



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Proyecto de almacenamiento de productos químicos para
una empresa que fabrica fertilizantes nitrogenados en la
localidad de Ribarroja del Turia (Valencia)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Química

AUTOR/A: Martínez Gandía, Alejandro

Tutor/a: Fuentes Bargues, José Luis

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



TRABAJO DE FIN DE GRADO DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS PARA UNA EMPRESA QUE FABRICA FERTILIZANTES NITROGENADOS EN LA LOCALIDAD DE RIBARROJA DEL TURIA (VALENCIA)

CURSO 2023/2024

AUTOR:

ALEJANDRO MARTÍNEZ GANDÍA

TUTOR:

JOSE LUIS FUENTES BARGUES

RESUMEN

A lo largo del presente Trabajo de Fin de Grado se ha realizado el proyecto de almacenamiento de productos químicos para una empresa productora de fertilizantes en base nitrato amónico que ha tomado la decisión de trasladar su actividad a otro emplazamiento.

En el proceso industrial de producción de este tipo de fertilizantes intervienen una serie de productos químicos con propiedades inflamables y/o corrosivas. El gerente ha facilitado las capacidades de almacenamiento necesarias para cada tipo de producto, a partir de los datos de consumo actuales.

Teniendo en cuenta las propiedades de estos productos y los requerimientos de la empresa, a lo largo del trabajo se ha llevado a cabo el diseño de cada uno de los componentes que harán falta para el correcto almacenamiento de estos productos químicos, cumpliendo la normativa legal vigente.

A parte del diseño de los componentes del nuevo emplazamiento de almacenamiento, se estudian varias alternativas de distribución de los diferentes cubetos en la planta con la finalidad de escoger la opción de almacenamiento óptima, teniendo en cuenta el número de cubetos y el aforo de la planta con el objetivo de que los empleados de la planta puedan trabajar con comodidad. Se justifica, para dicha distribución, el cumplimiento de los diferentes aspectos de la normativa de almacenamiento de productos químicos.

En el trabajo también se incluye el diseño de sistemas de protección y seguridad para las instalaciones. Con el objetivo de minimizar los riesgos y peligros asociados al almacenamiento de sustancias químicas inflamables y corrosivas, de acuerdo con la norma y a los requisitos de la propiedad, se diseñan instalaciones de protección contra rayos y la instalación contra incendios.

Por lo tanto, a lo largo del trabajo desarrolla: el proceso de dimensionado de los componentes de almacenamiento, los planos de la parcela escogida y el presupuesto de construcción del nuevo emplazamiento para la empresa de fertilizantes.

Palabras Clave: Diseño, productos químicos, nitrato de amonio, almacenamiento, seguridad.

RESUM

Al llarg del present Treball de Fi de Grau s'ha realitzat el projecte d'emmagatzematge de productes químics per a una empresa productora de fertilitzants en base nitrats amònics que ha pres la decisió de traslladar la seua activitat a un altre emplaçament.

En el procés industrial de producció d'esta mena de fertilitzants intervenen una sèrie de productes químics amb propietats inflamables i/o corrosives. El gerent ha facilitat les capacitats d'emmagatzematge necessàries per a cada tipus de producte, a partir de les dades de consum actuals.

Tenint en compte les propietats d'estos productes i els requeriments de l'empresa, al llarg del treball s'ha dut a terme el disseny de cadascun dels components que faran falta per al correcte emmagatzematge d'estos productes químics, complint la normativa legal vigent.

A part del disseny dels components del nou emplaçament d'emmagatzematge, s'estudien diverses alternatives de distribució de les diferents cubetes en la planta amb la finalitat de triar l'opció d'emmagatzematge òptima, tenint en compte el nombre de cubetes i l'aforament de la planta amb l'objectiu que els empleats de la planta puguen treballar amb comoditat. Es justifica, per a esta distribució, el compliment dels diferents aspectes de la normativa d'emmagatzematge de productes químics.

En el treball també s'inclou el disseny de sistemes de protecció i seguretat per a les instal·lacions. Amb l'objectiu de minimitzar els riscos i perills associats a l'emmagatzematge de substàncies químiques inflamables i corrosives, d'acord amb la norma i als requisits de la propietat, es dissenyen instal·lacions de protecció contra llamps i la instal·lació contra incendis.

Per tant, al llarg del treball es desenvoluparà: el procés de dimensionament dels components d'emmagatzematge, els plans de la parcel·la triada i el pressupost de construcció del nou emplaçament per a l'empresa de fertilitzants.

Paraules clau: Diseny, productes químics, nitrats amònics, emmagatzematge, seguretat.

ABSTRACT

Throughout this Bachelor's Thesis, the chemical storage project for a fertilizer production company based on ammonium nitrate has been carried out, which has decided to relocate its activity to another location.

In the industrial production process of these types of fertilizers, a series of chemicals with flammable and/or corrosive properties are involved. The manager has provided the necessary storage capacities for each type of product, based on current consumption data.

Taking into account the properties of these products and the company's requirements, the design of each of the components necessary for the proper storage of these chemicals has been carried out throughout the work, complying with current legal regulations.

In addition to the design of the components of the new storage location, various alternatives for the distribution of the different containers in the plant are studied in order to choose the optimal storage option, considering the number of containers and the capacity of the plant with the aim that the plant employees can work comfortably. The justification for this distribution lies in compliance with the various aspects of the chemical storage regulations.

The work also includes the design of protection and security systems for the facilities. With the aim of minimizing risks and hazards associated with the storage of flammable and corrosive chemicals, in accordance with standards and property requirements, lightning protection facilities and fire protection facilities are designed.

Therefore, throughout the work, the following will be developed: the process of sizing storage components, plans for the chosen plot, and the construction budget for the new location for the fertilizer company.

Keywords: Design, chemical products, ammonium nitrate, storage, security.

ÍNDICES

ÍNDICE DE MEMORIA:

1	<i>Introducción</i>	11
2	<i>Objeto y alcance</i>	12
3	<i>Justificación</i>	13
4	<i>Normativa de aplicación</i>	14
5	<i>Emplazamiento</i>	15
6	<i>Descripción del proceso y de los productos químicos a almacenar</i>	17
6.1.	Descripción del proceso	17
6.2.	Descripción de los productos químicos a almacenar	20
6.2.1.	Amoniaco	20
6.2.2.	Ácido nítrico	21
6.2.3.	Ácido sulfúrico	22
6.2.4.	Ácido fosfórico	23
6.2.5.	Dióxido de carbono	24
6.5.6.	Nitrato de amonio	24
7	<i>Clasificación de los productos a almacenar</i>	25
8	<i>Compatibilidad de almacenamiento conjunto</i>	28
9	<i>Diseño del sistema de almacenamiento</i>	30
9.1.	Tanques de almacenamiento	31
9.2.	Cubetos de retención	33
9.3.	Medidas adicionales a instalar en los tanques de almacenamiento	¡Error! Marcador no definido.
9.4.	Cálculo de las distancias de seguridad entre elementos de la instalación y de la planta industrial	38
9.5.	Alternativas de distribución en práctica	44
10	<i>Instalación de almacenamiento</i>	49
10.1.	Movimiento de tierras	49
10.2.	Cimentación de los tanques de almacenamiento	49

10.3. Pavimento	50
10.4. Cerramientos	51
10.5. Instalaciones de carga y descarga	51
10.6. Sistemas de venteo y alivio de presión	54
10.7. Instalación de Protección contra Incendios	55
10.7.1. Evacuación	58
10.7.2. Extintores	60
10.7.3. Sistemas manuales de alarmas de incendios	62
10.7.4. Red de bocas de incendio equipada	63
10.8. Instalación del sistema de protección contra el rayo	70
10.8.1. Diseño del pararrayos con dispositivo de cebado	71
10.8.2. Características del Sistema de Protección Contra el Rayo	76
11 Instrucciones para el uso, conservación y seguridad de la instalación	79
12 Conclusiones	80
13 Bibliografía	80

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1: Clasificación de productos corrosivos	26
Tabla 2: Resumen de peligrosidad de los productos químicos	28
Tabla 3: Numero de depósitos y capacidades requeridas	31
Tabla 4: Características de los depósitos seleccionados	32
Tabla 5: Dimensiones de los cubetos de retención	38
Tabla 6: Distancias entre instalaciones fijas, en metros	40
Tabla 7: Coeficientes de reducción por capacidad	41
Tabla 8: Coeficientes multiplicadores	41
Tabla 9: Coeficientes reductores por medidas de protección adicionales	41
Tabla 10: Distancias de seguridad para productos inflamables	42
Tabla 11: Distancias entre instalaciones, en metros	43
Tabla 12: Distancias definitivas, en metros	43
Tabla 13: Tabla del coeficiente de peligrosidad por combustión	56
Tabla 14: Parámetros para el cálculo de la densidad de carga	57
Tabla 15: Riesgo intrínseco	58
Tabla 16: Salidas de evacuación	58
Tabla 17: Dotación de extintores por carga de fuego clase A	61
Tabla 18: Tipos de BIE	64
Tabla 19: Cálculo del factor de fricción adimensional	69
Tabla 20: Determinación del coeficiente C_1	74
Tabla 21: Determinación del coeficiente C_2	74
Tabla 22: Determinación del coeficiente C_3	74
Tabla 23: Determinación del coeficiente C_4	75
Tabla 24: Determinación del coeficiente C_5	75
Tabla 25: Determinación del nivel de protección según la eficiencia	76
Tabla 26: Determinación de distancia D	76

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1: Plano de ubicación de la parcela	15
Figura 2: Detalle de la parcela	16
Figura 3: Pictogramas de seguridad del amoniaco	21
Figura 4: Pictogramas de seguridad del ácido nítrico	22
Figura 5: Pictograma de seguridad del ácido sulfúrico	23
Figura 6: Pictograma de seguridad del ácido fosfórico	23
Figura 7: Pictograma de seguridad del dióxido de carbono	24
Figura 8: Pictogramas de seguridad del nitrato de amonio	25
Figura 9: Cubeto 1	34
Figura 10: Cubeto 2	35
Figura 11: Cubeto 3	36
Figura 12: Cubeto 4	37
Figura 13: Depósitos de CO ₂	38
Figura 14: Alternativa 1 de distribución en planta	45
Figura 15: Alternativa 2 de distribución en planta	46
Figura 16: Alternativa 3 de distribución en planta	48
Figura 17: Distribución de planta con canalizaciones	53
Figura 18: Planos salidas de emergencia	59
Figura 19: Plano de extintores	61
Figura 20: Plano sistema de alarma de incendios	63
Figura 21: Plano Boca de Incendio Equipadas	64
Figura 22: Mapa de densidad de impactos sobre el terreno	72
Figura 23: Superficie de captura equivalente, A_e	73
Figura 24: Plano con ubicación del pararrayos	77
Figura 25: Volumen protegido por pararrayos con sistema de cebado	78

MEMORIA

1 Introducción

El correcto almacenamiento de productos químicos, en la industria de fertilizantes como cualquier otra, tiene una gran importancia desde el punto de vista de la seguridad laboral, así como del impacto ambiental. Las empresas dedicadas a la producción de fertilizantes, como es el caso de la fábrica objeto de estudio de este trabajo de fin de grado, tienen la responsabilidad de gestionar una amplia gama de sustancias químicas, la mayoría de las cuales pueden resultar perjudiciales para la salud o el medioambiente si no se almacenan y manipulan de la forma adecuada.

Los fertilizantes son esenciales para la agricultura a nivel global ya que estos proporcionan los nutrientes al suelo que necesitan las plantas y los cultivos para alimentarse. La mayoría de estos están compuestos por mezclas de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en distintas proporciones. El sector de los fertilizantes se ve altamente relacionado con la demanda de alimentos a nivel mundial, debido al continuo aumento de la demanda de estos. La industria de producción de fertilizantes tiene la responsabilidad de implementar una mejora continua en tanto en volumen como en cantidad de producción, así como de garantizar la seguridad en todas las etapas de su cadena de suministro.

En el caso de la empresa objeto de estudio, se dedica en gran medida a la fabricación de fertilizantes nitrogenados. Dichos fertilizantes poseen hasta un 99% en composición de componentes nitrogenados, por lo que en sus instalaciones se encontrarán principalmente sustancias necesarias para la síntesis de derivados de amonio como: el ácido nítrico, ácido sulfúrico, amoníaco o ácido fosfórico. Dichas sustancias químicas poseen propiedades corrosivas, inflamables y/o tóxicas, por lo que su manipulación inadecuada o almacenamiento incorrecto implican enormes riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Debido a esta problemática existente en toda la industria, existe una norma que clasifica cada sustancia según su componente de peligrosidad y regula su almacenamiento, teniendo en cuenta todos los factores de seguridad necesarios.

Mediante el proyecto de almacenamiento de productos químicos que se realiza en este trabajo de fin de grado se busca obtener una distribución de los recipientes que contienen sustancias peligrosas en planta que sea lo más segura y eficiente posible, justificando el cumplimiento de los diferentes aspectos de la normativa y con su respectivo diseño de planta y presupuesto.

2 Objeto y alcance

En este Trabajo de Fin de Grado se ha realizado el diseño del almacenamiento de los productos químicos de una empresa que se dedica a la producción de fertilizantes con base nitrogenada que ha tomado la decisión de trasladar su actividad a un nuevo emplazamiento en el polígono industrial El Oliveral de Ribarroja del Turia. Dicho diseño debe tener la capacidad necesaria para almacenar las cantidades de producto requeridas por el gerente, además de cumplir con la normativa legal existente y las especificaciones de seguridad adicionales indicadas por la empresa.

Con el fin de introducir los productos químicos de interés, se van a analizar brevemente los diferentes procesos de síntesis empleados para la obtención de cada uno de los cuatro tipos de fertilizantes que fabrica la empresa. Dichos productos químicos ejercen el papel de materia prima en el proceso de fabricación y su almacenamiento es el objetivo final de este trabajo. Por ello, es vital realizar un estudio completo de cada sustancia teniendo en cuenta si existe alguna incompatibilidad con las demás o si se requiere de alguna medida de seguridad adicional.

El gerente ha proporcionado, según los datos de consumo del anterior emplazamiento, las capacidades de almacenamiento necesarias para cada producto, las cuales se indican en los apartados siguientes.

Además, por parte de la empresa se establecen las siguientes limitaciones respecto a los depósitos de almacenamiento:

- Se quiere que todos los depósitos sean verticales y cilíndricos.
- Por seguridad, los depósitos no deben de almacenar un volumen de producto superior al 85% de su capacidad.
- Todos los depósitos han de estar en la superficie de la parcela.

El Trabajo de Fin de Grado se va a estructurar en tres documentos diferenciados: memoria, presupuesto y planos.

En la memoria se va a realizar un estudio completo de las sustancias químicas involucradas, así como el dimensionado completo del parque de almacenamiento incluyendo los cubetos, cargaderos, el cálculo de las diferentes distancias a los elementos de la parcela, etcétera. Se incluye también la selección de los diferentes depósitos a partir del catálogo de los fabricantes BIOTANKS y LAPESA junto con la justificación del cumplimiento de los diferentes aspectos de la normativa de almacenamiento de productos químicos (ITC-MIE APQ). Además, se van a estudiar varias alternativas de distribución de planta, escogiendo la mejor de estas. Por último, la memoria también incluye el diseño de las instalaciones de protección contra el rayo de la planta y el diseño de la instalación de protección contra incendios.

En cuanto al presupuesto, se va a llevar a cabo mediante el software "Arquímedes" y con la ayuda de bases de datos de precios. El apartado de planos reunirá todos los diseños realizados a lo largo de la memoria.

A modo de resumen, el alcance del trabajo sería el siguiente:

- Estudio de las sustancias.
- Dimensionado del parque de almacenamiento: cubeto, cargaderos, distancias, etc.
- Justificación del cumplimiento de los aspectos de la normativa de APQ.
- Selección del catálogo de fabricantes.
- Distribución en planta
- Diseño de instalaciones de protección contra el rayo y protección contra incendios
- Diseño de instalaciones de recogida de aguas sucias en la zona de cargadero.

3 Justificación

Mediante la realización de este Trabajo de Fin de Grado, se busca implementar algunos de los conocimientos adquiridos en las múltiples disciplinas ingenieriles cursadas a lo largo del grado de Ingeniería Química. A partir de unos requerimientos marcados por el promotor del proyecto, a la vez ficticio cliente que pretende trasladar el emplazamiento de la actividad de su empresa, se busca satisfacer dichos requerimientos de una forma que a su vez cumpla con las normas de seguridad existentes.

Este TFG, aunque basado en un caso académico hipotético, es un ejemplo de la tarea que podría llevar a cabo un graduado en ingeniería química en el ámbito laboral, en el que se emplean los conocimientos técnicos y aptitudes adquiridas durante el grado para realizar un proyecto lo más completo posible sobre la seguridad en las instalaciones, optimizando el uso de la información disponible y con el mínimo coste final posible.

4 Normativa de aplicación

Para efectuar el almacenamiento de sustancias químicas peligrosas de manera apropiada existe un reglamento en el cual se reúnen de manera detallada tanto el marco normativo general como las instrucciones técnicas complementarias que se necesitan para cada tipo de sustancia. Estas normas e instrucciones se han adaptado y evolucionado a lo largo del tiempo. Actualmente, el marco normativo que aplica es el estipulado en el Real Decreto 656/2017, en el cual se define el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (RAPQ) junto con sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC MIE APQ), las cuales están numeradas de la 0 a la 10.

Para el caso que ocupa este TFG, en el cual se van a almacenar las sustancias necesarias para la fabricación de fertilizantes nitrogenados, adquieren mayor importancia y se va a recurrir a las siguientes ITC:

- ITC MIE APQ 0: "Definiciones generales"
- ITC MIE APQ 1: "Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en recipientes fijos"
- ITC MIE APQ 6: "Almacenamiento de líquidos corrosivos en recipientes fijos"
- ITC MIE APQ 7: "Almacenamiento de líquidos tóxicos en recipientes fijos"
- ITC MIE APQ 8: "Almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno"

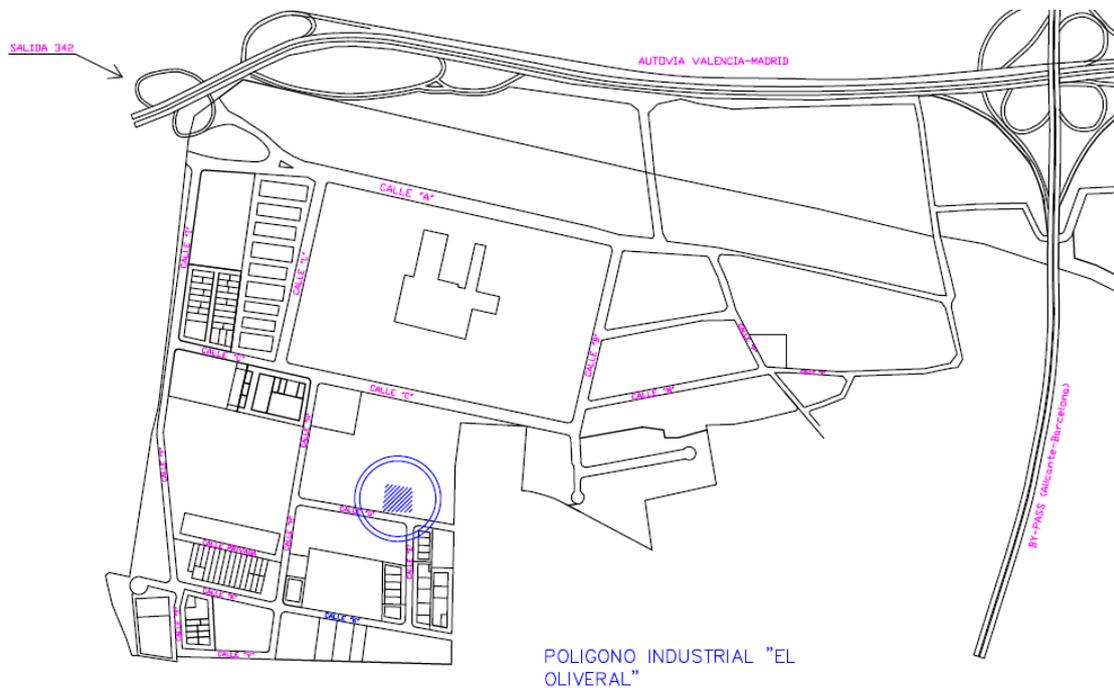
Adicionalmente, con el fin de diseñar de acuerdo con el marco legal actual el resto de las instalaciones mencionadas en el alcance del trabajo, se aplican las siguientes normativas:

- RD 2267/2004, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales.
- RD 513/2017, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- RD 809/2021, ITC EP-4: aplica a las condiciones de instalación de equipos criogénicos, con volúmenes superiores a 1.000 litros de capacidad, destinados a almacenamiento de gases criogénicos como, en este caso, el CO₂.
- La sección 8 del Documento Básico de seguridad de utilización y accesibilidad: Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo (SUA 8).
- UNE 21186:2011 de Protección contra el rayo (versión corregida en 2019): Pararrayos con dispositivo de cebado.

5 Emplazamiento

El nuevo emplazamiento que ha escogido el gerente de la empresa para establecer la fábrica de fertilizantes es una nave ubicada en la calle G del polígono industrial "El Oliveral" de Ribarroja del Turia, en la provincia de Valencia. Dicha zona posee una alta actividad industrial, albergando un total de nueve polígonos industriales diferenciados. En la Figura 1 se puede observar una vista general de la situación de la parcela en el conjunto del polígono industrial.

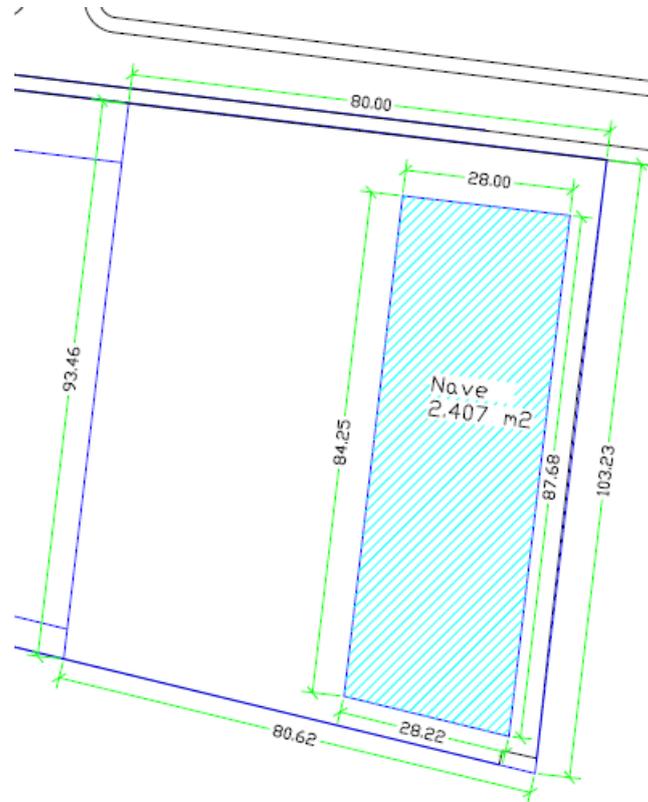
Figura 1: Plano de ubicación de la parcela Fuente: Elaboración propia



En la Figura 2 se puede observar de forma más detallada un plano de la parcela y sus dimensiones:

Figura 2: Detalle de la parcela

Fuente: Elaboración propia



En la Figura 2 se observa la parcela disponible, con una extensión superior a los 7500 m². La parcela cuenta con vallado exterior y la edificación de una nave de 2407 m² acondicionada con instalaciones y sanitarios.

El acceso a la nave por carretera se puede efectuar desde diferentes vías de acceso a la Avenida Dels Fusters: la autovía A3, que conecta Valencia-Madrid, las carreteras A7/AP7 y E15, que conectan toda la extensión de la costa del Mediterráneo y la CV 374. Esta ubicación facilita la distribución de la producción industrial que efectúe la empresa mediante la red de carreteras del estado. Además, esta ubicación tiene acceso directo a puntos clave para la distribución internacional mediante tren, avión o barco a una distancia máxima de no más de 35 km de radio.

6 Descripción del proceso y de los productos químicos a almacenar

6.1. Descripción del proceso

Las plantas, a diferencia de los humanos, no necesitan complejos del tipo de las vitaminas o los aminoácidos para nutrirse. En su lugar, estas sintetizan todo lo que precisan a partir de unos pocos elementos químicos que absorben directamente de los alrededores de donde estén ubicadas. Por desgracia, en la mayoría de los casos los suelos naturales no reúnen todos estos elementos (o nutrientes) que son necesarios para el crecimiento de determinados cultivos. Como solución a esta falta de nutrientes, los agrícolas desde la antigüedad han implementado el uso de “suplementos nutricionales”, a modo de abonos o fertilizantes, capaces de enriquecer los suelos de los que querían obtener fruto. Un fertilizante es, por lo tanto, aquella sustancia que contiene y es capaz de proporcionar estos elementos de una forma asimilable al suelo del que se nutren las plantas.

Los elementos químicos que son requeridos por las plantas se pueden clasificar en macronutrientes y micronutrientes. Los primeros se encuentran en mayor cantidad en la planta y los segundos en menor, del orden de partes por millón. Todos estos son esenciales para el crecimiento de las plantas, en diferentes cantidades en función de la especie. Más concretamente, estos nutrientes se clasifican en:

- Carbono, Hidrogeno y Oxígeno: Son tomados por la planta mediante la respiración, la fotosíntesis y a través del agua. Como estos macronutrientes son obtenidos a través del aire y del agua, no suele ser necesario que se aporten mediante fertilizantes.
- Macronutrientes primarios (N-P-K): El Nitrógeno, Fosforo y Potasio son los nutrientes que la planta requiere en mayor cantidad y que, salvo alguna excepción, sólo pueden obtener directamente del suelo, por lo que es vital su aporte mediante el uso de fertilizantes.
- Macronutrientes secundarios: Como son el Calcio, el Magnesio y el Azufre, los cuales también son esenciales para la planta, pero en menor volumen que los principales.
- Micronutrientes: Necesarios para la planta, pero aun en menor cantidad que los macronutrientes secundarios. Estos nutrientes se requieren en cantidades de parte por millón, y están formados mayormente por elementos metálicos como el Hierro, Zinc, Cobre, níquel, etcétera.

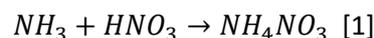
La empresa de fertilizantes para la cual se efectúa el proyecto de almacenamiento de productos químicos se encarga de producir fertilizantes ricos en macronutrientes primarios, los conocidos como fertilizantes NPK. Más concretamente, esta empresa se encarga de producir fertilizantes nitrogenados, es decir, fertilizantes NPK con un muy alto porcentaje en nitrógeno en comparación con el fósforo y el potasio, cuyo porcentaje es nulo o prácticamente nulo. De hecho, el 50% de la actividad productiva de la empresa está destinada a la obtención de nitrato de amonio, bien para su uso directo como fertilizante o para ser empleado por terceros para la obtención de otros fertilizantes NPK. El resto de la actividad productiva de la empresa se destina,

en partes iguales, a la obtención de otros tres fertilizantes. Dos de estos fertilizantes, la urea y el sulfato de amonio, también contienen un alto contenido en nitrógeno, siendo el tercero un fertilizante NPK con alto contenido en nitrógeno y considerable contenido en fósforo. A continuación, se incluye una breve introducción de los diferentes fertilizantes fabricados por la empresa junto al método de fabricación de cada uno de estos. Sin embargo, no se va a profundizar en este último, pues determinar las condiciones de operación de la síntesis de los fertilizantes no es el fin que ocupa este TFG. Se asume un proceso de fabricación eficaz y eficiente, haciendo énfasis en el adecuado almacenamiento de las materias primas involucradas en este proceso y, si fuera necesario, en los productos obtenidos de estos.

Nitrato de amonio

El nitrato amónico o nitrato de amonio (NH_4NO_3) es uno de los fertilizantes de mayor importancia en la actualidad. Este está etiquetado con el código de fertilizantes NPK 34-0-0, el cual hace referencia a que su contenido es de un 34% en nitrógeno y de un 0% en el resto de las macronutrientes principales. El NH_4NO_3 es una sal incolora formada por iones nitrato y amonio, por lo que es un compuesto altamente soluble en agua. Este fertilizante seco puede aplicarse directamente en el suelo o bien emplearse como componente en fertilizantes mezclados a granel o compuestos NPK. El nitrato de amonio es el fertilizante nitrogenado más eficaz, rápido y eficiente, debido a que otros fertilizantes nitrogenados deben someterse a una conversión en el suelo antes de poder ser absorbido por la planta. Además, este fertilizante es más resistente a la pérdida de nitrógeno en la atmósfera que otros fertilizantes nitrogenados como la urea.

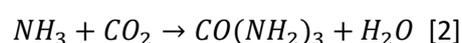
Para la obtención de este fertilizante en planta, la empresa emplea el método industrial habitual de síntesis para la obtención del compuesto. Para llevar a cabo la obtención del NH_4NO_3 , la empresa dedica uno de sus reactores en llevar a cabo la reacción entre amoniaco anhidro y ácido nítrico.



