presión de diseño de las mismas. Las presiones de operación de las líneas de trasiego de Fuel-Oil se han calculado gracias al software FLUID FLOW, cuyos resultados vienen expuestos en el anexo 3.

Las presiones de diseño se calcularán a partir de un coeficiente de mayoración de 1,5 como sigue:

$$P_{diseño} = 1,5 * P_{op}$$

3.5.7. Espesores de tuberías según ASME B31.33

A continuación, se calcularán los espesores de las tuberías atendiendo al estándar ASME B31.33, más exactamente al apartado 401.1.2 destinado al cálculo de los espesores de tubería recta a presión interna. Los resultados obtenidos se adjuntan en el anexo 3.

$$t = \frac{P * D}{2(S * E * W + P * Y)} \quad \text{Ecuación 127}$$

Donde:

P: Presión interna de diseño (bar g)

D: Diámetro externo tubería (mm)

S: Tensión máxima de diseño para ASTM A-106 Gr.B=138 MPa

E: Factores de calidad básicos para juntas longitudinales soldadas en tuberías=1

W: Factor de reducción de la resistencia de la junta de soldadura según párrafo 302.3.5. W =1

Y=Coeficiente obtenido de la tabla 304.1.1. Y=0,4

Materiales	Temperatura, °C (°F)					
	≤ 482 (900 y menores)	510 (950)	538 (1.000)	566 (1.050)	593 (1.100)	≤ 621 (1.150 y mayores)
Aceros Ferríticos	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Aceros Austeníticos	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7
Otros metales ductiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Hierro Fundido	0,0

Tabla 80. Factor Y en función de los materiales y la temperatura

4. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Aquellos que están lo suficientemente locos para creer que pueden cambiar el mundo, son quienes lo cambian.

- Steve Jobs -

4.1. Introducción y objeto

En esta sección se realizará el diseño de la instalación de medios y lucha contra incendio de la plataforma logística de almacenamiento de 100.000 m³ de combustible. Dicha instalación estará provista sobre todo de sistemas fijos y semifijos de protección contra incendios que proporcionan una respuesta eficaz a los posibles incendios provocados en la planta. Los sistemas estarán destinados a proteger las principales zonas de la terminal, como son: cubeto y tanques de almacenamiento de combustible de clase C, cargadero terrestre, edificio administrativo y nave. El diseño de la instalación estará respaldado por la legislación y normativa aplicable en dicho ámbito, tanto a nivel nacional como internacional, destacando la ITC IP 02 nombrada anteriormente, la Instrucción Técnica Complementaria de Almacenamiento de Productos Químicos para líquidos inflamables y combustibles (ITC MIE APQ1), el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI), las normas americanas National Fire Protection Association (NFPA) y las normas UNE indicadas en el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI).

4.2. Sistemas de protección aplicable según RSCIEI

A la hora de diseñar un sistema de protección contra incendio en una zona industrial es importante conocer las diferentes tácticas utilizadas en la sofocación de un incendio. Existen dos principales tácticas que son aplicables en dicho ámbito, aquella destinada a una protección pasiva y a una protección activa.

La primera de ellas presta atención al sistema preventivo, de tal manera que garantice la estabilidad de los edificios y así se pueda mitigar los daños producidos, tanto personales como materiales en el caso de riesgo de incendio. Por el contrario, la protección activa se centra de manera directa en la extinción del fuego una vez que se ha producido, alertando y evitando su propagación. La combinación de ambas estrategias, minimizan los posibles daños causados ante el fuego y hacen de una zona industrial un recinto más seguro.

El conjunto de medidas de protección contra incendios se elegirá aplicando el Reglamento de Seguridad Contra Incendios de los Establecimientos Industriales (RSCIEI), que tiene por objeto definir los requisitos que deben cumplir los establecimientos industriales para su seguridad en caso de incendio, de tal manera que puedan prevenir, limitar su propagación y posibilitar su extinción con la finalidad de minimizar los daños tanto a bienes como a personas.

Este reglamento se aplicará para establecer las medidas complementarias que se puedan añadir a las mínimas protecciones contra incendios establecidas en las disposiciones de las ITC-IP 02 o las ITC MIE IPQ1 aplicadas en esta terminal.

Dentro de dicho documento, se prestará atención al Anexo I que tiene como objetivo la caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad contra incendios, entendiéndose estos, como el conjunto de edificios, zona de este, instalación o espacio abierto de uso industrial o de almacén explicados en

el artículo 2 del mismo, donde se afirma que dicho documento es aplicable a los almacenamientos industriales, principal actividad de la terminal. En el presente anexo, dicha caracterización se centra en dos puntos principales:

- La configuración y ubicación de los establecimientos industriales con relación a su entorno.
- Su nivel de riesgo intrínseco.

4.2.1. Caracterización por su configuración y su ubicación con relación a su entorno

Las configuraciones y ubicaciones de los establecimientos industriales se dividen en función de si dichos establecimientos se encuentran ubicados en un edificio o si, por el contrario, dichos establecimientos desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen un edificio. En el caso del parque de almacenamiento de combustible, este cumple su principal función a espacio abierto por lo que el conjunto de tanques de almacenamiento contenidos en el cubeto se regirá en virtud de la segunda opción.

Dentro de los subtipos englobados en dicha opción, la zona del cargadero de camiones, el cubeto y tanques de almacenamiento de combustibles hacen referencia al tipo E, destinado a los establecimientos industriales que ocupan un espacio abierto que puede estar parcialmente cubierto (hasta un 50% de su superficie), algunas de cuyas fachadas en la parte cubierta carecen totalmente de cerramiento lateral. Por otro lado, la zona destinada a edificio administrativo, sala de control, taller y almacenes se clasifican en el tipo C, donde el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios en su caso, y que se encuentra a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos, cuya distancia debe estar libre de elementos que puedan propagar un incendio.

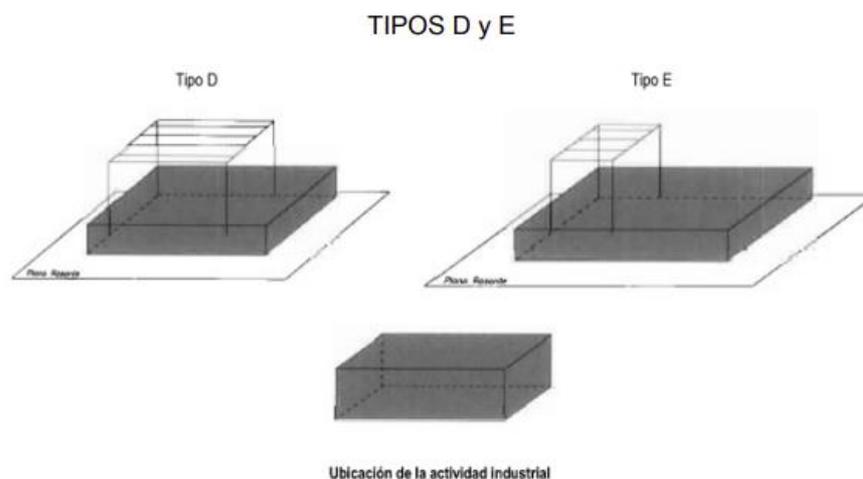


Ilustración 37. Tipos de configuración según RSCIEI

4.2.2. Caracterización por su nivel de riesgo intrínseco

Esta clasificación hace referencia al grado de riesgo intrínseco que presentan los establecimientos industriales, en función a cuatro tipos de configuraciones explicadas anteriormente, A, B, C, D y E pudiendo adoptar uno o varios tipos y establecer los sectores o áreas de incendio en los que se compone la terminal.

Como se ha mencionado, el tipo al que pertenece la terminal es E, por tanto, se considera que la superficie que ocupan constituye un “área de incendio” abierta, definida solamente por su perímetro.

El nivel de riesgo intrínseco de cada sector se evaluará siguiendo la siguiente expresión:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i G_i q_i C_i}{A} R_a \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \quad \text{Ecuación 128}$$

Donde:

Q_s : Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio (MJ/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 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 existan 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, almacenamiento...

A : Superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del sector de incendio (m²).

Sin embargo, particularizando más en cada sector se tomarán las siguientes expresiones para calcular la densidad de carga, ponderada y corregida Q_s para cada sector.

Tanques de almacenamiento de combustible

- Para actividades de almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} C_i h_i s_i}{A} R_a \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \quad \text{Ecuación 129}$$

Donde:

q_{vi} : Carga de fuego aportada por cada m³ de cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio (MJ/m³).

h_i : Altura de almacenamiento de cada uno de los combustibles (i) (m).

s_i : Superficie ocupada en planta por cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio (m²).

Los coeficientes C_i de cada combustible pueden deducirse de la siguiente tabla, del catálogo CEA de productos y mercancías:

Valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad, C_i

ALTA	MEDIA	BAJA
– Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1	– Líquidos clasificados como subclase B ₂ en la ITC MIE-APQ1.	– Líquidos clasificados como clase D en la ITC MIE-APQ1.
– Líquidos clasificados como subclase B ₁ en la ITC MIE-APQ1.	– Líquidos clasificados como clase C en la ITC MIE-APQ1.	
– Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100 °C.	– Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 °C y 200 °C.	– Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200 °C.
– Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente.	– Sólidos que emiten gases inflamables.	
– Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.		
$C_i = 1,60$	$C_i = 1,30$	$C_i = 1,00$

Tabla 81. Coeficientes de peligrosidad por combustibilidad

Atendiendo a la siguiente tabla, el coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i se encuentra en la columna con nivel medio, más específicamente en los líquidos clasificado como clase C en la ITC MIE-APQ1, por lo que toma el siguiente valor:

$$C_i = 1,30$$

Los valores de los coeficientes de peligrosidad por activación R_a y la carga de fuego aportada q_{vi} se adquieren de la tabla 1.2 del RSCIEI:

Actividad	Almacenamiento		
	q_v		Ra
	MJ/m ³	Mcal/m ³	
Depósito de hidrocarburos	43.700	10.505	2

Tabla 82. Coeficientes de peligrosidad por activación y carga de fuego aportada

Los valores de h_i y S_i para cada tanque, sabiendo que todos los tanques son idénticos son:

$$h_i=18 \text{ m}$$

$$S_i=615,75 \text{ m}^2$$

$$S(10 \text{ tanques})=6.157,5 \text{ m}^2$$

Resolviendo la ecuación 117 para la zona de almacenamiento de combustible se obtiene el siguiente valor de densidad de carga de fuego:

$$Q_s = \frac{10 * 43.700 * 1,3 * 18 * 615,75}{12.960} * 2 = 971.687,7 \left(\frac{MJ}{m^2} \right)$$

Una vez que se ha evaluado la densidad de carga de fuego ponderada y corregida de un sector de incendio Q_s , de un edificio industrial o de un establecimiento industrial, el nivel de riesgo intrínseco de dicho sector se obtiene de la tabla 1.3 del RSCIEI:

Nivel de riesgo intrínseco		Densidad de carga de fuego ponderada y corregida	
		Mcal/m ²	MJ/m ²
BAJO	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1.275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1.275 < Q_s \leq 1.700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1.700 < Q_s \leq 3.400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1.600$	$3.400 < Q_s \leq 6.800$
	7	$1.600 < Q_s \leq 3.200$	$6.800 < Q_s \leq 13.600$
	8	$3.200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

Tabla 83. Nivel de riesgo intrínseco en función de la densidad de carga ponderada y corregida

Atendiendo a la tabla 74, se obtiene un nivel de riesgo intrínseco para la zona de almacenamiento de 8 identificado como **ALTO**.

Edificio administrativo

- Para actividades dedicadas a cualquier otra cosa que no sea almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{si} S_i C_i}{A} R_a \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \quad \text{Ecuación 130}$$

Donde:

q_{si} : Densidad de carga de fuego de cada zona con proceso diferente según los distintos procesos que se realizan en el sector de incendio (i) (MJ/m²)

Con el mismo procedimiento que se ha realizado el cálculo del nivel de riesgo intrínseco para la zona de almacenamiento, se calculará para la zona del edificio administrativo.

El valor que toma el coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i es:

$$C_i = 1$$

Los valores de q_{si} se obtienen de la tabla 1.2 del RSCIEI, obteniéndose los siguientes valores:

Actividad	Actividad		
	Q _{si}		R _a
	MJ/m ²	Mcal/m ²	
Oficinas técnicas	600	144	1

Tabla 84. Coeficientes de peligrosidad por activación y carga de fuego aportada de oficina

En esta ocasión, los valores de S_i hacen referencia a las superficies ocupadas de las oficinas, igual que el valor del área total ocupada A . Por tanto:

Actividad	S_i (m ²)	A (m ²)
Oficinas técnicas	610	610

Tabla 85. Superficie ocupada y construida de oficina

Por tanto, en función de la ecuación x se obtiene la densidad de carga de fuego para dicho sector:

$$Q_s = \frac{(600 * 610 * 1)}{610} * 1 = 600 \text{ MJ/m}^2$$

Atendiendo a la tabla 1.3 del RSCIEI se obtiene un nivel de riesgo intrínseco para la zona administrativa de 2 identificado como nivel **BAJO**.

Cargadero de camiones

Este establecimiento presenta una configuración de tipo D, ya que ocupa un espacio abierto y algunas de las fachadas carece de cerramiento lateral.

El valor que toma el coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i es:

$$C_i = 1,3$$

Actividad	Actividad		
	Q _{si}		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²	
Automóviles, garajes y aparcamientos	200	48	1

Tabla 86. Coeficientes de peligrosidad por activación y carga de fuego aportada de cargadero de camiones

La zona a proteger cuenta con un área de 192 m².

Aplicando la ecuación 118, se obtiene la siguiente densidad de carga:

$$Q_s = \frac{200 * 192 * 1,3}{192} * 1 = 260 \left(\frac{MJ}{m^2} \right)$$

Atendiendo a la tabla 1.3 del RSCIEI se obtiene un nivel de riesgo intrínseco para la zona del cargadero de camiones es de 1, identificado como nivel **BAJO**.

Nave taller-almacén

Como bien se ha introducido antes, la nave taller-almacén es un establecimiento de tipo C.

El valor que toma el coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i es:

$$C_i = 1$$

Los valores de q_{si} se obtienen de la tabla 1.2 del RSCIEI, obteniéndose los siguientes valores:

Actividad	Actividad		
	Q _{si}		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²	
Talleres de reparación	400	96	1
Aparatos mecánicos	400	96	1

Tabla 87. Coeficientes de peligrosidad por activación y carga de fuego aportada de nave taller

Aplicando la misma ecuación 118:

$$Q_s = \frac{(400 * 200 * 1) + (400 * 200 * 1)}{200} * 1 = 800 \text{ MJ/m}^2$$

Atendiendo a la tabla 1.3 del RSCIEI se obtiene un nivel de riesgo intrínseco para la zona de la nave taller-almacén de 2, identificado como nivel **BAJO**.

Finalmente, se calcula la densidad de carga de fuego del conjunto de sectores de incendio de esta terminal, siguiendo con la siguiente expresión:

$$Q_E = \frac{\sum_1^i Q_{si} A_i}{\sum_1^i A_i} \quad \text{Ecuación 131}$$

Donde:

$$Q_E: \text{Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida del establecimiento industrial (MJ/m}^3\text{)}$$

$$Q_E = \frac{(600 * 610) + (971.687,7 * 12.960) + (800 * 200) + (260 * 192)}{610 + 12.960 + 200 + 192} = 901.994,6 \text{ MJ/m}^2$$

De la misma forma, el nivel de riesgo intrínseco de la terminal en función de la tabla 1.3 del RSCIEI es de nivel 8, identificado como **ALTO**.

4.2.3. Instalación de protección contra incendios en la terminal

Una vez caracterizada la terminal en función de su configuración y su nivel de riesgo intrínseco, se presentará los sistemas a implementar, así como los requisitos que deben tener los equipos y componentes del sistema contra incendio en las diferentes áreas que componen la terminal, para su correcta seguridad en caso de incendio.

Atendiendo al anexo III del RSCIEI se presentan los diferentes sistemas de protección contra incendio en función de una serie de características a cumplir para su implantación:

- **Sistemas automáticos de detección de incendios:** Este tipo de sistemas no son obligatorios para los establecimientos industriales de tipo D o E destinados a almacenamiento, aunque en este caso se realizará su instalación en el que se implantarán detectores térmicos en todos los tanques de almacenamiento.
- **Sistemas manuales de alarma de incendio:** En el caso de los edificios administrativo y oficinas presentará dicho sistema ya que no requiere sistemas automáticos de detección de incendios. A su vez, para los tanques de almacenamiento, también se dispondrá de dicha medida de protección al tratarse de una superficie construida mayor de 800 m².

Los pulsadores para activar la alarma de incendios se deberán colocar en las salidas de evacuación de cada sector de incendio y la distancia máxima a recorrer debe ser de 25 m desde cualquier lugar.

- **Sistema de comunicación de alarma:** Se instalará sistemas de comunicación de alarma en todos los sectores de incendio ya que cuenta con una superficie total construida de todos los sectores de incendio mayor a 10.000 m².

La señal acústica emitida por el sistema de comunicación de alarma de incendio, permitirá diferenciar si se trata de una alarma por emergencia parcial o general, y será preferente un sistema de megafonía.

- **Sistemas de hidrantes exteriores:** Este sistema es de obligado cumplimiento ya que lo exige la ITC IP 02 y la ITC MIE IPQ1 que rigen las disposiciones específicas de este tipo de establecimientos. Además, cumple con los requisitos de la tabla 3.1 de la RSCIEI por la cual se aprueba su implantación para configuraciones tipo D o E mayor o igual de 5.000 m² del sector de incendio en la zona de los tanques.
- **Extintores de incendio:** Este sistema de extintores portátiles se aplicará obligatoriamente en todos los sectores de incendio, aunque en zonas de almacenamiento donde el acceso al personal esté impedido se podrá prescindir de dicha implantación.
- **Sistemas de agua pulverizada:** Este tipo de sistemas se implantarán en el sector de incendio de los tanques de almacenamiento ya que cumple con lo establecido en el RSCIEI por la cual este tipo de sistemas se aplican en aquellos componentes donde sea necesario a asegurar la estabilidad de la estructura y evitar efecto de radiación emitidos por otro riesgo cercano.
- **Sistema de espuma física:** Su implantación es obligatoria debido a la exigencia en la ITC IP 02, cumpliendo así el artículo 1 de la RSCIEI.
- **Sistema de alumbrado de emergencia:** Las vías de evacuación de los sectores de incendio contará con dicho sistema cuando los edificios estén ubicados en planta bajo rasante, con ocupación mayor de 25 personas, en cualquier caso. Su implantación también estará aprobada en los espacios donde estén instalados cuadros, centros de control o mandos de los procesos que se realicen en la terminal.

La instalación de los sistemas de alumbrado de emergencia será fija y estará provista de fuente de energía propia y entrará automáticamente en funcionamiento al producirse un fallo del 70% de su tensión nominal de servicio. El funcionamiento se mantendrá durante una hora como mínimo, desde el momento en que se produzca el fallo. Proporcionará una iluminancia de un lux, mínimo, en el suelo de los recorridos de evacuación.

- **Señalización:** La señalización de las salidas de emergencia o de uso habitual, así como la de utilización de protección contra incendios de utilización manual cuando no sean fácilmente localizables se instalarán atendiendo al 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.
- **Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios:** Se dispondrá de una red de agua contra incendios en dicha terminal ya que los exige las disposiciones vigentes, en este caso la ITC IP 02, cumpliendo con el artículo 1 del RSCIEI. Este sistema constará con varias medidas conjuntas:
 - Red de hidrantes exteriores
 - Rociadores automáticos
 - Agua pulverizada
 - Sistema de espuma

	Sist. Automáticos de detección	Sistema manual de alarma	Sist. Comunicación alarma	Hidrantes	Extintores	BIEs	Rociadores	Alumbrado emergencia
Tanques	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Cargadero	No	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No
Oficina	No	Sí	No	Sí	Sí	No	No	Sí
Nave	No	Sí	No	Sí	Sí	No	No	Sí
C. Acceso	No	Sí	No	Sí	Sí	No	No	Sí

Tabla 88. Protección contra incendios en cada zona

4.3. Sistemas de Protección Contra Incendio en tanques de almacenamiento

En este apartado se exponen las condiciones y el diseño de los sistemas contra incendios de los tanques de almacenamiento de combustible en virtud del RSCIEI antes expuesto, la ITC IP 02 y las normativas americana y europea, como la NFPA y UNE respectivamente.

Como bien se ha especificado en el anterior apartado y como lo exige la ITC IP 02 los sistemas de protección contra incendio en tanques de almacenamiento de combustibles estarán basados en la aplicación de dos productos: agua y espuma.

4.3.1. Sistemas de agua pulverizada en tanques

En virtud de la ITC IP 02 complementada por la RSCIEI, el sistema de agua pulverizada será aplicado en todos los tanques de almacenamiento de fuel-oil o gas-oil mediante boquillas conectadas permanentemente a la red de incendio, con accionamiento desde el exterior del cubeto y diseñados conforme a la Norma UNE 23.501, NFPA 15 y ITC MIE-APQ 1.

Este sistema consistirá en la refrigeración tanto de los tanques incendiados como de los tanques afectados. La principal condición por la cual se aplica agua en estos casos, es debido a su alto calor latente, que controla considerablemente la llama y la temperatura de las paredes estructurales de los tanques, manteniéndola a la temperatura de ebullición del agua (100 °C), a su vez provoca la reducción del flujo de calor conductivo, convectivo y radiante en los tanques incendiados y los tanques vecinos afectados.

La instalación de dicho sistema consistirá en un anillo con boquillas pulverizadoras localizado en la parte superior del tanque, exactamente en la corona anular del techo. Todos los tanques, además de contar con boquillas en dicho anillo, presentarán un cuarto de anillo con boquillas adicionales insertadas. Este cuarto de anillo estará conectado al sistema de pulverización de los tanques incendiados de tal forma que cuando se produzca un incendio, se active los cuartos de anillos de los tanques vecinos, con el objetivo de proteger y refrigerar la cuarta parte de este, de la radiación provocada por las láminas del tanque incendiado.

4.3.1.1. Caudal de agua en tanques

El caudal de agua necesario en los tanques lo rige el apartado 1 del artículo 39 destinado a la utilización del agua en los medios de lucha contra incendios en instalaciones de superficie en exterior de edificaciones.

Este caudal de agua debe asegurar el caudal global calculado en la hipótesis más desfavorable, atendiendo a las tablas I y II, donde se evalúa el caudal de agua según el tipo de tanque incendiado.

Tipo de tanque supuestamente incendiado	Tanque a enfriar	Caudal de agua a prever	
		Para enfriamiento de tanques	Para espuma
Hidrocarburos líquidos (clases B y C).	a) El tanque incendiado.	15 litros/minuto por metro de circunferencia.	Máximo caudal de agua necesaria para producir espuma, según artículo 41.2.
	b) Los tanques adyacentes situados total o parcialmente a menos de 1,5 R del supuesto incendiado, medidos desde sus paredes, con un mínimo de 15 m.	Caudales sobre 1/4 de la superficie lateral en litros/metro cuadrado/minuto. Techo fijo: Punto de inf. < 21 °C 5 litros/metro cuadrado/minuto. Punto de inf. ≥ 21 °C 3 litros/metro cuadrado/minuto. Techo flotante: < 7.500 metros cúbicos, 3 litros/metro cuadrado/minuto. ≥ 7.500 metros cúbicos, 2 litros/metro cuadrado/minuto.	

Tabla 89. Caudal de agua en función del combustible almacenado, ITC MI-IP02

Como se puede apreciar, en virtud de dicha tabla, los tanques que almacenan hidrocarburos de clase B o C, como es el caso, se clasifican en dos tipos de tanques antes mencionados, en función de la situación de los tanques y las características de los combustibles almacenados: Tanque incendiado y tanques afectados o vecinos. A continuación, se calculan el caudal de agua necesaria en cada caso:

- Tanque incendiado: El tanque incendiado necesita 15 l/min por metro de circunferencia. Por tanto:

$$Q_i = 15 \frac{l}{\text{min} * m} * \pi * D = 15 \frac{l}{\text{min} * m} * \pi * 28 m = 1319,5 l/\text{min} \approx 1320 l/\text{min}$$

- Tanque afectado o adyacente: Los tanques vecinos afectados desde una distancia entre 1,5*R a 15 m como mínimo.

$$Dist = 1,5 * 14 m = 21 m > 8 m$$

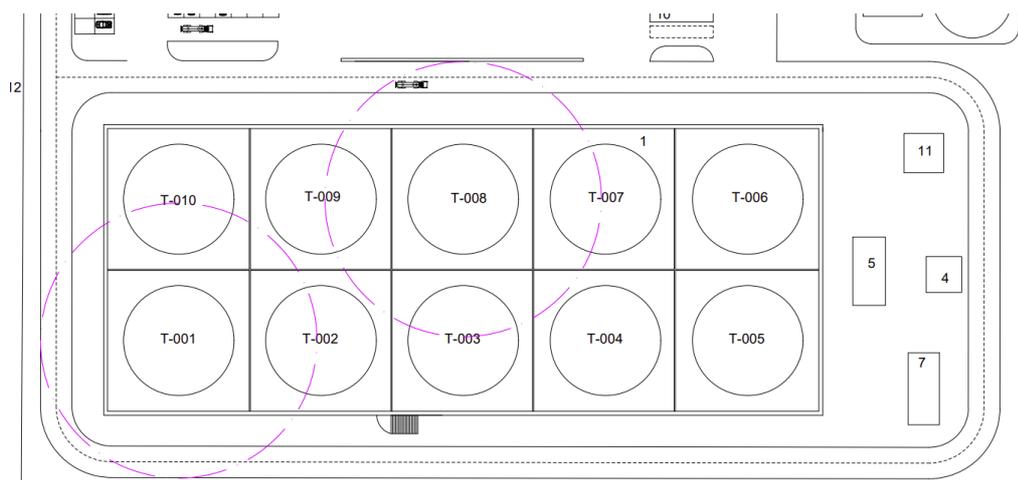


Ilustración 38. Radio de incidencia sobre los tanques adyacentes

Aplicando la distancia de 1,5R en el tanque T-008 se pudo observar que afecta a sus 3 tanques vecinos, por tanto, siguiendo con dicha regla se impondrá dicho caudal en los tanques afectados.