Urea

La urea (NH_2CONH_2) es otro de los fertilizantes con mayor contenido en nitrógeno del mercado, siendo entre los fertilizantes nitrogenados una de las opciones más económicas del mercado. Suele comercializarse en forma de gránulos sólidos y se puede aplicar de manera directa al suelo o irrigado en forma diluida gracias a su elevada solubilidad en agua. Este fertilizante orgánico actúa como una eficaz fuente de macronutrientes para los suelos de cultivo, sin embargo, y a diferencia del nitrato de amonio, el compuesto ha de sufrir transformaciones para liberación de su contenido. La hidrólisis de la urea y la posterior oxidación del amonio liberan protones que acidifican el suelo, por lo que el uso continuado de este fertilizante descalcifica los suelos. Debido a esto, es recomendable su uso en suelos neutros y suelos ligeramente alcalinos o usarlo en la etapa de pre-abonado, incorporándolo en el suelo previo a la siembra.

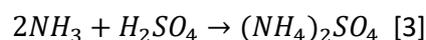
Para la obtención en planta de este fertilizante nitrogenado, se emplean de nuevo las reservas de amoniaco de la empresa para hacer reacción con dióxido de carbono en un reactor a alta presión y temperatura.



Sulfato de amonio

El sulfato de amonio ((NH₄)₂SO₄) ha sido históricamente uno de los fertilizantes nitrogenados más empleados, aunque de manera progresiva en los últimos años, está siendo sustituido por el nitrato amónico debido a sus mejores propiedades. Este es un fertilizante clave, ya que a su alto contenido en nitrógeno se le suma el contenido en azufre, por lo que aporta dos macronutrientes a los suelos agrícolas en los que son empleados. Además, la totalidad del nitrógeno que contiene el (NH₄)₂SO₄ es en forma amoniacal, lo que favorece la asimilación por parte de las plantas.

En planta, la obtención de este compuesto como fertilizante se efectúa mediante la síntesis de amoníaco con ácido sulfúrico.



Fertilizante NPK

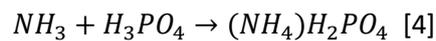
Los fertilizantes NPK, o ternarios, deben su nombre al contenido que presentan de los tres macronutrientes principales: Nitrógeno(N), Fósforo(P) y Potasio(K). Como ya se ha mencionado, estos elementos son indispensables para el crecimiento de las plantas y por lo tanto son ampliamente empleados en el sector agrícola, pues con un único fertilizante se consigue suministrar a la planta gran parte del sustento que requiere. Actualmente en el mercado existe gran diversidad de este tipo de fertilizantes, los cuales han sido etiquetados mediante un sistema de tres números que hacen referencia a su contenido en estos tres macronutrientes, el primero hace referencia a su contenido en N₂, el segundo a la forma oxidada del fósforo y el tercero a la de potasio. Un ejemplo es el previamente mencionado caso del nitrato amónico, cuya etiqueta es NPK 34:0:0.

Hasta este punto del trabajo, se han resaltado principalmente las ventajas que aporta el uso de fertilizantes nitrogenados como medida de suplemento agrícola, sin embargo, cabe mencionar que la elección de un fertilizante frente a otro viene determinada por los requerimientos nutricionales de cada tipo de planta. Nutrir la con el fertilizante correcto o con la combinación adecuada de estos es de vital importancia, pues cada uno de los tres macronutrientes principales desarrolla una función. Por un lado, las plantas asimilan el nitrógeno del suelo en forma de iones nitrato o iones amonio, los cuales dentro de la planta pasan a formar aminoácidos y proteínas colaborando en el factor de crecimiento y regeneración de la planta. Por otro lado, el fósforo ejerce un papel fundamental en los mecanismos de transferencia de energía de la planta. Este elemento es útil en todas las fases del cultivo, pues es un factor clave en el proceso de fotosíntesis y del crecimiento de las raíces. Además, este elemento es deficiente en gran parte de los terrenos de cultivo naturales, por lo que es de gran utilidad implementarlo en la fase de abonado. Por último, el potasio asimilado por las plantas se encarga de participar en la absorción de agua del vegetal. Tiene un rol clave en el balance hídrico de la planta, encargándose de sintetizar tanto carbohidratos como proteínas.

Conscientes de la importancia de este tipo de fertilizantes, la empresa de fertilizantes nitrogenados ha implementado recientemente en su catálogo de ventas un tipo nuevo de fertilizante. Con el fin de no aumentar en más de un producto químico adicional el número de sustancias que ha de controlar y almacenar, y tras un estudio de mercado, la empresa ha

decidido implementar en su actividad de producción la fabricación de un fertilizante NPK binario. Dicho fertilizante es el fosfato monoamónico (MAP), con etiqueta NPK 11:52:0, el cual es uno de los más concentrados del mercado y es capaz de proporcionar a los cultivos fósforo y nitrógeno en formas fácilmente asimilables.

En cuanto a su fabricación en planta, se emplea un método de síntesis común, haciendo reaccionar amoníaco con ácido fosfórico en relación estequiométrica uno a uno:



6.2. Descripción de los productos químicos a almacenar

Como se ha visto, los fertilizantes son de gran utilidad e interés en la industria agrícola. La empresa que ocupa este trabajo se encarga de fabricar diferentes tipos de fertilizantes, en la obtención de los cuales se emplean varias sustancias químicas con propiedades peligrosas. A continuación, se incluye una descripción detallada de cada materia prima mencionada en la fabricación de los fertilizantes, junto con sus características y peligros.

6.2.1. Amoníaco

El amoníaco (NH₃) es el producto químico que almacena la empresa en mayor volumen, ya que es empleado para la fabricación de los cuatro tipos de fertilizantes que se fabrican. Al tener el amoníaco puro un punto de ebullición de -33 °C, este se comercializa en forma de disolución, con un 30% de amoníaco.

En aspecto, esta sustancia se presenta como un líquido mayormente incoloro, con un tono amarillo claro y un olor picante muy característico. Sus propiedades físicas son las siguientes:

- Punto de ebullición: 27 °C
- Densidad: 0.89 g/cm³
- Miscible en agua en cualquier proporción
- Presión de vapor a 20 °C: 659 hPa

Este compuesto es estable en condiciones ambientales normales de temperatura y presión durante su almacenamiento. Los principales peligros químicos asociados a esta sustancia son:

- Corrosividad para los metales
- Los vapores liberados pueden formar mezclas explosivas con el aire. El producto en sí no es combustible.

Debido a su carácter corrosivo, la sustancia puede presentar efectos y síntomas en caso de inhalación, ingesta o contacto. Estos efectos pueden ser: peligro de ceguera y lesiones oculares graves, en caso de contacto prolongado con los ojos; peligro de perforación de esófago y estómago, en caso de ingesta; irritación de la piel, tos y ahogos.

En caso de producirse un incendio, deberá emplearse agua pulverizada, espumas o polvos extinguidores para extinguir las llamas, estando contraindicado el uso de chorro de agua directo. Además, en caso de incendio pueden formarse óxidos de nitrógeno, los cuales son extremadamente tóxicos.

Los pictogramas de seguridad del amoniaco se muestran en la Figura 3:

Figura 3: Pictogramas de seguridad del amoniaco

Fuente: Fichas de Seguridad Química



6.2.2. Ácido nítrico

El ácido nítrico (HNO_3) se comercializa en forma de disolución a una concentración de aproximadamente el 70% en peso de HNO_3 . Al igual que el amoniaco, este es un líquido principalmente incoloro con una leve tonalidad amarilla claro que desprende un fuerte olor picante.

No es una sustancia inflamable, pero si comburente, por lo que puede agravar un incendio en el caso de que se produzca y, además, en ese caso pueden producirse óxidos de nitrógeno (NO_x), altamente tóxicos para el medio ambiente. Los métodos de extinción apropiados en caso de incendio son: polvo químico seco, espuma, niebla o rocío de agua. Cualquier agente extintor apropiado a las características del fuego circundante, salvo chorro de agua directo.

El ácido nítrico puede ser corrosivo para los metales y presenta efectos fisicoquímicos adversos para la salud humana. En contacto con la piel puede causar quemaduras graves irreversibles (corrosión cutánea: necrosis focalizada) y, en caso de contacto con los ojos, lesiones oculares graves. Además, los vapores de este ácido son corrosivos para las vías respiratorias.

Es estable en condiciones ambientales normales de presión y temperatura, ha de almacenarse en lugares alejados del calor y de la radiación UV. Algunas de sus propiedades físicas más importantes son las siguientes:

- Punto de ebullición: 120 - 121 °C
- Densidad: 1.40 g/cm³
- Miscible en agua en cualquier proporción
- Presión de vapor a 20 °C: 8.41 kPa

En la Figura 4, se observan sus pictogramas de seguridad:

Figura 4: Pictogramas de seguridad del ácido nítrico

Fuente: Fichas de Seguridad Química



6.2.3. Ácido sulfúrico

El ácido sulfúrico (H_2SO_4) es un líquido oleoso incoloro a ligeramente amarillento con un olor pungente. Es estable en condiciones ambientales normales de presión y temperatura, se comercializa en forma diluida a diferentes concentraciones y ha de almacenarse en lugares alejados de la humedad. Reacciona violentamente con agua, agentes reductores, bases, materia orgánica y combustibles.

Es una sustancia corrosiva para los metales y tóxica para los seres humanos y el medio ambiente. En caso de contacto con la piel produce una lesión irreversible a través de la epidermis alcanzando la dermis. En caso de contacto con los ojos puede producir lesiones oculares graves y en caso de ingesta, lesiones internas.

No es un líquido inflamable, pero en caso de incendio pueden formarse óxidos de azufre (SO_x). Los métodos de extinción apropiados en caso de incendio son: polvo químico seco, espuma, niebla o rocío de agua. Cualquier agente extintor apropiado a las características del fuego circundante, salvo chorro de agua directo.

Las propiedades físicas de este producto son:

- Punto de ebullición: 337 °C
- Densidad: 1.83 g/cm³
- Miscible en agua en cualquier proporción
- Presión de vapor a 20 °C: 0.008 Pa

Su pictograma de seguridad se muestra en la Figura 5:

*Figura 5: Pictograma de seguridad del ácido sulfúrico**Fuente: Fichas de Seguridad Química*

6.2.4. Ácido fosfórico

El ácido fosfórico (H_3PO_4) es un líquido claro, viscoso, translúcido e inodoro. Es una sustancia corrosiva que se suele comercializar de manera diluida en proporciones de aproximadamente el 85% en peso.

Al igual que el ácido sulfúrico, esta sustancia puede causar quemaduras graves en la piel en caso de contacto y lesiones oculares graves. La inhalación de sus vapores es perjudicial y su ingesta puede causar lesiones esofágicas y estomacales graves.

No es una sustancia inflamable, pero en caso de incendio puede producir humos tóxicos de monóxido de carbono óxidos de fósforo. Además, puede liberar hidrógeno altamente inflamable en contacto con metales. Los métodos de extinción apropiados en caso de incendio son: polvo químico seco, espuma, niebla o rocío de agua. Cualquier agente extintor apropiado a las características del fuego circundante.

Sus propiedades físicas más importantes son:

- Punto de ebullición: 407 °C
- Densidad: 1.635 g/cm³
- Solubilidad en agua: 548g/100g
- Presión de vapor a 20 °C: 3.8 Pa

Como se observa en la Figura 6, su pictograma de seguridad:

*Figura 6: Pictograma de seguridad del ácido fosfórico**Fuente: Fichas de Seguridad Química*

6.2.5. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono (CO_2), se emplea para la obtención de urea haciéndolo reaccionar con amoníaco. Este compuesto se encuentra en fase gas a condiciones normales de presión y temperatura, por lo que su almacenamiento se realiza en forma de gas criogenizado licuado a presión.

Es un gas inodoro e incoloro que puede causar asfixia rápida si aumenta su concentración en un habitáculo cerrado, debe de almacenarse en un lugar bien ventilado. El contacto directo con su forma licuada puede provocar congelaciones. Debido a su condición de gas licuado a presión, existe peligro de explosión en caso de calentamiento interno ocasionado por un gradiente de temperatura externo debido a un incendio. Puede emplearse cualquier agente extintor apropiado a las características del fuego circundante.

El conocido gas de efecto invernadero no es inflamable, corrosivo ni directamente tóxico para los seres humanos. Sin embargo, el CO_2 puede causar escalofríos, sudor, visión borrosa, dolor de cabeza e insuficiencia borrosa en caso de inhalación. Además, la exposición a una atmosfera con déficit de oxígeno puede causar vértigos, salivación excesiva, náuseas y pérdida de consciencia.

Las propiedades físico químicas básicas de este gas licuado son:

- Punto de ebullición: $-88.1\text{ }^\circ\text{C}$
- Densidad: 0.0018 g/cm^3 (como vapor)
- Densidad relativa: 0.82
- Solubilidad en agua: 2.00 g/L
- Presión de vapor a $20\text{ }^\circ\text{C}$: 573 hPa

Y su pictograma de seguridad:

Figura 7: Pictograma de seguridad del dióxido de carbono Fuente: Fichas de Seguridad Química



6.5.6. Nitrato de amonio

El nitrato de amonio, principal producto fabricado por la empresa, está clasificado como una sustancia peligrosa debido a sus propiedades comburentes y tóxicas.

Este compuesto irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias en caso de inhalación o contacto. Además, al ser comburente, implica peligro de agravar un incendio e incluso de provocar una explosión en caso de contacto con materias combustibles. Puede producir humos tóxicos de dióxido de nitrógeno, amoníaco y productos de combustión incompleta en caso de incendio. Los métodos de extinción apropiados son la niebla o rocío de agua en grandes cantidades

El NH_4NO_3 físicamente tiene forma de cristales blancos higroscópicos inodoros. Es estable en condiciones normales de presión y temperatura. Se descompone a 210 °C liberando óxido nitroso. Sus propiedades físicas más importantes son:

- Punto de fusión: 169.7 °C
- Punto de ebullición: 200 °C – 260 °C (se descompone)
- Densidad: 1.72 g/cm³
- Solubilidad en agua: 190g/100g

Sus pictogramas de seguridad son:

Figura 8: Pictogramas de seguridad del nitrato de amonio Fuente: Fichas de Seguridad Química



7 Clasificación de los productos a almacenar

A fin de conocer la peligrosidad de cada producto químico, junto con la normativa actual que se impone para cada uno de estos, las sustancias son clasificadas en función de su peligrosidad potencial. A partir de la ficha de seguridad (FDS) de cada producto químico descrito en el apartado anterior, se ha obtenido información sobre las características de cada uno de ellos, reconociendo la peligrosidad que representan a partir de sus respectivos pictogramas. El conocimiento de los productos químicos y su correcta clasificación es de vital importancia para poder determinar la compatibilidad de almacenamiento entre sustancias diferentes, así como las distancias que han de respetarse entre los tanques dentro de la instalación y las distancias de seguridad que hay que aplicar.

En función de la clasificación de peligrosidad que le haya sido asignada a un determinado producto químico habrá que proceder según la Instrucción Técnica Complementaria del Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (ITC MIE APQ) que le aplica. A continuación, se clasifican detalladamente, a partir de las instrucciones técnicas correspondientes, las siguientes sustancias: Amoniaco, Ácido nítrico, Ácido sulfúrico, Ácido fosfórico, Dióxido de carbono y Nitrato de amonio.

ITC MIE APQ 1:

Esta ITC aplica al “Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en recipientes fijos”. Cabe resaltar que ninguno de los productos químicos que ocupa este proyecto presenta el pictograma de sustancia inflamable, sin embargo, varios de los productos a almacenar son elevadamente comburentes. A partir de las fichas de seguridad del HNO_3 y del NH_4NO_3 se determina que ambas son consideradas como sustancias comburentes de categoría 3, según el Reglamento (CE) N.º 1272/2008. Como no hay ninguna instrucción técnica complementaria que guíe el almacenamiento de este tipo de sustancias, y puesto que las sustancias comburentes presentan características parecidas, pero menos peligrosas que los productos inflamables y combustibles, se decide aplicar la ITC MIE APQ 1 para el ácido nítrico y el nitrato de amonio.

- El ácido nítrico, del cual se almacenan 18.000 litros, puede asemejarse a un producto inflamable de clase C, la cual hace referencia a los productos con un punto de inflamación comprendido entre 55 °C y 100 °C, la categoría menos restrictiva de la clasificación. No puede clasificarse como una sustancia de tipo A ya que su presión de vapor a 15 °C es menor a 1 bar.
- Así mismo, el nitrato de amonio, del cual se producen aproximadamente 90.000 litros (150 Tm) y tampoco se recoge información de manera específica en ninguna ITC, se asimila a una sustancia inflamable de clase C.

ITC MIE APQ 6:

Esta ITC hace referencia al “Almacenamiento de líquidos corrosivos en recipientes fijos”, los cuales se clasifican de la siguiente forma según el Artículo 3:

Tabla 1: Clasificación de productos corrosivos Fuente: RD 656/2017

Clase de producto APQ	Indicación de peligro	Categoría CLP
1A	H314	1A Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves
1B	H314	1B Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves
1C	H314	1C Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves
	H290	1 Puede ser corrosivo para los metales

Los productos químicos a tener en cuenta en el almacenamiento, de acuerdo con la aplicación de esta instrucción técnica complementaria serán: el amoníaco, el ácido nítrico, el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico. Dichas sustancias presentan distinto grado de peligrosidad y características corrosivas, las cuales se especifican a través de la mencionada clasificación. En cuanto a las medidas de seguridad a aplicar, esta ITC no hace distinción entre las diferentes sustancias corrosivas, a no ser que estas tengan más características peligrosas, en cuyo caso se aplican las medidas más restrictivas.

A partir de las Fichas de Seguridad de cada producto químico, se especifica la clase de producto corrosivo que corresponde en cada caso. Para el caso del amoníaco, se especifican indicaciones de peligro H314 y H290, por lo que es un producto corrosivo 1C. El ácido nítrico, con una capacidad corrosiva mayor que el amoníaco, está clasificada como un producto corrosivo cutáneo 1A. La misma clasificación se aplica para el caso del ácido sulfúrico, producto corrosivo cutáneo 1A. Por último, el ácido fosfórico está clasificado como producto corrosivo 1B.

ITC MIE APQ 7:

Esta ITC hace referencia al “Almacenamiento de líquidos tóxicos en recipientes fijos”. En cuanto a las medidas de seguridad a aplicar, no se especifica ninguna diferencia en función de la sustancia tóxica a almacenar, se trata a todos los productos tóxicos de la misma forma. La ITC MIE APQ 7 diferencia los productos tóxicos según su grado de toxicidad, por lo que, a partir de las fichas de seguridad se determina la clase a la que pertenecen las sustancias que intervienen en el desarrollo del proyecto que nos ocupa a las que aplica esta norma.

Así pues, a partir de la FDS del amoníaco facilitada por una empresa distribuidora de este, se determina una toxicidad de categoría 3 ya que el amoníaco tiene toxicidad específica en determinados órganos (H335). En el caso del nitrato de amonio, de nuevo a partir de su ficha de seguridad, es un producto tóxico de categoría 2, ya que presenta lesiones oculares graves (H319).

ITC MIE APQ 8:

Esta ITC es aplicable para el caso de “Almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno”. Se aplica en las instalaciones de almacenamiento, manipulación, carga y descarga de fertilizantes a base de nitrato amónico sólido de alto contenido en nitrógeno. A partir de las definiciones incluidas en el artículo 3, se entiende por fertilizante en base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno: “Todo producto a base nitrato amónico fabricado para ser usado como abono que tenga un contenido en nitrato amónico de más del 80%. El único producto que se atañe a la definición es el mismo nitrato amónico puro.

En esta ITC no se realiza ningún tipo de clasificación de los diferentes fertilizantes en base nitrato amoníaco, si no que regula aspectos básicos como la especificación de los emplazamientos y distancias que se han de respetar en planta a la hora de realizar un almacenamiento de estos fertilizantes, así como las condiciones en las que se debe realizar dicho almacenamiento y las instalaciones de seguridad que se requieren.

ITC EP-4 (RD 809/2021):

Por último, para el almacenamiento del dióxido de carbono como gas criogenizado retenido a altas presiones, hay que recurrir a la Instrucción Técnica Complementaria que le atañe incluida en el Real Decreto 809 del 2021 en el que se establecen las condiciones de instalación de equipos criogénicos, con volúmenes superiores a 1.000 litros de capacidad. En dicha ITC se clasifica al CO₂ como un gas perteneciente al Grupo 2, por su propiedad de gas inerte. En el documento mencionado se indican las restricciones a tener en cuenta en cuanto a la instalación para el almacenamiento del CO₂ se refiere, en función de la capacidad de almacenamiento.

Resumen de clasificación de los productos:

Tabla 2: Resumen de peligrosidad de los productos químicos

Fuente: Elaboración propia

Riesgo	Amoniaco	Ácido nítrico	Ácido sulfúrico	Ácido fosfórico	Nitrato de amonio	Dióxido de carbono
Inflamable (Comburente)	-	Clase C	-	-	Clase C	-
Corrosivo	Tipo 1C	Tipo 1A	Tipo 1A	Tipo 1B	-	-
Tóxico	Categoría 3	-	-	-	Categoría 2	-
Gas a presión	-	-	-	-	-	Grupo 2

8 Compatibilidad de almacenamiento conjunto

En todo diseño para el almacenamiento de productos químicos en el que se realice el almacenamiento de varios productos en conjunto se ha de estudiar la compatibilidad de dichos productos entre sí. Esto se debe a que, en caso de fuga o accidente, las posibles reacciones que se pueden dar entre los diferentes productos pueden suponer un riesgo grave para la seguridad y la salud. Así pues, en los artículos de las ITC MIE APQ que se ha aplicado para la clasificación de los productos que atañen a este trabajo se especifican las restricciones que hay que aplicar a la hora de determinar la agrupación de los productos en diferentes cubetos.

Según el Real Decreto 656/2017, se define como cubeto: "Cavidad capaz de retener los productos contenidos en los recipientes de almacenamiento en caso de vertido o fuga de estos."

A partir de este RD, se determina el número de cubetos que va a haber en planta y de que forma se deben agrupar las diferentes sustancias, con el fin de optimizar de manera simultánea: seguridad, espacio ocupado y coste. A su vez, se estipulan las cantidades mínimas de almacenamiento de cada sustancia a partir de la cual es obligatoria la aplicación del reglamento. Para los volúmenes de almacenamiento con los que trabaja la empresa se requiere la aplicación del reglamento en todos los productos.

A partir de los artículos referentes al almacenamiento de cada reglamento empleado y de las propiedades de los productos que nos ocupan, se determina que:

Para las sustancias comburentes (ITC MIE APQ-1):

- Art 12.1: En un mismo cubeto solo podrán almacenarse líquidos de la misma clase o subclase para el que fue proyectado o de otra de riesgo inferior, procurando agrupar aquellos que contengan productos de la misma clase.
- Art 12.3: No podrán estar en el mismo cubeto recipientes con productos que puedan producir reacciones peligrosas entre sí, o que sean incompatibles con los materiales de construcción de otros recipientes, tanto por sus características químicas como por sus condiciones físicas.
- Art 12.5: Los líquidos tóxicos se almacenarán preferentemente en un cubeto distinto al de los líquidos combustibles (en el caso de este proyecto se aplica a los comburentes). En caso de almacenamiento conjunto, deben tomarse de manera justificada las medidas de protección adecuadas.

para los productos corrosivos (ITC MIE APQ-6):

- Art 12.2: Los líquidos corrosivos que, además, sean inflamables o combustibles podrán almacenarse junto con otros líquidos inflamables o combustibles en las condiciones descritas en la ITC MIE APQ-1.
- Art 12.3: Los líquidos corrosivos que no sean inflamables ni combustibles podrán almacenarse dentro de cubetos de líquidos inflamables o combustibles, siempre que los materiales, protecciones (excepto la protección con cámara de espuma), disposición y tipo de recipientes sean los exigidos en la ITC MIE APQ-1 a la clase de productos para los que se diseñó el cubeto.

para los productos tóxicos (ITC MIE APQ-7):

- Art 13.3: Los líquidos tóxicos no combustibles se almacenarán preferentemente en un cubeto diferente del de los líquidos inflamables o comburentes. En caso de almacenarse conjuntamente, se deberá disponer, como mínimo, de una medida de protección de nivel 2.

para el gas a presión criogenizado (ITC EP-4):

- A partir de Artículo 6: Los recipientes de almacenamiento deben situarse preferentemente al aire libre y sobre el nivel del suelo, o en edificios de construcción no combustibles adecuadamente ventilados.
- En el Anexo 1 del RD se especifican las distancias que han de respetarse por seguridad en el establecimiento.

- En el caso de los recipientes para gases del Grupo 2 con doble envoltente no será necesario un cubeto de retención para almacenamientos inferiores a 1.000 m³.

Por lo tanto, a partir de las restricciones extraídas de las instrucciones técnicas se realiza una organización preliminar de la siguiente forma:

- Cubeto 1: En este cubeto se almacenarán los tres depósitos de amoniaco, ya que es una sustancia tóxica y corrosiva. Se almacena de manera diferenciada de los productos comburentes para maximizar la seguridad, ya que es la materia prima que más se emplea para la obtención de los productos de la empresa.
- Cubeto 2: Se emplea un cubeto para almacenar de manera individual el depósito de ácido nítrico, el cual es el producto más peligroso ya que presenta propiedades corrosivas, tóxicas y comburentes.
- Cubeto 3: Este cubeto se destina como almacenamiento de los productos corrosivos, conteniendo un depósito de ácido sulfúrico y un depósito de ácido nítrico.
- Cubeto 4: Se destina, al igual que para el amoniaco, un cubeto de almacenamiento para los 3 depósitos del producto nitrato amónico obtenido en planta. Al ser el principal producto de la empresa, esta sustancia toxica y comburente es almacenada en un cubeto diferenciado del resto de productos químicos.
- Por último, para el almacenamiento de los tanques de dióxido de carbono licuado a presión no se emplea cubeto, se estudiará la ubicación independiente de un depósito vertical criogenizado.

9 Diseño del sistema de almacenamiento

Una vez estudiada la compatibilidad entre los productos químicos para los cuales se proyecta el sistema de almacenamiento y determinados las agrupaciones de estos en los diferentes cubetos, se procede al diseño de los depósitos y su selección a partir del catálogo del fabricante que se acabe escogiendo. A su vez, se procede al dimensionamiento de los cubetos y se plantean varias opciones de distribución en planta con el fin de escoger, de manera justificada, la mejor distribución posible teniendo en cuenta las especificaciones del gerente de la empresa productora de fertilizantes.

Por parte del cliente se han determinado las siguientes especificaciones a la hora de diseñar el sistema de almacenamiento:

- Todos los depósitos serán cilíndricos.
- Todos los depósitos deberán estar en disposición vertical para ahorrar espacio.
- El volumen de producto en los depósitos no debe superar el 85% de la capacidad total de estos por seguridad.

- Todos los depósitos han de estar en la superficie de la parcela, en ningún caso se almacenarán sustancias con depósitos enterrados ni en altura.

9.1. Tanques de almacenamiento

A partir de los datos de consumo actuales, facilitados por parte del gerente de la empresa, se determina la capacidad total de almacenamiento que se requiere en los depósitos para cada producto químico. Se especifica que la capacidad de almacenamiento para materias primas tiene que ser la suficiente como para abastecer la actividad de la empresa durante tres días. Por otro lado, respecto a la capacidad de almacenamiento necesaria para el nitrato de amonio será suficiente con que cubra la producción de un día, pues la empresa almacena los fertilizantes ya fabricados mediante una empresa externa.

En la siguiente tabla se detalla el número de depósitos requeridos junto a sus respectivas capacidades para cada sustancia:

Tabla 3: Numero de depósitos y capacidades requeridas Fuente: Elaboración propia

	Amoniaco	Ácido Nítrico	Ácido Sulfúrico	Ácido Fosfórico	CO₂	Nitrato de amonio
Nº Depósitos	3	1	1	1	2	3
Cantidad total de almacenamiento (m³)	92,48	17,84	5,65	5,88	5,61	87,27
Cantidad de almacenamiento por depósito (m³)	30,83	17,84	5,65	5,88	2,81	29,09
Capacidad del depósito con nivel máx. (m³)	36,27	20,99	6,65	6,92	3,30	34,22

A partir de los datos de capacidad se pueden determinar las dimensiones de los depósitos recurriendo a la ecuación de volumen del cilindro (Ecuación 1).

$$V = \pi H \frac{D^2}{4} \quad [5]$$

Para determinar la altura (H) y el diámetro (D) de cada depósito a partir de la capacidad del depósito con nivel máximo (Tabla 3) máximo de cada producto químico, se impone una relación entre diámetro y altura que permite determinar ambas incógnitas obteniendo un diseño de depósito eficiente.

$$\frac{H}{D} = 2,5 \quad [6]$$

Sustituyendo la relación impuesta (Ecuación 2) en la ecuación del volumen del cilindro (Ecuación 1) se determinan las características geométricas de los depósitos de almacenamiento de cada producto.