Una vez cumplida la condición impuesta, para los tanques de techo fijo que almacenan hidrocarburos, cuyo punto de inflamación está por encima de los 21 °C, el caudal para la cuarta parte de la superficie lateral de los tanques afectados está fijado en 3 l*m²/min. Por tanto:

$$Q_a = 3 * \frac{l}{\text{min} * m^2} * \frac{1}{4} * \pi * D * h = 3 * \frac{l}{\text{min} * m^2} * 395,8 = 1187,5 \approx 1188 \text{ l/min}$$

A continuación, se adjunta la tabla con los caudales necesarios para los tanques incendiados, los tanques afectados y la demanda total en el caso más desfavorable:

PRODUCTO	TANQUE	DIÁMETRO (m)	ALTURA (m)	L.CIRCUN (m)	CAUDAL ITC (l/min)	CAUDAL INSTALADO (l/m)
Fuel-Oil	T-01	28	18	88	15	1320
Fuel-Oil	T-02	28	18	88	15	1320
Fuel-Oil	T-03	28	18	88	15	1320
Fuel-Oil	T-04	28	18	88	15	1320
Fuel-Oil	T-05	28	18	88	15	1320
Fuel-Oil	T-06	28	18	88	15	1320
Fuel-Oil	T-07	28	18	88	15	1320
Fuel-Oil	T-08	28	18	88	15	1320
Fuel-Oil	T-09	28	18	88	15	1320
Fuel-Oil	T-10	28	18	88	15	1320

Tabla 90. Caudales necesarios para los tanques incendiados

PRODUCTO	Tanque incendiado	Tanques afectados	1/4 Sup. Lat. Tanque (m2)	Caudal ITC (l/min*m2)	Caudal instalado (l/min)
Fuel-Oil	T-01	T-09	396	3	1188
		T-10	396	3	1188
Fuel-Oil	T-02	T-01	396	3	1188
		T-09	396	3	1188
		T-03	396	3	1188
Fuel-Oil	T-03	T-02	396	3	1188
		T-08	396	3	1188
		T-04	396	3	1188
Fuel-Oil	T-04	T-03	396	3	1188
		T-07	396	3	1188
		T-05	396	3	1188
Fuel-Oil	T-05	T-06	396	3	1188
		T-04	396	3	1188
Fuel-Oil	T-06	T-07	396	3	1188
		T-05	396	3	1188
Fuel-Oil	T-07	T-08	396	3	1188
		T-04	396	3	1188
		T-06	396	3	1188
Fuel-Oil	T-08	T-09	396	3	1188
		T-03	396	3	1188
		T-07	396	3	1188
Fuel-Oil	T-09	T-10	396	3	1188
		T-02	396	3	1188
		T-08	396	3	1188
Fuel-Oil	T-10	T-09	396	3	1188
		T-01	396	3	1188

Tabla 91. Caudales de agua para los tanques afectados

PRODUCTO	Tanque incendiado	Caudal tanque incendiado (l/min)	Tanques afectados	Caudal tanque afectado (l/min)	CAUDAL TOTAL (l/min)
Fuel-Oil	T-01	1320	T-09	1188	3696
			T-10	1188	
Fuel-Oil	T-02	1320	T-01	1188	4884
			T-09	1188	
			T-03	1188	
Fuel-Oil	T-03	1320	T-02	1188	4884
			T-08	1188	
			T-04	1188	
Fuel-Oil	T-04	1320	T-03	1188	4884
			T-07	1188	
			T-05	1188	
Fuel-Oil	T-05	1320	T-06	1188	3696
			T-04	1188	
Fuel-Oil	T-06	1320	T-07	1188	3696
			T-05	1188	
Fuel-Oil	T-07	1320	T-08	1188	4884
			T-04	1188	
			T-06	1188	
Fuel-Oil	T-08	1320	T-09	1188	4884
			T-03	1188	
			T-07	1188	
Fuel-Oil	T-09	1320	T-10	1188	4884
			T-02	1188	
			T-08	1188	
Fuel-Oil	T-10	1320	T-09	1188	3696
			T-01	1188	

Tabla 92. Caudal total de tanques incendiados y afectados

Como se puede observar para la refrigeración de los tanques el caudal máximo demandado en caso de un incendio es la situación más desfavorable, que es el caso cuando el radio de afección incluye a tres tanques, coincidiendo con un caudal de 4884 l/min.

Estos caudales de agua calculados deben proporcionarse gracias a reservas que garanticen dichos caudales permanentemente para 5 horas de autonomía (300 minutos). En conclusión, el volumen de reserva necesaria total para la protección con agua de los tanques incendiados y afectados en el caso más desfavorable es:

PRODUCTO	Tanque incendiado	Caudal tanque incendiado (l/min)	Tanques afectados	Caudal tanque afectado (l/min)	CAUDAL TOTAL (l/min)	Autonomía (min)	Reserva de agua (m ³)
Fuel-Oil	T-02	1320	T-01	1188	4884	300	1.465,2
			T-09	1188			
			T-03	1188			

Tabla 93. Volumen total de reserva de agua para tanques

4.3.1.2. Diseño Sistema agua pulverizada según UNE 23.501

Como bien se ha explicado anteriormente, el diseño de dicho sistema consistirá en implementar un anillo que cubra el perímetro circunferencial del tanque, situado en la corona del techo del mismo y un cuarto de anillo para los tanques afectados, conectados al anillo principal del tanque incendiado, para producir su activación cuando se produzca un incendio. El diseño estará encaminado en asegurar los tanques con el menor número de boquillas posibles y una eficiencia en el caudal de agua pulverizada.

Diseño anillo principal del tanque incendiado

Según las Norma UNE 23.501 en el apartado destinado a estructuras y equipos diversos, la distribución de las boquillas en el anillo del tanque incendiado consistirá en la colocación de estas a una distancia máxima de 3,5 m unas de otras, con una separación con respecto a la pared del tanque de 0,6 m (2 ft), para tanques situados en el exterior. Por tanto, en función de los siguientes datos se calcularán el número de boquillas mínimas en cada anillo principal del tanque incendiado:

Diámetro del tanque = 28 m

Distancia máxima entre boquillas = 3,5 m

Perímetro del anillo = $\pi \cdot (28 \text{ m} + 1,2 \text{ m}) = 91,73 \text{ m}$

Nº mínimo de boquillas = $91,73 / 3,5 = 26,2 \approx 27$ boquillas

Distancia real entre boquillas = $91,73 \text{ m} / 27 = 3,4 \text{ m} < 3,5 \text{ m}$

Atendiendo a las Norma UNE 23.506 por la cual se proporcionan los datos para el diseño de los sistemas fijos de agua pulverizada, en el apartado 2.2.4. se establecen las fórmulas para el cálculo del caudal de descarga de una boquilla:

$$Q_b = K\sqrt{P} \quad \text{Ecuación 132}$$

Aunque el caudal de descarga de cada boquilla se hace más fácil sabiendo el caudal total de refrigeración para cada tanque, antes calculado:

$$Q_T = n^{\circ} \text{ boquillas} * Q_b \quad \text{Ecuación 133}$$

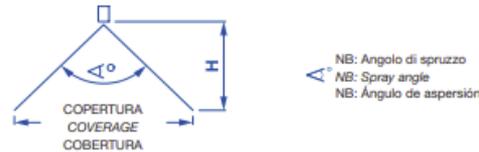
Donde:

Q_T : Caudal total de refrigeración para cada tanque (l/min)

Q_b : Caudal de descarga de cada boquilla (l/min)

$$Q_b = \frac{1320 \text{ l/min}}{27 \text{ boquillas}} = 48,8 \text{ l/min}$$

Un ejemplo de este tipo de boquillas se puede ver gracias a la empresa suministradora EUSPRAY especialista en la venta de boquillas para sistemas fijos de pulverización contra incendios y cuya ficha técnica se encuentra adjunta. En dicho catálogo se refleja que el modelo SP41 adjudicado, garantiza un ángulo de cobertura para presiones menores de 3 bar entre 65 y 180°.



α°	COPERTURA - COVERAGE - COBERTURA (cm)											
	H (cm)											
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	100
10	0.87	1.75	2.62	3.5	4.37	5.25	7	8.75	10.5	12.25	14	17.5
15	1.31	2.63	3.95	5.26	6.58	7.9	10.5	13.16	15.8	18.43	21	26.3
20	1.76	3.52	5.28	7.04	8.8	10.5	14	17.6	21.1	24.6	28.1	35.2
25	2.21	4.42	6.63	8.84	11	13.2	17.7	22.17	26.5	30.9	35.3	44.2
30	2.68	5.36	8.04	10.7	13.4	16.1	21.4	26.8	32.2	37.5	42.9	53.6
35	3.15	6.3	9.45	12.6	15.7	18.9	25.2	31.5	37.8	44.1	50.4	63
40	3.64	7.28	10.9	14.6	18.2	21.8	29.1	36.4	43.7	50.9	58.2	72.8
45	4.14	8.28	12.4	16.6	20.7	24.8	33.1	41.4	49.7	58	66.2	82.8
50	4.66	9.32	14	18.9	23.3	28	37.3	46.6	55.9	65.9	74.6	93.2
55	5.20	10.4	15.6	20.8	26	31.2	41.6	52	62.4	72.8	83.2	104
60	5.77	11.5	17.3	23.1	28.8	34.6	46.2	57.7	69.2	80.8	92.3	115
65	6.37	12.7	19.1	25.5	31.8	38.1	51	63.7	76.4	89.2	102	127
70	7	14	21	28	35	42	56	70	84	98	112	140
75	7.67	15.3	23	30.7	38.3	46	61.4	76.7	92	107	123	153
80	8.47	16.8	25.2	33.6	42.3	50.4	67.2	84.7	101	118	134	168
85	9.16	18.3	27.5	36.6	45.8	55	73.3	91.6	110	128	146	183
90	10.0	20	30	40	50	60	80	100	120	140	160	200
95	10.9	21.8	32.7	43.7	54.6	65.5	87.3	109	131	153	175	218
100	11.9	23.8	35.8	47.7	59.6	71.5	95.3	119	143	167	191	238
110	14.3	28.6	42.9	57	71.4	85.7	114	143	171	200	229	286
120	17.3	34.6	52	69.3	86.5	104	139	173	208	243	277	346
130	21.5	43	64.5	80	108	129	172	215	258	301	344	430
140	27.5	55	82.5	110	138	165	220	275	330	385	440	550
150	37.3	74.6	112	149	186	224	298	373	448	522	597	746

Tabla 94. Cobertura de boquillas comerciales

Como se puede ver en la tabla adjunta, sacada del catálogo de la empresa suministradora, para ángulos de 150° y una separación con respecto a las paredes del tanque de 60 cm, la cobertura de la boquilla pulverizadora alcanza los 448 cm, alcanzando el 10% de solapamiento mínimo de cobertura para una refrigeración eficaz.

Diseño del cuarto de anillo para el tanque afectado

Aplicando el mismo procedimiento que para el diseño del anillo principal, se procede al diseño del cuarto de anillo para los tanques afectados.

Diámetro del tanque = 28 m

Distancia máxima entre boquillas = 3,5 m

Distancia del cuarto de anillo = $1/4 * \pi * (28 \text{ m} + 1,2 \text{ m}) = 22,93 \text{ m}$

Nº mínimo de boquillas = $22,93 / 3,5 = 6,55 \approx 7$ boquillas

Distancia real entre boquillas = $22,93 \text{ m} / 7 = 3,27 \text{ m} < 3,5 \text{ m}$

Aplicando las mismas fórmulas que para el caso anterior se obtiene:

$$Q_T = n^{\circ} \text{ boquillas} * Q_b$$

$$Q_b = \frac{1188 \text{ l/min}}{7 \text{ boquillas}} = 169,71 \text{ l/min}$$

Para el mismo suministrador de boquillas, ESUPRAY, se selecciona el modelo SP 103 para caudales mayores, que proporcionan un ángulo de cobertura entre 150 y 180° para presiones menores de 3 bar. Estos a su vez, en función de la separación con respecto al tanque, siguen cumpliendo con el 10% mínimo de solapamiento en la cobertura, con 448 cm al igual que el anterior.

4.3.2. Hidrantes

Los hidrantes de incendios o bocas de incendios son equipos conectados a una red de abastecimiento de agua cuya finalidad es suministrar agua en el caso que existiera un riesgo de incendio. La red de hidrantes de columna contra incendio se diseñará atendiendo a las especificaciones marcadas en el RSCIEI, RIPCI y las Normas UNE-EN 14384.

La instalación de hidrantes exteriores es necesaria según las condiciones que se adjuntan en la tabla 3.1 del RSCIEI:

Configuración de la zona de incendio	Superficie del sector o área de incendio (m ²)	Riesgo Intrínseco		
		Bajo	Medio	Alto
A	≥ 300	NO	SÍ	
	≥ 1000	SÍ*	SÍ	
B	≥ 1000	NO	NO	SÍ
	≥ 2500	NO	SÍ	SÍ
	≥ 3500	SÍ	SÍ	SÍ
C	≥ 2000	NO	NO	SÍ
	≥ 3500	NO	SÍ	SÍ
D o E	≥ 5000	SÍ	SÍ	SÍ
	≥ 15000	SÍ	SÍ	SÍ

Tabla 95. Condiciones de instalación de hidrantes según RSCIEI

Para los sectores tipo E, como es el caso de la zona de cubeto y tanques de almacenamiento de combustible para superficies de sector mayores de 5.000 m² y nivel de riesgo intrínseco alto se requiere la instalación de hidrantes exteriores.

La implantación de dicho sistema se determinará atendiendo a las siguientes condiciones impuestas en el RSCIEI:

- La zona protegida por cada uno de ellos es la cubierta por un radio de 40 m, medidos horizontalmente desde el emplazamiento del hidrante.
- Al menos uno de los hidrantes (situado, a ser posible, en la entrada) deberá tener una salida de 100 mm.
- La distancia entre el emplazamiento de cada hidrante y el límite exterior del edificio o zona protegidos (en este caso el cubeto), medida perpendicularmente a la fachada, debe ser al menos de 5 m.

A continuación, se calcularán las necesidades de agua para proteger cada una de las zonas (áreas o sectores de incendio) que requieren un sistema de hidrantes, de acuerdo con la tabla siguiente:

Configuración del establecimiento industrial	Nivel de riesgo intrínseco					
	Bajo		Medio		Alto	
	Caudal (L/Min.)	Autón. (Min)	CauDal (L/Min.)	Autón. (Min)	Caudal (L/Min.)	Auton. (Min)
A	500	30	1000	60	–	–
B	500	30	1000	60	1000	90
C	500	30	1500	60	2000	90
D y E	1000	30	2000	60	3000	90

Tabla 96. Necesidades de caudales en hidrantes para combustible almacenado

Para el caso de la zona de almacenamiento de combustible se obtiene un caudal de abastecimiento de agua de 3.000 l/min y una autonomía de 90 minutos. Aunque prestando atención a las notas del cuadro, cuando en un establecimiento industrial de configuraciones C, D o E existen almacenamientos de combustibles en el exterior el caudal se aumenta en 500 l/min, por lo que el caudal real de abastecimiento será de 3.500 l/min y la presión mínima de salida será de 5 bar cuando se estén descargando.

Atendiendo a los caudales de abastecimiento de agua y a su tiempo de aplicación dan lugar a un volumen total de demanda de 315 m³.

Como se puede observar en el plano 7 del anexo D, se instalarán un total de 7 hidrantes. Por lo que el caudal de abastecimiento de agua por hidrantes es 500 l/min.

A modo de resumen:

Protección	Caudal agua de protección (l/min)	Autonomía (min)	Volumen de agua (l)
Hidrantes	3500	90	315000

Nº hidrantes	Caudal por hidrante (l/min)	Autonomía (min)	Volumen de agua (l)
7	500	90	45000



Ilustración 39. Hidrante

4.3.3. Sistemas de espuma física en tanques de almacenamiento

Por la ITC MIE APQ1 y atendiendo al artículo 39 de la ITC IP 02, es de obligado cumplimiento la aplicación de medios fijos y/o móviles de generación de espuma para almacenamientos aéreos con capacidad superior a 50 m³ de combustibles de clase B1 o para almacenamientos superiores a 500 m³ para las demás clases, entre las que se encuentra la clase C.

Dicha disposición contempla que los sistemas fijos de espuma física instalados permanentemente, con accionamiento desde el exterior del cubeto son diseñados conforme a las Normas UNE 13565-1 y UNE 13565-2. De la misma manera, la normativa americana NFPA 11 contempla la aplicación mediante inyección superficial y subsuperficial para tanques atmosféricos, verticales de techo fijo de almacenamiento de líquidos combustibles, como es el caso del Fuel-Oil o Gas-Oil.

La generación de la espuma se produce por la mezcla de tres agregados principales:

- Agua
- Espumógeno
- Aire

Estos tres tipos de componentes se mezclan entre sí, dando lugar a diferentes tipos de espuma, en función de las proporciones en la que se combinen. Es por eso por el cual, la espuma recibe diferentes valores de expansión, ya que estos dependen de la relación de volúmenes en la que se mezclen el agua y el espumógeno.

La combinación de estos tres agregados se inicia con el agua procedente de la red de la planta que es mezclada con el espumógeno en las proporciones específicas en un equipo dosificador. A continuación, el espumante (mezcla de agua y espumógeno) es dirigido al generador de espuma donde se le aplica aire, produciendo un aumento del volumen del producto final.

La espuma al ser una solución poco densa y más ligera que los líquidos combustibles sobre los que se aplica, puede flotar sobre ellos, produciendo una capa sobre la superficie del combustible, con la finalidad de evitar el contacto de este con el aire, para imposibilitar la combustión, refrigerar el fluido y cortar el flujo de vapores que posibiliten la reaparición de la llama.

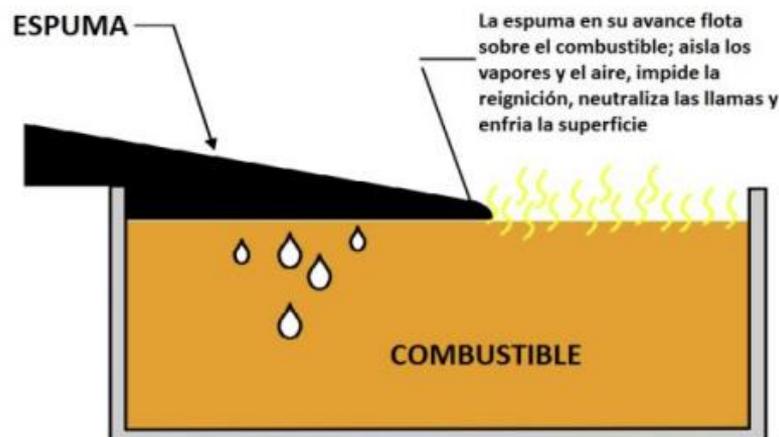


Ilustración 40. Funcionamiento de espuma en tanque

4.3.3.1. Espumógeno

Como bien se ha adelantado en el apartado anterior, el espumógeno es un elemento líquido, que, mezclado con agua y aire, en unas proporciones adecuadas genera el producto final para la extinción de incendios, la espuma.

En el mercado existen diferentes tipos de espumógenos, entre los que se puede clasificar los siguientes tipos definidos en el Anexo A de la Norma UNE 1568-3:

- **Espumógenos proteínicos (P):** Son líquidos derivados de materiales proteínicos hidrolizados
- **Espumógenos fluoroproteínicos (FP):** Son concentrados proteínicos con agentes tensoactivos fluorados añadidos.
- **Espumógeno sintético (S):** Basados en mezcla de agentes tensoactivos hidrocarburoados y no contienen compuestos fluororgánicos.
- **Espumógenos resistentes al alcohol (AR):** Pueden ser adecuados para ser utilizados con

combustibles de hidrocarburos y adicionalmente son resistentes a la destrucción cuando se aplican sobre la superficie de combustibles miscibles con agua.

- **Espumógenos formadores de película acuosa (AFFF):** Normalmente se basan en mezclas de agentes tensoactivos fluorados y surfactantes hidrocarbonados y tienen la capacidad de formar una película acuosa sobre la superficie de algunos hidrocarburos.
- **Espumógenos fluoroproteínicos formadores de película (FFFP):** Son espumógenos fluoroproteínicos que tienen la capacidad de formar una película acuosa sobre algunos combustibles hidrocarburos.
- **Espumógenos sin fluor (F3):** Estos espumógenos se dedican a lograr clasificación de prestación de extinción y se destinan aplicaciones similares a las espumas AFFF y/o AR sin usar compuestos fluororgánicos. Estos espumógenos se basan en mezclas de agentes hidrocarbonados tensoactivos y estabilizadores no fluorados.

La formación del espumante, se realizan en unas proporciones adecuadas de agua y espumógeno. Las más conocidas son concentraciones del 1%, 3% y 6%. Atendiendo a la concentración de 3%, quiere decir que por cada 97 partes de agua se añaden 3 partes de espumógeno para formar la solución completa.

La relación de expansión también es una característica importante en la aparición de los diferentes tipos de espumas y en las aplicaciones de estas. La relación de expansión es la relación de volumen inicial de espumante y el volumen final de la espuma. Existen diferentes tipos de espumas en virtud de su relación de expansión:

- **Espumas de baja expansión:** Este tipo de espumas recibe valores de relación de expansión 20:1.
- **Espumas de media expansión:** Para este tipo la relación de expansión ocupa valores en un rango de 20:1 hasta 100:1.
- **Espumas de alta expansión:** El rango de expansión varía entre 200:1 y 2000:1.

4.3.3.2. Elección de tipo de espumógeno

La elección del tipo de espumógeno a utilizar se ha realizado en función de la norma UNE 1568-3 establecida en el RIPCI para sistemas fijos de extinción por espuma y la norma americana NFPA 11.

Dentro de la normativa europea, la clase de fuego aplicable en este caso, es la clase B, definido como fuegos que implican líquidos o sólidos que funden y se transforman en líquidos.

Con la clase de fuego establecida, entrando en la tabla A.1 del Anexo A de UNE 1568-3, se acogerá un espumógeno fluoroproteínico formadores de película, FFFP (no AR), con una clase de rendimiento I y un nivel de resistencia al reincendio A o B.

La relación de expansión de la espuma aplicada será baja, con la finalidad de aplicar mayor cantidad de agua para refrigerar y posibilitar una mayor resistencia a la reignición.

La empresa suministradora SABO española, de reconocido prestigio a nivel nacional, comercializa el modelo de espumógeno APIROL FX3 C 3%. Es un espumógeno FFFP pensado para su uso en combustibles clase B de baja solubilidad en agua como es el caso de petróleo crudo, gasolinas, diésel ... No es recomendable su uso en combustibles de alta solubilidad en agua. Este tipo de espumógeno es ideal para combustibles almacenados en tanques, combustible en industria, áreas que contienen líquidos inflamables...

4.3.3.3. Caudal de espumante necesaria en tanques según UNE 13565-2

En referencia al apartado 2 del artículo 39 de la ITC IP -02 y la ITC MIE APQ-1, para los tanques de eje vertical se deberá suministrar un caudal mínimo de solución acuosa de 4 l/min por metro cuadrado de superficie a cubrir durante un tiempo mínimo de 55 minutos. Este tipo de sistemas solo son aplicables para los tanques incendiados y no para los tanques afectados.

En este caso el caudal de espuma se calculará según la norma UNE 13565-2 donde se especifica la tasa de

aplicación para espumas de baja y media expansión, siguiendo con la siguiente expresión:

$$q = q_{th} * f_c * f_o * f_h \quad \text{Ecuación 134}$$

Donde:

q : Tasa mínima de aplicación de espuma (l/min m²)

q_{th} : Tasa de aplicación nominal para la solución de espuma = 4 l/min m²

f_c : Factor de corrección para la clase del espumógeno de acuerdo con la Norma EN 1568.

f_o : Factor de corrección para el tipo de objeto

f_h : Factor de corrección para la distancia a la boquilla en los sistemas de inundación exteriores = 1 para boquillas < 5 m de la superficie protegida; 1,25 para boquillas > 5 m de la superficie protegida. Para tanques y sistemas de contención $f_h = 1$.

A continuación, se adjunta la tabla con los factores de corrección f_c , para espumas de baja expansión inmiscibles en agua por la Norma EN 1568-3:

Clase de comportamiento de extinción de incendios - EN 1568-3	Factor de corrección - derrame (f_c)	Factor de corrección - combustible en profundidad (f_c)
1A	1,0	1,0
1B	1,0	1,1
1C	1,1	1,25
1D	1,1	NA
2A	1,0	1,0
2B	1,0	1,1
2C	1,1	1,25
2D	1,1	NA
3B	1,5	NA
3C/3D	1,75	NA

Tabla 97. Factores de corrección para espumas de baja expansión Norma EN 1568-3

Como bien se ha dicho anteriormente se va a utilizar un tipo de espumógeno FFFP al 3% 1C por lo que el factor de corrección es:

$$f_c = 1,1$$

Para la elección del factor f_o , se utiliza la tabla 4 de la Norma EN 13565, aplicable para tanques de techo fijo donde el vertido de espuma tanto superficial como subsuperficial en tanques menores de 45 m de diámetro.

$$f_o = 1$$

El factor f_h se supone igual a 1 para tanques y sistemas de contención.

Por tanto, la tasa mínima de aplicación de espuma es:

$$q = 4 \text{ l / min m}^2 * 1,1 * 1 * 1 = 4,4 \text{ l / min m}^2$$

Contando con que todos los tanques presentan una superficie igual a 616 m² el caudal de espuma necesario en tanques es:

$$Q_f = 4,4 \text{ l/min m}^2 * 616 \text{ m}^2 = 2710,4 \text{ l/min}$$

Para concluir con el cálculo de la tasa necesaria de espuma en tanques, se inserta una tabla resumen con los datos:

Tasa de aplicación nominal de espuma	4 l/ min m ²
Tasa mínima de aplicación de espuma	4,4 l/ min m ²
Superficie del tanque	616 m ²
Caudal espumante en tanques	2.710,4 l/min
Caudal de agua necesaria en espuma (97%)	2.629,1 l/min
Caudal de espumógeno necesario en espuma (3%)	81,3 l/min
Tiempo de actuación	55 min

Tabla 98. Resumen aplicación espuma en tanques

El caudal de espumante calculado para cada tanque y el volumen en función del tiempo de autonomía es:

Producto	Tanque	Diámetro (m)	Superficie (m ²)	Tasa aplicación (l/min*m ²)	Caudal instalado (l/min)	Autonomía (min)	Volumen espumante (l)
Fuel-Oil	T-01	28	616	4,4	2710,4	55	149075
Fuel-Oil	T-02	28	616	4,4	2710,4	55	149075
Fuel-Oil	T-03	28	616	4,4	2710,4	55	149075
Fuel-Oil	T-04	28	616	4,4	2710,4	55	149075
Fuel-Oil	T-05	28	616	4,4	2710,4	55	149075
Fuel-Oil	T-06	28	616	4,4	2710,4	55	149075
Fuel-Oil	T-07	28	616	4,4	2710,4	55	149075
Fuel-Oil	T-08	28	616	4,4	2710,4	55	149075
Fuel-Oil	T-09	28	616	4,4	2710,4	55	149075
Fuel-Oil	T-10	28	616	4,4	2710,4	55	149075

Tabla 99. Caudal y volumen de espumante para cada tanque

Producto	Tanque	Caudal espumante (l/min)	Caudal agua (l/min) (97%)	Caudal espumógeno (l/min) (3%)	Autonomía (min)	Volumen agua (l)	Volumen espumógeno (l)
Fuel-Oil	T-01	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5
Fuel-Oil	T-02	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5
Fuel-Oil	T-03	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5
Fuel-Oil	T-04	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5
Fuel-Oil	T-05	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5
Fuel-Oil	T-06	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5
Fuel-Oil	T-07	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5
Fuel-Oil	T-08	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5
Fuel-Oil	T-09	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5
Fuel-Oil	T-10	2710,4	2629,1	81,3	55	144600,5	4471,5

Tabla 100. Volumen de agua y espumógeno para cada tanque

4.3.3.4. Cámaras de espuma y vertederas en tanques

Las cámaras de espuma son los dispositivos capaces encargados de proporcionar aire a la mezcla de espumante, con la finalidad de crear el producto final de dicho sistema de protección de incendio, la espuma. Las cámaras de espuma están compuestas por la placa de orificio, el sello de vapor y el deflector o vertederas.

- Placa de orificio: Es una placa de acero inoxidable, con un orificio calibrado en función del caudal de espuma a suministrar y la presión de operación del sistema. Se sitúa a la entrada de la cámara.
- Sello de vapor: Se trata de un disco de ruptura instalado dentro de la cámara con la finalidad de evitar la entrada de vapores del combustible a la red contra incendio. Este disco de ruptura se acciona a una presión determinada del combustible (aproximadamente 3,5 bar).



Ilustración 41. Cámara de espuma en tanque de almacenamiento

El número de cámaras de espuma instaladas en el tanque de hidrocarburos viene fijada por la tabla 5 de la UNE 13565-2, en la que se dispone la cantidad a instalar en 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 2 827 m ²

Tabla 101. N° cámara de espuma en tanques según UNE 13565-2

En el caso estudiado, para tanques de 28 metros de diámetro se instalarán 2 salidas de vertido superior, utilizando cámaras de espuma. Por tanto, el número total de cámaras de espuma instaladas en la terminal es 20.

Las bocas de descarga o vertederas es el elemento final del sistema de protección contra incendio a base de espuma en tanques. Se encargan de la descarga de espuma en el tanque, con el objetivo de extender eficientemente la espuma sobre la superficie del combustible sin generar cúmulos aislados de espumas dispersos.

En cuanto a la localización de las vertederas de espuma, estas estarán separadas en cada tanque en un ángulo de 180° y se aconsejan instalarse debajo de la junta débil del tanque (unión techo-virola) según la Norma UNE 13565-2.

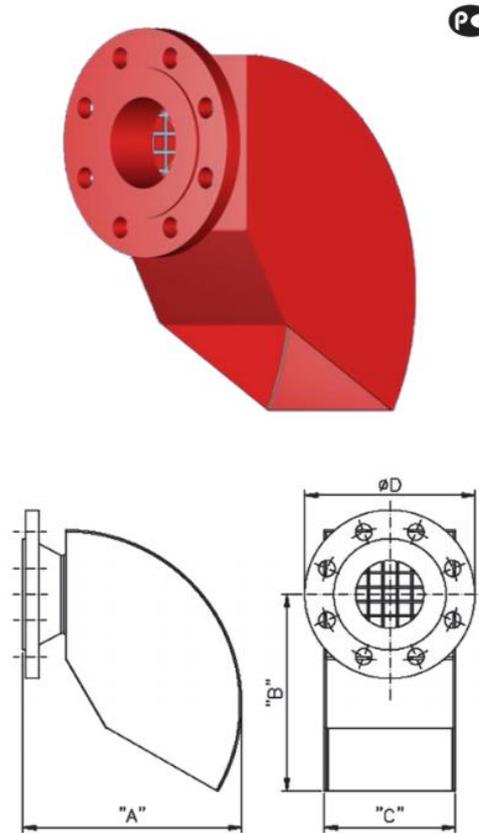


Ilustración 42. Vertedera de espuma

Producto	Tanque	Diámetro (m)	Nº cámara de espuma	Separación (grados)
Fuel-Oil	T-01	28	2	180
Fuel-Oil	T-02	28	2	180
Fuel-Oil	T-03	28	2	180
Fuel-Oil	T-04	28	2	180
Fuel-Oil	T-05	28	2	180
Fuel-Oil	T-06	28	2	180
Fuel-Oil	T-07	28	2	180
Fuel-Oil	T-08	28	2	180
Fuel-Oil	T-09	28	2	180
Fuel-Oil	T-10	28	2	180

Tabla 102. Número y disposición de cámaras de espuma en cada tanque

Producto	Tanque	Diámetro (m)	Nº cámara de espuma	Separación (grados)	Caudal espumante por vertedera (l/min)
Fuel-Oil	T-01	28	2	180	1355,2
Fuel-Oil	T-02	28	2	180	1355,2
Fuel-Oil	T-03	28	2	180	1355,2
Fuel-Oil	T-04	28	2	180	1355,2
Fuel-Oil	T-05	28	2	180	1355,2
Fuel-Oil	T-06	28	2	180	1355,2
Fuel-Oil	T-07	28	2	180	1355,2
Fuel-Oil	T-08	28	2	180	1355,2
Fuel-Oil	T-09	28	2	180	1355,2
Fuel-Oil	T-10	28	2	180	1355,2

Tabla 103. Caudal de espumante por vertedera

4.3.3.5. Protección contra incendios en cubetos

En ocasiones existen riesgos vinculados no solo a los tanques de almacenamiento, sino también, a sus proximidades, como es el caso de los derrames.

En estas ocasiones las características del accidente hacen que sea necesario grandes cantidades de agua o espuma y distancias de protección elevadas debidos al difícil acceso directo al tanque siniestrado o a las proximidades de este.

Los dispositivos elegidos para la protección de incendios de derrames en cubetos serán lanza espumas o lanzas monitoras. Estos equipos pueden instalarse de manera fija o portátil, en la primera de ellas su posición es estática instaladas en hidrantes, mientras que la otra opción, consta de un sistema móvil que puede desplazarse hacia las cercanías del accidente.



Ilustración 43. Lanza monitora

En función del artículo 26 de la ITC MIE APQ-1, se establecen el número mínimo de generadores de espumas para proteger derrames en cubetos:

Diámetro (D) en m del mayor de los tanques	N.º de generadores requerido	Tiempo mínimo de aplicación *
D < 20	1	20
20 < D < 36	2	30
36 > D	3	30
*	El tiempo mínimo de aplicación está basado en la operación simultánea del número de generadores requerido considerando un caudal unitario de 11,4 m ³ /h.	

Tabla 104. N.º mínimo de lanza monitora por tanque según ITC MIE APQ-1

Dado que la terminal está dotada de tanques de 28 m de diámetro, el número de lanzas monitoras es de dos, cuyo suministro de espuma va destinado al tanque mayor siniestrado y cada una de las zonas independientes en las que está dividido el almacenamiento. El caudal unitario mínimo de dichos equipos debe ser de 11,4 m³/h (190 l/min) durante un tiempo mínimo de aplicación de 30 minutos (60 min para los dos hidrantes trabajando simultáneamente).

A modo de resumen se presenta la siguiente tabla:

Producto	Tanque	Diámetro (m)	Nº generadores requerido	Tasa generador espumante (l/min)	Tasa total de espumante (l/min)	Autonomía (min)	Volumen total espumante (l)
Fuel-Oil	T-01	28	2	190	380	60	22800
Fuel-Oil	T-02	28	2	190	380	60	22800
Fuel-Oil	T-03	28	2	190	380	60	22800
Fuel-Oil	T-04	28	2	190	380	60	22800
Fuel-Oil	T-05	28	2	190	380	60	22800
Fuel-Oil	T-06	28	2	190	380	60	22800
Fuel-Oil	T-07	28	2	190	380	60	22800
Fuel-Oil	T-08	28	2	190	380	60	22800
Fuel-Oil	T-09	28	2	190	380	60	22800
Fuel-Oil	T-10	28	2	190	380	60	22800

Tabla 105. Resumen de lanza monitora

4.3.3.6. Demanda y reserva de espumógeno en zona de tanques de combustible

La demanda total de espumógeno será calculada con la suma de la demanda necesaria en tanques, la demanda de espuma en el cubeto y el volumen de reserva. Por consiguiente, según el apartado 2 del artículo 39 destinado a reserva de espumante, la cantidad de reserva mínima se calculará teniendo en cuenta los caudales y tiempos de aplicación establecidos para los sistemas de protección de incendios en tanques y cubetos, destinados al tanque de mayor tamaño siniestrado (caso más desfavorable).

También se debe tener en cuenta el tipo de espuma utilizada, el modelo APIROL FX3 C 3%, podría ser utilizado también en las lanzas monitoras.

Por consiguiente, se ilustrará una tabla donde se mostrará los cálculos realizados en el único caso más desfavorable:

Equipos	Caudal de espumante	Caudal de espumógeno	Volumen espumógeno
Sistemas de protección en tanques	2710,4 l/min	81,3 l/min	4.471,5 L
Sistemas de protección en cubetos	380 l/min	11,4 l/min	684 L
Demanda total	3090,4 l/min	92,7 l/min	5.155,5 L

Tabla 106. Demanda de espumógeno

Dicha reserva debe de estar preparada para ser respuesta en un plazo mínimo de 24 horas para la puesta en funcionamiento de los sistemas contra incendios, según artículo 26 MIE APQ 1. Por tanto, se reservará la mismas cantidad de espumógeno demandada en el caso más desfavorable:

Equipo	Caudal de espumante	Caudal de espumógeno	Volumen espumógeno
Reserva espumógeno	3090,4 l/min	92,7 l/min	5.155,5 L

Tabla 107. Reserva de espumógeno

4.3.3.7. Almacenamiento de espumógeno y dosificador de espuma FIREDOS

Como bien se ha comentado anteriormente, los requisitos para formar la espuma parte de la existencia de los tres elementos principales: agua, espumógeno y aire.

La mezcla de agua y espumógeno para formar espumante se realiza gracias a la función de un dosificador. Para proporcionar la espuma en los sistemas de protección contra incendios de la terminal, se ha elegido un dosificador denominado FireDos, comercializado por la empresa SABO española. Estos dosificadores están compuestos principalmente por 7 componentes:

- Motor hidráulico
- Bomba dosificadora (Bomba inyectora de espumógeno)
- Embrague mecánico (solo en versión % de dosificadores variable)
- Acoplamiento mecánico
- Purga de aire
- Sistemas de tuberías
- Línea de succión

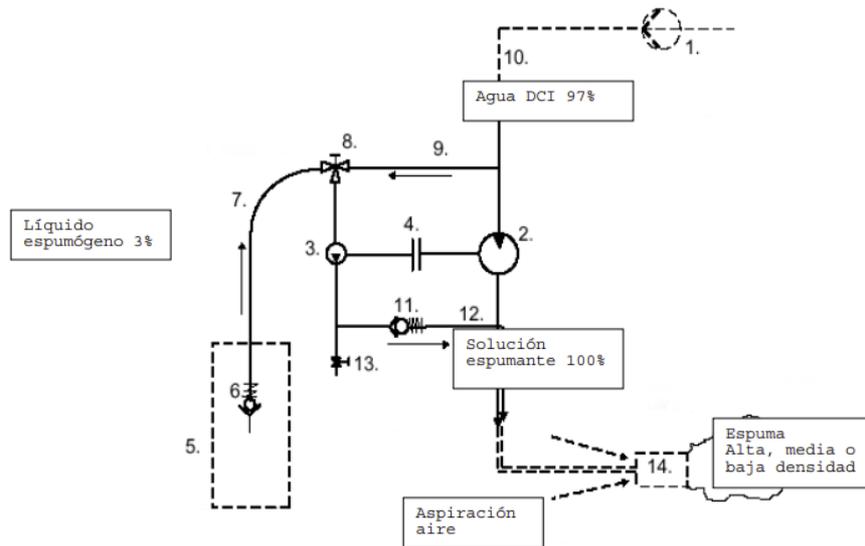
El funcionamiento de dicho sistema empieza con el motor hidráulico a través del cual pasa el agua de mar. La elección del motor estará en función de la cantidad de espumante.

A la salida del motor, la bomba dosificadora, inyecta el líquido espumógeno procedente del depósito de espumógeno a la red de agua contra incendios. Esta bomba debe aumentar la presión del espumógeno para posibilitar la facilidad de la mezcla. Estas bombas de pistón proporcionan unas cantidades muy precisas de mezcla. Necesita una posición horizontal en la unidad y no se tratan de bombas autoaspirantes por lo que el depósito de espumógeno debe tener una altura positiva con respecto a esta.

Todas las unidades de FireDos presentan una válvula automática de purga de aire, necesaria cuando existe esta en la línea de tuberías ya que se podría crear anticipadamente espuma.

Por último, el sistema de tuberías que consta de la línea de succión que une el depósito de espumógeno con la bomba dosificadora, una línea dosificadora donde se adiciona el espumógeno con el agua y una línea de lavado que limpia la unidad al terminar su uso.

A continuación, se adjunta un esquema con los elementos típicos de una instalación de espuma (3%) dotada de un dosificador FireDos:



- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. agua DCI | 8. válvula de 3 vías (aspiración/lavado) |
| 2. motor hidráulico | 9. línea de lavado |
| 3. bomba de espumógeno | 10. línea principal de agua |
| 4. acoplamiento mecánico | 11. válvula de retención |
| 5. depósito de espumógeno | 12. línea inyección espumógeno |
| 6. válvula de pie | 13. válvula de aireación |
| 7. línea de aspiración espumógeno | 14. generador de espuma |

Ilustración 44. Esquema de una instalación FireDos

La unidad FireDos de la empresa SABO española, consta de un motor hidráulico capaz de suministrar caudal entre 800 y 10.000 l/min, un ejemplo de ello es el modelo FIREDOS FD 10.000/3-PP-S con la autonomía suficiente para alcanzar los 3.090 l/min de espumante.



FD 10.000/3-PP-S versión en bronce para protección tanques hidrocarburos.

Ilustración 45. Unidad FireDos real

En cuanto al almacenamiento de espumógeno elegido, este debe de cumplir con las necesidades de demanda de la terminal. Una vez obtenidos los caudales demandados tanto por los sistemas fijos en los tanques, los sistemas para derrames en cubetos y la reserva y los tiempos de aplicación de dichos sistemas, se elegirá el tamaño del depósito de espumógeno.

Equipos	Caudal de espumante	Caudal de espumógeno	Volumen espumógeno
Sistemas de protección en tanques	2710,4 l/min	81,3 l/min	4.471,5 L
Sistemas de protección en cubetos	380 l/min	11,4 l/min	684 L
Reserva espumógeno	3090,4 l/min	92,7 l/min	5.155,5 L
Almacenamiento de espumógeno	6181 l/min	185,4	10.310 L

Tabla 108. Almacenamiento de espumógeno en zona de almacenamiento de combustibles

Como se puede apreciar en la tabla 108, el almacenamiento de espumógeno debe contar con un volumen de 11.000 litros. Para la elección del tipo de depósito se puede recurrir a la empresa SABO española. El modelo SE-MXC-I-2X, consta de un conjunto de depósitos de membrana vertical con espumógenos en su interior. Este sistema cuenta con dos tanques de 5.500 litros cada uno, con la finalidad de poder utilizar uno de los tanques mientras el otro se encuentre en recarga o labores de mantenimiento.



Ilustración 46. Depósitos de espumógeno SABO española

4.3.3.8. Necesidad de agua para protección de espuma en zona de tanques de combustible

Como bien se ha descrito anteriormente el 97% del espumante generado es agua. Por tanto, en función de la demanda de espumante, mediante equipos fijos, lanza monitoras, así como la reserva de espumante, se calculará la reserva de agua necesaria estudiada en el caso más desfavorable, al igual que el almacenamiento de espumógeno, para la autonomía de descarga de los diferentes sistemas.

Equipos	Caudal de espumante (l/min)	Caudal de agua (l/min)	Volumen agua (L)
Sistemas de protección en tanques	2.710,4 l/min	2.629,1 l/min	144.600,5 L
Sistemas de protección en cubetos	380 l/min	368,6 l/min	22.116 L
Reserva de agua para espuma	3.090,4 l/min	2.997,7 l/min	166.716,5 L
Necesidad de agua	6181 l/min	5995,4 l/min	333.433 L

Tabla 109. Caudal de agua para espuma en tanques

4.3.4. Extintores en la zona de cubeto

La utilización de extintores en la zona almacenamiento de combustible se acogerá a la normativa competente, la ITC IP 02, ITC MIE APQ 1, ITC MIE APQ-5, RIPCI y a la RSCIEL.

En la RIPCI los extintores se definen como un equipo que contiene un agente extintor que puede proyectarse y dirigirse sobre un fuego, por la acción de una presión interna.

Según el apartado 5 de la ITC IP 02, la protección contra incendio de almacenamiento de líquidos petrolíferos estará basada en la utilización de extintores en polvo, portátiles o sobre ruedas, de tipo adecuado a la clase de fuego que pueda producirse. El tipo de eficacia extintora para combustibles de clase C será 21A y 113B.

Según la MIE APQ 1 y la RIPCI los extintores se encontrarán en aquellas zonas que sean fácilmente visibles y accesibles. En este caso se colocarán en aquellas zonas donde exista riesgo de incendio, como es el caso de las zonas de trasiego de combustibles y grupos de bombeo, a ser posible en las zonas de evacuación sobre soportes fijados a parámetros verticales donde la parte superior quede entre 80 y 120 cm. Los extintores estarán distribuidos de tal forma que no haya que recorrer más de 15 metros desde la zona protegida para alcanzar el extintor.

En resumen de lo explicado:

EXTINTORES	CUBETO	SALA DE BOMBAS
Nº extintores	10	2
Tipo	Portátil	Portátil
Eficacia	113B	113B
Contenido	100 kg polvo seco	100 kg polvo seco

Tabla 110. Extintores en la zona de cubeto



Ilustración 47. Extintor polvo 21A y 113B

4.4. Sistema de protección contra incendio en cargadero de camiones

4.4.1. Sistema de rociadores de espuma

El sistema de protección contra incendio que protegerá la zona del cargadero de camiones se diseñará en función de la MI IP-04 y la RSCIEI, donde se establece un sistema de rociadores de espuma, que será diseñado de acuerdo con la normativa americana NFPA 16.

El tipo de espuma a emplear es el mismo que el usado para la protección de los tanques de combustible, el espumógeno FFFP modelo APIROL FX3 C 3%.

Atendiendo a la Norma NFPA 16, se recomienda una tasa de aplicación mínima de 6,5 l/min m² para una autonomía de 10 minutos.

A la hora de diseñar el sistema de rociadores de espuma, es importante saber el área a proteger por dicho sistema, ya que la zona del cargadero de camiones se compone de un área operativa y un área total, siendo la primera la zona a proteger, con una extensión de 192 m² (12 x16 m).

En primer lugar, sabiendo la tasa de aplicación y el tiempo de autonomía operacional, se calculará el caudal y el volumen necesario de espumógeno y agua para dicho sistema:

$$Q = 6,5 \frac{l}{\text{min } m^2} * A = 6,5 \frac{l}{\text{min } m^2} * 192 m^2 = 1248 l/\text{min}$$

$$V = 1248 \frac{l}{\text{min}} * t = 1248 \frac{l}{\text{min}} * 10 \text{ min} = 12.480 l$$

El sistema de rociadores de espuma constará de ramales que se extenderán por el largo del techo interno del cargadero, estos se instalarán se a la distancia máxima de separación entre rociadores recomendada en la NFPA 16, de 3,7 m.

TIPO DE CONSTRUCCION	RIESGO LEVE		RIESGO ORDINARIO		RIESGO EXTRA		ALMACENAMIENTO	
	Area Protegida	Espaciamiento máximo	Area Protegida	Espaciamiento máximo	Area Protegida	Espaciamiento máximo	Area Protegida	Espaciamiento máximo
NO OBSTRUIDA	21 m ²	4.57 m	12 m ²	4.57 m	9.3 m ²	3.66 m	9.3 m ²	3.66 m
	225 ft ²	15 ft	130ft ²	15 ft	100 ft ²	12 ft	100 ft ²	12 ft
OBSTRUIDA	15.6 m ²	4.57 m	12 m ²	4.57 m	9.3 m ²	3.66 m	9.3 m ²	3.66 m
	168 ft ²	15 ft	130ft ²	15 ft	100 ft ²	12 ft	100 ft ²	12 ft

Tabla 111. Distancias recomendadas según NFPA 16

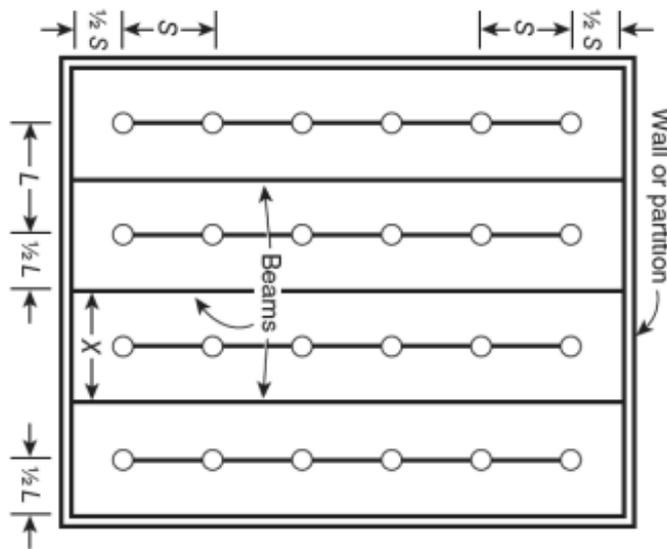


Ilustración 48. Esquema de la instalación de pulverizadores en cargadero de camiones

Es por ello, que el número de ramales en el cargadero será de:

$$N^{\circ}_r = \frac{12 \text{ m}}{3,7 \text{ m}} = 3,24 \approx 4 \text{ ramales}$$

Con 4 ramales la distancia real de separación será de:

$$d_r = \frac{12 \text{ m}}{4} = 3 \text{ m}$$

Una vez calculado el número de ramales y la separación máxima entre ellos, se calculará la distancia entre estos y los límites del área a proteger:

$$d_s = \frac{12\text{m} - (3 - 3)}{2} = 1,5 \text{ m}$$

Sabiendo que cada rociador debe cubrir un área de 9,3 m² según la NFPA 16 y cada ramal está separado a una distancia de 3 m, se calculará la distancia entre rociadores como sigue:

$$d_{ro} = \frac{9,3 \text{ m}^2}{3 \text{ m}} = 3,1 \text{ m}$$

El número de rociadores por cada ramal se calcula dividiendo la longitud del cargadero entre la distancia entre rociadores:

$$N_{ro/r}^o = \frac{16 \text{ m}}{3,1 \text{ m}} = 5,16 \approx 6 \text{ rociadores/ramal}$$

Por tanto, la distancia entre rociadores real es:

$$d_{ro \text{ real}} = \frac{16 \text{ m}}{6} = 2,7 \text{ m}$$

Para calcular la distancia de los rociadores con el límite perpendicular del ramal se calcula como sigue:

$$d_v = \frac{16 \text{ m} - (5 * 2,7 \text{ m})}{2} = 1,25 \text{ m}$$

A continuación, se va a calcular el área de protección real del rociador a una presión de 0,5 bar:

$$A_{ro} = d_{ro \text{ real}} * d_r = 2,7 \text{ m} * 3 \text{ m} = 8,1 \text{ m}^2$$

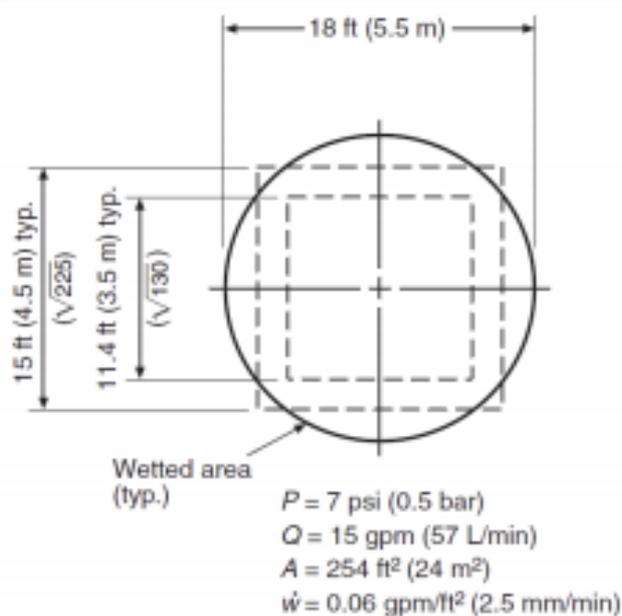


Ilustración 49. Área de protección del rociador

Como se puede comprobar dicha área calculada, cumple con la restricción impuesta por la Norma NFPA 16 de $6,3 \text{ m}^2$.

Para concluir se va a calcular el número de rociadores que se instalarán en el cargadero de camiones y el caudal mínimo de operación:

$$N_{ro}^o = N_r^o * N_{ro/r}^o = 4 * 6 = 24 \text{ rociadores}$$

$$Q_{\text{min } r} = \frac{Q}{N_{ro}^o} = \frac{1248 \text{ l/min}}{24} = 52 \text{ l/min}$$

Caudal total de espuma, Q	1.248 L/min
Tiempo de autonomía, t	10 min
Volumen de espuma, V	12.480 L
Volumen de espumógeno	374,4 L
Volumen de agua	12.105,6 L
Nº ramales	4 m
Distancia entre ramales	3 m
Distancia entre ramal y límite horizontal	1,5 m
Distancia entre ramal y límite vertical	1,25 m
Distancia entre rociadores	2,7 m
Nº rociadores/ramal	6
Nº total de rociadores	24
Área de protección rociador	8,1 m ²
Caudal mínimo rociador	52 L/min

Tabla 112. Resumen de cálculo de la instalación de rociadores en cargadero de camiones

Dicho esto, para la zona del cargadero se puede elegir el mismo tipo de equipo FIREDoS que para la zona de almacenamiento de combustible. La unidad FIREDoS, consta de un motor hidráulico capaz de suministrar caudal entre 800 y 10.000 l/min, para ello el modelo FIREDoS FD 10.000/3-PP-S con la autonomía suficiente para alcanzar los 1.248 l/min de espumante es suficiente.

Para el almacenamiento de espumógeno en el cargadero, un ejemplo de modelo es SE-A, se trata de un depósito atmosférico vertical compatible con todo tipo de espumógenos. La capacidad de dicho depósito es de 500 litros, suficientes para abastecer la demanda de 374,4 litros.

4.4.2. Extintores en cargadero de camiones

El cargadero de camiones es una zona de uso frecuente de carga y descarga de combustible, donde los camiones cisterna superan los 20.000 litros de capacidad, mayor que la capacidad máxima establecida en el RSCIEI para la elección de los diferentes tipos de extintores. Es por ello, que la utilización de extintores en esta zona se acogerá a la ITC IP 04 donde se establecen los requisitos mínimos de dichos equipos.

Dicha normativa exige que, en instalaciones en exterior de edificios, se dispondrá de extintores de 100 kg de polvo seco, cuya eficacia mínima sea 144B. Los extintores serán portátiles o sobre ruedas dispuestos de tal forma que la distancia horizontal a recorrer sea menor de 15 metros desde la zona a proteger, aunque según la normativa establece disponer de un equipo extintor por cada aparato surtidor. Durante la operación de descarga del camión cisterna, se deberá disponer de un extintor de polvo sobre carro de 50 kg a una distancia no superior de 15 metros.

En función de lo explicado:

EXTINTORES	Cargadero de camiones
Nº extintores	2
Tipo	Portátil
Eficacia	144B
Contenido	100 kg polvo seco

Tabla 113. Extintores en cargadero de camiones

4.5. Sistema de abastecimiento de agua contra incendios

Como bien se ha adelantado en el apartado 4.2.3, la terminal consta de un sistema de abastecimiento de agua contra incendio, es decir una red de agua que abastezca a los diferentes sistemas de luchas contra incendios existentes. Gracias al RSCIEI y la Norma UNE 23500:2018 se calcularán los caudales y reservas de agua cuando coexistan varios de dichos sistemas, considerando una simultaneidad de operación mínima.