Mediante la obtención de las características geométricas para cada sustancia, existe la opción de comprar depósitos específicos a una empresa especializada en la fabricación de tanques a medida para productos químicos. La adquisición de estos tanques permitiría realizar una distribución en planta optimizando el espacio al máximo. Sin embargo, fabricar un depósito específico para cada una de las sustancias que se requiere almacenar en la empresa implicaría un incremento notable en el coste del proyecto. Como alternativa, se consulta el catálogo y se contacta con varias empresas fabricantes de depósitos con el fin de escoger el fabricante cuyos tanques se ajusten mejor a los requisitos de almacenamiento y seguridad que requiere el cliente.

Tras consultar las opciones con el gerente, se decide trabajar con las empresas BIOTANKS y LAPESA, ya que ambas ostentan el prestigio de mantener unos niveles de seguridad competentes a un coste sensiblemente más económico que las alternativas del mercado. Además, la empresa BIOTANKS ofrece un rango de capacidades en sus depósitos con más alternativas que otras empresas consultadas. A partir del catálogo facilitado por las empresas (CATALOGOS), se han seleccionado los modelos de tanque adecuados para cada sustancia. Los depósitos escogidos para los productos líquidos que se compran a BIOTANKS son unos tanques de instalación vertical en superficie fabricados en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) mediante "Filament Winding", material que otorga gran resistencia química, resistencia mecánica e impermeabilidad a la estructura. Para el almacenamiento en recipientes móviles del CO₂ se han seleccionado los botellones transportables de gas licuado a presión (GLP) que vende la empresa LAPESA.

En la siguiente tabla se detallan los modelos y las características geométricas de cada uno de los depósitos que se adquieren para el proyecto de almacenamiento:

Tabla 4: Características de los depósitos seleccionados

Fuente: Elaboración propia

	Amoniac	Ácido Nítrico	Ácido Sulfúrico	Ácido Fosfórico	CO₂	Nitrato de amonio
Nº Depósitos	3	1	1	1	2	3
Capacidad requerida (m³)	36,27	20,99	6,65	6,92	3,30	34,22
Modelo de depósito	DVA-400300	DVA-220300	DVA-70200	DVA-70200	LCC 6V	DVA-350300
Empresa	BioTanks	BioTanks	BioTanks	BioTanks	LAPESA	BioTanks
Volumen (m³)	40,00	22,00	7,00	7,00	6,1	35,00
Altura total (m)	5,80	3,00	2,20	2,20	4,25	5,00

Diámetro exterior (m)	3,00	3,00	2,00	2,00	2,20	3,00
------------------------------	------	------	------	------	------	------

9.2. Cubetos de retención

A partir de las dimensiones de los depósitos y de las agrupaciones de productos detalladas en los apartados anteriores, se procede al diseño de los cubetos de retención requeridos. A partir de las definiciones generales redactadas en la instrucción técnica ITC MIE APQ-0, se acotan una serie de restricciones respectivas al diseño de los cubetos para el almacenamiento de productos químicos que hay que tener en cuenta para poder proyectar el sistema de almacenamiento de manera adecuada y segura.

El incumplimiento de estas restricciones, o indicaciones generales, implica un diseño con riesgos potenciales y fuera del marco legal, por lo que han de cumplirse para todos los cubetos:

- Los recipientes dentro de cualquier cubeto no deben estar dispuestos en más de dos filas. Cada fila de recipientes debe tener una calle o vía de acceso que permita la intervención de la brigada de lucha contra incendios.
- Deben existir accesos normales y de emergencia con un mínimo de dos y un número tal que no haya que recorrer una distancia superior a 50 metros hasta alcanzar el acceso desde cualquier punto del interior del cubeto.
- Los cubetos se construirán de tal manera que se garantice la estanquidad del recinto, evitando especialmente la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas.
- Las paredes del cubeto deben tener una altura máxima de 1.8 metros, con respecto al nivel interior, para lograr una buena ventilación.
- Como mínimo, la cuarta parte de la periferia del cubeto debe ser accesible por una vía de anchura de 2.5 metros y una altura libre de 4 metros como mínimo para permitir el acceso de vehículos de emergencia, y ha de permanecer libre de obstáculos en todo momento.
- El fondo del cubeto tendrá una pendiente mínima del 1%, de forma que todo el producto derramado escurra rápidamente hacia el punto de recogida y posterior tratamiento de efluentes.
- Las tuberías no deben atravesar más cubeto que el del recipiente o recipientes a los cuales estén conectadas. Únicamente, en casos debidamente justificados, deberán estar enterradas.
- Se prohíbe, en el interior de los cubetos, el empleo permanente de mangueras flexibles.

Teniendo en cuenta estas indicaciones, se estudia cada uno de los cubetos por separado:

Cubeto 1:

En este cubeto se almacenan los tres tanques verticales de 40 m³ que contienen amoniaco. Debido a las propiedades tóxicas y corrosivas de este producto, para el diseño del cubeto se han de recurrir a la ITC MIE APQ 6 y a la ITC MIE APQ 7. Muchas de las medidas coinciden en ambas ITCs, en caso de que alguna medida fuese diferente, se seguirá siempre la más restrictiva:

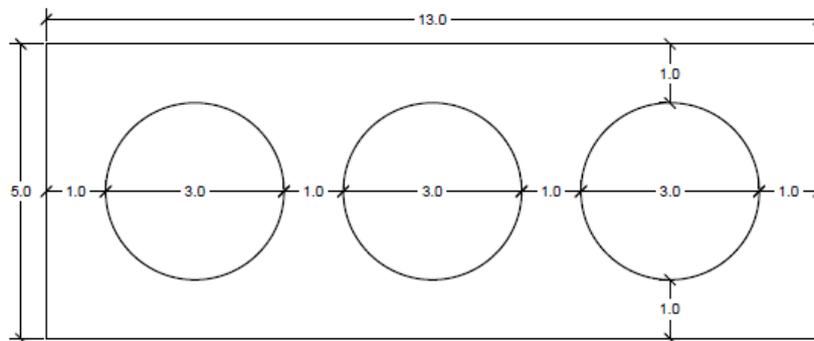
- Artículo 14.3 de APQ-6 y 16.3 de APQ-7: La distancia en proyección horizontal entre la pared del recipiente y el borde interior del cubeto será como mínimo de un metro.
- Artículo 14.6 de APQ-6 y 16.6 de APQ-7 La capacidad útil del cubeto será, como mínimo, igual a la mayor de entre las siguientes:
 - o La capacidad del recipiente mayor, considerando que no existe este, pero sí todos los demás.
 - o El 10% de la capacidad global de los recipientes en el contenido, considerando que no existe ningún recipiente en su interior.

En el primer caso la capacidad del mayor depósito es de 40 m³, que coincidirá con la del cubeto, y en la segunda opción se obtiene una capacidad del cubeto de 12 m³, por lo que la capacidad definitiva del cubeto será de 40 m³.

- En cuanto a las distancias entre recipientes, ambas instrucciones técnicas determinan que la distancia entre dos recipientes contiguos debe ser la suficiente para garantizar un buen acceso a los mismos, con un mínimo de un metro

Siguiendo estas restricciones, en la Figura 9 se muestra un posible diseño para el primer cubeto de retención:

Figura 9: Cubeto 1 Fuente: Elaboración propia



Conociendo la magnitud necesaria para ambos lados del cubeto y su capacidad, se procede al cálculo de la altura de este mediante la fórmula del volumen de un prisma rectangular.

$$V = l * l * h \quad [7]$$

Al despejar la altura en la Ecuación 7, se obtiene una altura para el primer cubeto de 0.62 metros. Como esta altura es menor al límite de 1.8 metros, el diseño es válido.

Cubeto 2:

Este cubeto se emplea para retener el depósito de ácido nítrico, de 22 m³. El ácido nítrico es un producto químico tóxico y corrosivo, por lo que se le aplicarían las mismas restricciones

mencionadas para el cubeto uno, sin embargo, como se indica en el apartado de *Clasificación de los productos* el ácido nítrico se aproxima a un producto inflamable de clase C por sus propiedades comburentes.

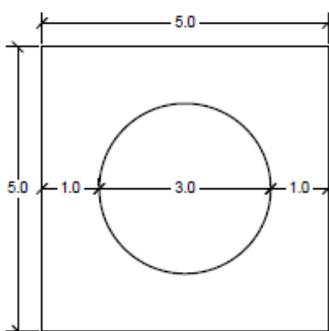
Debido a esto, adicionalmente a las instrucciones técnicas del cubeto 1, el diseño de este segundo cubeto deberá de cumplir las instrucciones técnicas para productos inflamables: ITC MIE APQ-1. De nuevo, aunque algunas indicaciones coincidan para el caso de las tres instrucciones técnicas, en el caso de haber alguna diferencia, se seguirá siempre la medida más restrictiva.

- Artículo 20.1 de APQ-1, 14.3 de APQ-6 y 16.3 de APQ-7: La distancia en proyección horizontal entre la pared del recipiente y el borde interior del cubeto será como mínimo de un metro.
- Artículo 20.4 de APQ-1: En este artículo de prescripciones particulares se apunta que para líquidos de clases B y C cuyo cubeto contenga un solo recipiente, su capacidad será igual al 100% de la capacidad de este. En este caso la capacidad del cubeto será de 22 m³.
- En cuanto a las distancias entre recipientes, ambas instrucciones técnicas determinan que la distancia entre dos recipientes contiguos debe ser la suficiente para garantizar un buen acceso a los mismos, con un mínimo de un metro.

En la siguiente Figura 10 se muestra un diseño para el segundo cubeto en el que se indican sus dimensiones:

Figura 10: Cubeto 2

Fuente: Elaboración propia



Al igual que en el cubeto anterior, a partir de la Ecuación 7, para $V = 22 \text{ m}^3$ y sabiendo que los lados del cubeto tienen una longitud de 5 metros cada uno, se obtiene una altura del cubeto de 0.88 metros. Ninguna dimensión supera los límites máximos, por lo que el diseño es válido.

Cubeto 3:

En este cubeto se encuentran los productos únicamente corrosivos: un tanque de ácido sulfúrico y otro de ácido fosfórico, ambos con una capacidad de 7 m³.

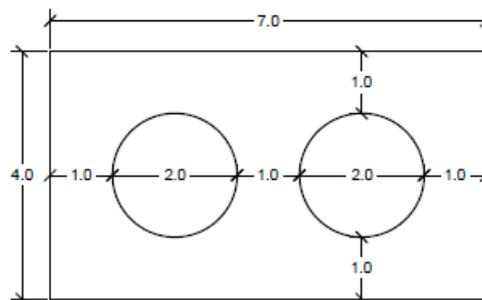
Para este cubeto, a diferencia de los cubetos previos, se aplica únicamente la ITC MIE APQ-6 para productos químicos corrosivos, la cual determina que en el diseño de los cubetos de retención se ha de respetar que:

- Artículo 14.3 de APQ-6: La distancia en proyección horizontal entre la pared del recipiente y el borde interior del cubeto será como mínimo de un metro.
- Artículo 14.6 de APQ-6: La capacidad útil del cubeto será, como mínimo, igual a la mayor de entre las siguientes:
 - o La capacidad del recipiente mayor, considerando que no existe este, pero sí todos los demás.
 - o El 10% de la capacidad global de los recipientes en el contenido, considerando que no existe ningún recipiente en su interior.

En el primer caso la capacidad del mayor depósito es de 7 m^3 , que coincidirá con la del cubeto, y en la segunda opción se obtiene una capacidad del cubeto de 1.4 m^3 , por lo que la capacidad definitiva del cubeto será de 7 m^3 .

- En cuanto a las distancias entre recipientes, ambas instrucciones técnicas determinan que la distancia entre dos recipientes contiguos debe ser la suficiente para garantizar un buen acceso a los mismos, con un mínimo de un metro.

Figura 11: Cubeto 3 Fuente: Elaboración propia



De nuevo, conociendo la capacidad del cubeto y las dimensiones de sus lados, a partir de la Ecuación 7, se obtiene su altura. La altura del cubeto 3 es de 0.25 metros, de nuevo cumpliendo ser una altura suficiente para garantizar la ventilación del cubeto, haciendo válido el diseño.

Cubeto 4:

Este es el cubeto destinado al almacenamiento del nitrato de amonio producido diariamente por la empresa. En él se ubican tres depósitos verticales de 35 m^3 cada uno. Este producto químico es tóxico y comburente, por lo que el diseño del cuarto cubeto estará dictado por las ITC MIE APQ 1 y 7, las cuales dictan que:

- Artículo 20.1 de APQ-1 y 16.3 de APQ-7: La distancia en proyección horizontal entre la pared del recipiente y el borde interior del cubeto será como mínimo de un metro.
- Artículo 20.3 de APQ-1 y 16.6 de APQ-7 La capacidad útil del cubeto será, como mínimo, igual a la mayor de entre las siguientes:

- La capacidad del recipiente mayor, considerando que no existe este, pero sí todos los demás.
- El 10% de la capacidad global de los recipientes en el contenido, considerando que no existe ningún recipiente en su interior.

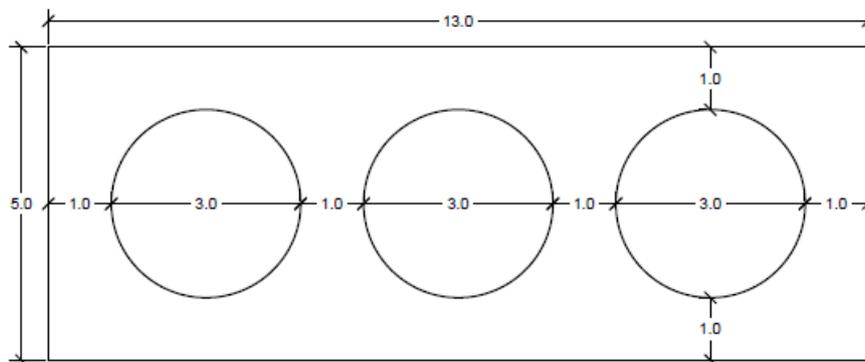
En el primer caso la capacidad del mayor depósito es de 35 m³, que coincidirá con la del cubeto, y en la segunda opción se obtiene una capacidad del cubeto de 10.5 m³, por lo que la capacidad definitiva del cubeto será de 35 m³.

- En cuanto a las distancias entre recipientes, ambas instrucciones técnicas determinan que la distancia entre dos recipientes contiguos debe ser la suficiente para garantizar un buen acceso a los mismos, con un mínimo de un metro.

Cabe mencionar que en la ITC MIE APQ-8, referente al almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno no se hace ninguna referencia al diseño de recipientes ni al diseño de los cubetos ya que esta instrucción técnica se aplica a los fertilizantes en fase sólida.

En la Figura 12 se puede observar el diseño del cuarto cubeto de retención junto con sus dimensiones:

Figura 12: Cubeto 4 Fuente: Elaboración propia



De nuevo, a partir de la Ecuación 7, se determina que la altura del cubeto 4 es de 0.54 metros. Como esta altura es menor a 1.8 metros, se da por válido el dimensionamiento.

Depósitos de dióxido de carbono

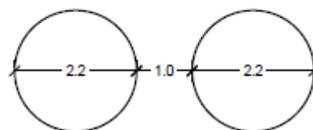
Por último, se representan los depósitos correspondientes al CO₂ gaseoso licuado a presión. Esta sustancia es un gas inerte y en sus instrucciones técnicas complementarias se detalla que no es necesario el diseño de su cubeto. Los depósitos deben disponerse en posición vertical y las distancias que hay que respetar entre estos y los recipientes de otras sustancias, así como los

diferentes elementos de la planta se evaluarán en los siguientes apartados. Al no haber especificaciones para el diseño, se aplican las restricciones generales mencionadas en la introducción del apartado.

En el proyecto de distribución en planta los depósitos correspondientes al almacenamiento del CO₂ se representarán de la siguiente forma:

Figura 13: Depósitos de CO₂

Fuente: Elaboración propia



En la siguiente tabla se muestra un resumen de las dimensiones determinadas para los cubetos:

Tabla 5: Dimensiones de los cubetos de retención

Fuente: Elaboración propia

	Capacidad (m ³)	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
Cubeto 1	40	13	5	0.62
Cubeto 2	22	5	5	0.88
Cubeto 3	7	7	4	0.25
Cubeto 4	35	13	5	0.54

9.3. Cálculo de las distancias de seguridad entre elementos de la instalación y de la planta industrial

En esta sección se va a desarrollar el cálculo y la obtención de las distancias que se requieren entre las distintas instalaciones de la fábrica para garantizar la seguridad. Conocer las distancias de seguridad es fundamental para poder plantear correctamente las distintas alternativas de

distribución de planta que se estudiarán en los apartados siguientes. La obtención de estas distancias se efectúa mediante la consulta de las ITCs correspondientes a nuestro proyecto y ya mencionadas en los apartados anteriores, en las cuales se encuentran los artículos que hacer referencia a esta sección. Por lo tanto, las distancias de seguridad dependerán de la peligrosidad de los productos en almacenamiento, por lo que estas se van a estudiar en los siguientes puntos.

Productos inflamables (comburentes):

Estos productos, como se ha mencionado en el apartado 7 en el que se realizaba la clasificación de los productos, son los que más restricciones implican en cuanto a medidas de seguridad se refiere debido al riesgo potencial que presentan. Para establecer las distancias de seguridad que hay que mantener entre los productos comburentes y el resto de las instalaciones hay que atender al Artículo 17. Distancia entre instalaciones en general, en la ITC MIE APQ 1:

1. Las distancias mínimas entre las diversas instalaciones que componen un almacenamiento y de estas a otros elementos exteriores no podrán ser inferiores a los valores obtenidos por la aplicación del siguiente procedimiento:
 - a. En el cuadro III.1, obtener la distancia entre las dos instalaciones a considerar.
 - b. En el cuadro III.2, obtener el posible coeficiente de reducción con base en la capacidad global de almacenaje y aplicarlo a la distancia obtenida en 17.1.a).
 - c. En el cuadro III.3, obtener el posible coeficiente multiplicador, si procede, y aplicarlo a la distancia resultante en 17.1.c)
 - d. Aplicar los criterios del cuadro III.4 a la distancia resultante en 17.1.c)
 - e. Las distancias así obtenidas no podrán ser inferiores a 2 m, excepto las distancias entre instalaciones que puedan contener líquidos de clase B (recipientes, cargaderos y balsas separadoras) y los conceptos 6, 10 y 11 del cuadro III.1, que no podrán ser inferiores a:

Subclase B1: 12m

Subclase B2: 8m

A partir de lo citado en el artículo anterior, se procede a la obtención de las distancias de seguridad a mantener entre las instalaciones presentes en la planta del proyecto que es objeto de estudio.

Del Cuadro III-1. Distancia en metros (11) entre instalaciones fijas de superficie en almacenamientos con capacidad superior a 50.000 m³, se obtienen las distancias de seguridad mínimas:

Tabla 6: Distancias entre instalaciones fijas, en metros

Fuente: RD 656/2017

1	(1)									
2	(3) 20	(2)								
3.1	60	(4) 30	(6)							
3.2	30	(4) 15	(6)	(6)						
3.3	30	(4) 15	(6)	(6)	(6)					
4.1	60	(5) 30	(7) 30	(7) 30	(7) 30	(7) 30	(2)			
4.2	30	(5) 20	(7) 30	(7) 20	(7) 15	(11) 30	(2)			
4.3	20	(5) 15	(7) 25	(7) 20	(7) 15	(2)	(2)	(2)		
5	30	(5) 15	30	20	15	30	20	15	(1)	
6	(1)	30	60	30	20	60	20	15	30	(1)
7	(1)	20	60	30	20	40	20	15	20	(8)
8	(1)	20	60	30	25	30	30	25	20	20
9	(1)	15	30	20	15	30	20	15	(9) 20	(8)
10	(1)	20	60	30	25	60	(10) 40	(10) 20	20	(8)
11	(1)	30	100	60	40	100	60	30	40	(8)
	1	2	3.1	3.2	3.3	4.1	4.2	4.3	5	6

La numeración de la primera columna hace referencia a cada una de las instalaciones de una planta industrial. Para el caso de nuestra planta de fabricación de fertilizantes son de interés:

- 1. Unidades de proceso.
- 3.3. Recipientes de almacenamiento. Clase C (Paredes del tanque).
- 4.3. Cargaderos Clase C
- 7. Edificios administrativos y sociales, laboratorios, talleres, almacenes y otros edificios independientes.

- 8. Estaciones de bombeo de agua contra incendios.
- 9. Vallado de la planta
- 10. Límites de propiedades exteriores en las que pueda edificarse y vías de comunicación públicas.

A continuación, a partir del Cuadro III-2 se determina el coeficiente de reducción que hay que aplicar. La proyección de almacenamiento de productos inflamables en las instalaciones es de un volumen total de 105.11 m³ (17.84 m³ de ácido nítrico y 87.27 m³ de nitrato de amonio), por lo que el coeficiente reductor será de 0.50:

Tabla 7: Coeficientes de reducción por capacidad

Fuente: RD 656/2017

Capacidad global de almacenamiento de la instalación m ³	Coeficiente para reducción de distancias del cuadro III-1
Q ≥ 50.000	1
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	0,20

Seguidamente, se consulta el Cuadro III-3 y se determina que no es necesario un coeficiente multiplicador ya que ninguno de los productos almacenados presenta las características que se indican en la tabla.

Tabla 8: Coeficientes multiplicadores *Fuente: RD 656/2017*

Características de los productos y/o de los almacenamientos	Coeficiente	Clases de líquidos a los que es aplicable
Líquidos inestables.....	2,0	A, B y C
Almacenamiento con venteos de emergencia que permitan el desarrollo de presiones superiores a 0,15 bares	1,5	B y C

Adicionalmente, se determina la necesidad de aplicar alguno de los coeficientes reductores del Cuadro III-4 mediante medidas de protección adicionales. El cumplimiento de las medidas de seguridad asociadas a los componentes de la planta es viable de por sí, por lo que no es necesaria la implementación de ninguna medida de seguridad adicional.

Tabla 9: Coeficientes reductores por medidas de protección adicionales

Fuente: RD 656/2017

Medidas o sistemas de protección adoptados		Coeficiente de reducción
Nivel	Cantidad	
0	–	No hay reducción
1	Una	0,75
1	Dos o más	0,50
2	Una	0,50
2	Dos o más	0,40

Como se muestra en los siguientes apartados se logra elaborar un diseño seguro y eficiente sin la necesidad de un coeficiente reductor en el cálculo de las medidas de seguridad, por lo que habiendo atendido a todos los factores que influyen en estas se procede a su cálculo.

Las distancias de seguridad definitivas se resumen en la siguiente tabla, en metros:

Tabla 10: Distancias de seguridad para productos inflamables

Fuente: Elaboración propia

	1	3.1	3.3	4.1	4.3	7	8	9	10
Paredes del tanque clase C (3.3)	15	-	-	15	7.5	10	12.5	7.5	12.5
Cargaderos de clase C (4.3)	10	12.5	7.5	-	-	7.5	12.5	7.5	10

En este caso no es necesario el cálculo de las distancias entre las paredes de los tanques de diferentes productos ya que en ningún cubeto se realiza el almacenamiento más de un producto distinto, por lo que no se incluyen estos valores en la tabla resumen.

Productos corrosivos:

En el Artículo 11 de la ITC correspondiente a los productos corrosivos se especifica que no existen requerimientos especiales de distancias entre instalaciones de líquidos corrosivos entre sí, ni respecto a otras instalaciones de la planta o fábrica, excepto los siguientes:

La pared interior de los cubetos distará, como mínimo, 1.5 metros del vallado exterior de la planta. El resto de las instalaciones del almacenamiento distarán al menos 3 metros de dicho vallado.

Productos tóxicos:

En el Artículo 13 de la ITC MIE APQ-7 se indica el procedimiento a seguir para el cálculo de las distancias de seguridad en el caso de los líquidos tóxicos.

Al igual que se ha procedido para los productos comburentes, se obtiene una primera distancia en bruto, la cual habrá que multiplicar por los correspondientes coeficientes de corrección que

le correspondan. La distancia obtenida, siempre que esta sea mayor a 1.5 metros, será la distancia de seguridad que se habrá de respetar.

Tabla 11: Distancias entre instalaciones, en metros

Fuente: RD 656/2017

	Clase de almacenamiento		
	1	2	3
Unidades de proceso, edificios propios, hornos, calderas, estaciones contra incendios, bombas, balsas separadoras de inflamables y cargadero de inflamables (clases A y B)	15	8	4
Vallado de la planta.	10	5	3
Límites de propiedades exteriores en las que puedan edificarse y vías de comunicación pública (ver nota).....	20	10	5
Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia (ver nota).....	30	15	10

Para el caso de estudio, al tratar con amoniaco y nitrato de amonio, productos tóxicos de categoría 3 y categoría 2 respectivamente, tendremos que fijarnos en las distancias de la segunda y tercera columna. A continuación, se obtiene el primer factor de corrección (F_A) para cada uno de los productos, el cual depende de la temperatura de ebullición de la sustancia. Para el amoniaco, con un punto de ebullición menor a 30°C, el factor de corrección es de 2. Para el caso del nitrato de amonio, cuyo punto de ebullición es mayor a 80°C, el factor de corrección F_A tiene un valor igual a 0.75.

Los otros dos factores de corrección, F_B y F_C , se aplican en consecuencia a la construcción de medidas de prevención adicionales. En el caso de nuestra planta no es necesario introducir este tipo de medidas, por lo que ambos factores tendrán valor de 1.

En cuanto a las distancias entre las propias instalaciones de almacenamiento de productos químicos corrosivos, cabe resaltar que no se menciona ningún tipo de requisito específico.

En la Tabla 12 se recogen las distancias finales (en metros), es decir, las distancias de la tabla anterior una vez aplicados los factores de corrección correspondientes a los valores de las distancias de las clases de interés:

Tabla 12: Distancias definitivas, en metros

Fuente: RD 656/2017

	Clase de almacenamiento		
	1	2	3
Unidades de proceso, edificios propios, hornos, calderas, estaciones contra incendios, bombas, balsas separadoras de inflamables y cargadero de inflamables (clases A y B)	15	6	8
Vallado de la planta	10	3.75	6
Límites de propiedades exteriores en las que puedan edificarse y vías de comunicación pública (ver nota)	20	7.5	10
Locales y establecimientos exteriores de pública concurrencia (ver nota)	30	11.25	20

9.5. Alternativas de distribución en práctica

Tras el dimensionado y selección de los depósitos, el diseño de los cubetos y habiendo determinado las distancias mínimas de seguridad entre las instalaciones presentes en la parcela del cliente, se puede trabajar en el planteamiento de las diferentes posibles distribuciones de los elementos diseñados en la planta de almacenamiento.

Se van a plantear tres posibles alternativas de distribución, garantizando el cumplimiento de los criterios y distancias de seguridad mencionados anteriormente. Se estudiará la eficiencia de cada una de las distribuciones, profundizando en la opción elegida y mencionando por qué esta es mejor que las demás.

En primer lugar, antes de desarrollar cada una de las alternativas, es conveniente comentar lo siguiente:

- Se han diseñado dos cargaderos, para facilitar los procesos de carga y descarga, en los que abastecerá a cada uno de los cubetos. Ambas zonas se han diseñado de acuerdo con las medidas máximas establecidas por la Dirección General de Tráfico (DGT) para que cualquier camión pueda efectuar la carga y descarga sin problemas, sus dimensiones son de una longitud máxima de 12 metros y anchura máxima de 2.6 metros. Además, los giros que realizan las vías de circulación han sido diseñados a partir de los establecidos por la DGT para los vehículos pesados, los cuales son de 12.5 metros el radio exterior de giro y 5.3 el interior
- A partir de estas medidas máximas se han diseñado también las vías de circulación de la parcela para que los camiones puedan acceder sin problemas.
- A la derecha de la distribución establecida, en los planos de la parcela, se encuentra la nave en la que se lleva a cabo la actividad industrial por parte de la empresa, así como las oficinas de administración, talleres, almacenes, laboratorios, etc.

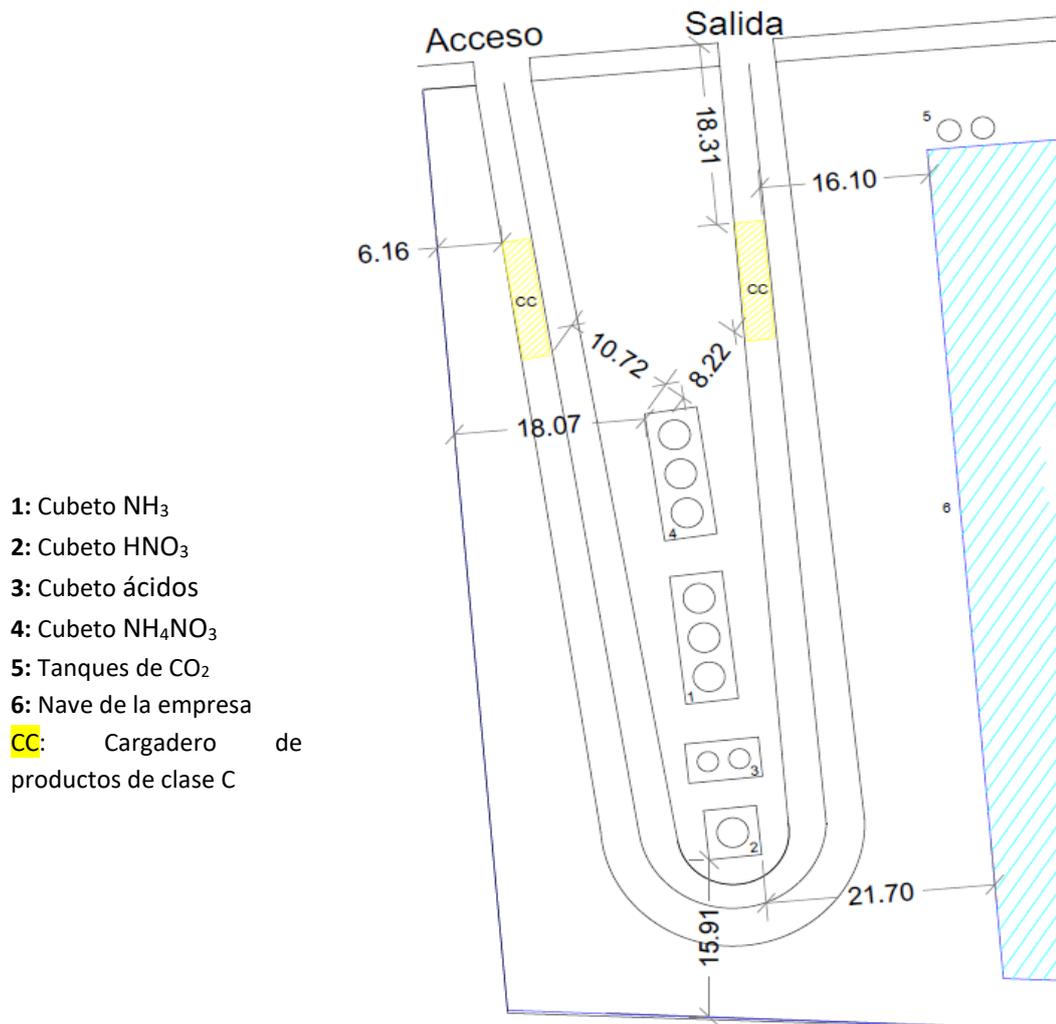
Alternativa 1 de distribución en planta:

Para el diseño se han planteado dos carriles, ambos para circular en el mismo sentido y de 3 metros de anchura, con el fin de que los camiones puedan circular sin problemas. De este modo, los camiones se pueden detener en el cargadero dejando el otro carril libre permitiendo el tránsito de otros vehículos.

En el diseño se han acotado las distancias de seguridad que más próximas se encuentran de las mínimas establecidas. Al indicar que se cumplen estas medidas se garantiza el cumplimiento del resto de distancias de seguridad en el diseño planteado.

Figura 14: Alternativa 1 de distribución en planta

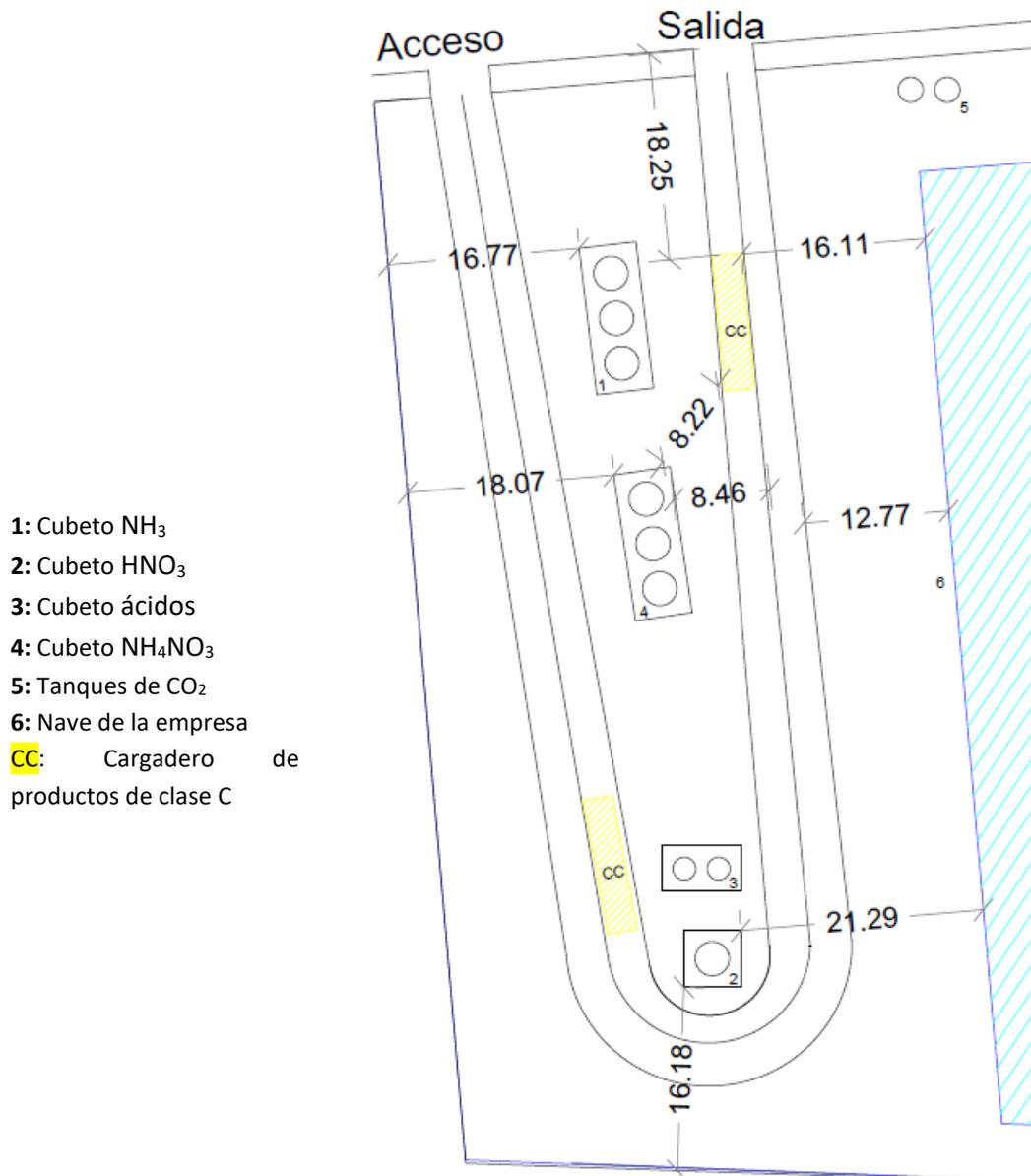
Fuente: Elaboración propia



Alternativa 2 de distribución en planta:

Figura 15: Alternativa 2 de distribución en planta

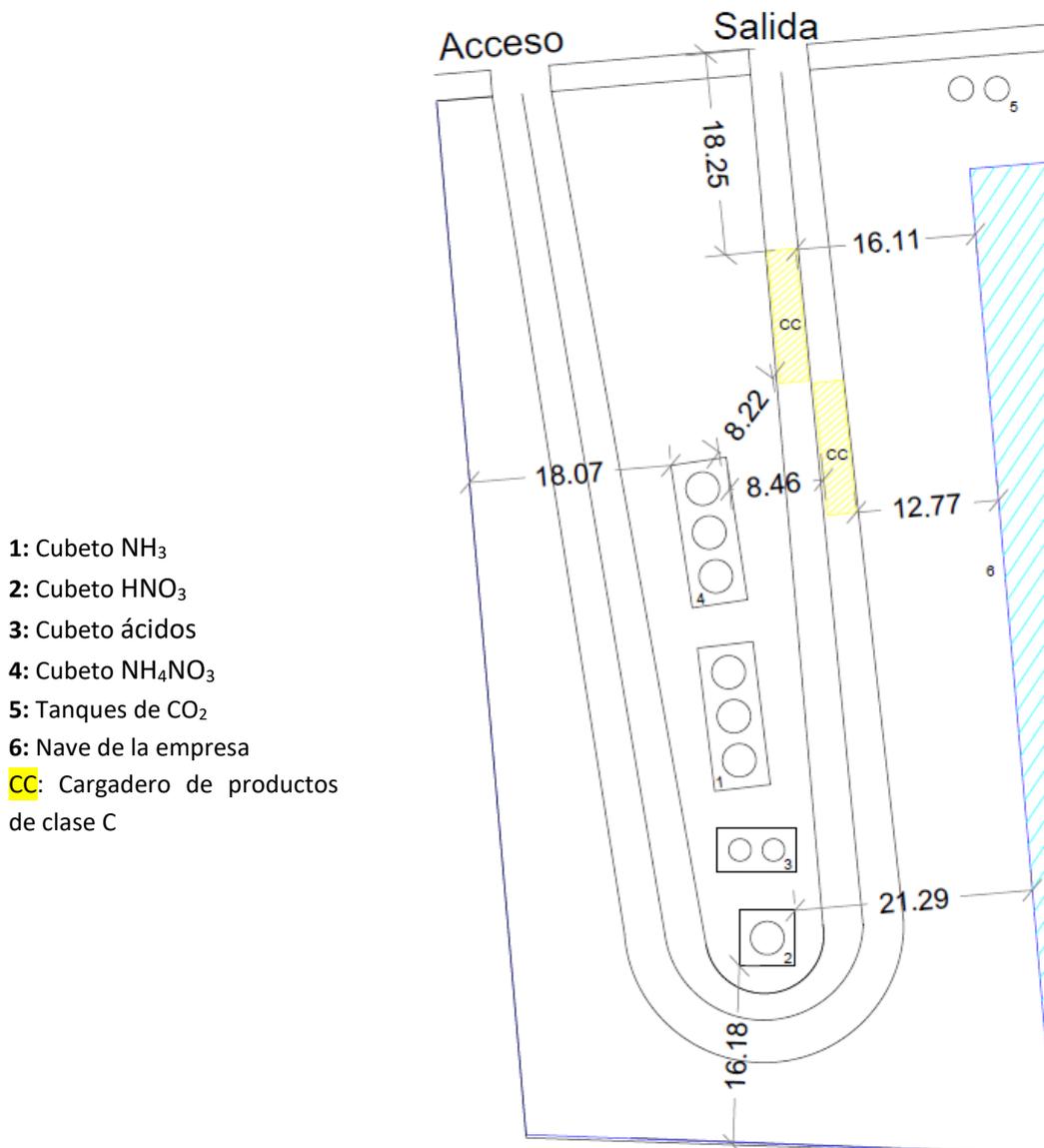
Fuente: *Elaboración propia*



Alternativa 3 de distribución en planta:

Figura 16: Alternativa 3 de distribución en planta

Fuente: Elaboración propia



De entre las distribuciones se busca aquella que facilite la mejor circulación de los vehículos en la parcela teniendo en cuenta las posiciones de los cargaderos de carga. Se considera como la más adecuada la ubicación de los cargaderos próxima a la entrada/salida de la parcela, agrupando todos los cubetos en una misma zona delimitada por el recorrido de la carretera. La mejora principal de la primera alternativa, así como la tercera, es la localización de los cargaderos más cercana al acceso de los camiones. Además, en estas alternativas se han reagrupado los cubetos de un modo más delimitante, estableciendo una zona de cubetos más clara que en la segunda alternativa. Se decide escoger la primera distribución planteada frente a la tercera, ya que en esta se ubican las zonas de carga y descarga de cada tipo de sustancia en los diferentes trazos de la carretera. Esta distribución evita posibles retrasos en caso de solapamiento en cargas o descargas de los camiones.

10 Instalación de almacenamiento

Las diferentes medidas y características de cada uno de los elementos explicados a continuación tienen una influencia notable en el correcto desarrollo del proyecto, así como en su duración en tiempo y en el presupuesto final. En este apartado se van a desarrollar los diferentes procesos que hacen falta para poder construir la parcela de almacenamiento en su totalidad, de una forma que garantice su operatividad segura y eficiente.

En este apartado se van a describir las características de los diferentes elementos de la instalación de acuerdo a las características indicadas en las ITCs y a partir de información obtenida de instalaciones similares, en especial en lo referente a la cimentación de los tanques de almacenamiento.

El modo de proceder para cada uno de los elementos o instalaciones que se verán a continuación queda guiado según las Instrucciones Técnicas Complementarias que ya han sido mencionadas y aplicadas en los apartados previos.

10.1. Movimiento de tierras

Previo a la construcción de los muros de contención, así como la instalación de las conducciones empleadas para el transporte de agua de protección contra incendios, es necesario un trabajo de excavación de las zanjas en las que se van a colocar y enterrar estos elementos.

Para la excavación de las zanjas se emplearán medios mecánicos hasta una profundidad de 1.5 m y 0.5 m de ancho. La tierra extraída en la excavación, a ser posible, se aprovechará posteriormente para la cimentación de los tanques de almacenamiento, la pavimentación y el relleno de las zanjas una vez se hayan ubicado las conducciones de la red de tuberías de agua contra incendios.

10.2. Cimentación de los tanques de almacenamiento

En este apartado, como indica su mismo nombre, se tratará la realización del muro que contendrá los cubetos de retención del parque de almacenamiento, elemento de una importancia clave para garantizar la seguridad. Estos muros de contención son los encargados de, en caso de accidente o derrame de cualquier depósito de almacenamiento, el producto químico de este quede retenido dentro de los muros.

Las indicaciones de diseño especificadas para estos muros de contención son comunes para todos los cubetos del parque, a partir de las Instrucciones Técnicas Complementarias correspondientes a los productos que se almacenan en cada uno de los tanques de cada uno de los cubetos:

- Evitar la construcción de los muros de contención en:
 - Lugares en los que una parte de la cimentación quede sobre roca o terreno natural y otra parte sobre relleno, o con profundidades variables de relleno, o donde haya sido preciso una consolidación inicial del terreno.
 - Lugares pantanosos o con material compresible en el subsuelo.

- Lugares de dudosa estabilidad del suelo, como consecuencia de la proximidad de cursos de agua, excavaciones profundas o grandes cargas, o en fuerte pendiente.
- Lugares en que los tanques queden expuestos a posibles inundaciones que originarían su flotación, desplazamiento o socavado.
- Al tratarse de tanques con fondo plano, la superficie sobre la que descansa el fondo del tanque deberá quedar a 30 cm, como mínimo por encima del suelo del cubeto y deberá ser impermeable al producto a contener, de forma que las posibles fugas por el fondo salgan.
- Se debe realizar la prueba hidrostática (hidráulica) que consiste en una prueba de resistencia realizada al recipiente procediendo de su completo llenado de agua. El procedimiento consiste en marcar en la periferia de los tanques cuatro puntos simétricos que se usarán como referencia de niveles. Cuando el terreno sea adecuado se puede llenar el tanque hasta la mitad rápidamente; se comprobarán entonces los niveles y si no se han producido asentamientos diferenciales, se puede llenar el tanque hasta las tres cuartas partes de su capacidad, repitiendo entonces la lectura. Si el tanque sigue nivelado se termina el llenado, repitiendo las lecturas una última vez. Se deja el tanque lleno durante 48 horas y si los niveles se mantienen constantes, se puede vaciar el tanque, teniendo la precaución de abrir una entrada de aire suficiente para evitar la deformación de este por vacío.

Para instalar tanques similares en terreno semejante al probado, se pueden omitir las paradas a mitad y a tres cuartos del llenado total.

En terrenos blandos, en los que se prevén asentamientos de más de 300 mm, conviene realizar lentamente el llenado. Se añadirá el agua de forma que suba cada día 0.6 m hasta una altura de 3 m. Seguidamente se detiene el llenado, y se registran 3 días sucesivos, los niveles de referencia, que se anotan en una escala en función del tiempo, para establecer la curva de asentamiento. Cuando el asentamiento diario comience a disminuir, se añade agua al tanque con incrementos de alturas cada vez menores. Cuando la carga de agua esté próxima a la capacidad del tanque, se añade el agua a la hora de la salida del sol, en pequeña cantidad, a finde hacer lecturas durante el día, y descargando el tanque si se observan asentamientos indebidos.

En cuanto al muro de contención, se definen las siguientes características:

- En primer lugar, se ejecutará una capa de hormigón de limpieza de 10 cm de espesor (hormigón en masa). Las características de este hormigón son HM-20/B/40/XA2.
- La riostra de cimentación será de hormigón armado HA30/B/40/XA2 con dimensiones de 1 m x 0.5 m.

10.3. Pavimento

Únicamente se requerirá de la pavimentación del interior de los cubetos de retención y de los cargaderos, pues el resto de la parcela adquirida se encuentra debidamente pavimentada.

Se decide emplear un pavimento consistente en una solera de hormigón continua, con partículas metálicas y una capa de cemento CEM II/B-M 32.5R

10.4. Cerramientos

Este apartado hace referencia al vallado completo del perímetro que ocupa la parcela, así como las puertas de acceso, tanto las peatonales como las de vehículos. Toda planta de almacenamiento en superficie ha de contar con un cerramiento, consistente en muros, enrejado metálico o vallas, que rodee el conjunto de sus instalaciones para impedir el paso a ella.

Al igual que para en el caso de la pavimentación, la parcela ya cuenta con un vallado perimetral de una altura superior a 2.5 m que cumple con las especificaciones de las ITCs que atañen al proyecto.

Además, como se ha mencionado en el apartado 9.4 sobre las distancias de seguridad en planta, se tienen en cuenta las distancias que hay que guardar entre el vallado y las diferentes instalaciones de la planta a la hora de realizar el diseño de manera correcta y segura.

En cuanto a los accesos y salidas para vehículos, han sido determinados en el diseño de la distribución de la planta definitiva. En dicha distribución se puede observar que se requieren dos puertas, una para la entrada y otra para la salida de camiones. Ambas son puertas correderas de 6 x 2 m. Por otro lado, para las puertas peatonales, se decide instalar 2 puertas abatibles con las características para cumplir con la función de cortafuegos, como se explica en el apartado 10.7.1 sobre la evacuación en caso de incendio.

Debido a la existencia de cerramientos previos, únicamente se incluirá la unidad de obra dedicado al cerramiento de las puertas de acceso a la parcela tanto peatonales como de vehículos en el presupuesto final.

10.5. Instalaciones de carga y descarga

Efectuadas en los diferentes cargaderos, las operaciones de carga y descarga son aquellas consistentes en el trasvase de productos químicos desde las unidades de transporte a los recipientes de almacenamiento o viceversa y entre las unidades de transporte y las unidades de proceso o viceversa. Estos cargaderos han de reunir una serie de características y cumplir una serie de requisitos los cuales, de nuevo, se especifican en las Instrucciones Técnicas Complementarias que hacen referencia a las sustancias almacenadas en la planta.

Los requisitos indicados en las ITCs respecto a las instalaciones de carga y descarga son los siguientes:

- Su disposición será tal que cualquier derrame accidental fluya rápidamente hacia un sumidero, situado fuera de la proyección vertical del vehículo, el cual se conectará con la red de aguas contaminadas o a un recipiente o balsa de recogidas, sin que afecte a otros puestos de carga ni a otras instalaciones. Deberá evitarse que los productos derramados puedan alcanzar las redes públicas de alcantarillado.
- Los cargaderos de camiones se situarán de forma que los camiones que a ellos se dirijan o de ellos procedan puedan hacerlo por caminos de libre circulación. Los accesos serán amplios y bien señalizados.
- Los camiones cisterna se dispondrán en el cargadero de forma que puedan efectuar su salida sin necesidad de maniobra.

- Los camiones cisterna que se encuentren cargando o descargando estarán frenados con calzos, cuñas o sistemas similares.
- La carga y descarga de camiones cisterna deberá realizarse con el motor del camión parado
- Antes de iniciar una operación de carga o de descarga, el personal de la instalación efectuará una comprobación visual del estado de las mangueras y conexiones.
- Se dispondrá de toma de tierra, si hay otros productos inflamables en proceso de carga y descarga, para evacuar la carga electrostática.
- Junto a cada puesto de carga o descarga existirá un conductor flexible permanentemente conectado por un extremo a la citada red de puesta a tierra y por otro a una pieza de conexión de longitud suficiente para conectar la masa de la cisterna del camión o del vagón correspondiente con anterioridad y durante las operaciones de carga y descarga, estableciendo una indicación con alarma o enclavamiento que garantice el correcto contacto de la pieza de conexión al vehículo.

Teniendo en cuenta las indicaciones mencionadas se procede al diseño completo de las zonas de carga y descarga previamente definidas en la distribución de planta definitiva del apartado 9.

Por motivos de logística, se va a emplear el cargadero más próximo a la nave para el abastecimiento de los cubetos 2 y 3, así como los depósitos de CO₂ criogenizado y el cargadero que dista más de la nave para abastecer a los depósitos de los cubetos 1 y 4.

En cuanto a las dimensiones de los cargaderos, se emplearán aquellas medidas indicadas en la distribución de planta definitiva del apartado 9. El objeto final de este apartado es el completar el diseño mediante la definición de las canalizaciones que parten de los cargaderos a los depósitos. A cada uno de los tanques llegarán tres tipos de canalizaciones, los cuales transcurren por una estructura aérea:

1. Canalización principal por la que se transporta el producto químico.
2. Canalización análoga a la primera que se emplearía para transportar el producto químico en caso de fallo de la primera.
3. Canalización de seguridad encargada del venteo y alivio de presiones, explicada con más detalle en el siguiente apartado.

Para determinar la longitud de la sección de las conducciones se emplea la información de la NTP 356: Condiciones de seguridad en la carga y descarga de camiones cisterna para líquidos inflamables. Esta NTP recomienda que la velocidad del flujo trasegado por las conducciones debe estar comprendido entre 4 y 7 m/s. Se va a emplear una velocidad de flujo de 5 m/s. Además, se realizan los cálculos para el supuesto más exigente, es decir, para el llenado del depósito del producto químico del que se requiere mayor volumen, en este caso los de amoniaco con 40 m³. Se estima que el tiempo de descarga total por parte del camión cisterna es de aproximadamente 3 horas.

A partir de estos datos, se calcula el caudal volumétrico de diseño para descarga, teniendo en cuenta que la densidad de los productos químicos implicados se aproxima a la densidad del agua:

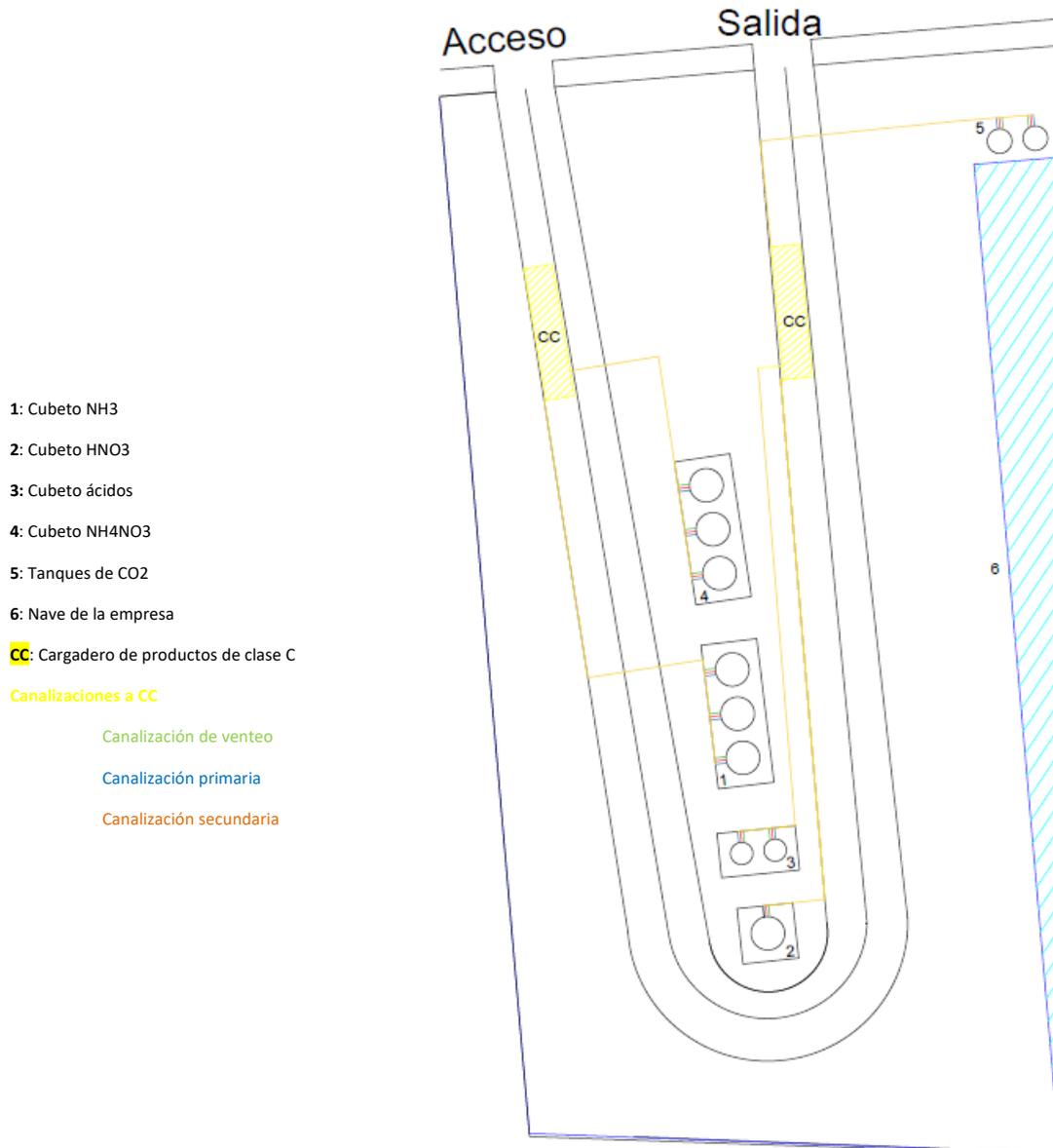
$$Q_{descarga} = \frac{Volumen}{Tiempo} = \frac{40m^3}{3*3600 s} = 0.0037 \frac{m^3}{s} \quad [8]$$

Aplicando la ecuación de continuidad se puede determinar el diámetro interior del diseño:

$$Q_{descarga} = v * S = v * \frac{\pi D^2}{4} \quad [9]$$

$$D = \sqrt{\frac{0.0037*4}{\pi*5}} = 0.0307 m \quad [10]$$

Se obtiene un diámetro de 30.7 mm. El diámetro interno comercial empleado corresponderá al valor del catálogo comercial que sea inmediatamente superior al valor obtenido en la ecuación. A partir del catálogo de la empresa de tuberías Almesa, se observa que dicho diámetro interior es de 39.2 mm, el cual corresponde a un diámetro exterior de 42.4 mm.



10.6. Sistemas de venteo y alivio de presión

Estos sistemas son necesarios para prevenir la deformación de los depósitos debido a cambios bruscos en la presión interna de estos como consecuencia de los cambios de volumen en los llenados o vaciados. En la MIE APQ 0 se definen los sistemas de venteo y alivio de presión como: "Sistemas diseñados para prevenir los efectos de las alteraciones de la presión interna de un recipiente de almacenamiento".

La implementación de estos sistemas es de carácter obligatorio en todos los tanques de las sustancias que se van a tratar en el proyecto, como así queda indicado en cada una de las Instrucciones Técnicas Complementarias que hacen referencia a dichos productos químicos. Estos sistemas de venteo y alivio de presión han de cumplir las siguientes condiciones:

- A la hora de dimensionar las canalizaciones de estos sistemas hay que tener en cuenta que deben de tener como mínimo un diámetro igual al mayor de las tuberías de llenado o vaciado, y nunca ha de ser inferior a 35 mm su diámetro interior. El diámetro de estas conducciones se ha calculado en el apartado anterior, siendo este de 39.2 mm.
- En todo momento deberá evitarse, en general, la emisión a la atmosfera de vapores de líquidos inflamables, corrosivos y tóxicos, en todo caso, controlar los niveles de emisión para cumplir la normativa vigente.

En adición a los requerimientos anteriores, en la MIE APQ 1, referente a los productos inflamables (comburentes en el caso de este proyecto), se especifican una serie de indicaciones adicionales en el Artículo 10. En esta ITC se diferencian dos tipos de venteo:

- Venteo normal: se consigue mediante válvulas de alivio de presión/vacío con o sin apagallamas. Estas válvulas a su vez sirven para evitar la pérdida de producto y la contaminación ambiental.
- Venteo de emergencia: Pensados para aliviar los excesos de presión interna repentinos ocasionados por in transitorio de temperatura por incendio exterior. El venteo de emergencia se puede llevar a cabo de diferentes formas:
 - Venteos adicionales.
 - Válvula de emergencia específica.
 - Una boca de hombre con esta función específica en caso de presión interna anormal.
 - Techo flotante, útil en el caso de emplear depósitos verticales.
 - Discos de ruptura.

Estos sistemas de venteo en conjunto son capaces de prevenir cualquier sobrepresión o vacío que pudiera derivar en deformaciones o provocar la ruptura de la estructura de los recipientes de almacenamiento. Puesto que todos los depósitos de la parcela se disponen verticalmente, se decide implementar techo flotante como sistema de venteo de emergencia.