4.5.1. Caudal de agua y tiempo de autonomía

De acuerdo, a las Norma UNE 23500 el caudal de agua y tiempos de autonomía que debe asegurar un abastecimiento de agua contra incendio se determina en función de los sistemas de protección a los que haya que alimentar. En este caso se trata de un sistema combinado de abastecimiento ya que está diseñado para suministrar agua a algunos de los sistemas citados a continuación:

- Red de hidrantes exteriores
- Rociadores automáticos
- Agua pulverizada
- Espuma física

Los abastecimientos de agua para sistemas combinados deben cumplir las siguientes condiciones:

- Los sistemas se calculan totalmente
- El abastecimiento debe ser capaz de garantizar la suma de caudales simultáneos calculados para cada sistema. Los caudales se ajustan a la presión requerida por el sistema más exigente
- La duración debe ser igual o superior a la requerida por el sistema más exigente
- Las conexiones entre el abastecimiento de agua y los sistemas son independientes

En la terminal existen fundamentalmente dos sistemas exigentes a proteger:

- Tanques de almacenamiento de combustible
- Cargadero de camiones

Teniendo en cuenta que de entre estos dos sistemas, un posible incendio en los tanques de almacenamiento de la terminal demandaría un mayor número de sistemas contra incendio y por consiguiente mayor demanda de agua, la red de abastecimiento se diseñará en la hipótesis de un posible incendio en tanques.

Sistemas de protección		Caudal (l/min)	Autonomía (min)	Volumen agua (L)	Volumen de agua (m ³)
Enfriamiento en tanques		4884	300	1.465.200	1.465,2
Hidrantes		500	90	45.000	45
Espuma física	Vertederas	2629,1	55	144.600,5	144,6
	Lanza-monitoras	368,6	60	22.116	22,1
Reserva de agua para espuma		-	-	166.716,5	166,7
TOTAL		8.381,7	-	1.843.6323	1.843,6

Tabla 114. Caudal total de agua para la red de abastecimiento

Como se puede comprobar en la tabla, se ha calculado la reserva de agua total en la terminal para el caso más desfavorable de los tanques (T-002), dando un caudal de 8381,7 l/min y una reserva de 1.843,6 m³ (2.000 m³) almacenada en depósitos.

4.5.2. Categorización del abastecimiento de agua y clases de abastecimiento

La categorización del abastecimiento del agua consiste en clasificar la red de agua en función de los sistemas de protección instalados, de tal manera que se pueda diferenciar en tres categorías atendiendo a la exigencia del riesgo a eliminar.

Según la Norma UNE-EN 12845			BIE	Hidrantes	Espuma física	Agua pulverizada	Categoría
Rociadores (RL)	Rociadores (RO)	Rociadores (RE)					
			x				III
x							II
				x			II
x			x				II
	x		x				II
x				x			II
			x	x			II
	x		x	x			II
x			x	x			II
		x					I
					x		I
						x	I
		x	x				I
		x	x	x			I
Resto de combinaciones de los sistemas instalados.							I

Tabla 115. Categorización de la red de abastecimiento de agua

Atendiendo a la tabla 4 de la Norma UNE 23500, y a los diferentes medios de lucha contra incendio existentes, se puede concluir que el abastecimiento de agua es de categoría I.

Una vez definido la categoría mínima necesaria (Categoría I) hay que definir la clase de abastecimiento, para elegir las diferentes combinaciones de fuentes de agua y sistemas de impulsión con categoría igual o mejor a la mínima necesaria, gracias a la tabla 5A de la Norma UNE 23500.

Las diferentes clases de abastecimiento existente son:

- Sencillo
- Superior
- Doble

De acuerdo con lo establecido en la nota del apartado 5.2 de la Norma, aquellos abastecimientos de categoría I deben tener una clase doble de abastecimiento si se cumple:

- La longitud media en línea recta desde el punto de abastecimiento y el sistema más alejado del mismo supera los 2.000 m.
- La superficie total protegida con rociadores automáticos supera los 250.000 m².

Como no se cumple ninguna de las condiciones expuestas y en la tabla 5A de la Norma no existe la clase de abastecimiento sencillo para categoría de tipo I, no queda otra elección que definir la clase de abastecimiento mínima en superior.

4.5.3. Combinaciones de fuentes de agua y sistemas de impulsión

La red de abastecimiento a los diferentes sistemas contra incendio de la terminal debe ser fundamentalmente de agua dulce. De acuerdo a la Norma UNE 23500 y a la ITC IP 02 se establecen diferentes fuentes de agua entre las que destacan:

- Red de uso público
- Fuentes inagotables (mar, río...)
- Depósitos

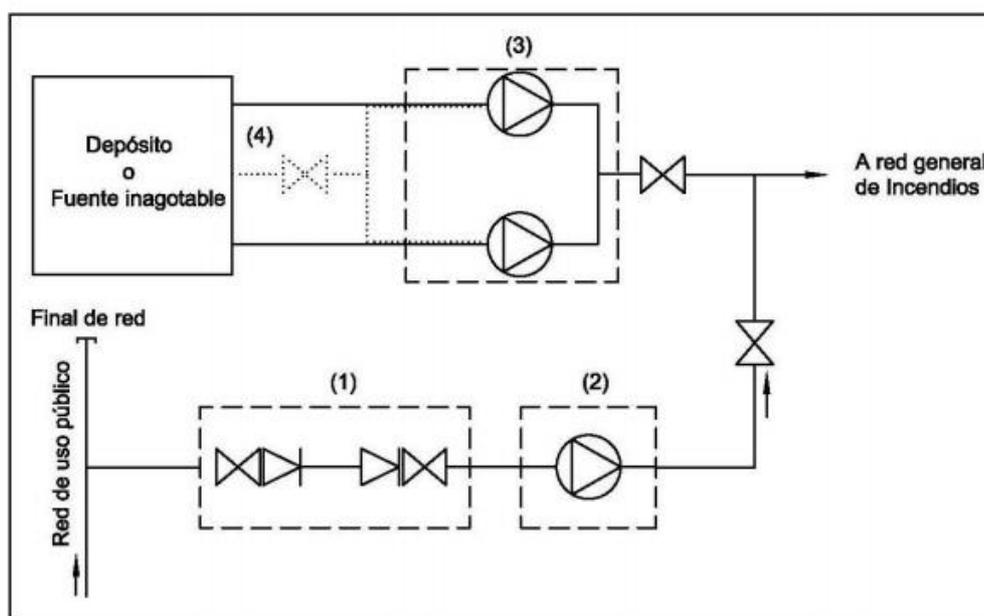
La fuente de agua elegida para la terminal serán depósitos y/o aljibes para alimentación de bombas. Esta elección se debe a la seguridad de abastecimientos de agua y así no depender en mayor medida de la red de uso público. La dotación de fuentes naturales cercanas, como el mar, no se considera debido a los problemas que causa el agua salada y el costo que supone la inclusión de tratamientos del agua.

Por tanto, atendiendo a la tabla 5A en función de la categoría de abastecimiento tipo I, la clase de abastecimiento mínima como superior y la elección de depósitos como fuente de agua, la combinación elegida de fuentes de agua y sistemas de impulsión es:

- Red de uso público tipo 2+equipo de bombeo doble aspirando de depósito o fuente inagotable.

Combinaciones de 'fuentes de agua' y 'sistemas de impulsión'	Figura	Categoría posible			Clase de abastecimiento
		I	II	III	
Red de uso público tipo 1	9		x	x	SUPERIOR
Red de uso público tipo 1 + Red de uso público independiente al anterior	15	x	x	x	DOBLE
Red de uso público tipo 1 + Depósito de gravedad	16	x	x	x	DOBLE
Red de uso público tipo 1 + Depósito de presión	17	x	x	x	DOBLE
Red de uso público tipo 1 + Equipo de bombeo único aspirando de depósito o fuente inagotable	18	x	x	x	DOBLE
Red de uso público tipo 1 + Equipo de bombeo doble aspirando de depósito o fuente inagotable	19	x	x	x	DOBLE
Red de uso público tipo 2	5			x	SENCILLO
Red de uso público tipo 2 + Red de uso público tipo 1 independiente al anterior	15	x	x	x	DOBLE
Red de uso público tipo 2 + Depósito de gravedad	12		x	x	DOBLE
Red de uso público tipo 2 + Depósito de presión	13		x	x	DOBLE
Red de uso público tipo 2 + Equipo de bombeo único aspirando de depósito o fuente inagotable	14		x	x	DOBLE
Red de uso público tipo 2 + Equipo de bombeo doble aspirando de depósito o fuente inagotable	26	x	x	x	DOBLE

Tabla 116. Combinaciones de fuentes de agua y sistemas de impulsión, UNE 23.500



Leyenda

- (1) Dispositivo anticontaminación. Preferiblemente con cámara intermedia de vacío.
- (2) Equipo de bombeo si es necesario.
- (3) Equipo de bombeo doble.
- (4) 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 50. Red de uso público tipo 2+equipo de bombeo doble aspirando de depósito

4.5.4. Descripción de los componentes del sistema de abastecimiento

A continuación, se detallará los diferentes componentes que componen el sistema combinado de abastecimiento de agua con los equipos de impulsión.

4.5.4.1. Fuentes de agua (Depósitos y/o aljibes)

Siguiendo con lo establecido en la Norma, la capacidad efectiva de los depósitos se debe calcular teniendo en cuenta el nivel más bajo de agua.

Dicha fuente de agua debe ser de uso exclusivo para protección de incendios, en otros casos las tomas de salida estarán colocadas por encima del nivel máximo de llenado de reserva.

4.5.4.1.1. Volumen mínimo de agua

El volumen mínimo de agua de los depósitos para los sistemas de protección contra incendios, se calcula en función de los siguientes términos especificados en el apartado 4.2.3.1. de la Norma:

- Depósito de capacidad total, con una capacidad efectiva igual o superior al volumen mínimo especificado.
- Depósito de capacidad reducida, donde el volumen requerido de agua se obtiene conjuntamente entre la capacidad efectiva del depósito y el llenado automático.

En el caso de la terminal se elige un depósito de capacidad total que pueda abastecer inmediatamente el volumen mínimo calculado para la demanda de 2.000 m³ a los sistemas de protección contra incendios.

4.5.4.1.2. Capacidad efectiva de depósitos y dimensiones de fosos de aspiración

La capacidad efectiva de los depósitos se calcula de la misma manera que para los tanques de almacenamiento de combustible, es decir, teniendo en cuenta el nivel normal de llenado y el nivel mínimo del mismo, en función de las distancias de las tuberías de aspiración de las bombas con las paredes del depósito.

Existe la posibilidad de aumentar la capacidad efectiva de los depósitos fabricando un foso de aspiración, pero no se contemplará su instalación. Por tanto, la disposición del depósito elegido presentará un codo en la tubería de aspiración, como se representa en la siguiente ilustración:

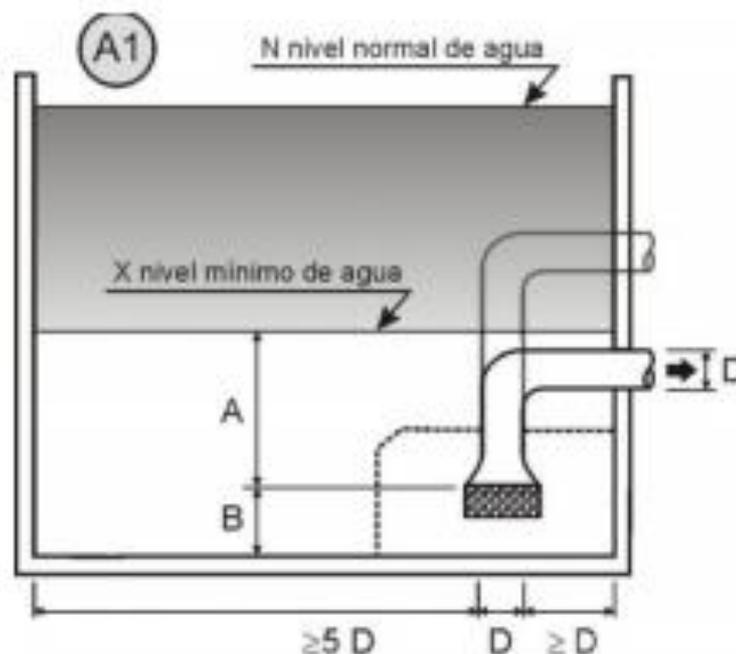


Ilustración 51. Depósito para abastecimiento de agua según UNE 23.500

Donde:

A: Distancia mínima entre tubería de aspiración y el nivel mínimo de agua.

B: Distancia entre la tubería de aspiración y el fondo del depósito.

D: Diámetro de la tubería de aspiración.

Para calcular las dimensiones especificadas en la imagen, se seleccionará en la tabla 1 de la Norma UNE 23500 en función del diámetro de la tubería de aspiración calculada a continuación:

$$Q_{suministro} = 8381,7 \frac{l}{min} = 503 \frac{m^3}{h} = 0,14 m^3/s$$

$$v_{agua} = 2 \frac{m}{s}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 503 m^3/h}{2 \frac{m}{s} * \pi * 3600 s/h}} = 0,3 m = 300 mm = 12''$$

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

Tabla 117. Dimensiones del depósito de agua según UNE 23.500

Atendiendo a la tabla 1 de la Norma UNE 23500 para un diámetro de tubería de aspiración de 12'' se obtienen las siguientes dimensiones del depósito:

D _{tubería} (mm)	A (mm)	B (mm)	Dimensión mínima inhibidor de vórtice (mm)
300	900	200	1.200

Tabla 118. Dimensiones extraídas de la Norma UNE 23.500

Las dimensiones del depósito para un volumen de reserva de 2.000 m³ es:

Volumen efectivo	2.000 m ³
Altura	9 m
Diámetro	20 m
Nivel mínimo (A+B)	1,1 m
Nivel normal de llenado	8,5 m
Volumen mínimo	31,4 m ³
Volumen normal de llenado	2.670,4 m ³
Volumen geométrico	2.827,4 m ³

Tabla 119. Dimensiones calculadas del depósito de agua

4.5.4.1.3. Tipos de depósitos y/o aljibes para alimentación a bombas

El tipo de depósito elegido, según la Norma, es de tipo A, con las siguientes características mínimas:

- El depósito debe tener una capacidad efectiva mínima del 100% del volumen de agua especificado, así como una conexión de reposición automática, capaz de llenar el depósito en un período menor a 36 horas. Si no es posible, la capacidad mínima del depósito se debe aumentar en un 30 %.
- El depósito debe ser de material rígido, resistente a la corrosión, de manera que se garantice su uso ininterrumpido durante un período mínimo de 15 años sin necesidad de vaciarlo o limpiarlo.
- Se debe emplear obligatoriamente agua dulce no contaminada o tratada adecuadamente.
- Se debe incorporar filtros en la conexión de llenado.
- El agua debe estar protegida de la acción de la luz y de cualquier materia contaminante.
- La entrada de cualquier tubería de aportación de agua al depósito debe estar situada a una distancia, media en horizontal, de la toma de aspiración no menor que 2 metros.

4.5.4.2. Sistemas de impulsión

A cada fuente de agua le corresponde un sistema de impulsión, en este caso existen dos fuentes, depósito y/o aljibe y red de uso público.

En cuanto a los sistemas de impulsión para cada fuente de agua, atendiendo a la ilustración 50 y a la tabla 7 de la Norma UNE 23500, se establecen los siguientes sistemas de impulsión para la red contra incendio:

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

Tabla 120. Equipos de impulsión para los tipos de fuente según UNE 23.500

Siguiendo con lo establecido en dicha tabla, el sistema presentará equipos de bombeo automático para el depósito y la presión de la propia red para la red de uso público.

En la Norma UNE 23500, cuando se instala más de un grupo de bombeo en un abastecimiento superior o doble, no más de uno debe disponer de motor eléctrico.

Tanto en el caso de abastecimiento superior o doble, dicho equipo de bombeo puede estar formado por tres grupos de bombeo, cada uno capaz de dar el 50% del caudal nominal especificado para el sistema al 100% de la presión nominal, siempre que cada uno de los equipos cumpla lo especificado en dicha tabla:

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

Tabla 121. Tipos de equipos de bombeo y accionamiento según UNE 23.500

4.5.4.2.1. Tipos de bombas utilizadas

El sistema de bombeo utilizado para suministrar el agua de los depósitos estará compuesto por tres grupos de bombas en paralelo con accionamiento de energía distinto según lo estipulado en la ITC IP02, para garantizar por motivos de seguridad la presión y caudal de agua necesario en el sistema. En base a esto se establecen los tipos de bombas:

- **Grupo de bombeo principal:**
 - Bomba centrífuga horizontal diésel
 - Bomba centrífuga horizontal eléctrica
- **Bomba Jockey**

En cuanto a los equipos de bombeo mencionados, la instalación auxiliar de la bomba Jockey, se hace necesaria para mantener la presión de la red contra incendios, sin necesidad de poner en funcionamiento el grupo de bombeo principal. Esto es posible, ya que dicha bomba está diseñada para suministrar pequeños caudales, ante pérdidas de carga o demandas pequeñas del sistema.

Según la ITC IP 02 los grupos de bombeo presentarán una puesta en marcha de manera automática y una parada manual, excepto las bombas Jockey cuya parada será de forma automática. Esta característica es gracias a la existencia de presostatos de arranque y parada, instalados para detectar las variaciones de presión en las líneas y activar automáticamente el funcionamiento y la parada de la bomba.

4.5.4.2.2. Características hidráulicas de las bombas

Como bien se ha adelantado anteriormente, cuando se utilizan dos bombas del 50% de caudal cada una, el caudal nominal de cada bomba, es igual al 50% del caudal nominal especificado para el sistema.

De acuerdo a la Norma 23500 la presión que llega a los sistemas no debe sobrepasar los 15 bar de presión, aunque según la Norma 23502 para sistemas fijos de agua pulverizada la presión debe ser de 12 bar. La ITC IP 02 presenta una presión mínima de diseño en las conducciones de red en todos sus puntos de 7,5 kg/cm² (7,4 bar). Por tanto, el sistema de impulsión debe estar diseñado para una presión mínima de 12 bar.

El grupo de bombeo debe estar diseñado para impulsar el 140% del caudal nominal del a bomba a una presión no inferior al 70% de la presión nominal.

Para bombas horizontales, el NPSH requerido por la bomba, para caudales entre el 30% y el 100% del caudal nominal debe ser igual o menor que 5 metros.

Las bombas auxiliares Jockey proporcionarán un caudal igual al 5% del caudal total a suministrar.

En base a dichos requerimientos las bombas presentarán las siguientes características teóricas aproximadas:

	Bomba centrífuga diésel	Bomba centrífuga eléctrica	Bomba Jockey
Caudal mínimo (l/min)	4191	4191	419,1
Caudal mínimo (m ³ /h)	251,5	251,5	25,1
Presión mínima sistema (bar)	12	12	12

Tabla 122. Características teóricas aproximadas de los grupos de bombeo contra incendios

4.6. Sistema contra incendio en nave taller y sala de control

Para la instalación de los sistemas de protección contra incendios se utilizará el RSCIEI en función de su configuración y el nivel de riesgo intrínseco calculado, con las especificaciones descritas anteriormente en el apartado 4.2.3. Este establecimiento contará con:

- Sistema manual de alarma de incendio
- Sistema de alumbrado de emergencia
- Señalización de salidas de emergencia
- Extintores

Los extintores se eligen siguiendo la tabla I-1 del apéndice 1 del RIPCI. Dicha elección se realiza en función de la clase de fuego, estipulada en este caso en clase A. Es por ello por lo que se elige dos extintores en polvo ABC de eficacia 21^a para la nave almacén.

Los extintores instalados en la sala de control, no debe presentar agentes conductores de la electricidad debido a la existencia de cuadro eléctricos, aparatos y conductores bajo tensión eléctrica superior a 24 V. Es por ello, que de acuerdo al RSCIEI, se instalarán extintores de dióxido de carbono (CO₂) o de polvo seco BC o ABC, cuya cantidad mínima debe ser 5 kg y 6 kg respectivamente.

4.7. Sistema de alarma manual y mando de instalaciones fijas

Para activar los sistemas fijos de protección contra incendio en los tanques de almacenamiento y cargadero, según la ITC IP 02, se han instalado pulsadores de alarma a 25 metros de distancia en la pared del tanque.

En cuanto a los pulsadores de alarma de incendio, en las demás instalaciones se ha utilizado la misma distancia de acuerdo al RSCIEI.

El total de pulsadores se puede ver en el plano 06 del anexo, con un total de 31 pulsadores.

4.8. Sistema contra incendio en edificio administrativo

En esta ocasión para la adopción de los sistemas contra incendio en el edificio administrativo, de acuerdo al artículo 3 del RSCIEI, se aplicará de forma compatible el Código Técnico de Edificación. Documento Básico. Seguridad en caso de incendio. “CTE.DB.SI”, por el cual se rigen las reglas y procedimientos en caso de incendio para edificios de más de 250 m².

El CTE.DB.SI está dividido en 6 secciones principales:

- Sección S1: Propagación interior

- Sección S2: Propagación exterior
- Sección S3: Evacuación de ocupantes
- Sección S4: Instalaciones de protección contra incendios
- Sección S5: Intervención de los bomberos
- Sección S6: Resistencia al fuego de la estructura

4.8.1. Propagación interior

En esta sección se limitará el riesgo de propagación del incendio por el interior del edificio

4.8.1.1. Compartimentación en sectores de incendio

De acuerdo con la tabla 1.1 del código se establece que todo establecimiento debe constituir un sector de incendio diferenciado del resto del edificio, excepto para aquellos cuyo uso principal sea para residencial de vivienda, los establecimientos cuya superficie construida no exceda los 500 m² y cuyo uso sea docente, administrativo o residencial público.

Al presentar el edificio administrativo una superficie construida de 460 m² y no sobrepasar el límite de 2.500 m² establecido para sectores de incendio de edificios administrativo, dicho edificio formará un sector de incendio diferenciado.

4.8.1.2. Resistencia al fuego de paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendio

Atendiendo a la tabla 1.2 del Código para edificios administrativos, para edificios administrativos constituidos por una planta bajo rasante, la resistencia al fuego para paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendio es 120.

4.8.1.3. Espacios ocultos. Paso de instalaciones a través de elementos de compartimentación de incendios

La compartimentación contra incendio de los espacios ocupados debe tener continuidad en los espacios ocultos, como cámaras, falsos techos... salvo cuando estos estén compartimentados respecto de los primeros al menos con la misma resistencia al fuego.

La resistencia al fuego requerida a los elementos de compartimentación de incendios se debe mantener en los puntos en los que dichos elementos son atravesados por elementos de las instalaciones, como cables, tuberías... excluidas las penetraciones cuya sección de paso no exceda los 50 cm².

4.8.1.4. Reacción al fuego de los elementos constructivos, decorativos y de mobiliario

Los elementos constructivos deben cumplir con las condiciones de reacción al fuego establecidas en la tabla 4.1.

Situación del elemento	De techos y paredes	De suelos
Zonas ocupadas	C-s2,d0	E _{FL}
Espacios ocultos no estancos...	B-s3,d0	B _{FL} -s2

4.8.2. Propagación exterior

Se limitará el riesgo de propagación de incendio en el exterior, tanto en el propio edificio como a otros.

4.8.2.1. Medianerías y fachadas

En aquellas fachadas del altura igual o inferior a 18 m cuyo arranque inferior sea accesible al público desde la rasante exterior o desde una cubierta, la clase de reacción al fuego será al menos B-s3,d0 hasta una altura de 3,5 m mínimo.

4.8.2.2. Cubiertas

Con el fin de limitar el riesgo de propagación exterior del incendio por la cubierta, ya sea entre el propio edificio o entre edificios colindantes, este tendrá una resistencia al fuego REI 60, mínimo en una franja de 0,5 m de anchura medida desde el edificio colindante, así como en una franja de 1 m de anchura situada sobre el encuentro con la cubierta de todo elemento compartimentador de un sector de incendio.

4.8.3. Evacuación de ocupantes

El edificio administrativo dispondrá de los medios de evacuación adecuados para que los ocupantes puedan abandonar o alcanzar un lugar seguro dentro del mismo.

4.8.3.1. Cálculo de ocupación

Para calcular la ocupación del edificio se deberán tomar los valores de densidad de ocupación indicados en la tabla 2.1 en función de la superficie útil de cada zona.

Atendiendo a la ocupación para los edificios administrativos para zonas de planta u oficinas, la ocupación será de 10 m²/ persona y 2 m²/persona para vestíbulos generales y zonas de uso público. Por tanto, teniendo una superficie construida de 460 m² la ocupación para oficinas serán de 46.

4.8.3.2. Número de salidas y longitud de los recorridos de evacuación

De acuerdo a la tabla 3.1 del Código se indica el número de salidas que debe haber en cada caso, como mínimo, así como la longitud de los recorridos de evacuación hasta ellas.

En el caso del edificio administrativo de la terminal se trata de un recinto que dispone de una única salida de evacuación debido a que la ocupación no excede de 100 personas.

La longitud de los recorridos de evacuación hasta alguna salida de planta no excederá de 25 m y la altura de evacuación descendente de la planta considerada no excederá de 28 m.

4.8.3.3. Dimensionamiento de los medios de evacuación

El dimensionado de los elementos de evacuación se realiza de acuerdo a la tabla 4.1 del Código.

Puertas y pasos

Se debe cumplir la siguiente condición de dimensionamiento:

$$A \geq \frac{P}{200} \geq 0,8 \text{ m}$$

Siendo:

A: Anchura del elemento (m)

P: Número de personas que pasarán para el dimensionado de la anchura.

Suponiendo un paso de 46 personas la anchura mínima de puertas y pasos será de 0,8 m.

4.8.3.4. Señalización de los medios de evacuación

Se utilizarán señal con el rótulo “SALIDA” para salidas del recinto.

La señal con el rótulo “SALIDA DE EMERGENCIA” se deberá utilizar en toda salida prevista en caso de emergencia.

Se deben disponer de señales que indiquen la dirección de los recorridos, visibles desde todo origen de evacuación donde no se perciban claramente las salidas.

En los puntos de recorridos de evacuación donde existan dudas, también se dispondrán de las señales antes citadas, de forma que quede claro la alternativa correcta.

En las puertas que no sean de salida debe disponerse de un rótulo visible que indique “SIN SALIDA”.

Para personas con reducción de movilidad se deberán poner las mismas señales anteriormente acompañadas del SIA (Símbolo Internacional de Accesibilidad para la movilidad). Cuando los recorridos lleven a una zona de refugio para personas con discapacidad, las señales irán además acompañadas de “ZONA DE REFUGIO”.

Las señales deben ser visibles en caso de algún fallo en el suministro de alumbrado normal.

4.8.4. Instalaciones de protección contra incendios

El edificio dispondrá de los equipos e instalaciones adecuados para hacer posible la detección, el control y extinción del incendio, así como la transmisión de la alarma a los ocupantes.

Atendiendo a la tabla 1.1 del Código se indicarán los equipos e instalaciones de protección contra incendios adoptados:

Extintores portátiles: Uso de eficacia 21-A -113B a 15 m de recorrido en cada planta, desde todo origen de evacuación.

4.8.4.1. Señalización de las instalaciones manuales de protección contra incendios

La señalización de las instalaciones manuales debe cumplir el RIPCI, en el caso de los extintores estos deben estar colocados para que sean fácilmente visibles y accesibles, situados próximo a los puntos donde haya mayor probabilidad de iniciarse un incendio, a ser posible próximo a las salidas de evacuación, sobre soporte fijados verticalmente, de modo que la parte superior del extintor quede situada entre 80 cm y 120 cm sobre el suelo.

4.8.5. Intervención de los bomberos

Se facilitará la intervención de los equipos de rescate y de extinción de incendios.

4.8.5.1. Aproximación a los edificios

Los viales de aproximación de los vehículos de los bomberos deben cumplir las siguientes condiciones:

- Anchura mínima libre: 3,5 m
- Anchura mínima libre o gálibo: 4,5 m
- Capacidad portante del vial: 20 kN/m²

En los tramos curvos los radios mínimos de curvatura deben ser de 5,30 m y 12,50 m con una anchura libre de 7,20 m.

4.8.6. Resistencia al fuego de la estructura

La resistencia al fuego de los elementos estructurales de un edificio administrativo para plantas menor de 15 m será R60.

Para los elementos estructurales secundarios cuyo colapso ante la acción directa del incendio no pueda ocasionar daños a los ocupantes, ni comprometer la estabilidad global de la estructura... no precisan cumplir ninguna exigencia de resistencia al fuego.

5. PRESUPUESTO

Una vez diseñado el proyecto, se debe conocer la inversión aproximada del montaje de dicha terminal. Esta inversión dependerá del presupuesto total, calculado como suma de las tres partidas principales: coste de fabricación de los tanques, líneas de trasiego de combustibles y equipos de impulsión e implantación del sistema contra incendio. El presupuesto de cada una de ellas se detallará en función del precio que se obtenga en cada unidad de obra calculada en las mediciones.

5.1. Partida Nº 1: Tanques de almacenamiento de combustible

5.1.1. Mediciones y precios

Unidad	Fabricante	Descripción	Cantidad	Precio ud.	Precio total (€)
Tanque		<p>Tanque de acero soldado vertical de techo fijo tipo domo autosoportado de 10.000 m³ de contenido neto de combustible de fuel-oil de 28 m de diámetro y 18 m de altura.</p> <p>-Las juntas de soldadura verticales y horizontales serán de juntas a tope, de penetración y fusión completa. Unión soldadura cuerpo-fondo será de filete continuo, de 6 mm mínimo de espesor. tubuladuras. Las juntas de soldadura de las placas de la cubierta, y estas con el ángulo superior serán soldaduras a tope. Las juntas de soldadura de unión de las placas del fondo, serán de soldaduras a tope. Se incluye las soldaduras de las tubuladuras.</p> <p>Total soldadura=1.600 m</p> <p>-Cuerpo: Placas 2 x 8, acero S275JR</p> <p>-Fondo: Placas 2 x 8 y anillo anular, acero S275JR y serpentín calefactor.</p> <p>-Techo: Placas del techo y anular de coronación, acero S275JR</p> <p>-Accesorios y tubuladuras, A-106 Gr.B</p> <p>-Incluido montaje, pruebas de estanqueidad, radiografías y ensayos de calidad</p>	1 tanque: 250.682 kg	5 €/kg	1.253.410 €
TOTAL PARTIDA Nº 1: 10 TANQUES					12.534.100 €

5.2. Partida N° 2: Líneas de trasiego de combustible

5.2.1. Mediciones y precios

Unidad	Fabricante	Descripción	Cantidad	Precio ud.	Precio total (€)
Tuberías		Tubería de acero al carbono de material ASTM A-106 Gr.B de 12" para el llenado de los tanques de almacenamiento de combustible. Incluye juntas soldadas, bridas, codos, pruebas y tes, tornillería, soportes y montaje.	262 m	90 €/m	23.580 €
		Tubería de acero al carbono de material ASTM A-106 Gr.B de 14" para el vaciado de los tanques de almacenamiento de combustible. Incluye juntas soldadas, bridas, codos, pruebas y tes, tornillería, soportes y montaje.	203 m	100 €/m	20.300 €
		Tubería de acero al carbono de material ASTM A-106 Gr.B de 6" para el llenado del cargadero de camiones. Incluye juntas soldadas, bridas, codos, pruebas y tes, tornillería, soportes y montaje.	126 m	45 €/m	5.670 €
		Tubería de acero al carbono de material ASTM A-106 Gr.B de 12" para el llenado del cargadero marítimo. Incluye juntas soldadas, bridas, codos, pruebas y tes, tornillería, soportes y montaje.	411 m	90 €/m	36.990 €
		Tubería de acero al carbono de material ASTM A-106 Gr.B de 8" para el colector de entrada a la bomba de impulsión a cargadero de camiones. Incluye juntas soldadas, bridas, codos, pruebas y tes, tornillería, soportes y montaje.	4 m	60 €/m	240 €
		Tubería de acero al carbono de material ASTM A-106 Gr.B de 18" para el colector de entrada a la bomba de impulsión a cargadero marítimo. Incluye juntas soldadas, bridas, codos, pruebas y tes, tornillería, soportes y montaje.	4 m	120 €/m	480 €
Bombas		Bomba centrífuga de 50 Hz con un caudal nominal de 100 m ³ /h para una presión de operación de 2,2 bar g.	2	25.000 €	50.000 €
		Bomba centrífuga de 50 Hz con un caudal nominal de 500 m ³ /h para una presión de operación de 2,3 bar g.	2	45.000 €	90.000 €

Valvulería	Válvulas de control de accionamiento rápido (on/off) de 12" con señal de mando neumática e instalación.	10	1.300 €	13.000 €
	Válvulas de control de accionamiento rápido (on/off) de 14" con señal de mando neumática e instalación.	11	1.500 €	16.500 €
	Válvulas de retención (antirretorno) de 12" e instalación.	4	750 €	3.000 €
	Válvulas de retención (antirretorno) de 14" e instalación.	10	950 €	9.500 €
	Válvulas de retención (antirretorno) de 6" e instalación.	3	150 €	450 €
	Válvulas manuales tipo mariposa de 12" e instalación.	20	350 €	7.000 €
	Válvulas manuales tipo mariposa de 14" e instalación.	16	450 €	7.200 €
	Válvulas manuales tipo mariposa de 6" e instalación.	5	85 €	425 €
	Válvulas de bola de 4" para drenaje de tanques e instalación.	10	75 €	750 €
TOTAL PARTIDA Nº 2: LÍNEAS DE TRASIEGO				285.085 €

5.3. Partida Nº 3: Protección contra incendios

5.3.1. Mediciones y precios

Unidad	Fabricante	Descripción	Cantidad	Precio ud.	Precio total (€)
Tuberías de sistema de protección contra incendios en tanques		Red de tuberías para agua de acero galvanizado de material ASTM A-106 Gr.B 6" y 4" para abastecimiento para el anillo de refrigeración de tanques incendiados, tanque afectados, cubetos y tuberías de acceso a dicho anillo. Incluye juntas soldadas, bridas, codos, pruebas y tes, tornillería, soportes, válvulas y montaje.	2.000 m	60 €/m	120.000 €
		Red de tuberías de espuma para tanques y cargadero de camiones. Incluye juntas soldadas, bridas, codos, pruebas y tes, tornillería, soportes, válvulas y montaje.	1.700 m	70 €/m	119.000 €
		Red de tuberías de hidrantes exteriores. Incluye juntas soldadas, bridas, codos, pruebas y tes, tornillería, soportes, válvulas y montaje.	800 m	90 €/m	72.000 €
Hidrantes	ANBER GLOBE	Hidrantes de columna húmeda, conexión 4" y dos bocas de 2,5".	9	1.050 €	9.450 €
Sistema de espuma	SABO ESPAÑOLA	Espumógeno FFP, modelo APIROL FX3 C3%. Depósitos 5.000 litros.	1	17.500 €	17.500 €
	SABO ESPAÑOLA	Depósitos de membrana de 5.500 litros, modelo SE-MXC-I-2X con espumógeno.	2	80.000 €	160.000 €
	SABO ESPAÑOLA	Dosificador de espuma FIREDOS, 800-10.000 l/min, modelo FD10.000/3-PP-S	2	7.000 €	14.000 €
	SABO ESPAÑOLA	Cámaras de espuma de 4" a 8" para protección en tanques de almacenamiento de combustible.	20	4.500 €	90.000 €
	SABO ESPAÑOLA	Vertedera de espuma modelo VF-20 8"	20	1.300 €	26.000 €
	SABO ESPAÑOLA	Lanza monitoras de espuma en cubetos.	6	9.000 €	54.000 €

Boquillas	EUSPRAY	Boquillas de pulverización de agua en tanques instaladas en anillo y cuartos de anillo, modelo SP41.	340	60 €	20.400 €
		Boquillas de pulverización de agua y espuma instaladas en cargadero de camiones, modelo SP41.	24	60 €	1.440 €
Extintores	FIREGRA	Extintor portátil de 50 kg eficacia mínima 144B para cargadero de camiones.	2	360 €	720 €
	FIREGRA	Extintor portátil de 100 kg eficacia 21A/113B para zona de tanques de almacenamiento.	12	527 €	6.324 €
	FIREGRA	Extintor portátil de 6 kg eficacia 21A/113B para zona de tanques de almacenamiento.	9	47 €	423 €
Grupos de bombeos		Bomba centrífuga horizontal diésel, presión 12 bar.	1	80.000 €	80.000 €
		Bomba centrífuga horizontal eléctrica, presión 12 bar.	1	90.000 €	90.000 €
		Bomba Jockey, presión 12 bar	1	15.000 €	15.000 €
		Acometida de abastecimiento de agua de la red de uso público	1	1.000 €	1.000 €
Depósito de agua		Depósito de agua contra incendio o aljibe de 2.000 m ³ de 9 m de altura y un diámetro de 20 m .	1	120.000 €	120.000 €
Sistemas de alarma de incendios		Sistemas de detección de alarma de incendios. 38 puestos de alarma distribuidos por toda la terminal (pulsadores, sirena...).	1	10.000 €	10.000 €
Señalización		Señalización de salidas de emergencia, equipos de extinción ...	1	100 €	100 €
TOTAL PARTIDA Nº 3: PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS					1.027.357 €

5.4. Resumen del presupuesto

PARTIDA Nº 1: TANQUES	12.534.100 €
PARTIDA Nº 2: LÍNEAS DE TRASIEGO DE COMBUSTIBLE	285.085 €
PARTIDA Nº 3: PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	1.027.357 €
TOTAL	13.846.542 €
13% GASTOS GENERALES	1.800.050,5 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	830.792,5 €
21% IVA	2.907.773,8 €
TOTAL PRESUPUESTO	19.385.159 €

El presupuesto general asciende a la expresada cantidad de DIECINUEVE MILLONES TRESCIENTOS OCHENTA Y CINCO MIL CIENTO CINCUENTA Y NUEVE EUROS.

5. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha diseñado una terminal portuaria según la normativa exigente, ITC IP02, con capacidad de **100.000 m³** de combustible en la bahía de Algeciras, la cual tiene acceso marítimo para el atraque de buques y camiones, y así facilitar el transporte. El combustible almacenado, de acuerdo a la instrucción, es de **tipo C**, distribuidos en Fuel-Oil y Gas-Oil.

La terminal consta de 10 tanques con capacidad de **10.000 m³** para albergar Fuel-Oil nº1, ya que, al ser el combustible más restrictivo, hace de la terminal una instalación más flexible y eficiente a distintos almacenamientos futuros.

El diseño de los tanques se ha abordado atendiendo al estándar **API 650**, a partir del cual se ha dimensionado tanques de acero soldado atmosféricos, verticales de techo fijo autosoportado. Este dimensionamiento alberga tanto los espesores de lámina de las diferentes partes del tanque (cuerpo, fondo y cubierta), ubicación de tubuladuras y el cumplimiento de los apéndices V, F y E, encaminados a satisfacer las condiciones de estabilidad frente a las diferentes combinaciones de cargas, viento y sismo. La cubierta del tanque se ha llevado a cabo mediante el **Eurocode 3**.

Las diferentes áreas de la terminal, se han distribuido conforme a la **ITC IP02**, donde se especifican las distancias mínimas de separación entre instalaciones y las dimensiones del cubeto de retención, donde se ubican los tanques de combustible.

Las líneas de trasiego de combustible, tanto de carga y descarga de tanques, se han dimensionado teniendo en cuenta la demanda de camiones y buques, estableciendo unos caudales de 100 m³/h y 500 m³/h, para ambos. La circulación de dicho combustible tanto para la carga y descarga de los tanques, se ha producido gracias a la presión de 3,2 bar g de la línea del oleoducto en el punto de entrada a la terminal y a la presión de 2,2 y 2,3 bar g ejercida de forma mecánica por dos grupos de bombeo destinados a la impulsión del combustible tanto al cargadero terrestre como marítimo.

La protección contra incendio de la terminal, se ha realizado atendiendo al **RSCIEI** y **RIPCI**, donde se han definido los diferentes sistemas de actuación contra incendio para las diferentes instalaciones, entre las que destaca el diseño para tanques de almacenamiento de combustible, con anillos refrigerantes, aplicación de sistemas fijos de espuma física y la distribución de hidrantes alrededor del cubeto. La necesidad de sistemas contra incendio trae de la mano el cálculo del caudal necesario de agua, establecido en 8.381,7 l/min proporcionados por dos fuentes, la red de uso público y depósitos y/o aljibes de 2000 m³ de capacidad. También se han incluido sistemas auxiliares como extintores o sistemas de alarmas de incendio.

REFERENCIAS

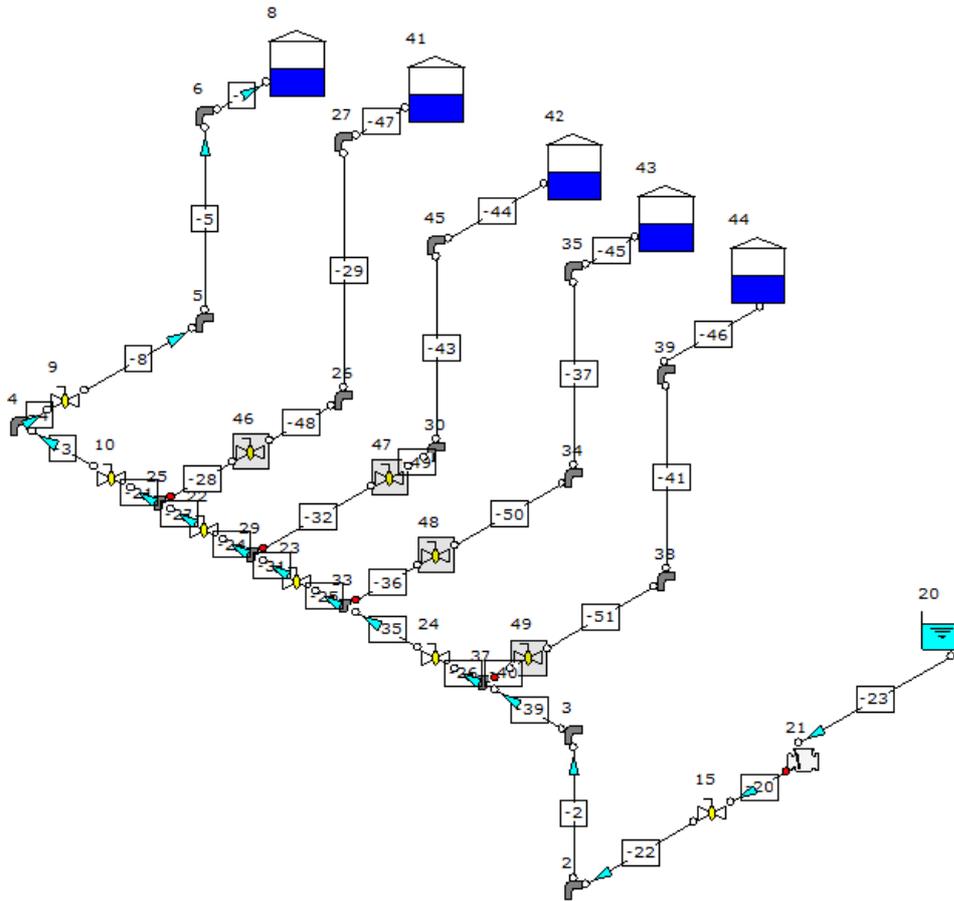
- [1] Standard API 650 (2007). *Welded Steel Tanks for Oil Storage*. American Petroleum Institute.
- [2] Autoridad Portuaria de la Bahía de Algeciras, APBA (2019). *Memoria Anual*. Algeciras Port.
- [3] Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriott (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, séptima edición*. México: Mc Graw Hill.
- [4] Real Decreto 1562/1998, de 17 de julio, por el que se modifica la Instrucción Técnica Complementaria MI-IP02 «Parques de almacenamiento de líquidos petrolíferos».
- [5] Real Decreto 656/2017, de 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias MIE APQ 0 a 10.
- [6] ASME B36.10 (2015). *Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [7] ASME B31.33 (2014). *Process Piping*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [8] Norma EN 1993-4-2. (2007). *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 4-2: Tanks*. The European Union.
- [9] Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la *Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02)*.
- [10] Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el *Reglamento de Seguridad Contra Incendios de Establecimientos Industriales (RSCIEI)*.
- [11] Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el *Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI)*.
- [12] Real Decreto 706/2017, de 7 de julio, por el que se aprueba la Instrucción Técnica Complementaria MI-IP 04 "Instalaciones para suministro a vehículos"
- [13] UNE-EN 14015:2005. *Especificación para el diseño y fabricación de tanques de acero contruidos en el lugar de emplazamiento, verticales, cilíndricos, de fondo plano, no enterrados, soldados, para el almacenamiento de líquidos a temperatura ambiente y superior*. Comité Europeo de Normalización (CEN).
- [14] UNE-EN 10025:2020. *Productos laminados en caliente de aceros para estructuras*. Comité Europeo de Normalización (CEN).AENOR.
- [15] Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SE-AE Seguridad Estructura- Acciones en la Edificación (Abril 2009).
- [16] NFPA 15 (2022). *Standard for Water Spray Fixed Systems for Fire Protection*. National Fire Protection

Association.

- [17] UNE 23501:1988. *Sistemas fijos de agua pulverizada. Generalidades*. Comité Europeo de Normalización (CEN).AENOR.
- [18] UNE-EN 14384:2006. *Hidrantes de columna*. Comité Europeo de Normalización (CEN).AENOR.
- [19] UNE-EN 13565:2019. *Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas espumantes*. Comité Europeo de Normalización (CEN).AENOR.
- [20] NFPA 11 (2021). *Standard for Low, Medium and High Expansion Foam*. National Fire Protection Association.
- [21] UNE-EN 1568-3:2019. *Agente 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*. Comité Europeo de Normalización (CEN).AENOR.
- [22] NFPA 16 (2019). *Standard for the Installation of Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Spray Systems*. National Fire Protection Association.
- [23] UNE 23500:2018. *Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios*. CTN 23
- [24] Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre por el que se modifica el *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SI Seguridad en caso de Incendio*.
- [25] Jódar Arce, C (2015). *Diseño automático de tanques de acero con techo fijo, según API 650 (TFG)*

ANEXO A: CÁLCULOS HIDRÁULICOS

A.1. CÁLCULO HIDRÁULICO LLENADO DE TANQUE



Bill Of Materials

Nodes

Bend - Idelchik	13
Reservoir or Accumulator or Vessel	5
Butterfly Valve - Generic Butterfly Valve - Miller Data	10
Known or Assigned Pressure	1
Swing Check Valve - Angle Swing Check	1
Tee Junction - Idelchik	4

Pipes

Steel Pipe or Duct - 2 inch - Schedule 40	115,00 m
Steel Pipe or Duct - 12 inch - B36.10M 10.31mm	347,10 m

Steel Pipe, Duct or Tube

#	Length (*)	Flow (m ³ /h)	Total Pressure Loss (bar)	Size (mm)	In Stagnation Pressure (bar g)	In Velocity (m/s)	Out Stagnation Pressure (bar g)
-51	5 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-50	5 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-49	5 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-48	5 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-47	10 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-46	10 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-45	10 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-44	10 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-43	5 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-41	10 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-40	5 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-39	5,1875 m	495,3726	0,0	303,2	2,7	1,91	3,0
-37	10 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-36	5 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-35	5,1875 m	495,3726	0,0	303,2	2,9	1,91	3,0
-32	5 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-31	10,375 m	495,3726	0,0	303,2	2,9	1,91	3,0
-29	10 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-28	5 m	0,0000	0,0	52,5	0,0	0,00	0,0
-27	62,25 m	495,3726	0,1	303,2	2,9	1,91	2,9
-26	5,1875 m	495,3726	0,0	303,2	3,0	1,91	2,9
-25	5,1875 m	495,3726	0,0	303,2	3,0	1,91	2,9
-24	10,375 m	495,3726	0,0	303,2	3,0	1,91	2,9
-23	35 m	495,3726	0,0	303,2	3,2	1,91	3,1
-22	5 m	495,3726	0,0	303,2	3,0	1,91	3,0
-21	62,25 m	495,3726	0,1	303,2	2,9	1,91	2,8
-20	35 m	495,3726	0,0	303,2	3,1	1,91	3,0
-8	2 m	495,3726	0,0	303,2	2,5	1,91	2,7
-7	0,5 m	495,3726	0,0	303,2	1,0	1,91	1,0
-5	16,6 m	495,3726	0,0	303,2	2,7	1,91	1,1
-4	2 m	495,3726	0,0	303,2	2,7	1,91	2,5
-3	83 m	495,3726	0,1	303,2	2,8	1,91	2,7
-2	2 m	495,3726	0,0	303,2	2,9	1,91	2,7

Bend

#	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	In Stagnation Pressure (bar g)	Out Stagnation Pressure (bar g)
2	495,3726	0,0	3,0	2,9
3	495,3726	0,0	2,7	2,7
4	495,3726	0,0	2,7	2,7
5	495,3726	0,0	2,7	2,7
6	495,3726	0,0	1,1	1,0
26	0,0000	0,0	0,0	0,0
27	0,0000	0,0	0,0	0,0
30	0,0000	0,0	0,0	0,0
34	0,0000	0,0	0,0	0,0
35	0,0000	0,0	0,0	0,0
38	0,0000	0,0	0,0	0,0
39	0,0000	0,0	0,0	0,0
45	0,0000	0,0	0,0	0,0

Accumulator

#	Net Flow (m3/h)	Stagnation Pressure (bar g)	Temperature (C)	Density (kg/m3)	Viscosity (cP)	Composition Mass %
8	495,3726	1,0	40,0	991,00	1,295	"fuel oil No1=100,0%"
41	0,0000	-1,0	0,0	1000,00	0,000	
42	-11,1491	0,1	15,0	999,11	1,138	"water=100,0%"
43	0,0000	-1,0	0,0	1000,00	0,000	
44	0,0000	-1,0	0,0	1000,00	0,000	

Butterfly Valve

#	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	In Stagnation Pressure (bar g)	Out Stagnation Pressure (bar g)
9	495,3726	0,0	2,5	2,5
10	495,3726	0,0	2,8	2,8
15	495,3726	0,0	3,0	3,0
22	495,3726	0,0	2,9	2,9
23	495,3726	0,0	2,9	2,9
24	495,3726	0,0	2,9	2,9
46	0,0000	0,0	0,0	0,0
47	0,0000	0,0	0,0	0,0
48	0,0000	0,0	0,0	0,0
49	0,0000	0,0	0,0	0,0

Known Pressure Boundary

#	Flow (m3/h)	Stagnation Pressure (bar g)	Static Pressure (bar g)	Temperature (C)	Density (kg/m3)	Viscosity (cP)	Composition Mass %
20	495,3726	3,2	3,2	40,0	991,00	1,295	"fuel oil No1=100,0%

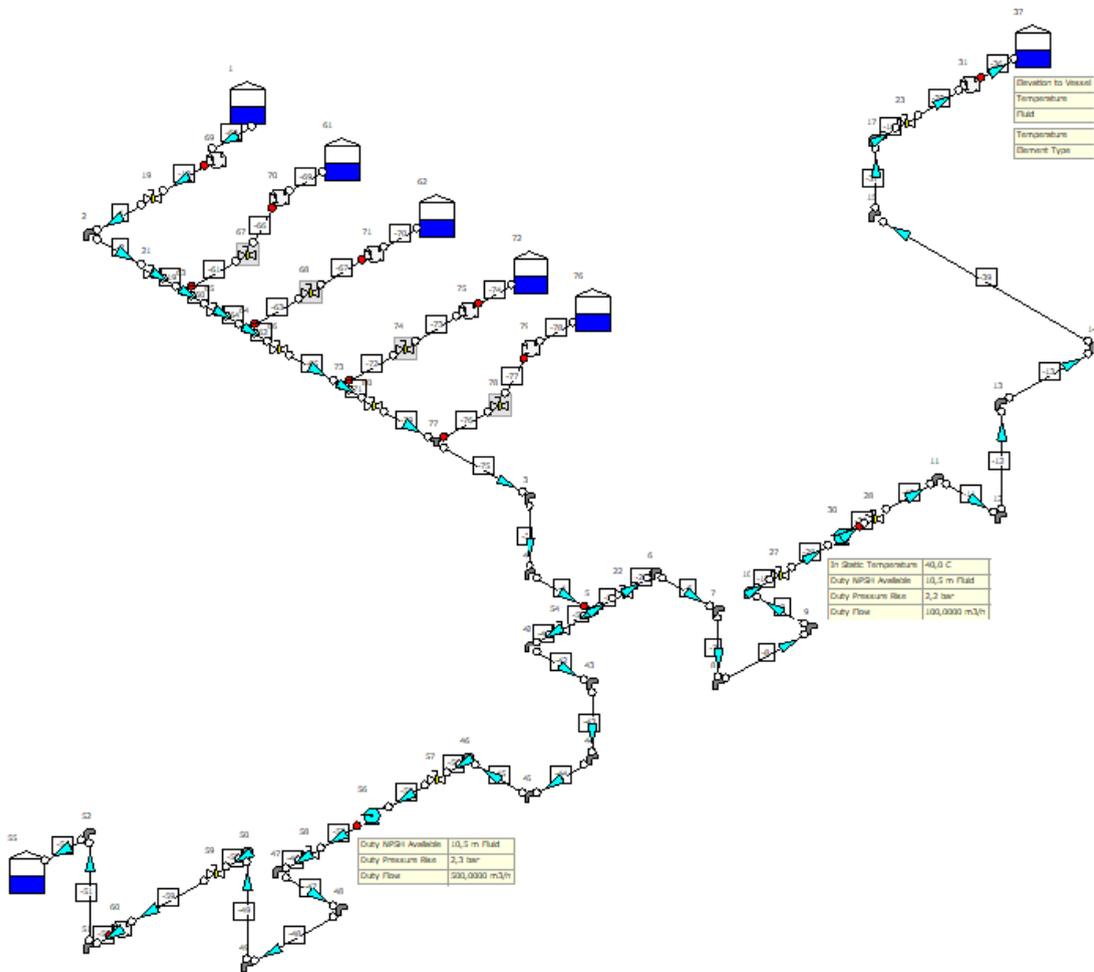
Swing Type Check Valve

#	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	In Stagnation Pressure (bar g)	Out Stagnation Pressure (bar g)
21	495,3726	0,0	3,1	3,1

T Junction

#	Channel Flow (m3/h)	Branch Flow (m3/h)	Branch Loss (bar)	Straight Flow (m3/h)	Straight Loss (bar)	Channel Stagnation Pressure (bar g)
25	495,3726	0,0000	0,0	495,3726	0,0	2,9
29	495,3726	0,0000	0,0	495,3726	0,0	3,0
33	495,3726	0,0000	0,0	495,3726	0,0	3,0
37	495,3726	0,0000	0,0	495,3726	0,0	3,0