En las MIE APQ 1 se indica que los sistemas de venteo de los depósitos que almacenen líquidos de subclase B1, B2 o clase C estarán equipados con un sistema apagallamas, siempre que estén almacenados a temperatura superior a su punto de inflamación. Debido al carácter comburente del ácido nítrico y del nitrato de amonio, se decide equipar los sistemas de venteo de sus recipientes con un sistema apagallamas, ya que en las fichas de seguridad de estos productos no se especifica un punto de inflamación. Teniendo en cuenta las propiedades de los productos a contener se decide implementar un apagallamas estándar.

10.7. Instalación de Protección contra Incendios

Las medidas de protección contra incendios que se requieren para el almacenamiento de productos químicos dependen del producto que se almacene, así como la forma en la que este vaya a ser almacenado, su situación y la distancia de este con otros almacenamientos de productos químicos. Para determinar los requerimientos que presentan los productos químicos que se incluyen en este proyecto, aparte de atender a las normas que se establecen en las ya recorridas ITC MIE APQ 1 del RD 656/2017, hay que estudiar los siguientes Reales Decretos:

- RD 2267/2004 del 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

- RD 513/2017 del 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

En el Anexo 1 del Real Decreto 2267/2004 se clasifica el tipo de riesgo asociado en función de la actividad que lleve a cabo el establecimiento. Definir el nivel de riesgo del almacenamiento es necesario para poder determinar tipo de bocas de incendio equipadas a instalar.

El riesgo intrínseco se determina a partir de la densidad de carga de fuego según:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{vi} \cdot C_i \cdot V_i \cdot \rho_i}{A} * R_A \quad [11]$$

Dentro de la fórmula, se pueden observar los siguientes parámetros:

- Q_s : Determina el nivel de riesgo intrínseco, es la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m².
- q_{vi} : Poder calorífico, en MJ/ m³, del producto i que existe en el sector de incendio.
- C_i : Coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por a combustibilidad) del combustible i que existe en el sector de incendio.
- V_i : Capacidad de almacenamiento para el producto i, en m³. Teniendo en cuenta los productos que se almacenan en más de un depósito.
- ρ_i : Densidad, en kg/m³, del producto i que existe en el sector de incendio.
- A : Superficie ocupada del área de incendio, en m².
- R_A : Coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc.

En el proyecto hay que tener en cuenta todas las sustancias que se van a almacenar y que intervienen en la fabricación de los fertilizantes. Tanto el poder calorífico como la densidad de cada producto se obtienen a partir de las Fichas de Seguridad Química incluidas en los Anexos de este trabajo. El coeficiente adimensional R_A se obtiene a partir de la tabla 1.2 del Anexo 1 del RD 2267/2004. Para ello se asociarán los productos químicos almacenados con los productos que intervienen en la fabricación de abonos químicos, siendo $R_A = 1.5$. La superficie ocupada del área de incendio se obtiene a partir de la parte de la parcela original que está vacía, que consiste en un área de 4675 m².

Para obtener C_i se recurre a la Tabla 1.1 del Anexo 1 del RD 2267/2004. Respecto a los productos que no son combustibles, se va a considerar que presentan un grado de peligrosidad bajo, por lo que el coeficiente de peligrosidad será igual a 1.

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.		
$C_i = 1,60$	$C_i = 1,30$	$C_i = 1,00$

En la Tabla 14 se resumen los valores de los parámetros para cada uno de los productos de interés:

Tabla 14: Parámetros para el cálculo de la densidad de carga

Fuente: Elaboración propia

Producto	C_i	q_{vi} (Mcal/kg)	ρ_i (kg/m ³)	R_A	V_i (m ³)	Nº Depósitos
Amoniaco	1	4.7	620	1.5	40	3
Ácido Nítrico	1.6	1.367	1510	1.5	22	1
Ácido Sulfúrico	1	0.55	1830	1.5	7	1
Ácido Fosfórico	1	1.5	1900	1.5	7	1
Nitrato amónico	1	2.616	1720	1.5	35	3

Sustituyendo en la fórmula [7] se obtiene la densidad de carga de fuego del parque de almacenamiento, ponderada y corregida. El valor obtenido es de $Q_s = 363.86$ Mcal/m².

Una vez obtenido el valor de la densidad de carga de fuego, a partir de la tabla se determina el nivel de riesgo intrínseco del área de incendio, siendo este de nivel medio 4:

Tabla 15: Riesgo intrínseco Fuente: RD 2267/2004

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	$3.200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

A partir del nivel de riesgo intrínseco obtenida para el área de incendio, teniendo en cuenta que se está diseñando el sistema para un recinto abierto, se requerirán las siguientes medidas de protección activa contra incendios:

- Extintores
- Sistemas manuales de alarmas de incendios
- Red de Bocas de Incendios Equipadas de 45 mm de diámetro, cuya instalación se lleva a cabo como medida de seguridad adicional.

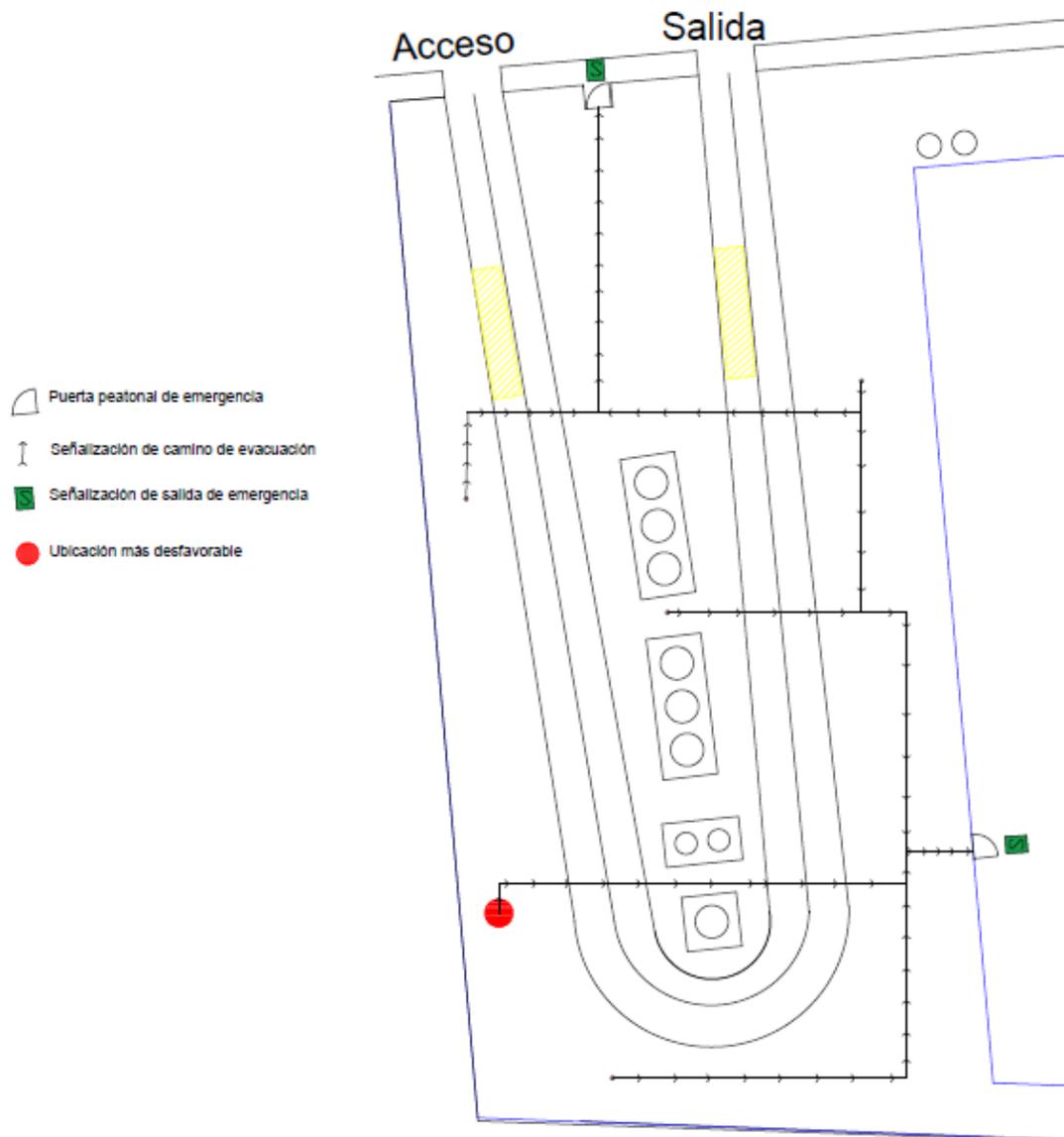
10.7.1. Evacuación

En este apartado se va a desarrollar la forma en la que las personas de la parcela podrán desalojar el establecimiento en caso de un incendio de manera ágil y segura. El estudio de las vías de evacuación es necesario para el correcto diseño del sistema de protección contra incendios de cualquier instalación. Para el desarrollo de este apartado se consulta el punto 6 del Anexo II del RD 2267/2004 sobre: *Requisitos constructivos de los establecimientos industriales según su configuración, ubicación y nivel de riesgo intrínseco.*

En la parcela se va a llevar a cabo la actividad de almacenamiento en espacios abiertos (tipo D y E). La disposición y el número de las salidas de emergencia requeridas se regirán según las pautas marcadas para los establecimientos tipo B. El número de vías de salida necesarias viene fijado en la Tabla 16:

Nivel de riesgo	Una salida de recorrido único	Dos salidas alternativas
Bajo	35 m	50 m
Medio	25 m	50 m
Alto	-	25 m

A partir del nivel de riesgo intrínseco obtenido en al comienzo de este apartado y la tabla anterior, se decide implementar dos salidas de la parcela. De esta forma se garantiza una distancia máxima de 50 metros desde cualquier punto del habitáculo hasta cualquiera de las dos salidas alternativas. Como se muestra en la Figura 18, una de las puertas es el acceso peatonal a la parcela, mientras que la otra salida de emergencia deriva al interior de la nave industrial. Además, en la figura se incluyen algunos ejemplos de recorridos de evacuación desde puntos arbitrarios de la parcela, siendo estos menores de 50 metros. Por lo tanto, en total la parcela constará de dos entradas peatonales, una de ellas siendo salida de emergencia, y dos puertas correderas para los vehículos.



Según se indica en las Instrucciones Técnicas Complementarias, respecto a las puertas de emergencia: Las puertas se deben abrir hacia fuera, sin sobrepasar el perímetro de la propiedad (Artículo 15 ITC MIE APQ 6, Artículo 17 ITC MIE APQ 7).

10.7.2. Extintores

Los extintores son dispositivos móviles que pueden ser empleados por los trabajadores de la planta industrial para extinguir fuegos o incendios leves de manera manual. Es obligatoria la

presencia de extintores adecuados en los accesos a cada uno de los cubetos en función de su riesgo.

El Anexo III del RD 2267/2004 recoge los *requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales*, a partir de los cuales se puede determinar de la ubicación y número de extintores que se requerirán en la planta, así como los diferentes tipos.

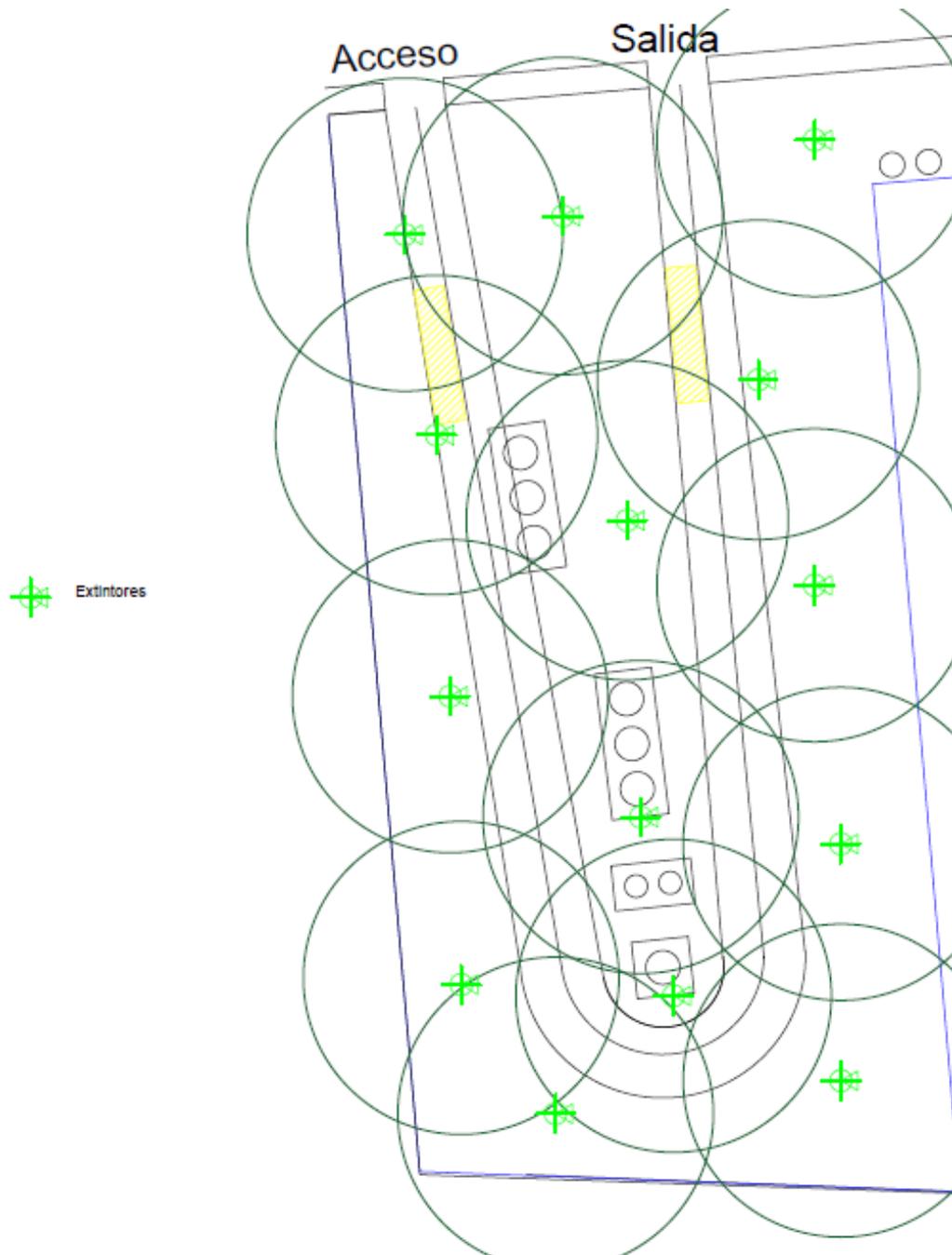
La cantidad y tipo de extintores requeridos depende de la clase de fuego del sector de fuego de la instalación, siendo para el caso de la parcela de almacenamiento de clase A, ya que la carga de fuego del producto químico combustible de clase C (Nitrato de Amonio) no alcanza el 90% de la carga de fuego total y los extintores para combustibles de clase A son válidos. En el caso de que la clase de fuego de la instalación sea de tipo A, se determina la dotación de extintores a partir de la tabla 3.1 del punto 8 incluido en el Anexo III mencionado en el párrafo anterior.

Tabla 17: Dotación de extintores por carga de fuego clase A Fuente: RD 2267/2004

Grado de riesgo intrínseco del sector de incendio	Eficacia mínima del extintor	Área máxima protegida del sector de incendio
Bajo	21A	Hasta 600 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso).
Medio	21A	Hasta 400 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso).
Alto	34A	Hasta 300 m ² (un extintor más por cada 200 m ² , o fracción, en exceso).

En este caso, se observa que la dotación de extintores en la parcela viene condicionada por el grado de riesgo intrínseco del sector del incendio. Se emplearán extintores de 6 kg de polvo ABC.

Para el caso particular del proyecto de este trabajo, se requerirán extintores con una eficacia mínima 21A y dispuestos de forma que haya uno cada 400 m² de la parcela de almacenamiento. Teniendo en cuenta el área de la zona de almacenamiento que es sector de incendio, se instalarán 14 extintores para cubrir al completo toda la zona, sus ubicaciones se muestran en la siguiente figura. Se ha determinado su ubicación atendiendo a lo indicado en el Anexo III: *el emplazamiento de los extintores portátiles permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, situados en los sitios con mayor probabilidad de iniciarse un incendio y su distribución será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor no supere 15m.*



10.7.3. Sistemas manuales de alarmas de incendios

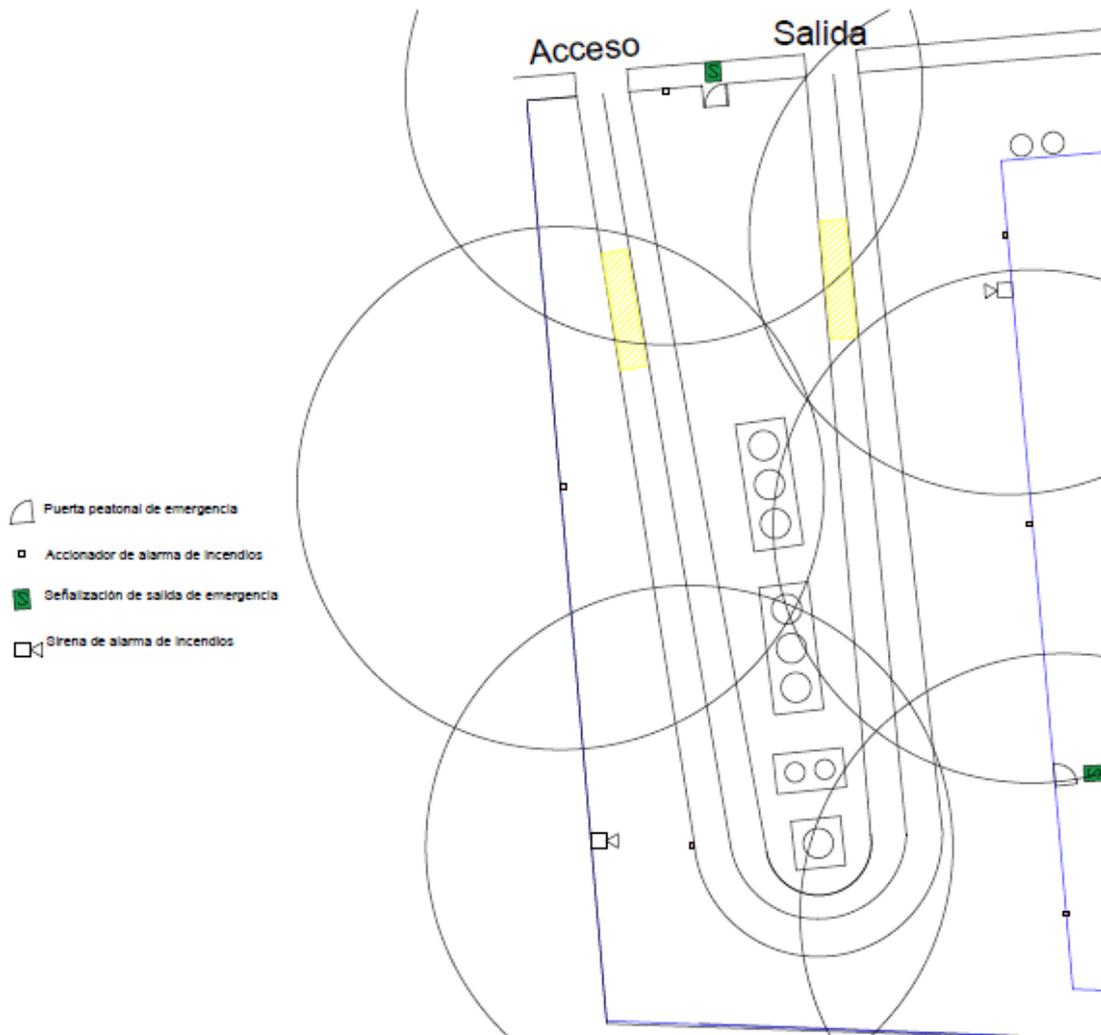
Estos sistemas consisten en una serie de accionadores distribuidos por el establecimiento que, en caso de incendio, se accionan de manera manual para activar una señal visual y sonora (sirena), la cual avisa de la existencia de un incendio en las instalaciones.

Esta medida de protección contra incendios en la planta, la cual se recoge, al igual que la sección anterior, en el Anexo III del RD 2267/2004. Los pulsadores se han de situar próximos a las salidas de emergencia del sector del incendio, de manera que la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta a alcanzar un pulsador no debe superar los 25m.

Se implementará esta medida de protección contra incendios incluyendo un total de 6 pulsadores y dos sirenas, de manera que se garantice su utilidad en toda la extensión de la parcela.

El emplazamiento de los pulsadores y de las alarmas se puede observar en la Figura 20:

Figura 20: Plano sistema de alarma de incendios Fuente: Elaboración propia



10.7.4. Red de bocas de incendio equipada

Este sistema de protección contra incendios es una herramienta manual que puede ser empleada por los trabajadores de la planta y que tiene la función de intentar controlar y mitigar un incendio una vez que este haya sido ocasionado y que los extintores no hayan podido reducirlo. Una red BIEs consta de los siguientes elementos:

- Las Bocas de Incendio Equipadas (BIEs)
- Red de tuberías
- Depósito de abastecimiento de agua
- Grupo de bombeo

Bocas de Incendio Equipadas:

Existen dos tipos de BIE. Para determinar el tipo de BIE se requiere implementar en el establecimiento hay que recurrir, una vez más, al Anexo II del RD 2267/2004. En dicho Anexo se incluye una tabla en la que se especifica el tipo de BIE que será necesaria en la instalación en función del nivel de riesgo intrínseco de la planta:

Tabla 18: Tipos de BIE Fuente: RD 2267/2004

NIVEL DE RIESGO INTRINSECO DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL	TIPO DE BIE	SIMULTANEIDAD	TIEMPO DE AUTINOMIA
<i>BAJO</i>	<i>DN 25 mm</i>	<i>2</i>	<i>60 min</i>
<i>MEDIO</i>	<i>DN 45 mm</i>	<i>2</i>	<i>60 min</i>
<i>ALTO</i>	<i>DN 45 mm</i>	<i>3</i>	<i>60 min</i>

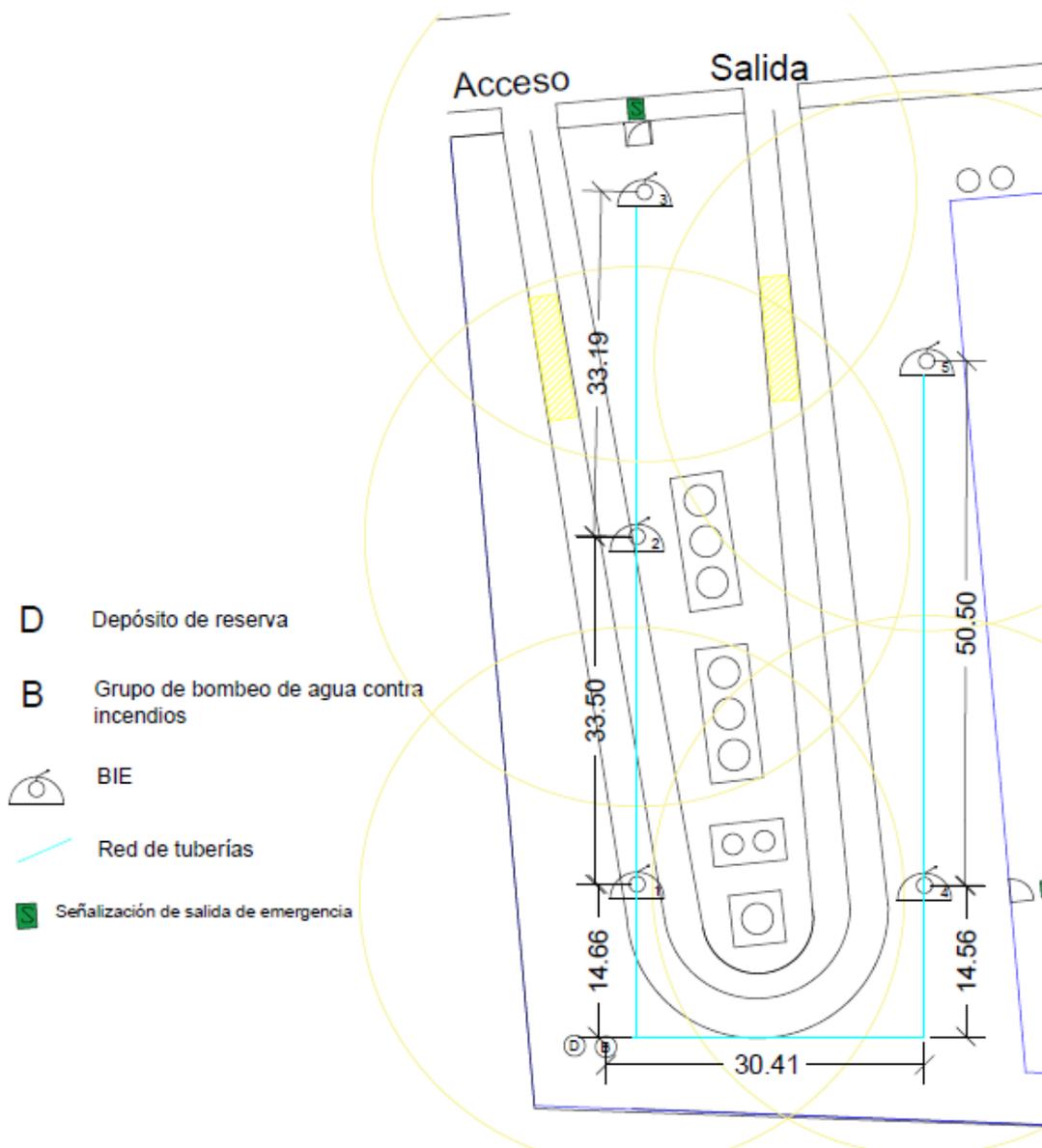
Aplicando al establecimiento del proyecto, con un nivel de riesgo intrínseco medio, se debe instalar una red consistente en las BIE con un DN de 45 mm y que sea capaz de mantener dos BIEs operando de manera simultánea durante un tiempo igual o mayor a una hora.

A partir, y adicionando a estas restricciones de diseño, para poder diseñar correctamente la red de BIEs hay que seguir las indicaciones establecidas en el Anexo I del RD 513/2017:

- El diámetro de 45 mm condiciona que la manguera tenga que ser plana.
- Para asegurar los niveles de protección, el factor K será como mínimo de 85 al ser la manguera plana.
- La longitud máxima de la manguera plana es de 20 metros.
- Deberán montarse sobre soporte rígido, de forma que la boquilla y la válvula de apertura manual y el sistema de apertura del armario, si existen, estén situadas como máximo a 1.5m sobre el nivel del suelo.
- El número total y distribución de las BIEs será tal que la totalidad de la superficie del sector de incendio en que estén instaladas quede cubierta por, al menos, una BIE, considerando como radio de acción de esta la longitud de su manguera incrementada en 5m.
- La separación máxima entre cada BIE y su más cercana será de 50m.
- Se deberá mantener alrededor de cada BIE una zona libre de obstáculos que permita el acceso a ella y a su maniobra sin dificultad.

Atendiendo a las indicaciones, se tendrá un radio de acción máximo de 25 metros para cada BIE y hará falta instalar 5 para poder cubrir toda la superficie ocupada por el área de incendio. En la siguiente figura puede observarse la ubicación de estas:

Figura 21: Plano Boca de Incendio Equipadas Fuente: Elaboración propia



Red de tuberías de agua:

En este apartado se van a calcular los diámetros que han de tener las tuberías de la red de BIEs para que sean capaces de cumplir con las exigencias de planteamiento planteadas. Esta red de tuberías será subterránea ya que, como se aprecia en la Figura 21, cruza las vías de circulación de los vehículos en la parcela. Para que no se produzcan accidentes y a modo de protección de las tuberías estas se instalarán por debajo del nivel del suelo.

Para realizar el diseño de la red de tuberías hay que tener en cuenta las dos BIEs más desfavorables desde el punto de vista hidráulico. Como se ha mencionado, las condiciones de diseño consisten en que el sistema pueda abastecer a las dos BIEs más desfavorables de manera simultánea durante una hora manteniendo una presión mínima de 2 bar y de 5 bar como máximo. Además, al tratarse de bocas de incendio de 45 mm de diámetro, se ha de asegurar un caudal de 200 l/min en cada una de ellas.

Para determinar las BIE más desfavorables hay que tener en cuenta la distancia que ha de recorrer el agua hasta llegar a cada una de estas. Cuanta mayor sea la longitud de las conducciones que ha de recorrer el fluido hasta llegar a la Boca de Incendios, mayores serán las pérdidas de carga generadas. Debido a esto, las BIEs hidráulicamente más desfavorables serán la BIE 3 y la BIE 5, como se puede observar en la Figura 21. La longitud que ha de recorrer el agua hasta cada una de las BIEs desfavorables es:

$$L_{D-3} = 14.66 + 33.5 + 33.19 = 81.35 \text{ m} \quad [12]$$

$$L_{D-5} = 30.41 + 14.56 + 50.5 = 95.47 \text{ m} \quad [13]$$

Por otro lado, conociendo el caudal, a partir de la ecuación de continuidad se obtiene el diámetro para las conducciones de la red:

$$Q = v * S = v * \frac{\pi * D^2}{4} \quad [14]$$

En las instalaciones contra incendios se requiere una velocidad del fluido de entre 1 y 3.5 m/s, por lo que se estima una velocidad de 2.25 m/s.

Aplicando la Ecuación 10 a cada uno de los tramos de la red:

- El primer lugar se calculan los tramos que trasiegan agua para dos BIE desde la estación de bombeo. Por el tramo circulará un caudal de 600 L/min, el caudal equivalente a la suma de los caudales requeridos en cada una de las BIEs. Dicho caudal en notación del S.I será de 0.01 m³/s. Por lo tanto, el diámetro de la conducción será:

$$D_{600L/min} = \sqrt{\frac{0.01 * 4}{\pi * 2.25}} = 0.0752 \text{ m} \quad [15]$$

- El segundo lugar se calculan los tramos que trasiegan agua para dos BIE desde la estación de bombeo. Por el tramo circulará un caudal de 400 L/min, el caudal equivalente a la suma de los caudales requeridos en cada una de las BIEs. Dicho caudal en notación del S.I será de 0.00667 m³/s. Por lo tanto, el diámetro de la conducción será:

$$D_{400L/min} = \sqrt{\frac{0.00667 * 4}{\pi * 2.25}} = 0.0614 \text{ m} \quad [16]$$

- Por último, para los tramos en los que se trasiega un caudal de 200 L/min. En notación del S.I. será de 0.00333 m³/s. El diámetro de estos tramos será de:

$$D_{200L/min} = \sqrt{\frac{0.00333 * 4}{\pi * 2.25}} = 0.0434 \text{ m} \quad [17]$$

Una vez calculados los diámetros, se recurre al catálogo de la empresa Tubasol, del cual se seleccionan las tuberías que se van a emplear, las cuales tienen los diámetros nominales siguientes:

$$D_{\frac{600L}{min}} = D_{\frac{400L}{min}} = 76.1 \text{ mm}$$

$$D_{\frac{200L}{min}} = 48.3 \text{ mm}$$

A dichos diámetros se le restará el espesor de las tuberías para obtener el espesor interno, el cual se requiere para realizar los cálculos de diseño necesarios. Por lo tanto, los diámetros de cada tramo de tuberías son:

$$D_{\frac{600L}{min}} = D_{\frac{400L}{min}} = 76.1 - 3.6 = 72.5 \text{ mm}$$

$$D_{\frac{200L}{min}} = 48.3 - 3.2 = 45.1 \text{ mm}$$

Las conducciones que transportan agua a las BIEs que no se consideran hidráulicamente desfavorables lo harán con un caudal de 200 L/min para cada una con un diámetro de 45.1 mm.

Depósito de abastecimiento:

Se diseñan dos depósitos en los que se almacenará agua para abastecer a las BIEs de la parcela de almacenamiento. Uno de los depósitos será el principal, que se encargará de suministrar el caudal requerido en cada una de las BIE. El segundo será un depósito de reserva que tiene que ser capaz de suministrar con la misma cadencia de agua en el caso que el depósito principal falle.

El volumen de estos depósitos tiene que ser tal que pueda abastecer a dos BIEs con un caudal de 200 L/min durante una hora, por lo que el volumen será:

$$V_{\text{Depósito}} = Q_{BIE} * \text{tiempo} = 400 \frac{L}{min} * 60min = 2400 L = 24 m^3 \text{ [18]}$$

Recurriendo de nuevo al catálogo de tanques de la empresa BioTanks, se selecciona el depósito vertical con la capacidad directamente superior a la obtenida en la Ecuación 18, escogiendo el modelo DVA-250300 con un volumen de almacenamiento de 25 m³ y unas dimensiones de 3.6 metros de altura y 3 metros de diámetro.

Grupo de bombeo para la red:

A partir de los parámetros calculados hasta este punto, y según los requerimientos planteados del sistema, el último paso en el diseño de la red de BIEs es determinar la bomba que hará falta en el depósito de abastecimiento. Dicha bomba tiene que ser capaz de aportar la potencia necesaria para que el suministro de agua llegue a las BIEs sin problemas, superando las pérdidas que puedan producirse en las conducciones.

La potencia que debe ser capaz de aportar la bomba, o lo que es lo mismo, la altura, se calcula aplicando la ecuación de Bernouilli. Dicha ecuación permite equiparar, desde el punto de vista de la dinámica de fluidos, dos puntos de un flujo de agua a lo largo de su recorrido en la conducción. Por lo tanto, se determina la altura de la bomba aplicando la ecuación de Bernouilli entre el depósito de abastecimiento y la BIE 3, ya que esta es la BIE más desfavorable, con el tramo que tendrá mayor número de pérdidas debido a la longitud de sus conducciones:

$$\frac{P_B}{\gamma} + z_B + \frac{v_B^2}{2g} + h_B = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_P \text{ [19]}$$

Siendo los parámetros que se incluyen en la ecuación:

- P_i : Presión en Pa en el punto i de la conducción del fluido. Al tratarse de un depósito atmosférico $P_B = 0$. En P_2 la presión de trabajo deberá oscilar entre 2 bar y 5 bar.
- γ : Peso específico del agua, 9810 N/m³.
- z_i : altura en el punto i de la conducción del fluido, en metros. En este caso, la altura de ambos puntos es la misma.
- v_i : velocidad del fluido en el punto i de la conducción, en m/s. Se asume que las velocidades son iguales en ambos puntos.
- g : aceleración de la gravedad, 9.81 m/s².
- h_B : altura aportada por la bomba, en mca.
- h_p : sumatorio de las pérdidas de carga generadas en la conducción del fluido, en mca.

Aplicando las asunciones mencionadas en la explicación de los parámetros, la altura de la bomba se puede obtener a partir de la siguiente simplificación de la ecuación:

$$h_B = \frac{P_2}{\gamma} + h_p \quad [20]$$

Las pérdidas que se producirán en el tramo de estudio se calculan a partir de la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$h_{fi} = \frac{8 * f * L}{\pi^2 * g * D^5} * Q^2 \quad [21]$$

Donde:

- h_{fi} : pérdidas de carga por tramo de conducción, en mca.
- L : Longitud de cada tramo de conducción, en metros.
- f : factor de fricción adimensional en cada tramo de conducción.
- D : Diámetro de cada tramo de conducción, en metros.
- Q : Caudal de fluido que circula por cada tramo de conducción, en m³/s.

El único parámetro que faltaría por determinar es el factor de fricción adimensional de cada tramo. Este se va a determinar mediante el cálculo matemático a partir de la ecuación de Swamee y Jain. Para poder realizar el cálculo, en primer lugar, se debe conocer el tipo de flujo, determinado a partir del número de Reynolds, por encima de 4000 sería un flujo turbulento, por debajo sería un flujo de régimen laminar:

$$Re = \frac{v * D}{\nu} \quad [22]$$

Siendo:

- Re : número de Reynolds.
- v : velocidad media del fluido en el tramo de conducción, en m/s.
- ν : viscosidad cinemática del fluido, al ser agua es de 10⁻⁶, en m²/s.
- D : diámetro interior de cada tramo de conducción, en metros.

Con la velocidad en las tuberías que se ha aplicado para calcular los diámetros, y con los diámetros obtenidos se obtiene un valor del número de Reynolds superior a 4000 en todos los tramos, por lo que el régimen del flujo que circula por las conducciones es turbulento. Así pues, se determina el factor de fricción con la ecuación de Swamee y Jain:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon_r}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2} \quad [23]$$

Donde ε_r es la rugosidad relativa de la tubería, obtenida como ε/D . Se decide implementar tuberías comerciales de polietileno, cuya rugosidad absoluta es de 0.015 mm, debido a sus excelentes propiedades físico-químicas. D es el diámetro interior del tramo para el que se esté calculando.

En la siguiente tabla se recogen los valores de cada parámetro junto con el factor de fricción obtenido para cada tramo:

Tabla 19: Cálculo del factor de fricción adimensional Fuente: Elaboración propia

	ε (m)	D (m)	ε_r	Q (m ³ /s)	v (m/s)	Re	f
Tramos 600 L/min	0.015*10 ⁻³	0.0725	0.00021	0.00667	1.613	117138	0.0186
Tramos 400 L/min	0.015*10 ⁻³	0.0725	0.00021	0.00667	1.613	117138	0.0186
Tramos 200 L/min	0.015*10 ⁻³	0.0451	0.00033	0.00333	2.09	94104.9	0.0204

A continuación, empleando del factor de fricción obtenido se pueden determinar las pérdidas de carga por tramo a partir de la Ecuación 16:

$$h_{fD-1} = \frac{8 \cdot 0.0186 \cdot 14.66}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot 0.0725^5} * 0.01^2 = 1.125 \text{ mca} \quad [24]$$

$$h_{f1-2} = \frac{8 \cdot 0.0186 \cdot 33.5}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot 0.0725^5} * 0.00667^2 = 1.1435 \text{ mca} \quad [25]$$

$$h_{f2-3} = \frac{8 \cdot 0.0204 \cdot 33.19}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot 0.0483^5} * 0.00333^2 = 2.36 \text{ mca} \quad [26]$$

Por otro lado, para calcular el total de pérdidas de carga hay que calcular las pérdidas de carga localizadas, ocasionadas por cambios de dirección en las tuberías. Aplicado al proyecto de este trabajo, se estiman las pérdidas ocasionadas por 6 codos en los tramos de conducción de agua hasta la BIE desfavorable. En cuatro de estos codos el flujo trasegado circulará a una velocidad de 1.613 m/s y en los dos restantes a 2.09 m/s. La ecuación para calcular las pérdidas locales en cada uno de los codos es la siguiente:

$$h_{Li} = K * \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad [27]$$

Con:

- h_{Li} = pérdidas de carga ocasionadas en el codo i, en mca.

- K: constante adimensional de pérdidas localizadas. Según el libro facilitado en la asignatura de mecánica de fluidos, para un codo normal de 90 grados se estima un valor de 0.8.
- v: velocidad a la que circula el fluido por el tramo del codo, en m/s.

Sustituyendo en la Ecuación 22 y multiplicando con el número de codos, el total de las pérdidas de carga localizadas será:

$$h_p = 0.8 * \frac{1.613^2}{2*9.81} * 4 + 0.8 * \frac{2.09^2}{2*9.81} * 2 = 0.78 \text{ mca} \quad [28]$$

Finalmente, se pueden determinar las pérdidas totales de carga producidas a lo largo de las tuberías entre el depósito de abastecimiento y la BIE más desfavorable:

$$h_p = h_{fD-1} + h_{f2-3} + h_{f1-2} + h_L \quad [29]$$

$$h_p = 5.41 \text{ mca}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación de Bernoulli simplificada (Ec.20) se obtiene la altura que la bomba deberá ser capaz de suministrar a la red, suponiendo las condiciones de operación más estricta donde la presión es igual a 5 bar.

$$h_B = \frac{5*10^5}{9810} + 8.072 = 56.39 \text{ mca} \quad [30]$$

A partir de la ecuación de la potencia útil se calcula la potencia útil mínima que deberá de ser capaz de suministrar la bomba que apliquemos en la red de Bies suministrando 400 L/min:

$$P_{\text{útil}} = \gamma * Q * h_B = 9810 * 0.01 * 56.39 = 5531.86 \text{ W} \quad [31]$$

$$P_{\text{útil}} = 5.53 \text{ kW}$$

Una vez determinadas la altura y la potencia requeridas por la bomba a implementar en la red de BIEs, para concluir con el diseño de esta medida de protección contra incendios se escoge una bomba del catálogo de la empresa Ebara Pumps Iberia. Se decide implementar el modelo de bomba AF 3M 32-200/11, la cual es capaz de aportar una altura manométrica de 60 mca.

10.8. Instalación del sistema de protección contra el rayo

Las parcelas de almacenamiento en superficie, como la que es objeto de este trabajo de diseño, se encuentran expuestas a las inclemencias climáticas. Las condiciones climáticas son un factor a tener en cuenta a la hora de seleccionar algunas características del diseño de la parcela de almacenamiento como el exterior de los depósitos o algunos de los sistemas de seguridad que se implementan en estas.

En el Artículo 24 de la Instrucción Técnica Complementaria referente a los líquidos inflamables (ITC MIE APQ 1) se indica que en los almacenamientos fijos de recipientes con productos químicos que se vean regidos por dicha norma, es de carácter obligatorio la implementación de un Sistema de Protección Contra el Rayo (SPCR). Estos sistemas minimizan el riesgo de sufrir daños materiales o humanos causados por la acción del rayo en caso de tormenta eléctrica.

El diseño apropiado de los SPCR viene recogido en la UNE 21186:2011 sobre la *Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado*. En dicha norma se indican todas las especificaciones que hacen referencia a el diseño, realización, revisión y mantenimiento de las instalaciones con pararrayos.

Existen diversos SPCR, la aplicación de un sistema u otro en una instalación de almacenamiento depende de varios factores: el coste, la accesibilidad técnica de la parcela de almacenamiento, la estética y la evaluación de riesgo del rayo. Existen, también, diferentes tipos de pararrayos: de puntas y de jaula de Faraday. Los pararrayos con puntas pueden contar, o no, con dispositivos ionizantes y de cebado. Debido a que se está diseñando un SPCR para un parque de almacenamiento en el que se guardan productos químicos inflamables, comburentes o explosivos, para los que la toma a tierra de los depósitos no es protección suficiente, se decide implementar un pararrayos con dispositivo de cebado (PDC).

Los SPDC con PDC consisten en una instalación exterior de protección contra el rayo (IEPR), la cual aporta protección al sistema en caso de que un rayo impacte directamente con el sistema. Además, cuentan con una instalación interior de protección contra el rayo complementaria (IIPR) la cual se encarga de aliviar las posibles sobretensiones ocasionadas por el impacto de un rayo y con una toma de tierra.

10.8.1. Diseño del pararrayos con dispositivo de cebado

Para conocer las exigencias de seguridad, en lo referente al rayo, del sistema de almacenamiento de la fábrica de fertilizantes se recurre a la *Sección 8 del Documento Básico de seguridad de utilización y accesibilidad*, la cual trata sobre la *Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo* (SUA 8). En primer lugar, se ha de confirmar la necesidad del pararrayos en las instalaciones, la cual será afirmativa en el caso de ocurrir cualquiera de las siguientes situaciones:

1. Cuando la frecuencia esperada de impactos (N_e) es mayor que el riesgo admisible (N_a).
2. Cuando en los edificios o instalaciones se manipulen sustancias tóxicas, radioactivas, inflamables y/o explosivas.
3. Cuando los edificios tengan una altura superior a 43 metros.

Como se ha mencionado en la introducción de este apartado hay que determinar si la incorporación del SPCR será necesaria ya que en la parcela se van a almacenar sustancias comburentes y no inflamables, por lo que se comprobarán las otras situaciones. A continuación, se ha de conocer la eficacia que requiere el SPCR para la instalación que nos ocupa, que se determina a partir de la fórmula:

$$E = 1 - \frac{N_a}{N_e} \quad [31]$$

Para determinar la frecuencia esperada de impactos de rayo, calculada en número de impactos por año, se emplea la siguiente expresión:

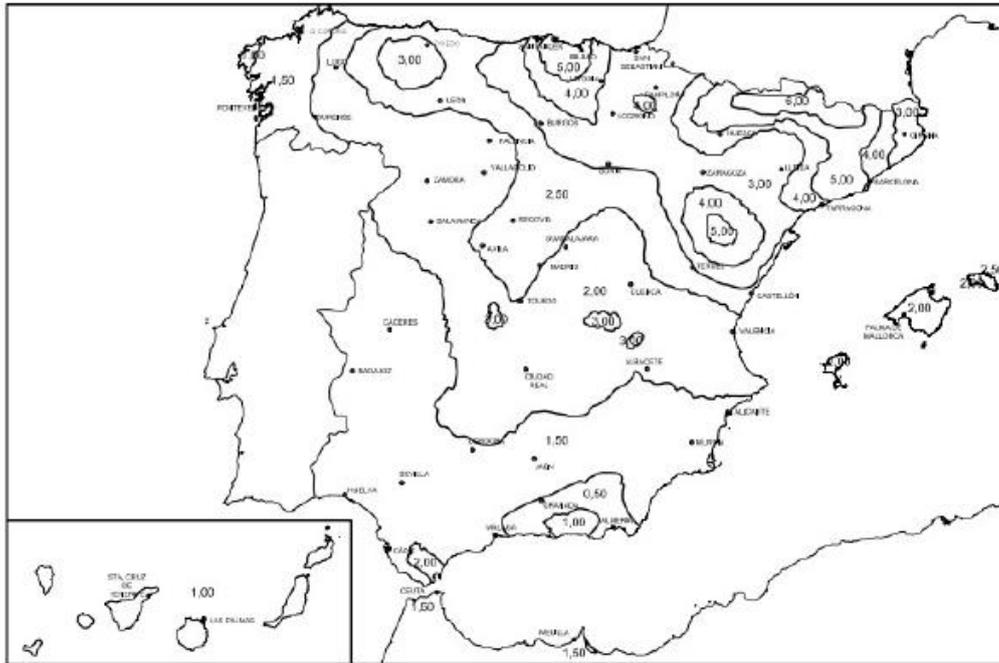
$$N_e = N_g * A_e * C_1 * 10^{-6} \quad [32]$$

Donde:

- N_g : densidad de impactos sobre el terreno, en impactos /año*km². Depende en gran medida de la ubicación geográfica de la parcela de almacenamiento. El valor de este parámetro se puede determinar a partir del mapa de densidad de impactos (Figura 22) incluido en el documento mencionado en el principio de esta sección. Para una parcela en Ribarroja del Turia el valor de esta constante es de 2.

Figura 22: Mapa de densidad de impactos sobre el terreno

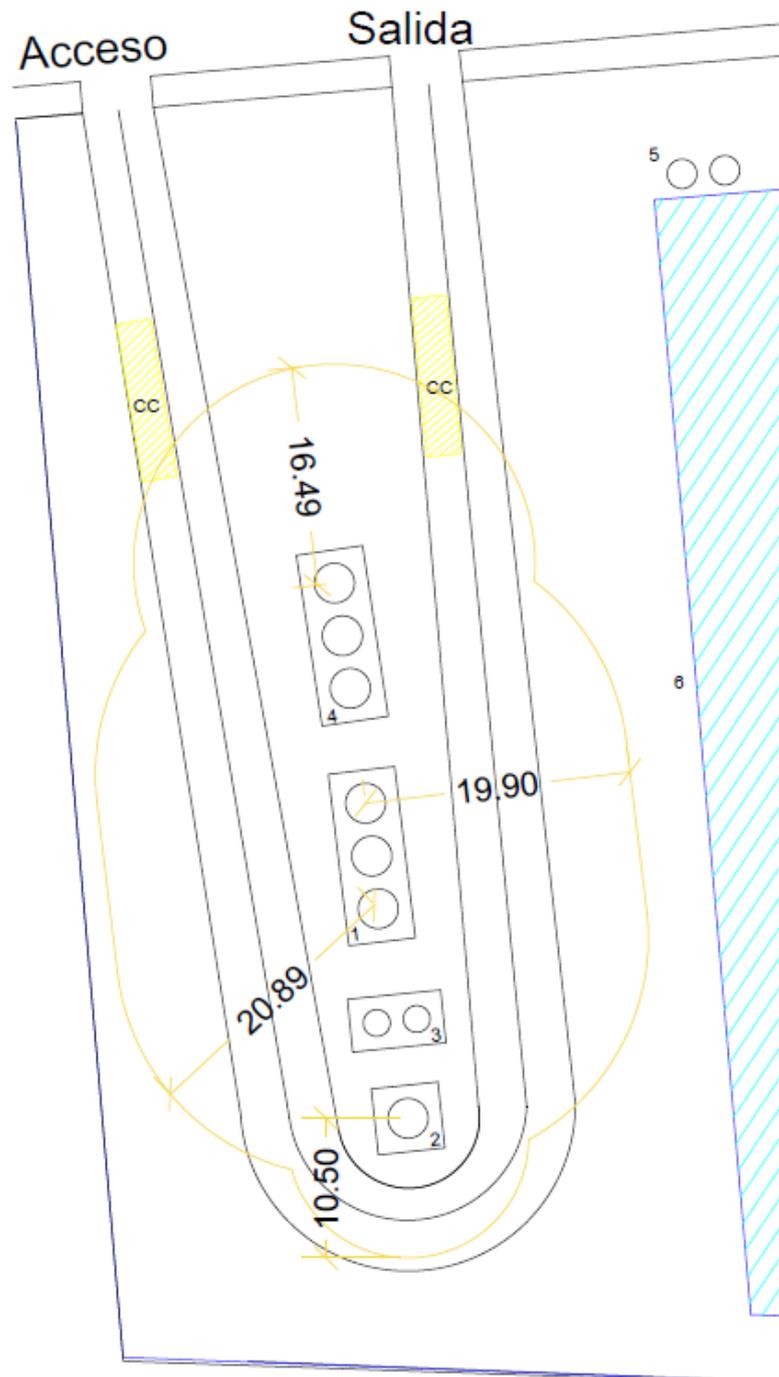
Fuente: SUA 8



- A_e : superficie de captura equivalente del edificio aislado, en m². Dicha superficie se obtiene al trazar una línea a una distancia de 3H de cada uno de los puntos del perímetro del edificio que proteja el SPCR, siendo H la altura del edificio en el punto del perímetro considerado. El valor de este parámetro se determina gráficamente tras trazar el perímetro en los planos de la parcela, como se observa en la Figura 23. La superficie de captura equivalente será de 2073.99 m².

Figura 23: Superficie de captura equivalente, A_e

Fuente: Elaboración propia



- C_1 : coeficiente relacionado con el entorno que se obtiene directamente de la tabla que recoge dicho coeficiente en el SUA 8 y que puede observarse en la Tabla 20. En este caso toma el valor de 0.5, ya que la altura máxima de la parcela de almacenamiento es de 5.8 metros, correspondiente al depósito de amoníaco, y los edificios próximos tienen una altura que no supera los 15 metros.

Tabla 20: Determinación del coeficiente C_1 Fuente: SUA 8

Situación del edificio	C_1
Próximo a otros edificios o árboles de la misma altura o más altos	0.5
Rodeado de edificios más bajos	0.75
Aislado	1
Aislado sobre una colina o promontorio	2

Sustituyendo los valores indicados en la Ecuación 28 se obtiene una frecuencia esperada de:

$$N_e = 2 * 2073.99 * 0.5 * 10^{-6} = 2.074 * 10^{-3}$$

Por otro lado, el riesgo admisible se determina mediante la siguiente expresión:

$$N_a = \frac{5.5}{C_2 * C_3 * C_4 * C_5} * 10^{-4} \quad [33]$$

Siendo:

- C_2 : coeficiente relacionado con las características de los elementos de construcción dentro de la parcela de almacenamiento, será de 0.5 al trabajar con estructuras metálicas con cubierta metálica. En la Tabla 21 se observan los valores que puede adoptar este coeficiente.

Tabla 21: Determinación del coeficiente C_2 Fuente: SUA 8

	Cubierta metálica	Cubierta de hormigón	Cubierta de madera
Estructura metálica	0.5	1	2
Estructura de hormigón	1	1	2.5
Estructura de madera	2	2.5	3

- C_3 : coeficiente relacionado con el contenido de la construcción, como se observa en la Tabla 22, si se almacenan productos inflamables tomará un valor de 3.

Tabla 22: Determinación del coeficiente C_3 Fuente: SUA 8

Edificio con contenido inflamable	3
Otros contenidos	1

- C_4 : coeficiente relacionado con el uso que se le da al edificio. Al no estar registrada la fabricación de fertilizantes en la Tabla 23, se asume que está incluida en el resto de los edificios y se le da un valor de 1.

Tabla 23: Determinación del coeficiente C_4 Fuente: SUA 8

Edificios no ocupados normalmente	0.5
Usos pública concurrencia, sanitario, comercial, docente	3
Resto de edificios	1

- C_5 : coeficiente en función de lo necesaria que es la continuidad en la actividad desarrollada en el edificio. En este caso el coeficiente toma un valor de 1, ya que se incluye en la clasificación del resto de edificios como se observa en la Tabla 24.

Tabla 24: Determinación del coeficiente C_5 Fuente: SUA 8

Edificios cuyo deterioro pueda interrumpir un servicio imprescindible (hospitales, bomberos, ..) o pueda ocasionar un impacto ambiental grave	5
Otros contenidos	1

Una vez que se ha determinado el valor de todos los parámetros, se sustituye en la Ecuación 33 para obtener el riesgo admisible:

$$N_a = \frac{5.5}{0.5 * 3 * 1 * 1} * 10^{-4} = 3.667 * 10^{-4}$$

El riesgo admisible que se ha obtenido para el supuesto de la parcela de almacenamiento es menor que la frecuencia esperada que se ha calculado, por lo que se cumple otro de los criterios que garantizan la necesidad de implementar un pararrayos en las instalaciones ($N_e > N_a$). Para determinar el nivel de protección requerido, se calcula la eficiencia con la Ecuación 31.

$$E = 1 - \frac{3.667 * 10^{-4}}{2.074 * 10^{-3}} = 0.823$$

A partir de la eficiencia E, se determina que hay que establecer un nivel de protección 3, como se indica en la Tabla 25.

Tabla 25: Determinación del nivel de protección según la eficiencia

Fuente: SUA 8

Eficiencia requerida	Nivel de protección
$E \geq 0.98$	1
$0.95 \leq E \leq 0.98$	2
$0.80 \leq E \leq 0.95$	3
$0 \leq E \leq 0.80$	4

10.8.2. Características del Sistema de Protección Contra el Rayo

Como se ha mencionado anteriormente, los SPCR están compuestos por un sistema externo, uno interno y una toma de tierra. En este apartado se procede al diseño de cada uno de estos componentes cumpliendo con los requerimientos indicados en el Anejo B del *Documento Básico SUA 8* para un nivel de protección 3. De nuevo, como se ha mencionado anteriormente, se recuerda que se selecciona un pararrayos con dispositivo de cebado.

Sistema externo:

El sistema externo de protección contra el rayo está formado por dispositivos captadores y por derivadores o conductores de bajada.

- Dispositivos captadores:

Para realizar su diseño hay que conocer el volumen de protección del pararrayos. El volumen de protección del pararrayos se define según la norma como: Bajo el plano horizontal situado 5 metros por debajo de la punta, es igual al de una esfera cuyo centro se sitúa en la vertical de la punta a una distancia D y cuyo radio es:

$$R = D + \Delta L \quad [30]$$

Donde:

- R : radio de la esfera que define la zona protegida, en metros.
- D : distancia extraída de la Tabla 26, extraída del DB SUE 8, según el nivel de protección, en metros.

Tabla 26: Determinación de distancia D

Fuente: SUA 8

Nivel de protección	Distancia D (m)
1	20
2	30
3	45
4	60

D es igual a 45 metros, en función del nivel de protección de la parcela.

- ΔL : Distancia, en metros, función del tiempo del avance del cebado Δt del pararrayos en μs . La norma establece que se adoptará $\Delta L = \Delta t$ para valores de Δt inferiores o iguales a $60 \mu s$, y $\Delta L = 60m$ para valores de tiempo superiores. Se adopta el segundo caso, por lo que $\Delta L = 60m$.

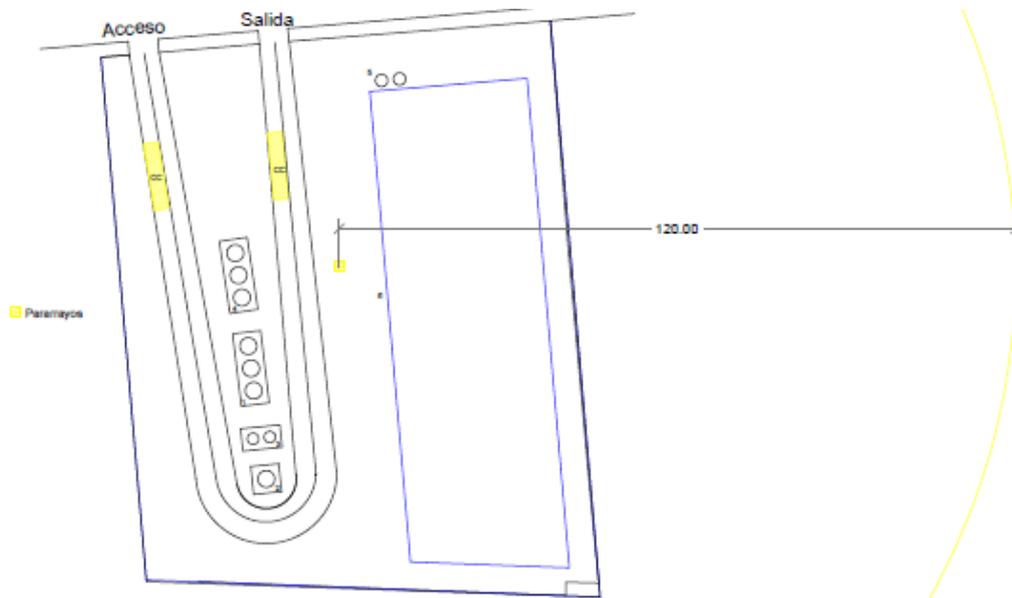
Por lo tanto, a partir de la Ecuación 30 se puede calcular el radio de la esfera que es la zona protegida por el pararrayos:

$$R = D + \Delta L = 60 + 60 = 120 \text{ m}$$

En la Figura 24 se muestra la ubicación del pararrayos junto con el radio de cobertura calculado anteriormente. Cabe mencionar que la altura del poste del pararrayos es de 6 metros.