A.2. CÁLCULO HIDRÁULICO VACIADO TANQUE



Bill Of Materials

Nodes

Reservoir or Accumulator or Vessel	7
Bend - Idelchik	25
Tee Junction - Idelchik	5
Butterfly Valve - Generic Butterfly Valve - Miller Data	17
Centrifugal Pump - Sized on Flow	2
Swing Check Valve - Angle Swing Check	7

Pipes

Steel Pipe or Duct - 14 inch - B36.10M 10.31mm	269,19 m
Steel Pipe or Duct - 12 inch - B36.10M 10.31mm	370,50 m
Steel Pipe or Duct - 18 inch - B36.10M 10.31mm	2,50 m
Steel Pipe or Duct - 6 inch - B36.10M 10.97mm	136,50 m
Steel Pipe or Duct - 8 inch - B36.10M 10.31mm	2,50 m

Steel Pipe, Duct or Tube

#	Length (*)	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	Size (mm)	In Stagnation Pressure (bar g)	In Velocity (m/s)	Out Stagnation Pressure (bar g)
-79	2,59375 m	600,0000	0,0	335,0	-0,2	1,89	-0,2
-78	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-77	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-76	2 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-75	20 m	600,0000	0,0	335,0	-0,2	1,89	-0,4
-74	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-73	2 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-72	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-71	2,59375 m	600,0000	0,0	335,0	-0,2	1,89	-0,2
-70	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-69	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-68	1,75 m	600,0000	0,0	335,0	0,1	1,89	0,0
-67	2 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-66	2 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-65	36 m	600,0000	0,0	335,0	-0,1	1,89	-0,2
-64	36 m	600,0000	0,0	335,0	-0,1	1,89	-0,1
-63	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-62	20,75 m	600,0000	0,0	335,0	-0,1	1,89	-0,1
-61	5 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-60	20,75 m	600,0000	0,0	335,0	-0,1	1,89	-0,1
-59	6,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,1	1,92	2,1
-58	13 m	500,0000	0,0	303,2	2,1	1,92	2,1
-57	1,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,4	1,92	2,4
-56	1,5 m	500,0000	0,0	303,2	0,0	1,92	0,0
-55	1,5 m	500,0000	0,0	303,2	0,0	1,92	0,0
-54	300 m	500,0000	0,3	303,2	1,4	1,92	1,0
-53	1,5 m	500,0000	0,0	335,0	-0,2	1,58	-0,1
-51	7 m	500,0000	0,0	303,2	2,0	1,92	1,4
-50	6,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,1	1,92	2,0
-49	2,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,3	1,92	2,1
-48	7 m	500,0000	0,0	303,2	2,3	1,92	2,3
-47	2,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,3	1,92	2,3
-46	1,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,3	1,92	2,3
-45	2,5 m	500,0000	0,0	436,4	0,0	0,93	0,0
-44	4 m	500,0000	0,0	303,2	0,0	1,92	0,0
-43	2,5 m	500,0000	0,0	303,2	-0,2	1,92	0,0
-42	13 m	500,0000	0,0	303,2	-0,2	1,92	-0,2
-41	1,5 m	500,0000	0,0	335,0	-0,1	1,58	-0,2
-40	1,5 m	100,0000	0,0	146,4	2,2	1,65	2,2
-39	40 m	100,0000	0,1	146,4	1,9	1,65	1,8
-37	7 m	100,0000	0,0	146,4	1,8	1,65	1,2

Steel Pipe, Duct or Tube

#	Length (*)	Flow (m ³ /h)	Total Pressure Loss (bar)	Size (mm)	In Stagnation Pressure (bar g)	In Velocity (m/s)	Out Stagnation Pressure (bar g)
-36	20 m	100,0000	0,0	146,4	1,1	1,65	1,0
-30	1,5 m	100,0000	0,0	146,4	2,2	1,65	2,2
-29	1,5 m	100,0000	0,0	146,4	0,0	1,65	0,0
-23	10 m	100,0000	0,0	146,4	1,2	1,65	1,2
-20	2 m	100,0000	0,0	335,0	-0,1	0,32	-0,2
-19	83 m	600,0000	0,1	335,0	0,0	1,89	-0,1
-18	1,75 m	600,0000	0,0	335,0	0,0	1,89	0,0
-16	5 m	100,0000	0,0	146,4	1,2	1,65	1,2
-13	24 m	100,0000	0,0	146,4	1,9	1,65	1,9
-12	2,5 m	100,0000	0,0	146,4	2,2	1,65	1,9
-11	2,5 m	100,0000	0,0	146,4	2,2	1,65	2,2
-10	1,5 m	100,0000	0,0	146,4	0,0	1,65	0,0
-9	2,5 m	100,0000	0,0	198,5	0,0	0,90	0,0
-8	4 m	100,0000	0,0	146,4	0,0	1,65	0,0
-7	2,5 m	100,0000	0,0	146,4	-0,2	1,65	0,0
-6	13 m	100,0000	0,0	146,4	-0,2	1,65	-0,2
-5	2 m	100,0000	0,0	335,0	-0,2	0,32	-0,1
-4	3 m	600,0000	0,0	335,0	-0,2	1,89	-0,2
-3	3 m	600,0000	0,0	335,0	-0,4	1,89	-0,2
-2	10 m	600,0000	0,0	335,0	0,0	1,89	0,0
-1	1 m	600,0000	0,0	335,0	0,0	1,89	0,0

Accumulator

#	Net Flow (m3/h)	Stagnation Pressure (bar g)	Temperature (C)	Density (kg/m3)	Viscosity (cP)	Composition Mass %
1	-600,0000	0,1	40,0	991,00	1,295	"fuel oil No1=100,0%
37	100,0000	1,0	40,0	991,00	1,295	"fuel oil No1=100,0%
55	500,0000	1,0	40,0	991,00	1,295	"fuel oil No1=100,0%
61	-600,0000	0,1	50,0	991,00	1,080	"fuel oil No1=100,0%
62	-600,0000	0,1	50,0	991,00	1,080	"fuel oil No1=100,0%
72	0,0000	-1,0	0,0	1000,00	0,000	
76	-600,0000	0,1	50,0	991,00	1,080	"fuel oil No1=100,0%

Bend

#	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	In Stagnation Pressure (bar g)	Out Stagnation Pressure (bar g)
2	600,0000	0,0	0,0	0,0
3	600,0000	0,0	-0,4	-0,4
4	600,0000	0,0	-0,2	-0,2
6	100,0000	0,0	-0,2	-0,2
7	100,0000	0,0	-0,2	-0,2
8	100,0000	0,0	0,0	0,0
9	100,0000	0,0	0,0	0,0
10	100,0000	0,0	0,0	0,0
11	100,0000	0,0	2,2	2,2
12	100,0000	0,0	2,2	2,2
13	100,0000	0,0	1,9	1,9
14	100,0000	0,0	1,9	1,9
15	100,0000	0,0	1,8	1,8
17	100,0000	0,0	1,2	1,2
42	500,0000	0,0	-0,2	-0,2
43	500,0000	0,0	-0,2	-0,2
44	500,0000	0,0	0,0	0,0
45	500,0000	0,0	0,0	0,0
46	500,0000	0,0	0,0	0,0
47	500,0000	0,0	2,3	2,3
48	500,0000	0,0	2,3	2,3
49	500,0000	0,0	2,3	2,3
50	500,0000	0,0	2,1	2,1
51	500,0000	0,0	2,0	2,0
52	500,0000	0,0	1,4	1,4

T Junction

#	Channel Flow (m ³ /h)	Branch Flow (m ³ /h)	Branch Loss (bar)	Straight Flow (m ³ /h)	Straight Loss (bar)	Channel Stagnation Pressure (bar g)
5	600,0000	600,0000	0,0	0,0000	0,0	-0,2
63	600,0000	0,0000	0,0	600,0000	0,0	-0,1
64	600,0000	0,0000	0,0	600,0000	0,0	-0,1
73	600,0000	0,0000	0,0	600,0000	0,0	-0,2
77	600,0000	0,0000	0,0	600,0000	0,0	-0,2

Butterfly Valve

#	Flow (m ³ /h)	Total Pressure Loss (bar)	In Stagnation Pressure (bar g)	Out Stagnation Pressure (bar g)
19	600,0000	0,0	0,0	0,0
21	600,0000	0,0	0,0	0,0
22	100,0000	0,0	-0,1	-0,1
23	100,0000	0,0	1,2	1,2
27	100,0000	0,0	0,0	0,0
28	100,0000	0,0	2,2	2,2
54	500,0000	0,0	-0,1	-0,1
57	500,0000	0,0	0,0	0,0
58	500,0000	0,0	2,4	2,3
59	500,0000	0,0	2,1	2,1
65	600,0000	0,0	-0,1	-0,1
66	600,0000	0,0	-0,1	-0,1
67	0,0000	0,0	0,0	0,0
68	0,0000	0,0	0,0	0,0
74	0,0000	0,0	0,0	0,0
78	0,0000	0,0	0,0	0,0
80	600,0000	0,0	-0,2	-0,2

Centrifugal Pump

#	Duty Flow (m ³ /h)	Duty Pressure Rise (bar)	Duty NPSH Available (m Fluid)	Duty Efficiency (%)	Duty Power (Watt)	Duty NPSH Required (m Fluid)
30	100,0000	2,2	10,5	0,00	0,0	0,0
56	500,0000	2,3	10,5	0,00	0,0	0,0

Swing Type Check Valve

#	Flow (m ³ /h)	Total Pressure Loss (bar)	In Stagnation Pressure (bar g)	Out Stagnation Pressure (bar g)
31	100,0000	0,0	1,2	1,1
60	500,0000	0,0	2,1	2,1
69	600,0000	0,0	0,0	0,0
70	0,0000	0,0	0,0	0,0
71	0,0000	0,0	0,0	0,0
75	0,0000	0,0	0,0	0,0
79	0,0000	0,0	0,0	0,0

A.3. Presiones de operación de las líneas de trasiego de combustibles

Bill Of Materials

Nodes

Reservoir or Accumulator or Vessel	7
Bend - Idelchik	25
Tee Junction - Idelchik	5
Butterfly Valve - Generic Butterfly Valve - Miller Data	17
Centrifugal Pump - Sized on Flow	2
Swing Check Valve - Angle Swing Check	7

Pipes

Steel Pipe or Duct - 14 inch - B36.10M 10.31mm	269,19 m
Steel Pipe or Duct - 12 inch - B36.10M 10.31mm	370,50 m
Steel Pipe or Duct - 18 inch - B36.10M 10.31mm	2,50 m
Steel Pipe or Duct - 6 inch - B36.10M 10.97mm	136,50 m
Steel Pipe or Duct - 8 inch - B36.10M 10.31mm	2,50 m

Produced by Piping Systems FluidFlow Version 3.47 © Flite Software NI Ltd 2020

Steel Pipe, Duct or Tube

#	Length (*)	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	Size (mm)	In Stagnation Pressure (bar g)	In Velocity (m/s)	Out Stagnation Pressure (bar g)
-79	2,59375 m	600,0000	0,0	335,0	1,4	1,89	1,4
-78	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-77	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-76	2 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-75	20 m	600,0000	0,0	335,0	1,4	1,89	1,2
-74	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-73	2 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-72	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-71	2,59375 m	600,0000	0,0	335,0	1,4	1,89	1,4
-70	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-69	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-68	1,75 m	600,0000	0,0	335,0	1,7	1,89	1,6
-67	2 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-66	2 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-65	36 m	600,0000	0,0	335,0	1,4	1,89	1,4
-64	36 m	600,0000	0,0	335,0	1,5	1,89	1,5
-63	1 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-62	20,75 m	600,0000	0,0	335,0	1,5	1,89	1,4
-61	5 m	0,0000	0,0	335,0	0,0	0,00	0,0
-60	20,75 m	600,0000	0,0	335,0	1,5	1,89	1,5
-59	6,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,1	1,92	2,1
-58	13 m	500,0000	0,0	303,2	2,1	1,92	2,1
-57	1,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,4	1,92	2,4
-56	1,5 m	500,0000	0,0	303,2	1,6	1,92	1,6
-55	1,5 m	500,0000	0,0	303,2	1,6	1,92	1,6
-54	300 m	500,0000	0,3	303,2	1,4	1,92	1,0
-53	1,5 m	500,0000	0,0	335,0	1,4	1,58	1,5
-51	7 m	500,0000	0,0	303,2	2,0	1,92	1,4
-50	6,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,1	1,92	2,0
-49	2,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,3	1,92	2,1
-48	7 m	500,0000	0,0	303,2	2,3	1,92	2,3
-47	2,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,3	1,92	2,3
-46	1,5 m	500,0000	0,0	303,2	2,3	1,92	2,3
-45	2,5 m	500,0000	0,0	436,4	1,6	0,93	1,6
-44	4 m	500,0000	0,0	303,2	1,6	1,92	1,6
-43	2,5 m	500,0000	0,0	303,2	1,4	1,92	1,6
-42	13 m	500,0000	0,0	303,2	1,4	1,92	1,4
-41	1,5 m	500,0000	0,0	335,0	1,4	1,58	1,4
-40	1,5 m	100,0000	0,0	146,4	2,2	1,65	2,2
-39	40 m	100,0000	0,1	146,4	1,9	1,65	1,8
-37	7 m	100,0000	0,0	146,4	1,8	1,65	1,2

Steel Pipe, Duct or Tube

#	Length (*)	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	Size (mm)	In Stagnation Pressure (bar g)	In Velocity (m/s)	Out Stagnation Pressure (bar g)
-36	20 m	100,0000	0,0	146,4	1,1	1,65	1,0
-30	1,5 m	100,0000	0,0	146,4	2,2	1,65	2,2
-29	1,5 m	100,0000	0,0	146,4	1,6	1,65	1,6
-23	10 m	100,0000	0,0	146,4	1,2	1,65	1,2
-20	2 m	100,0000	0,0	335,0	1,5	0,32	1,4
-19	83 m	600,0000	0,1	335,0	1,6	1,89	1,5
-18	1,75 m	600,0000	0,0	335,0	1,6	1,89	1,6
-16	5 m	100,0000	0,0	146,4	1,2	1,65	1,2
-13	24 m	100,0000	0,0	146,4	1,9	1,65	1,9
-12	2,5 m	100,0000	0,0	146,4	2,2	1,65	1,9
-11	2,5 m	100,0000	0,0	146,4	2,2	1,65	2,2
-10	1,5 m	100,0000	0,0	146,4	1,6	1,65	1,6
-9	2,5 m	100,0000	0,0	198,5	1,6	0,90	1,6
-8	4 m	100,0000	0,0	146,4	1,6	1,65	1,6
-7	2,5 m	100,0000	0,0	146,4	1,4	1,65	1,6
-6	13 m	100,0000	0,0	146,4	1,4	1,65	1,4
-5	2 m	100,0000	0,0	335,0	1,4	0,32	1,5
-4	3 m	600,0000	0,0	335,0	1,4	1,89	1,4
-3	3 m	600,0000	0,0	335,0	1,2	1,89	1,4
-2	10 m	600,0000	0,0	335,0	1,6	1,89	1,6
-1	1 m	600,0000	0,0	335,0	1,6	1,89	1,6

Accumulator

#	Net Flow (m3/h)	Stagnation Pressure (bar g)	Temperature (C)	Density (kg/m3)	Viscosity (cP)	Composition Mass %
1	-600,0000	1,7	40,0	991,00	1,295	"fuel oil No1=100,0%
37	100,0000	1,0	40,0	991,00	1,295	"fuel oil No1=100,0%
55	500,0000	1,0	40,0	991,00	1,295	"fuel oil No1=100,0%
61	-600,0000	0,1	50,0	991,00	1,080	"fuel oil No1=100,0%
62	-600,0000	0,1	50,0	991,00	1,080	"fuel oil No1=100,0%
72	0,0000	-1,0	0,0	1000,00	0,000	
76	-600,0000	0,1	50,0	991,00	1,080	"fuel oil No1=100,0%

Bend

#	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	In Stagnation Pressure (bar g)	Out Stagnation Pressure (bar g)
2	600,0000	0,0	1,6	1,6
3	600,0000	0,0	1,2	1,2
4	600,0000	0,0	1,4	1,4
6	100,0000	0,0	1,4	1,4
7	100,0000	0,0	1,4	1,4
8	100,0000	0,0	1,6	1,6
9	100,0000	0,0	1,6	1,6
10	100,0000	0,0	1,6	1,6
11	100,0000	0,0	2,2	2,2
12	100,0000	0,0	2,2	2,2
13	100,0000	0,0	1,9	1,9
14	100,0000	0,0	1,9	1,9
15	100,0000	0,0	1,8	1,8
17	100,0000	0,0	1,2	1,2
42	500,0000	0,0	1,4	1,4
43	500,0000	0,0	1,4	1,4
44	500,0000	0,0	1,6	1,6
45	500,0000	0,0	1,6	1,6
46	500,0000	0,0	1,6	1,6
47	500,0000	0,0	2,3	2,3
48	500,0000	0,0	2,3	2,3
49	500,0000	0,0	2,3	2,3
50	500,0000	0,0	2,1	2,1
51	500,0000	0,0	2,0	2,0
52	500,0000	0,0	1,4	1,4

T Junction

#	Channel Flow (m3/h)	Branch Flow (m3/h)	Branch Loss (bar)	Straight Flow (m3/h)	Straight Loss (bar)	Channel Stagnation Pressure
5	600,0000	600,0000	0,0	0,0000	0,0	1,4
63	600,0000	0,0000	0,0	600,0000	0,0	1,5
64	600,0000	0,0000	0,0	600,0000	0,0	1,5
73	600,0000	0,0000	0,0	600,0000	0,0	1,4
77	600,0000	0,0000	0,0	600,0000	0,0	1,4

Butterfly Valve

#	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	In Stagnation Pressure (bar g)	Out Stagnation Pressure (bar g)
19	600,0000	0,0	1,6	1,6
21	600,0000	0,0	1,6	1,6
22	100,0000	0,0	1,5	1,5
23	100,0000	0,0	1,2	1,2
27	100,0000	0,0	1,6	1,6
28	100,0000	0,0	2,2	2,2
54	500,0000	0,0	1,5	1,4
57	500,0000	0,0	1,6	1,6
58	500,0000	0,0	2,4	2,3
59	500,0000	0,0	2,1	2,1
65	600,0000	0,0	1,5	1,5
66	600,0000	0,0	1,4	1,4
67	0,0000	0,0	0,0	0,0
68	0,0000	0,0	0,0	0,0
74	0,0000	0,0	0,0	0,0
78	0,0000	0,0	0,0	0,0
80	600,0000	0,0	1,4	1,4

Swing Type Check Valve

#	Flow (m3/h)	Total Pressure Loss (bar)	In Stagnation Pressure (bar g)	Out Stagnation Pressure (bar g)
31	100,0000	0,0	1,2	1,1
60	500,0000	0,0	2,1	2,1
69	600,0000	0,0	1,6	1,6
70	0,0000	0,0	0,0	0,0
71	0,0000	0,0	0,0	0,0
75	0,0000	0,0	0,0	0,0
79	0,0000	0,0	0,0	0,0

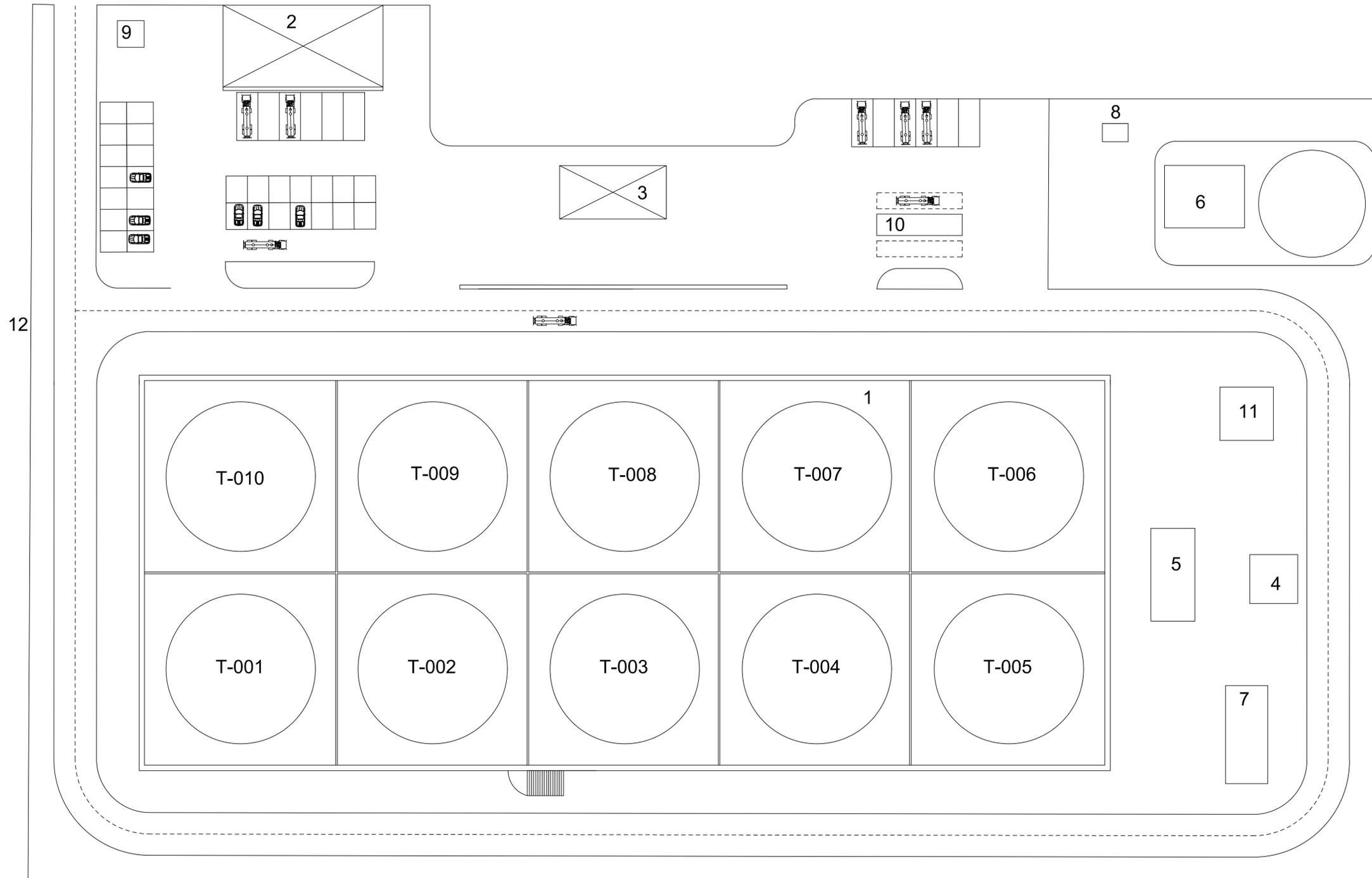
ANEXO B. LISTA DE TUBERÍAS DE COMBUSTIBLE

Nº line	Tag	Size	Spec	To	From	Design Pressure	Design Temperature	Operating Temperature	Operating Pressure
1	18"-FO-colector-SC-IH	18"	SC	12"-FO-002-CS-IH	Reniería	5,25	60	40	3,5
2	12"-FO-002-CS-IH	12"	CS	12"-FO-003-CS-IH	18"-FO-colector-SC-IH	5,25	60	40	3,5
3	12"-FO-003-CS-IH	12"	CS	TK-001	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
4	12"-FO-004-CS-IH	12"	CS	TK-006	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
5	12"-FO-005-SC-IH	12"	SC	TK-002	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
6	12"-FO-006-CS-IH	12"	CS	TK-007	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
7	12"-FO-007-SC-IH	12"	SC	TK-003	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
8	12"-FO-008-CS-IH	12"	CS	TK-008	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
9	12"-FO-009-SC-IH	12"	SC	TK-004	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
10	12"-FO-010-CS-IH	12"	CS	TK-009	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
11	12"-FO-011-SC-IH	12"	SC	TK-005	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
12	12"-FO-012-CS-IH	12"	CS	TK-010	12"-FO-002-CS-IH	4,5	60	40	3
14	14"-FO-014-SC-IH	14"	SC	14"-FO-022-SC-IH	TK-005	3	60	40	2
15	14"-FO-015-CS-IH	14"	CS	14"-FO-022-SC-IH	TK-010	3	60	40	2
16	14"-FO-016-SC-IH	14"	SC	14"-FO-022-SC-IH	TK-004	3	60	40	2
17	14"-FO-017-CS-IH	14"	CS	14"-FO-022-SC-IH	TK-009	3	60	40	2
18	14"-FO-018-SC-IH	14"	SC	14"-FO-022-SC-IH	TK-003	3	60	40	2
19	14"-FO-019-CS-IH	14"	CS	14"-FO-022-SC-IH	TK-008	3	60	40	2
20	14"-FO-020-SC-IH	14"	SC	14"-FO-022-SC-IH	TK-002	3	60	40	2
21	14"-FO-021-CS-IH	14"	CS	14"-FO-022-SC-IH	TK-007	3	60	40	2
22	14"-FO-022-SC-IH	14"	SC	14"-FO-024-SC-IH	TK-001	3	60	40	2
23	14"-FO-023-CS-IH	14"	CS	14"-FO-022-SC-IH	TK-006	3	60	40	2
24	14"-FO-024-SC-IH	14"	SC	6"-FO-025-SC-IH	14"-FO-022-SC-IH	2,25	60	40	1,5
25	6"-FO-025-SC-IH	6"	SC	8"-FO-027-SC-IH	14"-FO-024-SC-IH	3	60	40	2
26	12"-FO-026-SC-IH	12"	SC	18"-FO-028-SC-IH	14"-FO-024-SC-IH	3	60	40	2
27	8"-FO-027-SC-IH	8"	SC	6"-FO-030-SC-IH	6"-FO-025-SC-IH	3	60	40	2
28	18"-FO-028-SC-IH	18"	SC	12"-FO-035-SC-IH	12"-FO-026-SC-IH	3	60	40	2
30	6"-FO-030-SC-IH	6"	SC	P-1 A	8"-FO-027-SC-IH	3	60	40	2
31	6"-FO-031-SC-IH	6"	SC	P-1 B	8"-FO-027-SC-IH	3	60	40	2
32	6"-FO-032-SC-IH	6"	SC	6"-FO-034-SC-IH	P-1 B	3,75	60	40	2,5
33	6"-FO-033-SC-IH	6"	SC	6"-FO-034-SC-IH	P-1 A	3,75	60	40	2,5
34	6"-FO-034-SC-IH	6"	SC	TK-Cargadero	6"-FO-033-SC-IH	3,75	60	40	2,5
35	12"-FO-035-SC-IH	12"	SC	P-2 A	18"-FO-028-SC-IH	3	60	40	2
36	12"-FO-036-SC-IH	12"	SC	P-2 B	18"-FO-028-SC-IH	3	60	40	2
37	12"-FO-037-SC-IH	12"	SC	12"-FO-039-SC-IH	P-2 A	3,75	60	40	2,5
38	12"-FO-038-SC-IH	12"	SC	12"-FO-039-SC-IH	P-2 B	3,75	60	40	2,5
39	12"-FO-039-SC-IH	12"	SC	12"-FO-040-SC-IH	12"-FO-037-SC-IH	3,75	60	40	2,5
40	12"-FO-040-SC-IH	12"	SC	Cargadero marítimo	12"-FO-039-SC-IH	3,75	60	40	2,5

ANEXO C. DIMENSIONADO DE TUBERÍAS DE COMBUSTIBLE ASME B31.3

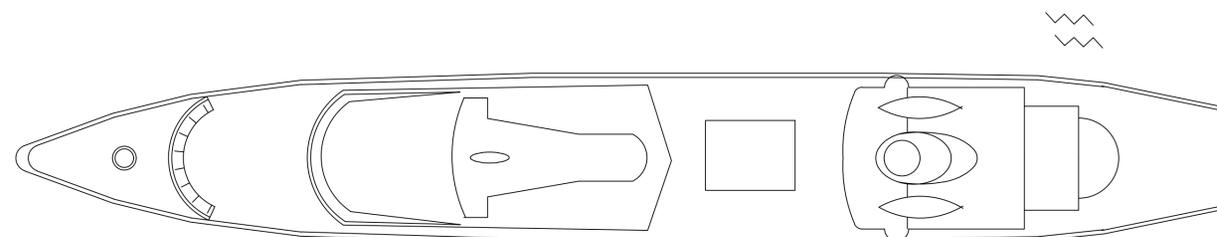
Nº line	Tag	Size	Spec	Design Pressure	Design Temperature	Operating Temperature	Operating Pressure	S (Mpa)	E	W	Y	P	Do (mm)	CA (mm)	t (mm)
1	18"-FO-colector-SC-IH	18"	SC	5,25	60	40	3,5	138	1	1	0,4	5,25	457,2	2	2,86835251
2	12"-FO-002-CS-IH	12"	CS	5,25	60	40	3,5	138	1	1	0,4	5,25	323,9	2	2,61517799
3	12"-FO-003-CS-IH	12"	CS	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
4	12"-FO-004-CS-IH	12"	CS	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
5	12"-FO-005-SC-IH	12"	SC	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
6	12"-FO-006-CS-IH	12"	CS	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
7	12"-FO-007-SC-IH	12"	SC	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
8	12"-FO-008-CS-IH	12"	CS	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
9	12"-FO-009-SC-IH	12"	SC	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
10	12"-FO-010-CS-IH	12"	CS	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
11	12"-FO-011-CS-IH	12"	SC	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
12	12"-FO-012-CS-IH	12"	CS	4,5	60	40	3	138	1	1	0,4	4,5	323,9	2	2,5274099
14	14"-FO-014-SC-IH	14"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
15	14"-FO-015-CS-IH	14"	CS	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
16	14"-FO-016-SC-IH	14"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
17	14"-FO-017-CS-IH	14"	CS	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
18	14"-FO-018-SC-IH	14"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
19	14"-FO-019-CS-IH	14"	CS	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
20	14"-FO-020-SC-IH	14"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
21	14"-FO-021-CS-IH	14"	CS	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
22	14"-FO-022-SC-IH	14"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
23	14"-FO-023-CS-IH	14"	CS	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	355,6	2	2,38618593
24	14"-FO-024-SC-IH	14"	SC	2,25	60	40	1,5	138	1	1	0,4	2,25	355,6	2	2,28970237
25	6"-FO-025-SC-IH	6"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	168,3	2	2,18277585
26	12"-FO-026-SC-IH	12"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	323,9	2	2,35175934
27	8"-FO-027-SC-IH	8"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	219,1	2	2,23794526
28	18"-FO-028-SC-IH	18"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	457,2	2	2,49652476
30	6"-FO-030-SC-IH	6"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	168,3	2	2,18277585
31	6"-FO-031-SC-IH	6"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	168,3	2	2,18277585
32	6"-FO-032-SC-IH	6"	SC	3,75	60	40	2,5	138	1	1	0,4	3,75	168,3	2	2,2284202
33	6"-FO-033-SC-IH	6"	SC	3,75	60	40	2,5	138	1	1	0,4	3,75	168,3	2	2,2284202
34	6"-FO-034-SC-IH	6"	SC	3,75	60	40	2,5	138	1	1	0,4	3,75	168,3	2	2,2284202
35	12"-FO-035-SC-IH	12"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	323,9	2	2,35175934
36	12"-FO-036-SC-IH	12"	SC	3	60	40	2	138	1	1	0,4	3	323,9	2	2,35175934
37	12"-FO-037-SC-IH	12"	SC	3,75	60	40	2,5	138	1	1	0,4	3,75	323,9	2	2,43960369
38	12"-FO-038-SC-IH	12"	SC	3,75	60	40	2,5	138	1	1	0,4	3,75	323,9	2	2,43960369
39	12"-FO-039-SC-IH	12"	SC	3,75	60	40	2,5	138	1	1	0,4	3,75	323,9	2	2,43960369
40	12"-FO-040-SC-IH	12"	SC	3,75	60	40	2,5	138	1	1	0,4	3,75	323,9	2	2,43960369

ACCESO



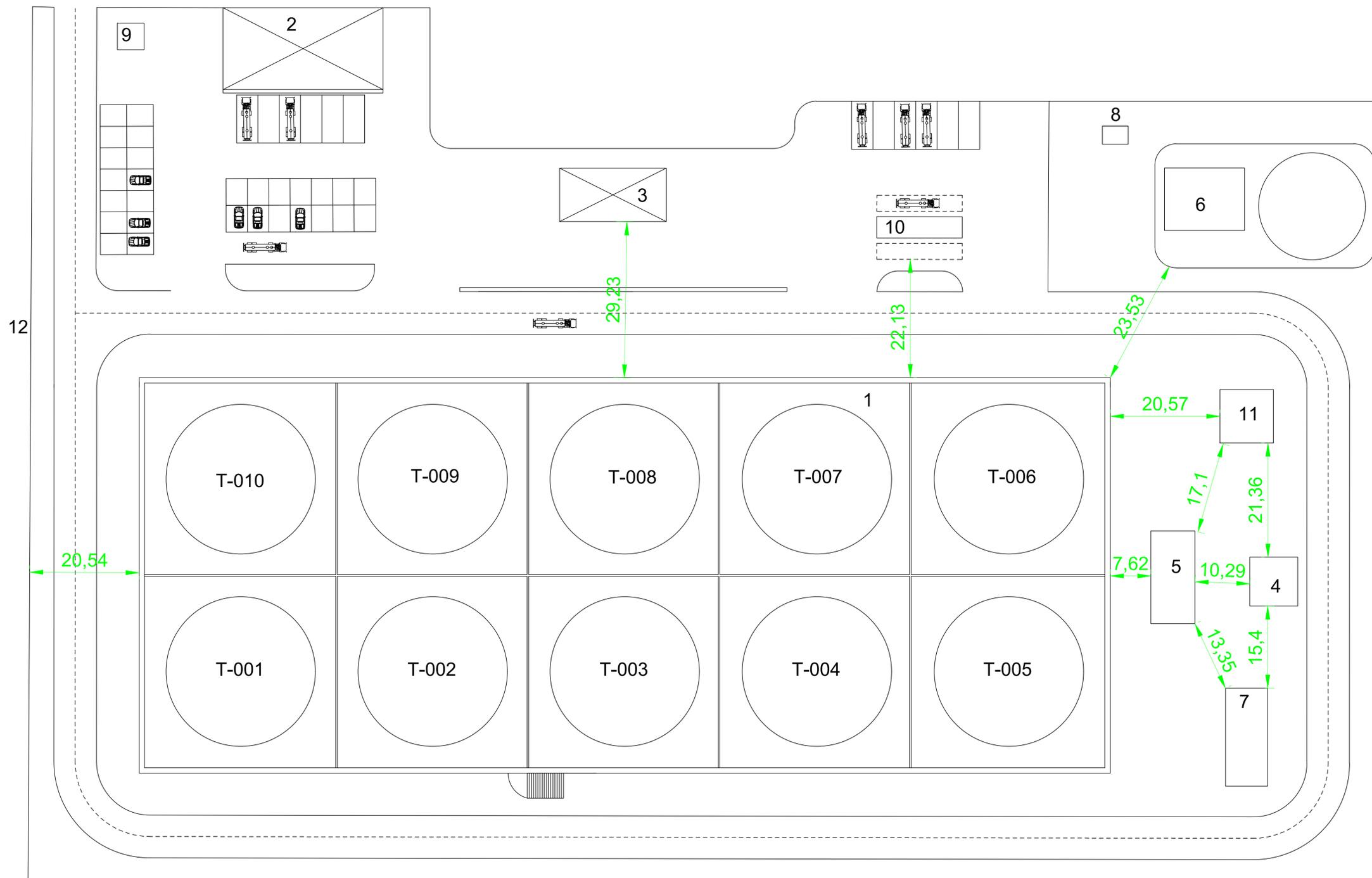
1	Cubeto de retención
2	Edificio administrativo
3	Nave almacén
4	Sala de control
5	Estación bombeo combustible
6	Estación bombeo contra incendios
7	Balsa separadora
8	Colector entrada combustible a la terminal
9	Caseta vigilancia
10	Cargadero de camiones
11	Central vapor
12	Vallado del parque

Mar



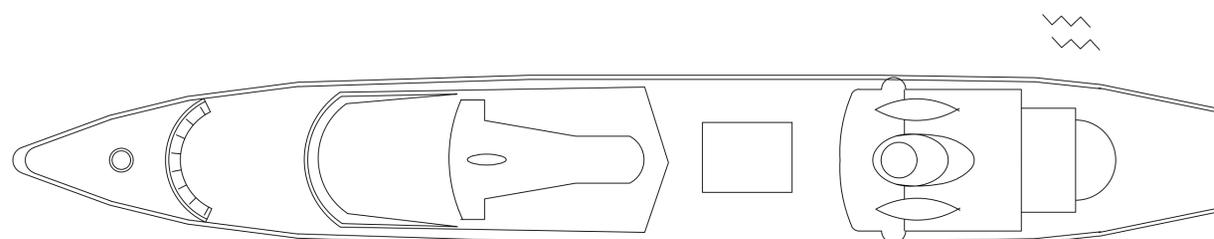
<p>TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES</p>	
<p>Ingeniero: Juan José Muñoz Marchena</p>	<p>PROPIEDAD Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA Universidad de Sevilla</p>
<p>SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras</p>	
<p>PLANO N.º 01</p>	<p>DESCRIPCIÓN Plano general de la terminal</p>
<p>FECHA</p>	<p>Sevilla, Julio 2021</p>

ACCESO



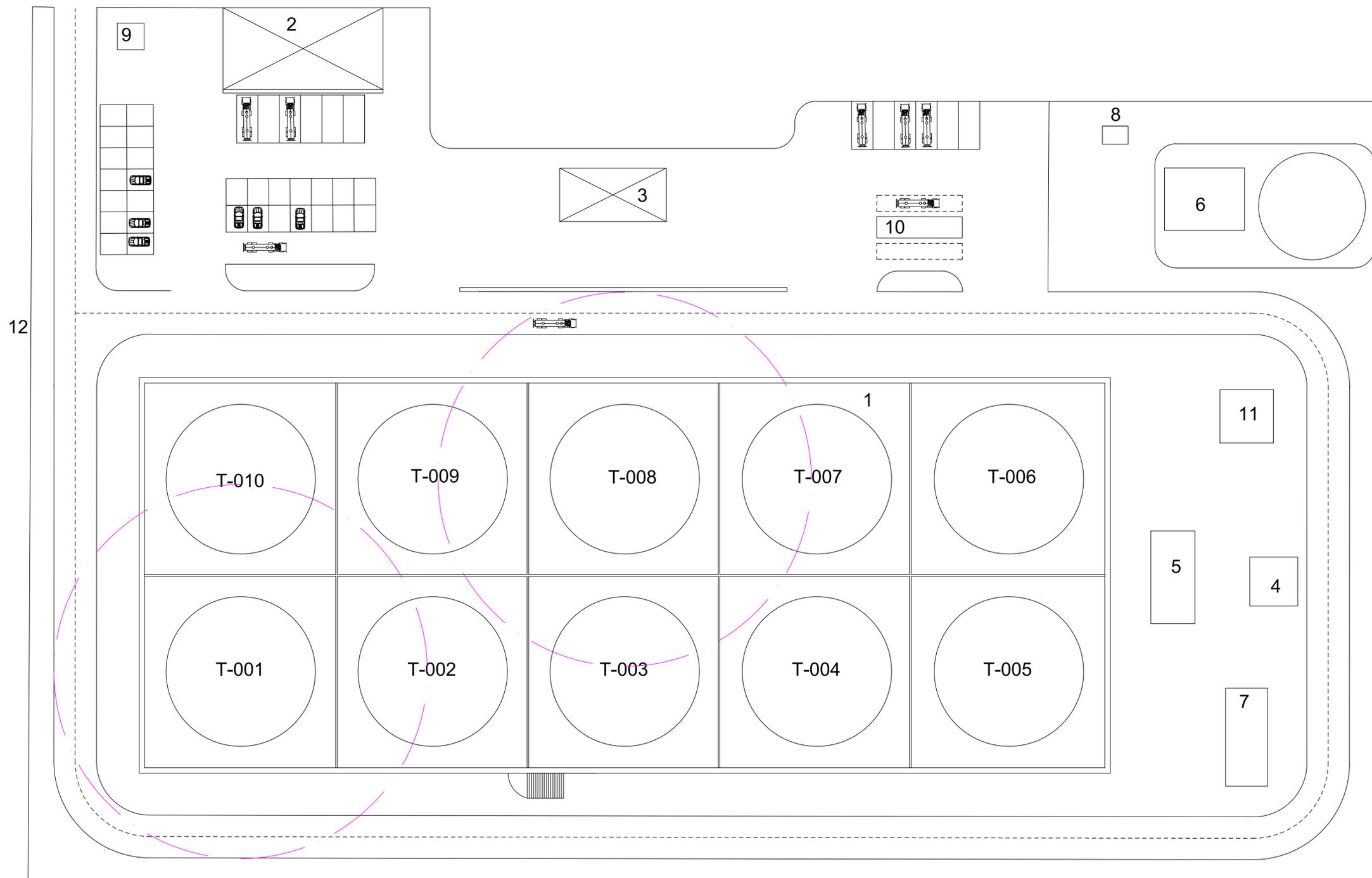
1	Cubeto de retención
2	Edificio administrativo
3	Nave almacén
4	Sala de control
5	Estación bombeo combustible
6	Estación bombeo contra incendios
7	Balsa separadora
8	Colector entrada combustible a la terminal
9	Caseta vigilancia
10	Cargadero de camiones
11	Central vapor
12	Vallado del parque

Mar



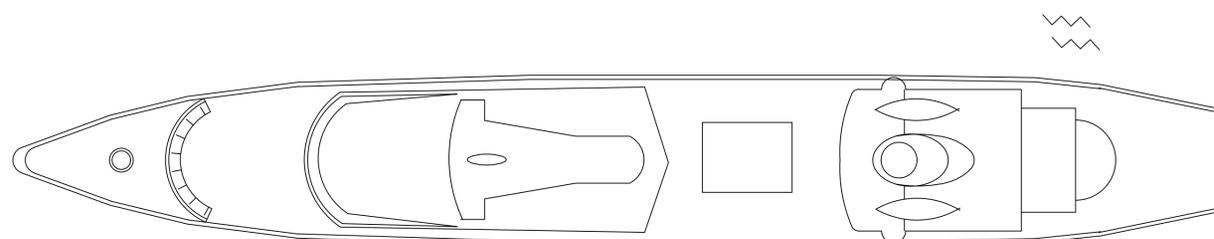
TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	
Ingeniero: Juan José Muñoz Marchena	PROPIEDAD Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA Universidad de Sevilla
SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras	
PLANO N.º 02	DESCRIPCIÓN Distancia entre instalaciones
FECHA	Sevilla, Julio 2021

ACCESO



1	Cubeto de retención
2	Edificio administrativo
3	Nave almacén
4	Sala de control
5	Estación bombeo combustible
6	Estación bombeo contra incendios
7	Balsa separadora
8	Colector entrada combustible a la terminal
9	Caseta vigilancia
10	Cargadero de camiones
11	Central vapor
12	Vallado del parque

Mar



TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	
Ingeniero: Juan José Muñoz Marchena	PROPIEDAD Escuela Técnica Superior de INGENIERIA DE SEVILLA Universidad de Sevilla
SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras	
PLANO N.º 03	DESCRIPCIÓN Radio de incidencia a tanques vecinos
FECHA	Sevilla, Julio 2021

LEYENDA

SÍMBOLOS PARA LÍNEAS Y/O CONECTORES

-  LÍNEA PRINCIPAL DE PROCESO
-  MANGUERA FLEXIBLE

IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS

- XXX - XXX - XXX - XX - XXX - XX
- ↑ AISLAMIENTO
 - ↑ MATERIAL
 - ↑ NÚMERO DE LÍNEA
 - ↑ ÁREA
 - ↑ FLUIDO
 - ↑ DIÁMETRO (mm)

SÍMBOLOS PARA VÁLVULAS Y ACCESORIOS DE TUBERÍAS

-  VÁLVULA TIPO MARIPOSA (CERRADA)
-  VÁLVULA DE RETENCIÓN
-  VÁLVULA TIPO GLOBO (CERRADA)

SÍMBOLOS PARA VÁLVULAS DE PROCESOS

-  VÁLVULA TODO / NADA CON VOLANTE MANUAL
FC ó FO

SÍMBOLOS PARA LÍNEAS DE INSTRUMENTOS

-  SEÑAL ELÉCTRICA

IDENTIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS

-  FUNCIÓN CONFIGURADA EN S. C. D. ACCESIBLE AL OPERADOR
-  ALARMA SENSOR NIVEL ALTO
-  ALARMA SENSOR NIVEL BAJO

NOTA: La parte inferior de las líneas de instrumento de los tanques, se han obviado al ser iguales que las superiores

TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

Ingeniero:

Juan José Muñoz Marchena

PROPIEDAD

Universidad de Sevilla



SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras

PLANO N°

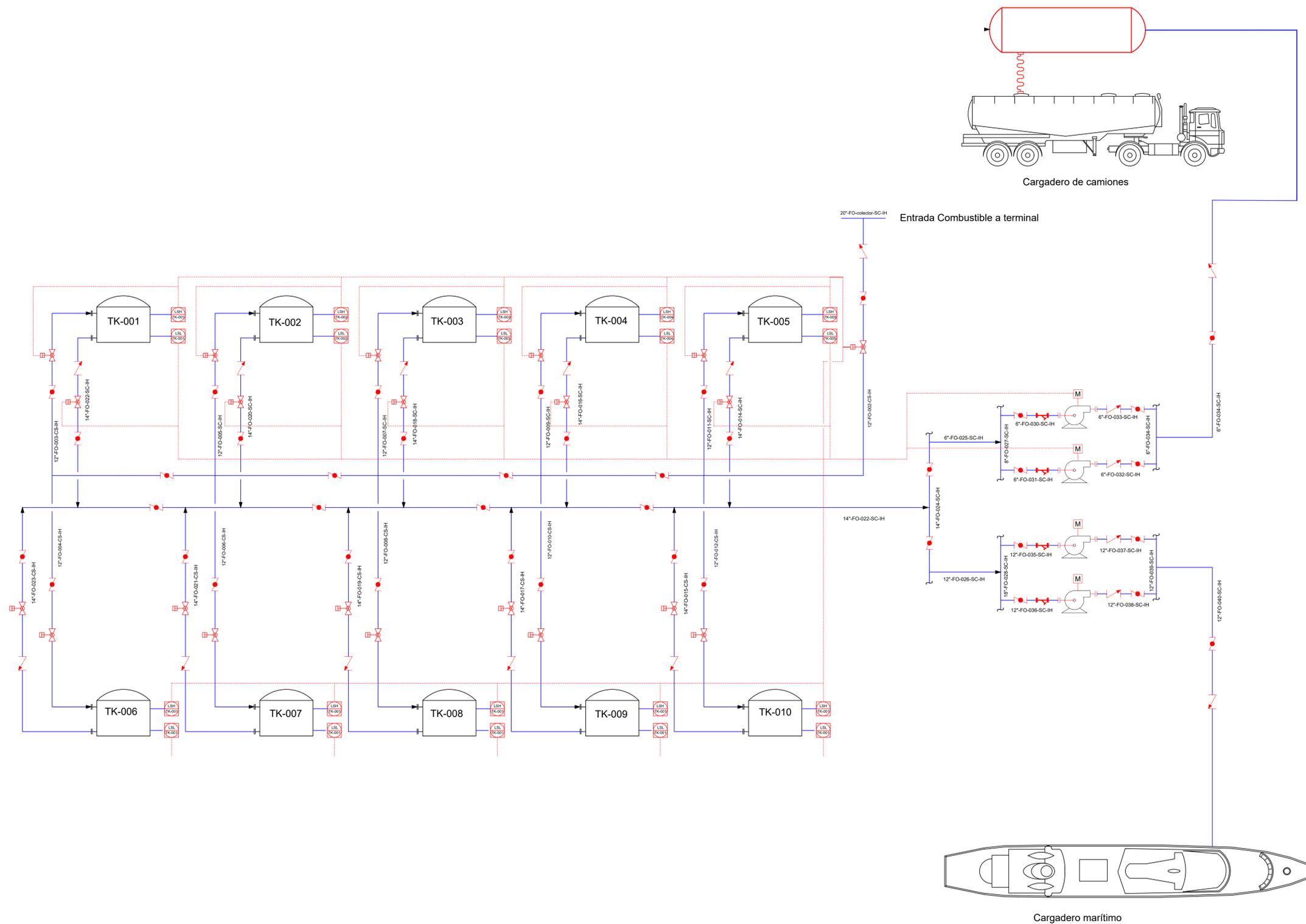
04

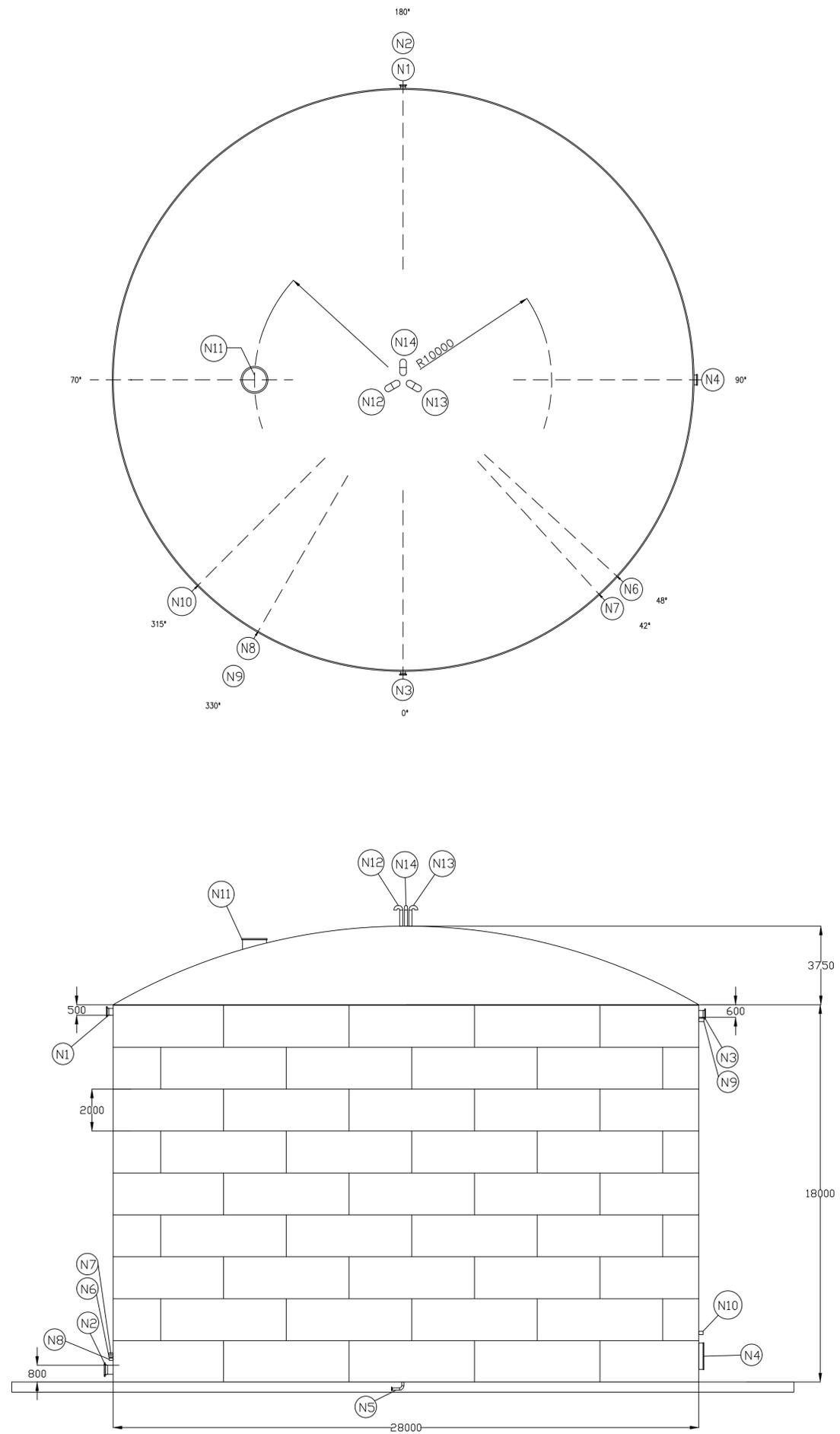
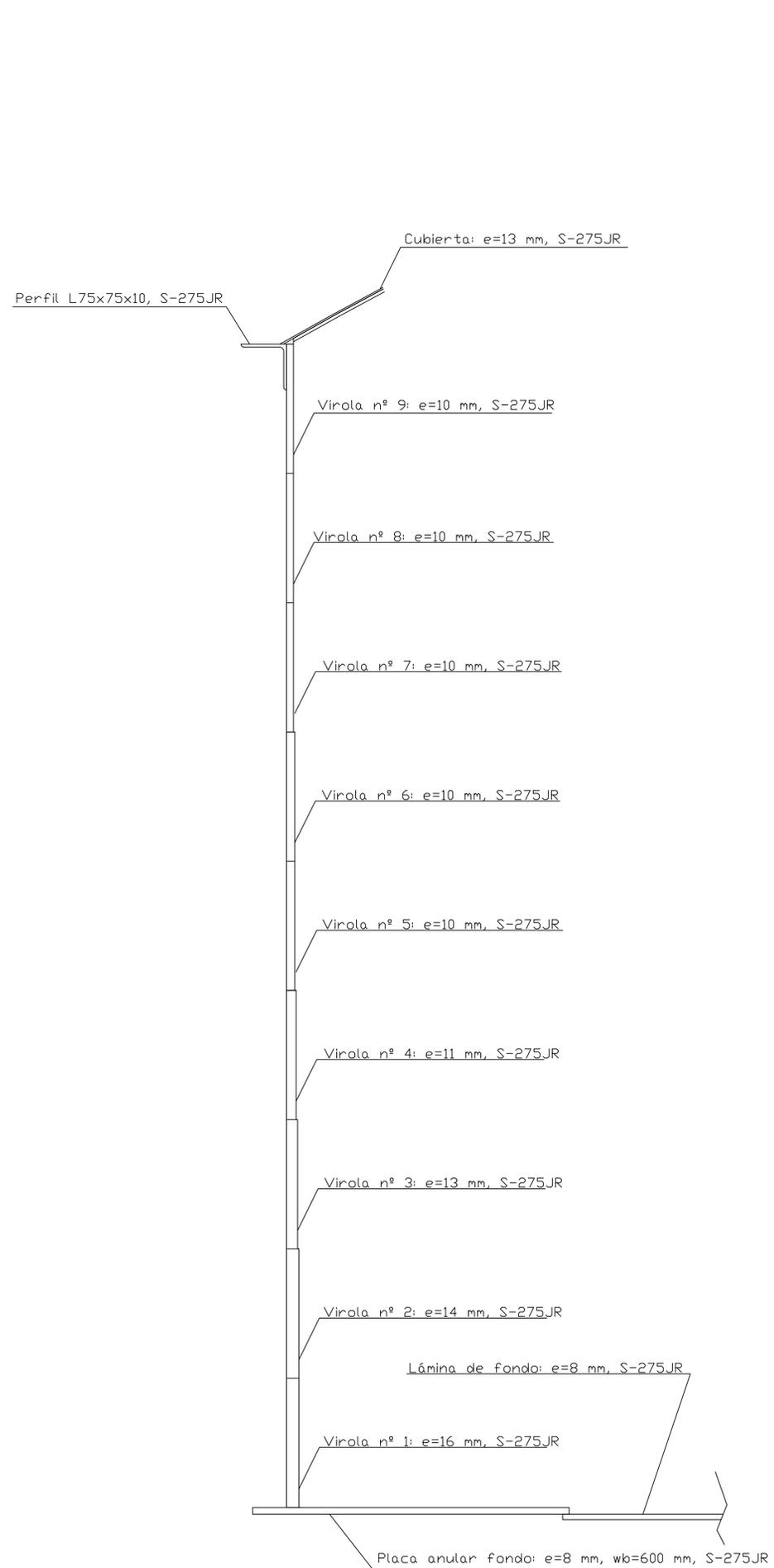
DESCRIPCIÓN