Figura 24: Plano con ubicación del pararrayos

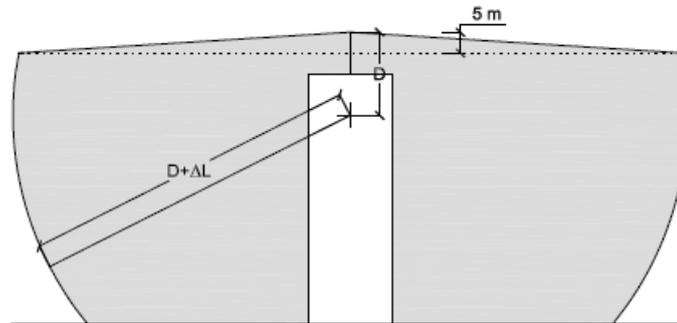
Fuente: Elaboración propia



Para finalizar con la determinación del volumen protegido con el pararrayos, una vez determinada la esfera, faltaría determinar el área del cono definido por la punta de captación del pararrayos. En la siguiente figura, extraída del Documento Básico SUE 8, se puede observar gráficamente y de manera más descriptiva el volumen protegido:

Figura 25: Volumen protegido por pararrayos con sistema de cebado

Fuente: SUE 8



- Derivadores o conductores de bajada:

Estos se encargan de conducir la energía eléctrica desde el dispositivo captador hasta la toma de tierra. En estos componentes se pueden producir sobrecalentamientos causados por sobrepotenciales muy elevados, por lo que para evitar esto se ha de cumplir que:

- Debe de haber al menos un conductor de bajada por cada pararrayos con dispositivo de cebado.
- Las longitudes de las trayectorias deben ser lo más reducidas posibles.
- Deben preverse conexiones equipotenciales.

Sistema interno:

Consiste en el conjunto de dispositivos encargados de reducir los efectos electromagnéticos de la corriente de descarga ocasionada por el rayo en el volumen protegido. Para que el sistema funcione correctamente se han de unir conductores equipotenciales con la instalación metálica de la parcela, todos los elementos conductores, la estructura metálica de la nave, los circuitos eléctricos del espacio protegido y el sistema externo.

Red de tierra:

Este componente es el encargado de dispersar en el terreno la carga eléctrica elevada derivada por el impacto de un rayo.

Con la información recogida y a partir del catálogo de la empresa PSR, especializada en la fabricación, venta, instalación y revisión de sistemas de protección contra el rayo, se decide implementar el modelo de pararrayos con sistema de cebado PDC-S4. Este pararrayos cuenta con una altura de mástil de 6 metros y un radio de acción de 113 metros con una eficacia del 90% para un nivel de protección 3. Se incluye en el catálogo al que se ha recurrido en los Anexos.

11 Instrucciones para el uso, conservación y seguridad de la instalación

En las Instrucciones Técnicas Complementarias a las que se ha recurrido a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado se establecen una serie de normas y recomendaciones a seguir para que la parcela de almacenamiento que se ha diseñado sea un lugar en el que se puede trabajar de forma segura y eficiente durante el tiempo que se esté llevando a cabo la actividad para la que fue construida, la fabricación de fertilizantes.

Del mismo modo, también se establecen una serie de normas para la correcta conservación y mantenimiento de las instalaciones. Entre las indicaciones incluidas en las ITCs destacan principalmente:

- Se ha de impartir una formación específica de los trabajadores de la planta de almacenamiento sobre los procesos y productos químicos a almacenar, de sus propiedades y riesgos. Instruir a los operarios sobre el curso de acción que han de tomar en función de cada tipo de accidente y sobre cómo se han de usar las instalaciones de seguridad de los que ha sido dotada la planta, así como de los equipos de protección individual.
- Para la seguridad, instalación de lavaojos y duchas de emergencia en las inmediaciones de los lugares de trabajo, sobre todo cerca de las zonas de carga y descarga.
- Se ha de mantener la correcta ventilación de los depósitos de almacenamiento y de las instalaciones de carga y descarga.
- El plan de mantenimiento ha de seguirse meticulosamente y ha de incluir revisiones periódicas para garantizar el buen estado tanto de los depósitos como de los sistemas de seguridad.
- Estas revisiones serán realizadas por un responsable de seguridad designado por la empresa, podrá ser un trabajador propio o ajeno a esta.

12 Conclusiones

Se ha llevado a cabo el diseño completo de la planta de almacenamiento de productos para una empresa de fabricación de fertilizantes según los requisitos establecidos por el gerente de la empresa. A lo largo de los puntos del proyecto se ha consultado la normativa encargada de regular los productos químicos que intervienen en la actividad de la empresa del cliente y se han planteado una serie de alternativas para su almacenamiento, escogiendo la alternativa que se ha considerado más adecuada en función de las condiciones impuestas. La alternativa escogida ha sido diseñada para contar con protección completa, ya que se han incluido sistemas de protección contra incendios y contra el rayo, de acuerdo con la normativa.

Personalmente, me ha parecido un ejercicio interesante y francamente útil para ser consciente de dos aspectos. En primer lugar, este proyecto me ha ayudado a ser consciente de lo que podría ser la aproximación a un proyecto real en la vida laboral de un ingeniero, lo cual es altamente gratificante tras el esfuerzo aplicado en el grado. En segundo lugar, a lo largo de este trabajo de diseño he realizado un esfuerzo para unificar y emplear en conjunto las diferentes disciplinas impartidas en el Grado de Ingeniería Química, lo cual me ha permitido alejarme de una percepción individualista de cada una de las asignaturas y tomar una visión más objetiva de los conocimientos aprendidos.

Se considera que el actual TFG cumple con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS): 8 "Trabajo decente y crecimiento económico", ya que se busca garantizar las mejores condiciones de trabajo en la planta para beneficio de esta y de la sociedad; y la 9 "Industria, innovación e infraestructura", ya que en el se emplean tecnologías actuales para la construcción de un establecimiento que va a desarrollar una actividad industrial.

A continuación, y para finalizar el trabajo, tras la bibliografía se incluyen los planos en los que se detallan las instalaciones y el presupuesto final.

13 Bibliografía

Normativa consultada:

- Real decreto 809/2021, del 21 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Real decreto 656/2017, del 23 de junio, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias:
 - ITC MIE APQ 0: "Definiciones generales"
 - ITC MIE APQ 1: "Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles en recipientes fijos"
 - ITC MIE APQ 6: "Almacenamiento de líquidos corrosivos en recipientes fijos"
 - ITC MIE APQ 7: "Almacenamiento de líquidos tóxicos en recipientes fijos"
 - ITC MIE APQ 8: "Almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno"

- RD 2267/2004, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en establecimientos industriales.
- RD 513/2017, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- RD 809/2021, ITC EP-4: aplica a las condiciones de instalación de equipos criogénicos, con volúmenes superiores a 1.000 litros de capacidad, destinados a almacenamiento de gases criogénicos como, en este caso, el CO₂.
- La sección 8 del Documento Básico de seguridad de utilización y accesibilidad: Seguridad frente al riesgo causado por la acción del rayo (SUA 8).

Recursos Web:

Reglamento sobre vehículos pesados, prioritarios, especiales, de transporte de personas y mercancías y tramitación Administrativa. Ministerio del Interior. Dirección General de Tráfico. Subdirección Adjunta de Conocimiento Vial.

- <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/formacion-vial/cursos-para-profesores-y-directores-de-autoescuelas/XVIII-Curso-de-Profesores/Reglamentacion-vehiculospesados.pdf>

Información sobre fertilizantes nitrogenados:

- <https://www.fertilizanteagricola.com/nitrato-amonico.html>
- <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/06/07/la-urea-caracteristicas-ventajas-y-desventajas-de-esta-fuente-nitrogenada/#:~:text=La%20urea%20es%20uno%20de,menudo%20usada%20en%20formulaciones%20%C3%ADquidas.>
- https://www.quimica.es/enciclopedia/Nitrato_de_amonio.html
- <https://sembralia.com/blogs/blog/sulfato-de-amonio>
- https://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/183569/TFG_Jose_Gil_Martin_ez.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20nitrato%20am%C3%B3nico%20se%20produce,entre%20el%2050%20y%2070%20%25.

Fichas internacionales de seguridad química. Ministerio de trabajo, migraciones y seguridad social. Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el Trabajo.

- Amoniaco:
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=414&p_edit=&p_version=2&p_lang=es
- Ácido nítrico:
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=183&p_edit=&p_version=2&p_lang=es
- Ácido sulfúrico:
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=362&p_edit=&p_version=2&p_lang=es
- Ácido fosfórico:
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=1008&p_edit=&p_version=2&p_lang=es

- Dióxido de carbono:
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=21&p_edit=&p_version=2&p_lang=es
- Nitrato de amonio:
https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=216&p_edit=&p_version=2&p_lang=es

Empresas proveedoras:

Extintores:

- <https://nosoloextintores.com/categoria-producto/sistemas-extincion-incendios/extintores-portatiles/>

Depósitos:

- <https://lapesa.es/es>
- <https://biotanks.es/>

Tuberías:

- <https://www.proinco.es/181114-tubos-y-accesorios-polietileno?p=2>
- <https://www.almesa.com/>

Bomba de agua:

- <https://www.ebara.es/>

SPCR:

- <https://psr.es/pararrayos/>

PRESUPUESTO

Presupuesto parcial nº 1 Capítulo 01 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Nº	Ud	Descripción	Medición				Precio	Importe
1.1	M3	Excavación en zanja y/o pozos en tierra, incluso carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Excavación de zanjas de contención del cubeto 1 (A*B*C*D)	1	36,000	0,500	1,100	19,800	
		Excavación de zanjas de contención del cubeto 2 (A*B*C*D)	1	20,000	0,500	1,100	11,000	
		Excavación de zanjas de contención del cubeto 3 (A*B*C*D)	1	22,000	0,500	1,100	12,100	
		Excavación de zanjas de contención del cubeto 4 (A*B*C*D)	1	36,000	0,500	1,100	19,800	
		Excavación de zanjas de la red de tuberías contra incendios (A*B*C*D)	1	176,820	0,300	0,500	26,523	
							89,223	89,223
		Total m3					89,223	315,85
1.2	M3	Relleno localizado en zanjas con productos seleccionados procedentes de la excavación y/o de prestamos, extendido, humectación y compactación en capas de 20 cm. de espesor, con un grado de compactación del 95% del proctor modificado.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Relleno de zanjas para red de tuberías contra incendios	1	176,820	0,300	0,500	26,523	
							26,523	26,523
		Total m3					26,523	96,54
Total presupuesto parcial nº 1 Capítulo 01 MOVIMIENTO DE TIERRAS :							412,39	

Presupuesto parcial nº 2 Capítulo 02 CIMENTACIONES

Nº	Ud	Descripción	Medición			Precio	Importe		
2.1	M3	Hormigón en masa HM-20/B/40/I fabricado en central, con vertido manual con canaleta desde camión hormigonera, y bolos de piedra de 15 a 30 cm de diámetro. Totalmente terminado. Volúmen medido según criterios o documentación gráfica de Proyecto. Según EHE-08 y CTE DB SE-C.							
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal	
		Capa de hormigón de limpieza para el muro de contención del cubeto 1 (1*B*C*D)	1	36,000	0,500	0,100	1,800		
		Capa de hormigón de limpieza para el muro de contención del cubeto 2 (1*B*C*D)	1	20,000	0,500	0,100	1,000		
		Capa de hormigón de limpieza para el muro de contención del cubeto 3 (1*B*C*D)	1	22,000	0,500	0,100	1,100		
		Capa de hormigón de limpieza para el muro de contención del cubeto 4 (1*B*C*D)	1	36,000	0,500	0,100	1,800		
							5,700	5,700	
		Total m3					5,700	59,26	337,78
2.2	M3	Hormigón en masa HM-30/B/40/IIa, de 30 N/mm2., de consistencia blanda tamaño máximo de árido 40 mm. para ambiente de humedad alta, elaborado en central en relleno de cimientos incluso vertido manual, colocación, vibrado y curado.							
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal	
		Capa de hormigón de limpieza para el muro de contención del cubeto 1 (1*B*C*D)	1	36,000	0,500	1,000	18,000		
		Capa de hormigón de limpieza para el muro de contención del cubeto 2 (1*B*C*D)	1	20,000	0,500	1,000	10,000		
		Capa de hormigón de limpieza para el muro de contención del cubeto 3 (1*B*C*D)	1	22,000	0,500	1,000	11,000		
		Capa de hormigón de limpieza para el muro de contención del cubeto 4 (1*B*C*D)	1	36,000	0,500	1,000	18,000		
							57,000	57,000	
		Total m3					57,000	74,73	4.259,61
Total presupuesto parcial nº 2 Capítulo 02 CIMENTACIONES :							4.597,39		

Presupuesto parcial nº 3 Capítulo 03 PAVIMENTOS

Nº	Ud	Descripción	Medición			Precio	Importe	
3.1	M2	Pavimento continuo con partículas metálicas en color gris sobre solera de hormigón o forjado, sin incluir éstos, con acabado monolítico incorporando 3 kg. de partículas metálicas y 1,5 kg. de cemento CEM II/B-M 32,5 R, i/replanteo de solera, encofrado y desencofrado, colocación del hormigón, regleado y nivelado de solera, fratasado mecánico, incorporación capa de rodadura, enlisado y pulimentado, curado del hormigón, aserrado de juntas y sellado con masilla de poliuretano de elasticidad permanente, medido en superficie realmente ajecutada. Según RC-16, condiciones del CTE, y las recogidas en el Pliego de Condiciones.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Cubeto 1 (A*B*C*D)	1	13,000	5,000		65,000	
		Cubeto 2 (A*B*C*D)	1	5,000	5,000		25,000	
		Cubeto 3 (A*B*C*D)	1	7,000	4,000		28,000	
		Cubeto 4(A*B*C*D)	1	13,000	5,000		65,000	
		Cargadero CC(A*B*C*D)	2	14,000	3,000		84,000	
							267,000	267,000
		Total m2				267,000	12,35	3.297,45
Total presupuesto parcial nº 3 Capítulo 03 PAVIMENTOS :							3.297,45	

Presupuesto parcial nº 4 Capítulo 04 CERRAMIENTO

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
4.1	Ud	Puerta corredera sobre carril de una hoja de 6x2 m. formada por bastidor de tubo de acero laminado 80x40x1,5 mm. y barros de 30x30x1,5 mm. galvanizado en caliente por inmersión Z-275 provistas de cojinetes de fricción, carril de rodadura para empotrar en el pavimento, poste de tope y puente guía provistos de rodillos de teflón con ajuste lateral, orejitas para cerradura, elaborada en taller, ajuste y montaje en obra.			
		Total ud	2,000	2.633,89	5.267,78
4.2	Ud	Puerta metálica cortafuegos de una hoja pivotante de 1,10x2,10 m., homologada EI2-30-C5, construida con dos chapas de acero electrocincado de 0,80 mm. de espesor y cámara intermedia de material aislante ignífugo, sobre cerco abierto de chapa de acero galvanizado de 1,20 mm. de espesor, con siete patillas para fijación a obra, cerradura embutida y cremona de cierre automático, elaborada en taller, ajuste y fijación en obra, incluso acabado en pintura epoxi polimerizada al horno (sin incluir recibido de albañilería). Según CTE DB-SI.			
		Total ud	2,000	366,09	732,18
Total presupuesto parcial nº 4 Capítulo 04 CERRAMIENTO :					5.999,96

Presupuesto parcial nº 5 Capítulo 05 CANALIZACIONES A CARGADEROS

Nº	Ud	Descripción	Medición			Precio	Importe		
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal	
5.1	M.	Tubería de acero galvanizado de 1 1/2" (40 mm.) de diámetro nominal, en instalaciones interiores, para agua fría y caliente, con p.p. de piezas especiales galvanizadas, totalmente instalado y funcionando, en ramales de longitud superior a 3 metros, incluso con protección de coquilla anticondensación. Según CTE DB HS-4.							
		Canalización del cargadero al primer depósito de amoniaco (A*B)	3	27,000			81,000		
		Canalización del cargadero al segundodepósito de amoniaco (A*B)	3	29,900			89,700		
		Canalización del cargadero al tercer depósito de amoniaco (A*B)	3	31,800			95,400		
		Canalización del cargadero al depósito de ácido nítrico (A*B)	3	54,800			164,400		
		Canalización del cargadero al depósito de ácido fosfórico (A*B)	3	48,200			144,600		
		Canalización del cargadero al depósito de ácido sulfúrico (A*B)	3	46,800			140,400		
		Canalización del cargadero al primer depósito de nitrato amónico (A*B)	3	12,600			37,800		
		Canalización del cargadero al segundo depósito de nitrato amónico (A*B)	3	14,100			42,300		
		Canalización del cargadero al tercer depósito de nitrato amónico (A*B)	3	16,000			48,000		
		Canalización del cargadero al primer depósito de CO2 (A*B)	3	18,400			55,200		
		Canalización del cargadero al segundo depósito de CO2 (A*B)	3	20,200			60,600		
							959,400	959,400	
		Total m.:					959,400	18,11	17.374,73
Total presupuesto parcial nº 5 Capítulo 05 CANALIZACIONES A CARGADEROS :							17.374,73		

Presupuesto parcial nº 6 Capítulo 06 DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
6.1	U	Depósito con capacidad de 40 m3 para el almacenamiento de productos químicos			
			Total u:	3,000	7.457,56
					22.372,68
6.2	U	Deposito con capacidad de 22 m3 para el almacenamiento de productos químicos			
			Total u:	1,000	3.630,75
					3.630,75
6.3	U	Deposito con capacidad de 7 m3 para el almacenamiento de productos químicos			
			Total u:	2,000	1.133,00
					2.266,00
6.4	U	Deposito con capacidad de 6.1 m3 para el almacenamiento de productos químicos			
			Total u:	2,000	3.090,00
					6.180,00
6.5	U	Deposito con capacidad de 22 m3 para el almacenamiento de productos químicos			
			Total u:	3,000	7.210,00
					21.630,00
Total presupuesto parcial nº 6 Capítulo 06 DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO :					56.079,43

Presupuesto parcial nº 7 Capítulo 07 INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe		
7.1	Ud	Extintor de polvo químico ABC polivalente antibrasa de eficacia 34A/233B, de 6 kg. de agente extintor, con soporte, manómetro comprobable y boquilla con difusor. Medida la unidad instalada. Según Norma UNE de aplicación, y certificado AENOR.					
		Total ud	14,000	33,50	469,00		
7.2	Ud	Armario metálico para extintor 6/12 kgs., con marco fijo y cristal para romper. Medida la unidad instalada.					
		Total ud	14,000	55,16	772,24		
7.3	Ud	Pulsador de alarma. Medida la unidad instalada.					
		Total ud	6,000	39,06	234,36		
7.4	Ud	Sirena electrónica bitonal, con indicación acústica. Medida la unidad instalada.					
		Total ud	2,000	43,92	87,84		
7.5	Ud	Depósito reserva de agua contra incendios de 24.000 litros, colocado en superficie, en posición vertical, construido en PVC de alta resistencia. Medida la unidad instalada.					
		Total ud	2,000	6.158,23	12.316,46		
7.6	Ud	Grupo de presión contra incendios para 24 m3/h a 65 m.c.a., compuesto por electrobomba principal de 15 CV., electrobomba de 2 CV., colector de aspiración con válvulas de seccionamiento, colector de impulsión con válvulas de corte y retención, válvula principal de retención y colector de pruebas en impulsión, manómetro y válvula de seguridad, acumulador hidroneumático de 25 l., bancada metálica de conjunto monobloc. Medida la unidad instalada.					
		Total ud	1,000	5.823,49	5.823,49		
7.7	Ud	Boca de incendio equipada, B.I.E. compuesta por armario metálico de 650x500 mm., pintado en rojo bombero, válvula de barril de aluminio con manómetro, lanza variomatic, tres efectos, devanadera circular pintada, manguera tipo Superjet de 45 mm. de diámetro y 25 m. de longitud, racorada. Inscripción para usar sobre cristal USO EXCLUSIVO BOMBEROS, sin cristal. Medida la unidad instalada.					
		Total ud	5,000	316,67	1.583,35		
7.8	M.	Tubería de polietileno sanitario de alta densidad (PE-100), para uso alimentario, de 40 mm de diámetro nominal (1 1/2") y PN 16 atm, conforme UNE-EN 12201; para tuberías de alimentación de suministro de agua fría y caliente. Totalmente montada, incluyendo p.p. de piezas especiales (codos, manguitos, etc), y p.p de medios auxiliares. totalmente instalada y funcionando, en ramales de longitud superior a 3 m. y sin protección superficial. Según CTE DB HS-4. Medida la longitud realizada.					
		Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Tramos con un caudal de 200 L/min	1	83,690			
						83,690	83,690
		Total m.:		83,690		10,71	896,32
7.9	M.	Tubería de polietileno sanitario de alta densidad (PE-100), para uso alimentario, de 75 mm de diámetro nominal (3") y PN 16 atm, conforme UNE-EN 12201; para tuberías de alimentación de suministro de agua fría y caliente. Totalmente montada, incluyendo p.p. de piezas especiales (codos, manguitos, etc), y p.p de medios auxiliares. totalmente instalada y funcionando, en ramales de longitud superior a 3 m. y sin protección superficial. Según CTE DB HS-4. Medida la longitud realizada.					

Presupuesto parcial nº 8 Capítulo 08 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
8.1	Ud	Pararrayos electrónico con dispositivo de cebado (PDC) realizado de acuerdo con la UNE 21.186, formado por cabezal de nivel I 75 m., sobre mástil de 6 m. de acero galvanizado y 50 mm. de diámetro, sujeto por doble anclaje. De un sólo bajante de conductor de cobre trenzado de 50 mm2 de sección, sujeto por grapas adecuadas, tubo protector de 3 m. de altura, contador de rayos, puesta a tierra mediante placa de cobre electrolítico puro en arqueta registrable. Totalmente montado y conexionado.			
			Total ud:	1,000	4.720,84
Total presupuesto parcial nº 8 Capítulo 08 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO :					4.720,84

Presupuesto parcial nº 9 Capítulo 09 SEGURIDAD Y SALUD

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
9.1	Ud	Vigilancia de la salud obligatoria anual por trabajador que incluye: Planificación de la vigilancia de la salud; análisis de los accidentes de trabajo; análisis de las enfermedades profesionales; análisis de las enfermedades comunes; análisis de los resultados de la vigilancia de la salud; análisis de los riesgos que puedan afectar a trabajadores sensibles (embarazadas, postparto, discapacitados, menores, etc. (Art. 37.3 g del Reglamento de los Servicios de Prevención); formación de los trabajadores en primeros auxilios; asesoramiento al empresario acerca de la vigilancia de la salud; elaboración de informes, recomendaciones, medidas sanitarias preventivas, estudios estadísticos, epidemiológicos, memoria anual del estado de salud (Art. 23 d y e de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales); colaboración con el sistema nacional de salud en materias como campañas preventivas, estudios epidemiológicos y reporte de la documentación requerida por dichos organismos (Art. 38 del Reglamento de los Servicios de Prevención y Art. 21 de la ley 14/86 General de Sanidad); sin incluir el reconocimiento médico que realizará la mutua con cargo a cuota de la Seguridad Social.			
		Total ud	1,000	60,71	60,71
Total presupuesto parcial nº 9 Capítulo 09 SEGURIDAD Y SALUD :					60,71

Presupuesto parcial nº 10 Capítulo 10 CONTROL DE CALIDAD

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
10.1	Ud	Prueba de presión interior y estanqueidad de la red de BIEs, s/ art. 6.2 de CTE DB HS-4, con carga hasta 20 kp/cm ² para comprobar la resistencia y mantenimiento posterior durante 15 minutos de la presión a 6 kp/cm ² para comprobar la estanqueidad. Según precipciones técnicas recogidas en el CTE DB HS-4.			
		Total ud	1,000	78,80	78,80
10.2	Ud	Prueba de comprobación del caudal de agua en conductos, abiertos o cerrados, de la red de la instalación de protección contra incendios con caudalímetro digital.			
		Total ud	1,000	26,27	26,27
Total presupuesto parcial nº 10 Capítulo 10 CONTROL DE CALIDAD :					105,07

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Capítulo 1 Capítulo 01 MOVIMIENTO DE TIERRAS	412,39
Capítulo 2 Capítulo 02 CIMENTACIONES	4.597,39
Capítulo 3 Capítulo 03 PAVIMENTOS	3.297,45
Capítulo 4 Capítulo 04 CERRAMIENTO	5.999,96
Capítulo 5 Capítulo 05 CANALIZACIONES A CARGADEROS	17.374,73
Capítulo 6 Capítulo 06 DEPÓSITOS DE ALMACENAMIENTO	56.079,43
Capítulo 7 Capítulo 07 INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	24.391,44
Capítulo 8 Capítulo 08 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA EL RAYO	4.720,84
Capítulo 9 Capítulo 09 SEGURIDAD Y SALUD	60,71
Capítulo 10 Capítulo 10 CONTROL DE CALIDAD	105,07
<hr/>	
Presupuesto de ejecución material	117.039,41
13% de gastos generales	15.215,12
6% de beneficio industrial	7.022,36
Suma	139.276,89
21% IVA	29.248,15
<hr/>	
Presupuesto de ejecución por contrata	168.525,04

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de CIENTO SESENTA Y OCHO MIL QUINIENTOS VEINTICINCO EUROS CON CUATRO CÉNTIMOS.

Ribarroja de Turia. 2024
Graduado en Ingeniería Química
Alejandro Martínez Gandía

PLANOS

ÍNDICE DE PLANOS:

Plano 1. Situación.

Plano 2. Detalle de parcela.

Plano 3. Distribución de nave y oficinas.

Plano 4. Cubetos de retención.

Plano 5. Distribución en planta alternativa definitiva.

Plano 6. Distribución en planta alternativa 2.

Plano 7. Distribución en planta alternativa 3.

Plano 8. Zona de carga y descarga.

Plano 9. Salidas de emergencia.

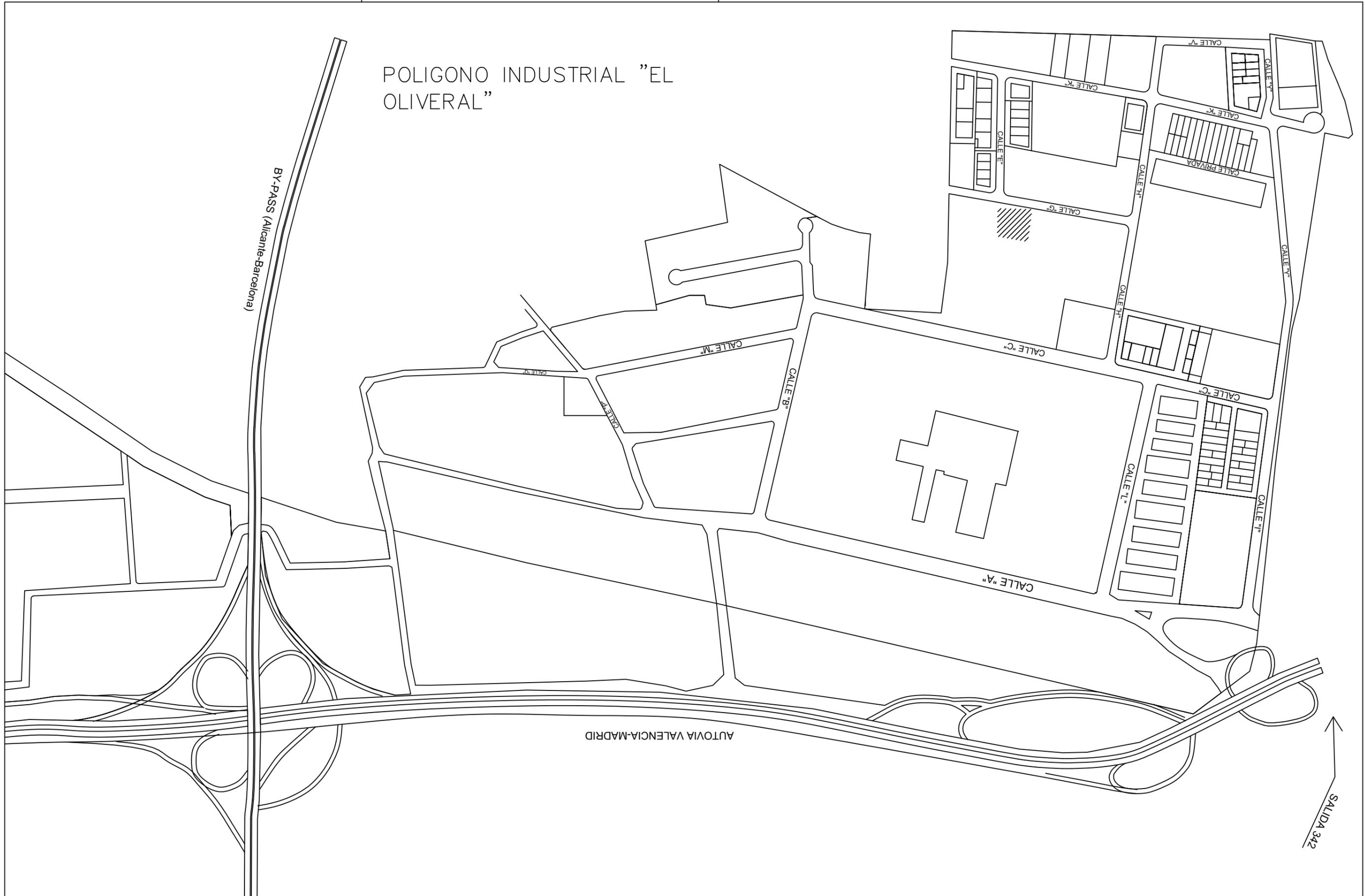
Plano 10. Distribución de extintores.