PID líneas de combustible

FECHA

Sevilla, Julio 2021





N1	Entrada producto
N2	Salida producto
N3	Rebose
N4	Boca de hombre
N5	Drenaje
N6	Entrada serpentín
N7	Salida serpentín
N8	Indicador nivel bajo
N9	Indicador nivel alto
N10	Transmisor de temperatura
N11	Boca de hombre
N12	Venteo
N13	Venteo emergencia
N14	Venteo emergencia

TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

Ingeniero:

Juan José Muñoz Marchena

PROPIEDAD  Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA

Universidad de Sevilla

SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras

PLAND Nº DESCRIPCIÓN

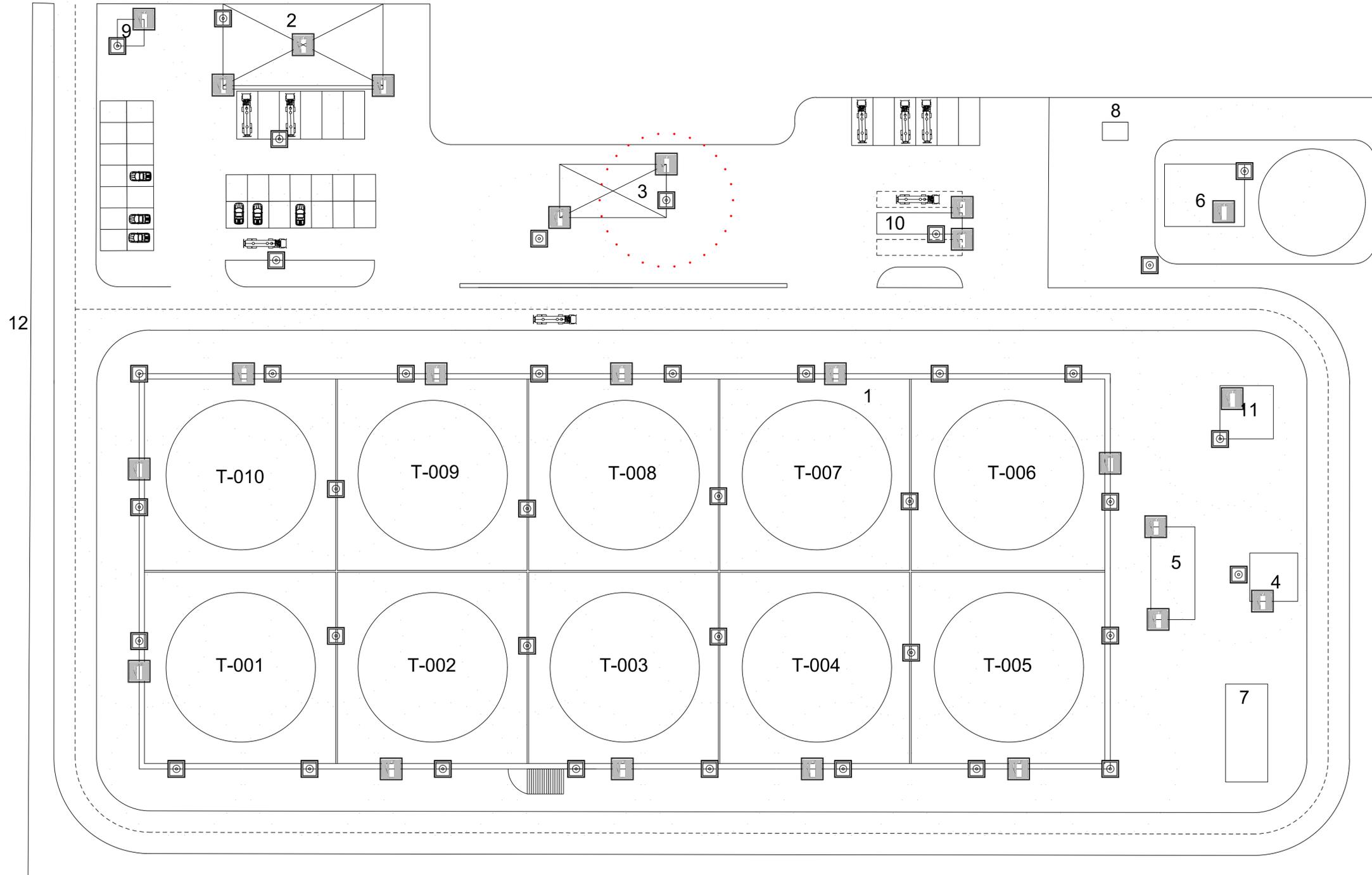
05

Plano de dimensiones y tubuladuras del tanque de combustible

FECHA

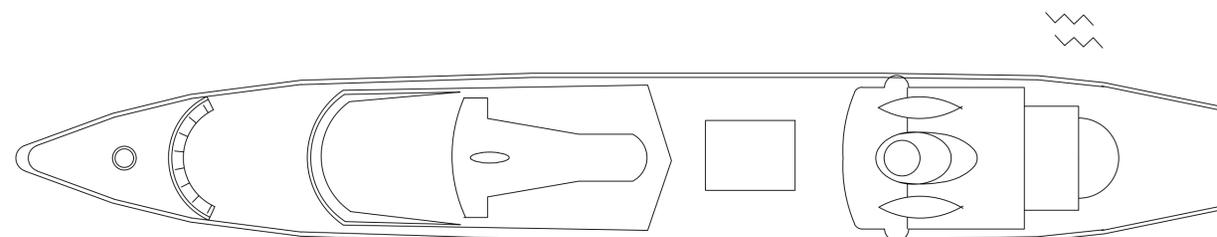
Sevilla, Julio 2021

ACCESO



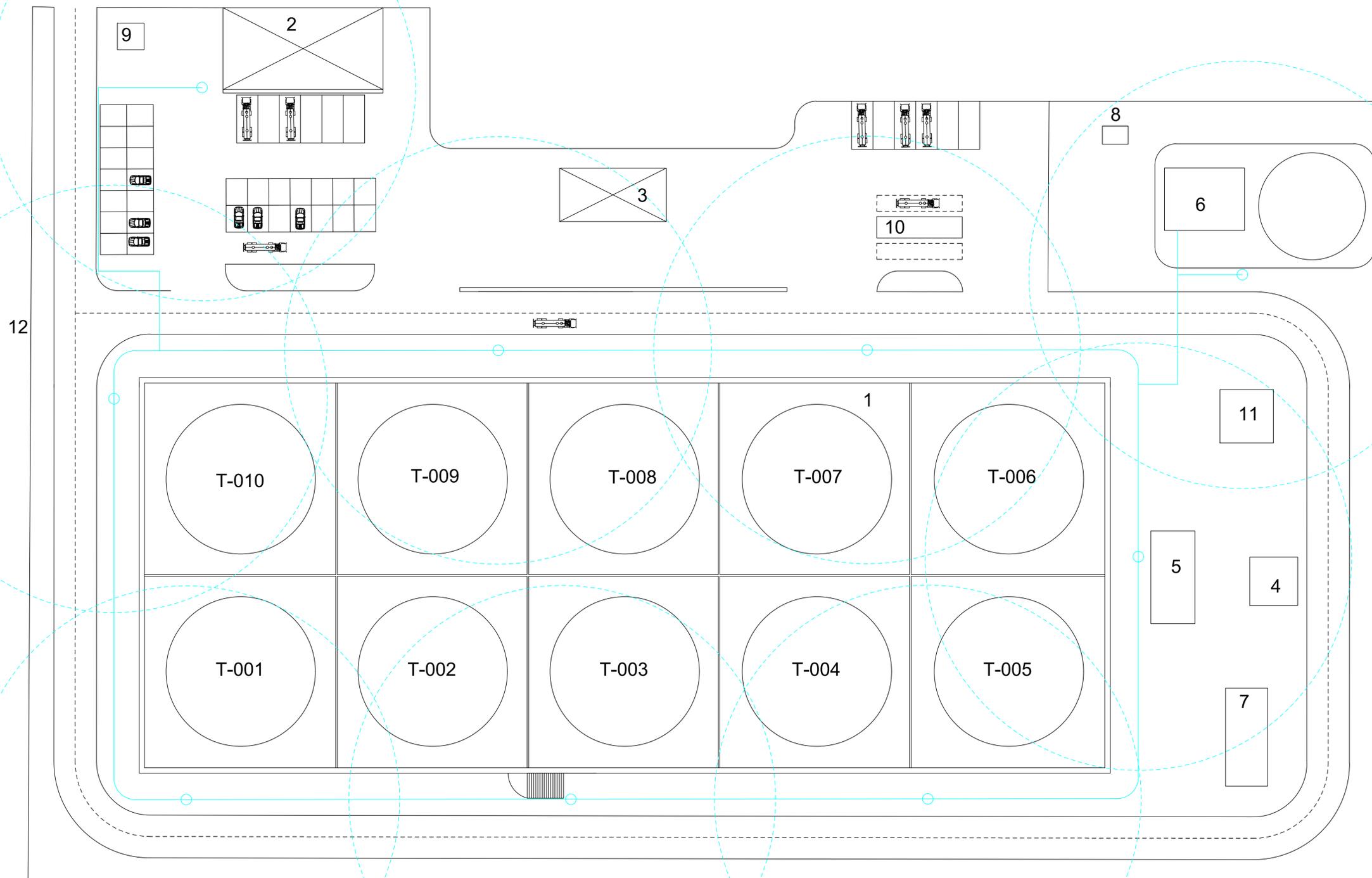
1	Cubeto de retención
2	Edificio administrativo
3	Nave almacén
4	Sala de control
5	Estación bombeo combustible
6	Estación bombeo contra incendios
7	Balsa separadora
8	Colector entrada combustible a la terminal
9	Caseta vigilancia
10	Cargadero de camiones
11	Central vapor
12	Vallado del parque
	Señalización pulsador alarma
	Señalización extintor

Mar



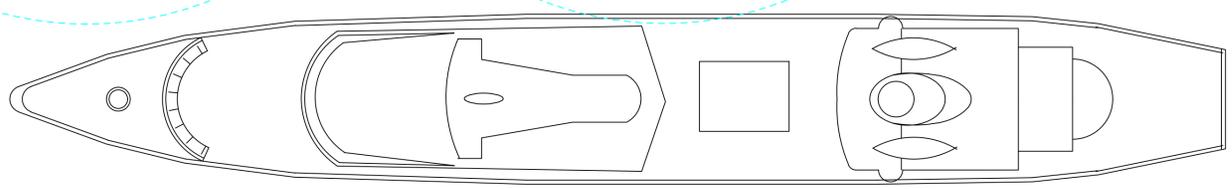
TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	
Ingeniero: Juan José Muñoz Marchena	PROPIEDAD Universidad de Sevilla
SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras	
PLANO N.º 06	DESCRIPCIÓN Señalización pulsador alarma y extintores
FECHA	Sevilla, Julio 2021

ACCESO



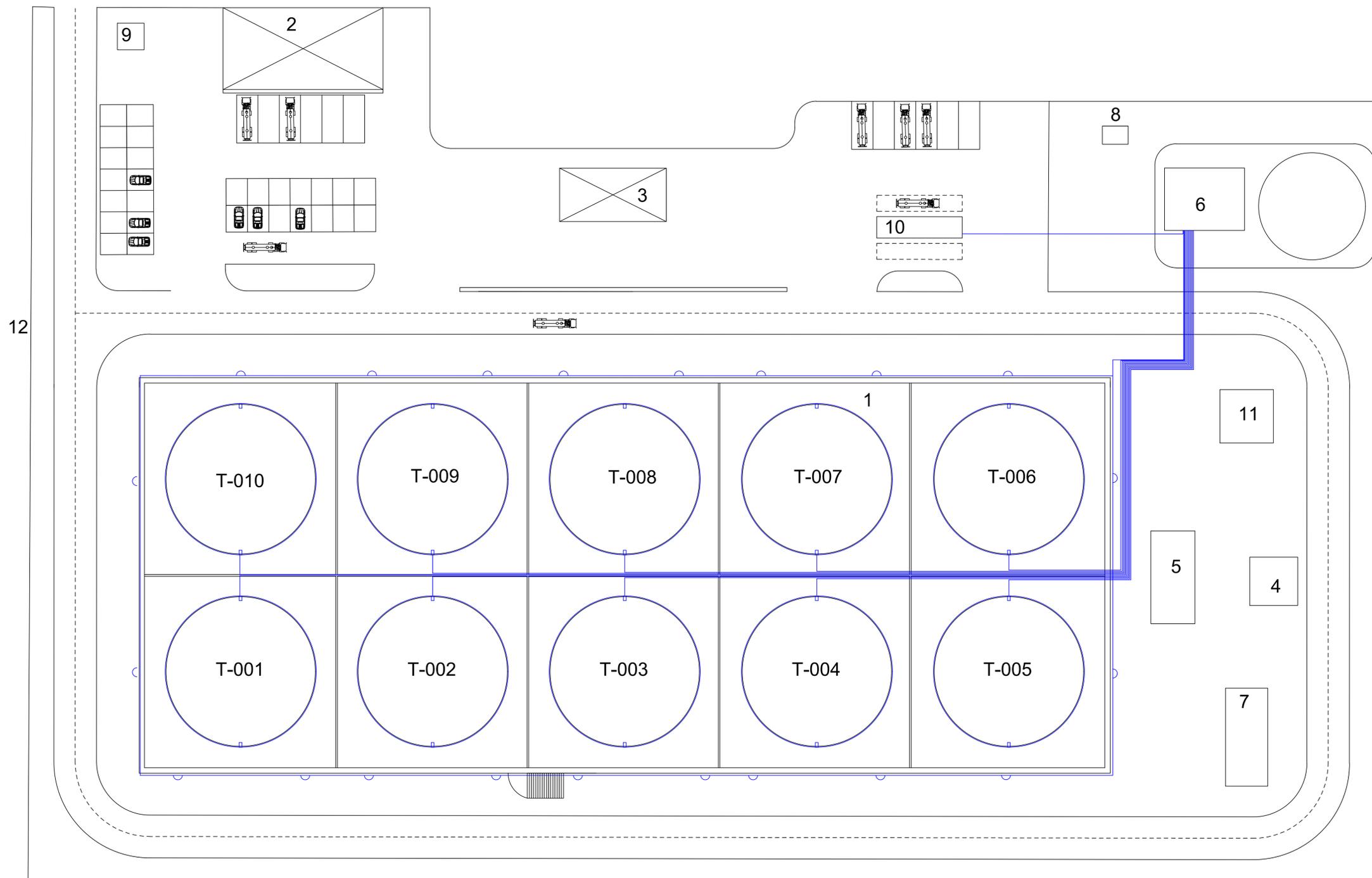
1	Cubeto de retención
2	Edificio administrativo
3	Nave almacén
4	Sala de control
5	Estación bombeo combustible
6	Estación bombeo contra incendios
7	Balsa separadora
8	Colector entrada combustible a la terminal
9	Caseta vigilancia
10	Cargadero de camiones
11	Central vapor
12	Vallado del parque

Mar



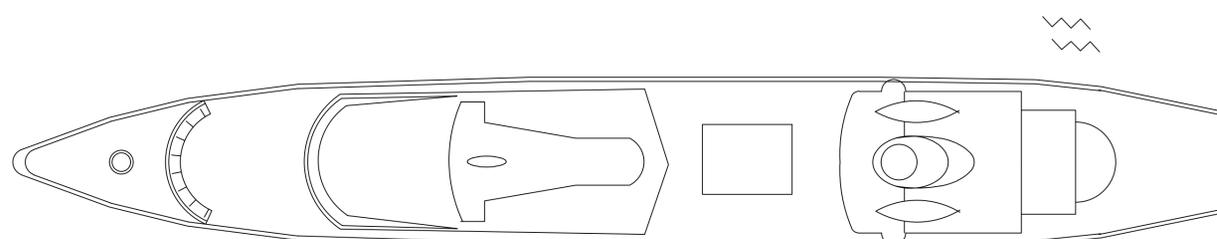
TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	
Ingeniero: Juan José Muñoz Marchena	PROPIEDAD Universidad de Sevilla
SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras	
PLANO N.º 07	DESCRIPCIÓN Señalización de hidrantes exteriores
FECHA	Sevilla, Julio 2021

ACCESO



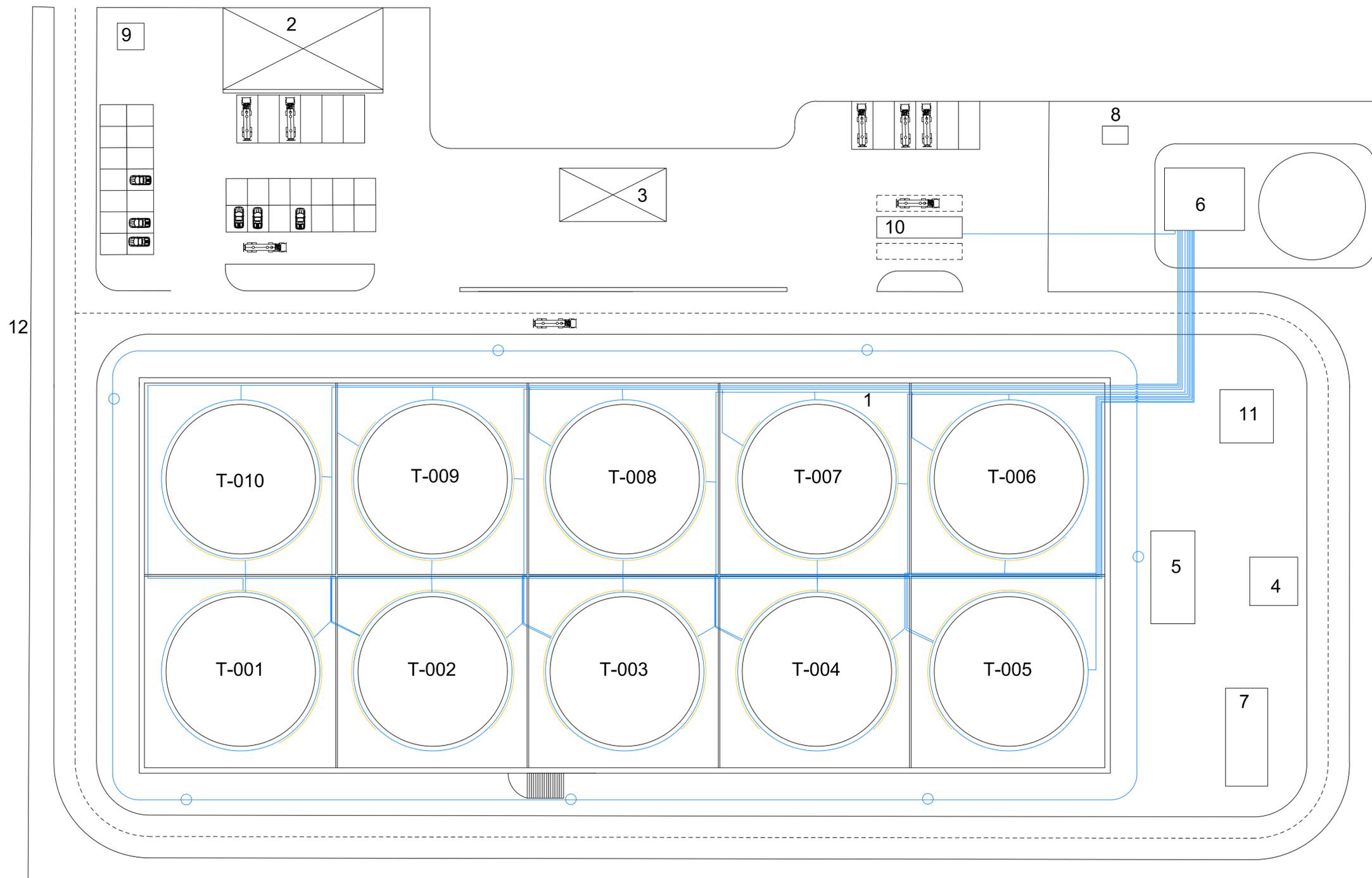
1	Cubeto de retención
2	Edificio administrativo
3	Nave almacén
4	Sala de control
5	Estación bombeo combustible
6	Estación bombeo contra incendios
7	Balsa separadora
8	Colector entrada combustible a la terminal
9	Caseta vigilancia
10	Cargadero de camiones
11	Central vapor
12	Vallado del parque

Mar



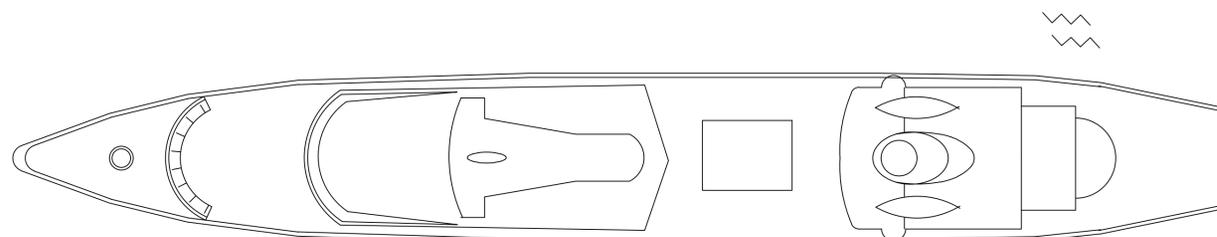
TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	
Ingeniero: Juan José Muñoz Marchena	PROPIEDAD Universidad de Sevilla
SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras	
PLANO N.º 08	DESCRIPCIÓN Red de espuma en tanques
FECHA	Sevilla, Julio 2021

ACCESO

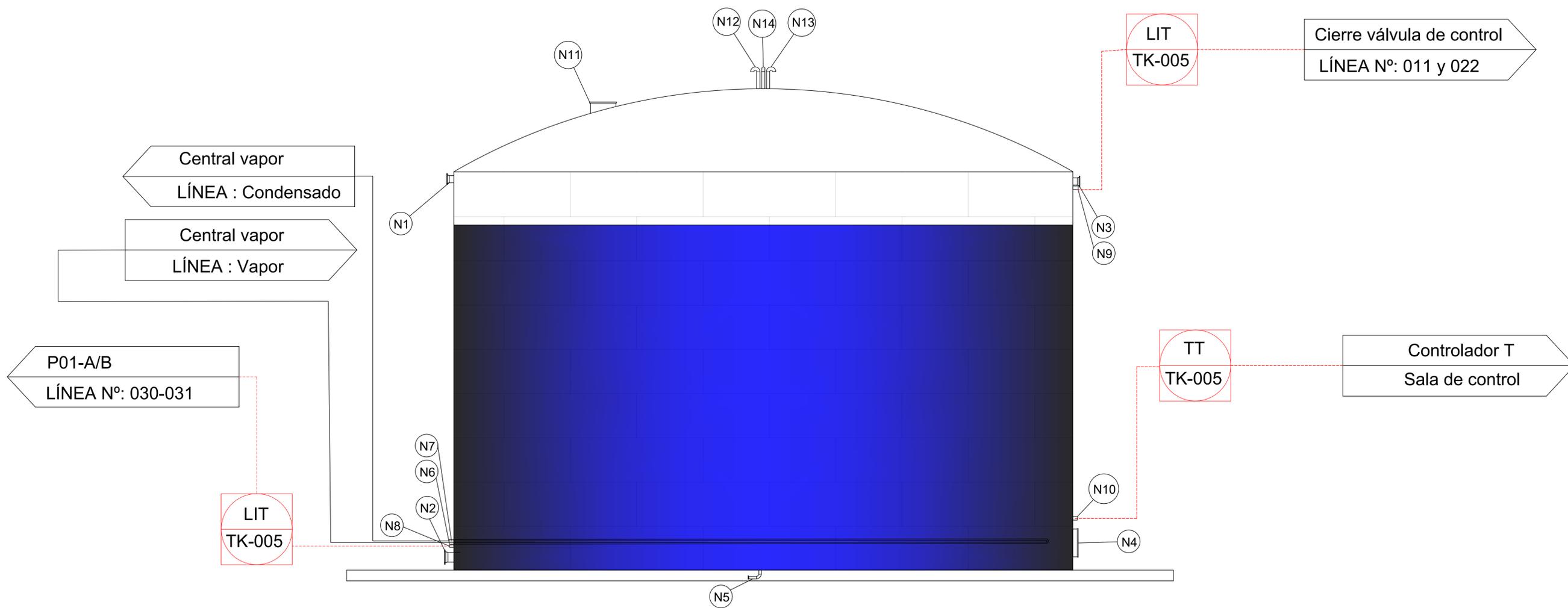


1	Cubeto de retención
2	Edificio administrativo
3	Nave almacén
4	Sala de control
5	Estación bombeo combustible
6	Estación bombeo contra incendios
7	Balsa separadora
8	Colector entrada combustible a la terminal
9	Caseta vigilancia
10	Cargadero de camiones
11	Central vapor
12	Vallado del parque

Mar



<p>TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES</p>	
<p>Ingeniero: Juan José Muñoz Marchena</p>	<p>PROPIEDAD Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA Universidad de Sevilla</p>
<p>SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras</p>	
<p>PLANO N.º 09</p>	<p>DESCRIPCIÓN Red de agua en tanques</p>
<p>FECHA Sevilla, Julio 2021</p>	



TERMINAL PORTUARIA DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

Ingeniero:

Juan José Muñoz Marchena

PROPIEDAD



SITUACION Isla Verde Exterior, Algeciras

PLANO N° DESCRIPCIÓN

10 Sensores del tanque de almacenamiento de combustible

FECHA Sevilla, Julio 2021