Plano 11. Distribución de alarma manual contra incendios.

Plano 12. Distribución de la red de bocas de incendio equipadas.

Plano 13. Superficie de captura equivalente, A_e , del sistema de protección contra el rayo.

POLIGONO INDUSTRIAL "EL OLIVERAL"



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUÍMICA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

Proyecto: **PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS PARA UNA EMPRESA QUE FABRICA FERTILIZANTES NITROGENADOS EN LA LOCALIDAD DE RIBARROJA DEL TURIA (VALENCIA)**

Plano: **Situación**

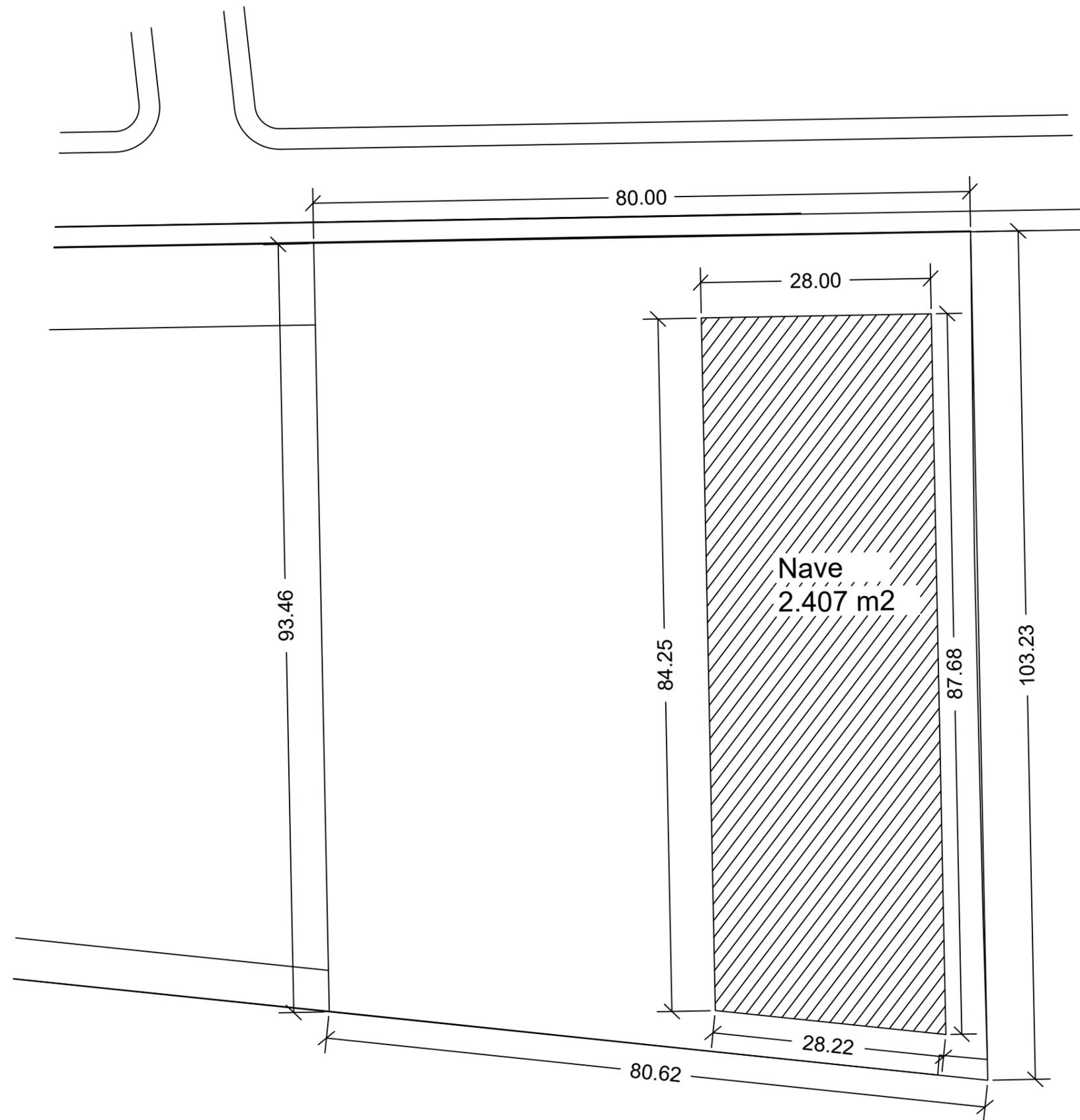
Autor: **Alejandro Martínez Gandía**

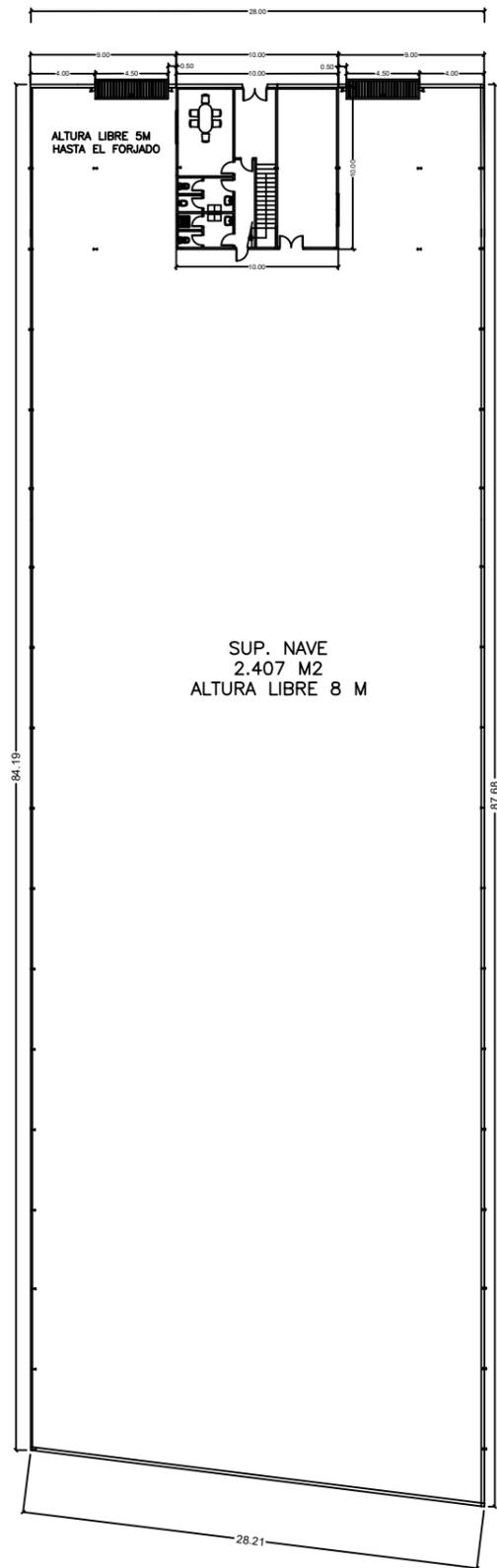
Fecha: **Febrero 2024**

Escala: **1:200**

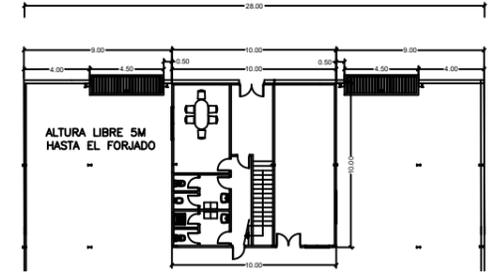
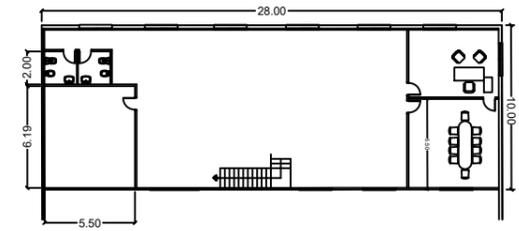
Nº Plano:

1



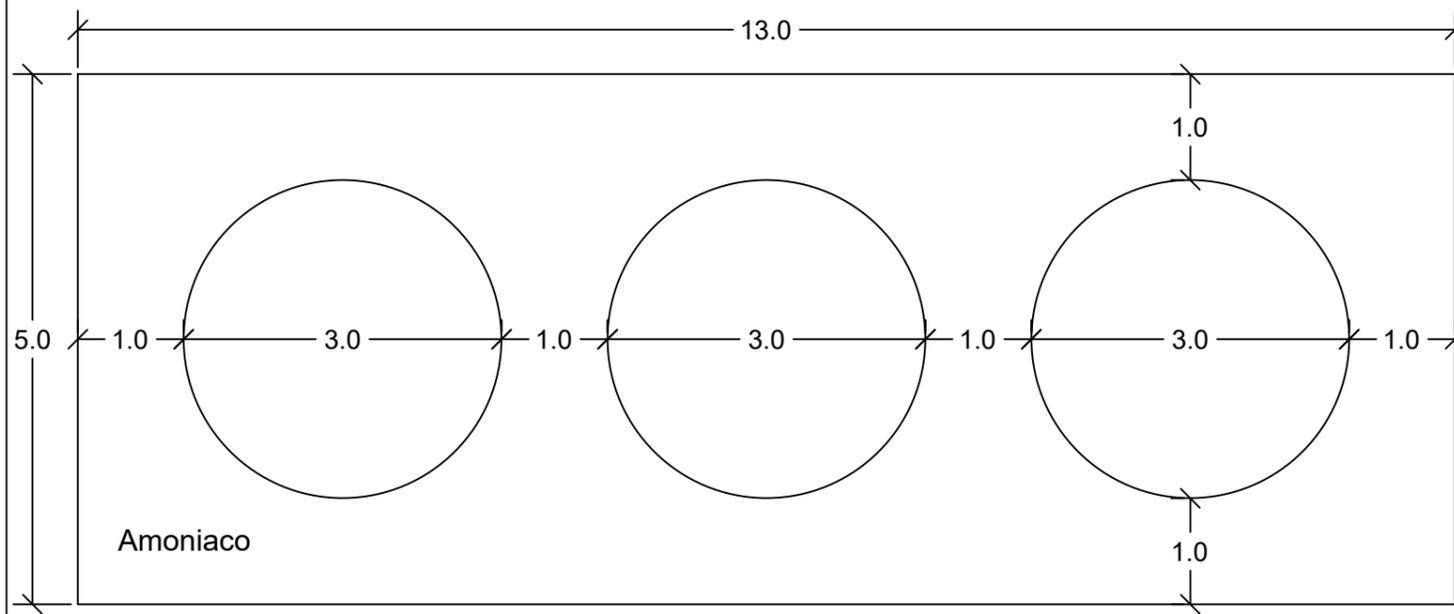


DISTRIBUCIÓN NAVE

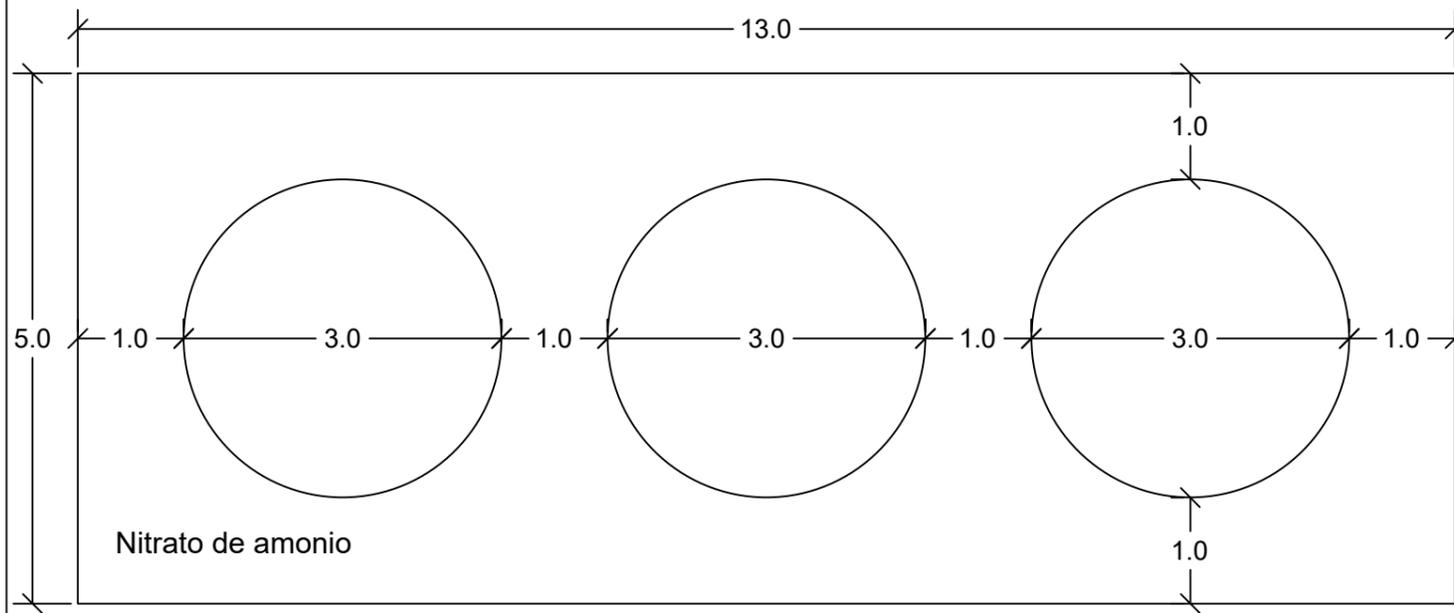


DISTRIBUCIÓN OFICINAS

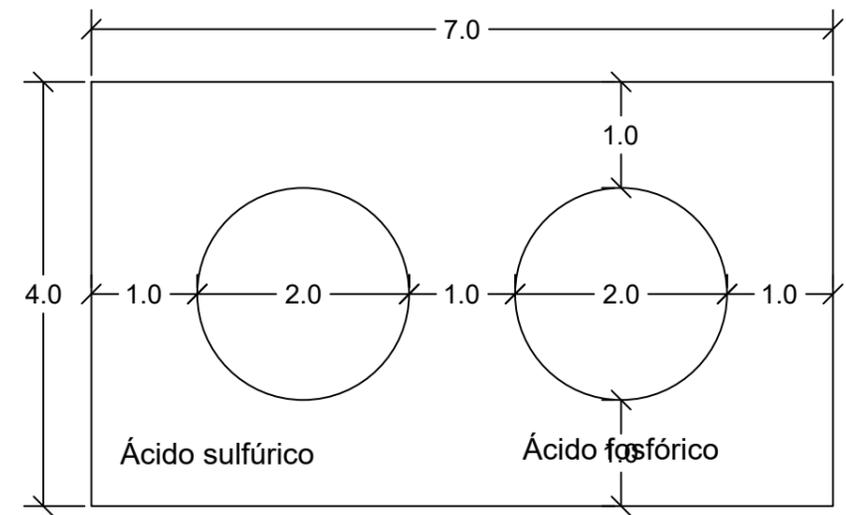
<p>TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA</p>  <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>  <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA INDUSTRIAL VALENCIA</p>	<p>Proyecto: PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS PARA UNA EMPRESA QUE FABRICA FERTILIZANTES NITROGENADOS EN LA LOCALIDAD DE RIBARROJA DEL TURIA (VALENCIA)</p>	<p>Plano: Distribución de nave y oficinas</p> <p>Autor: Alejandro Martínez Gandía</p>	<p>Fecha: Febrero 2024</p> <p>Escala: 1:200</p>	<p>Nº Plano: 3</p>
---	--	---	---	---------------------------



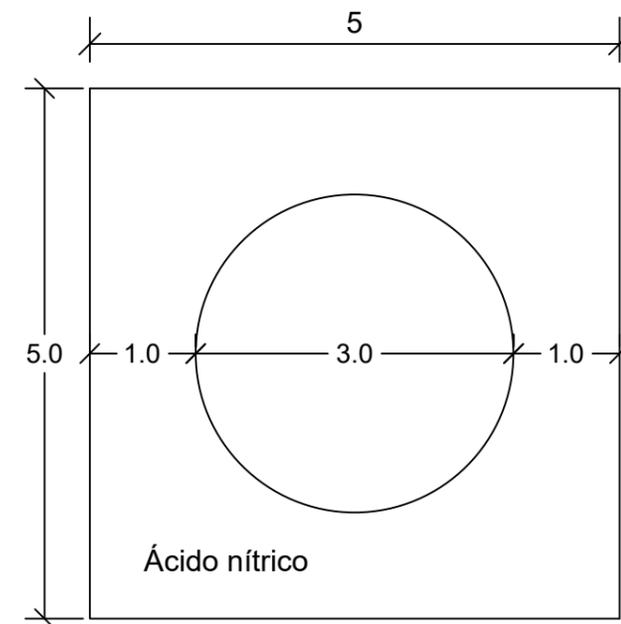
CUBETO 1



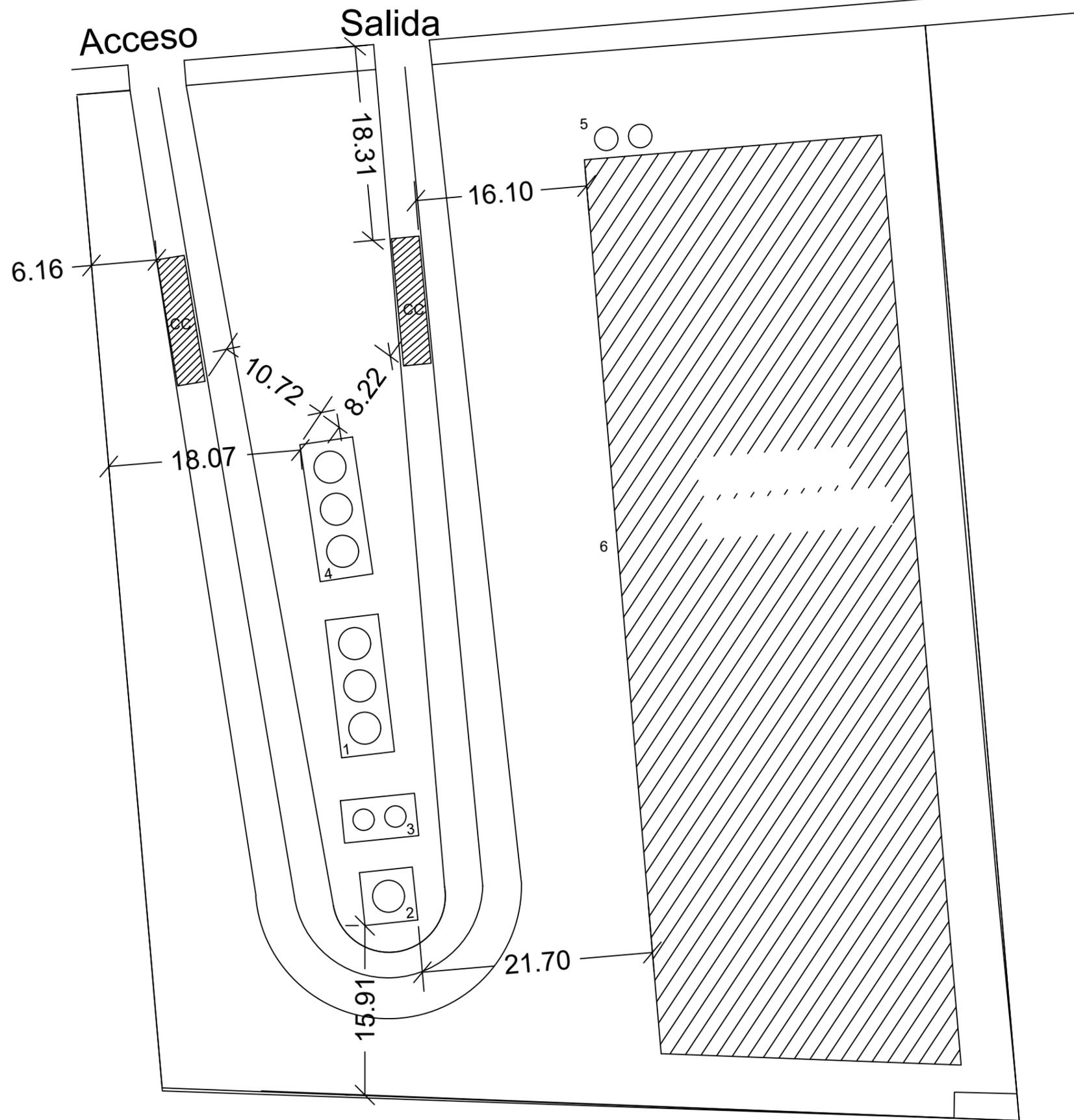
CUBETO 4

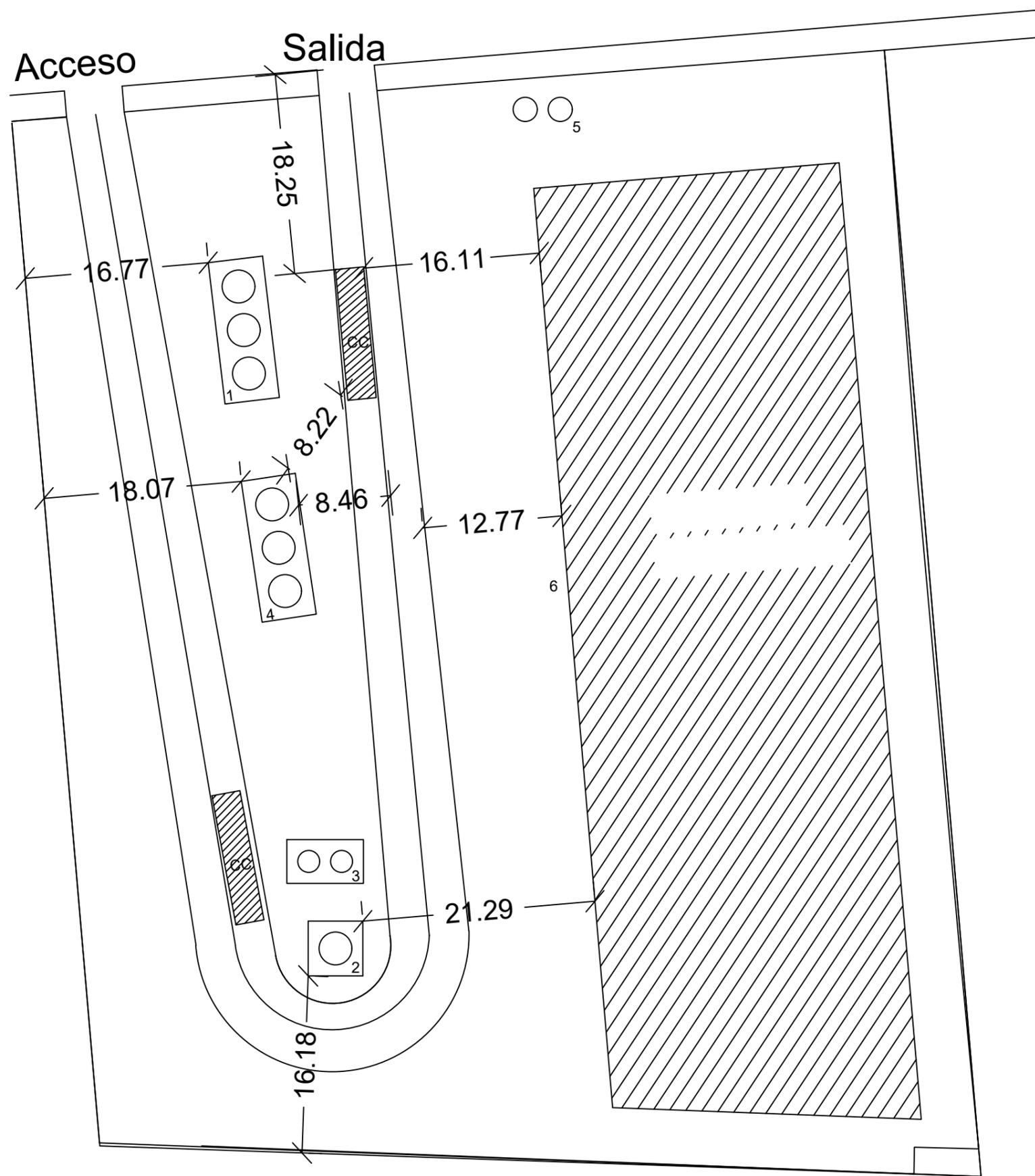


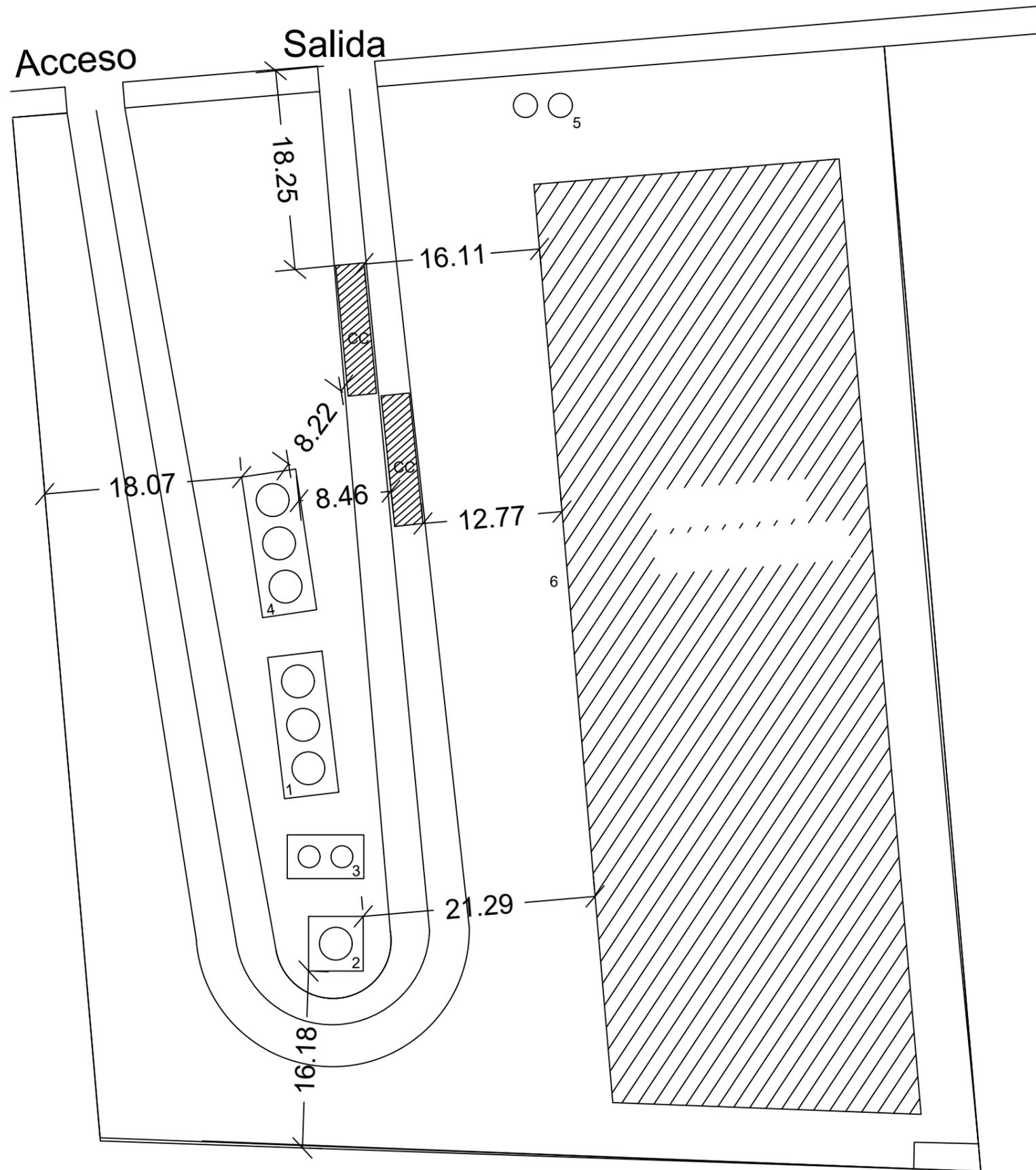
CUBETO 3

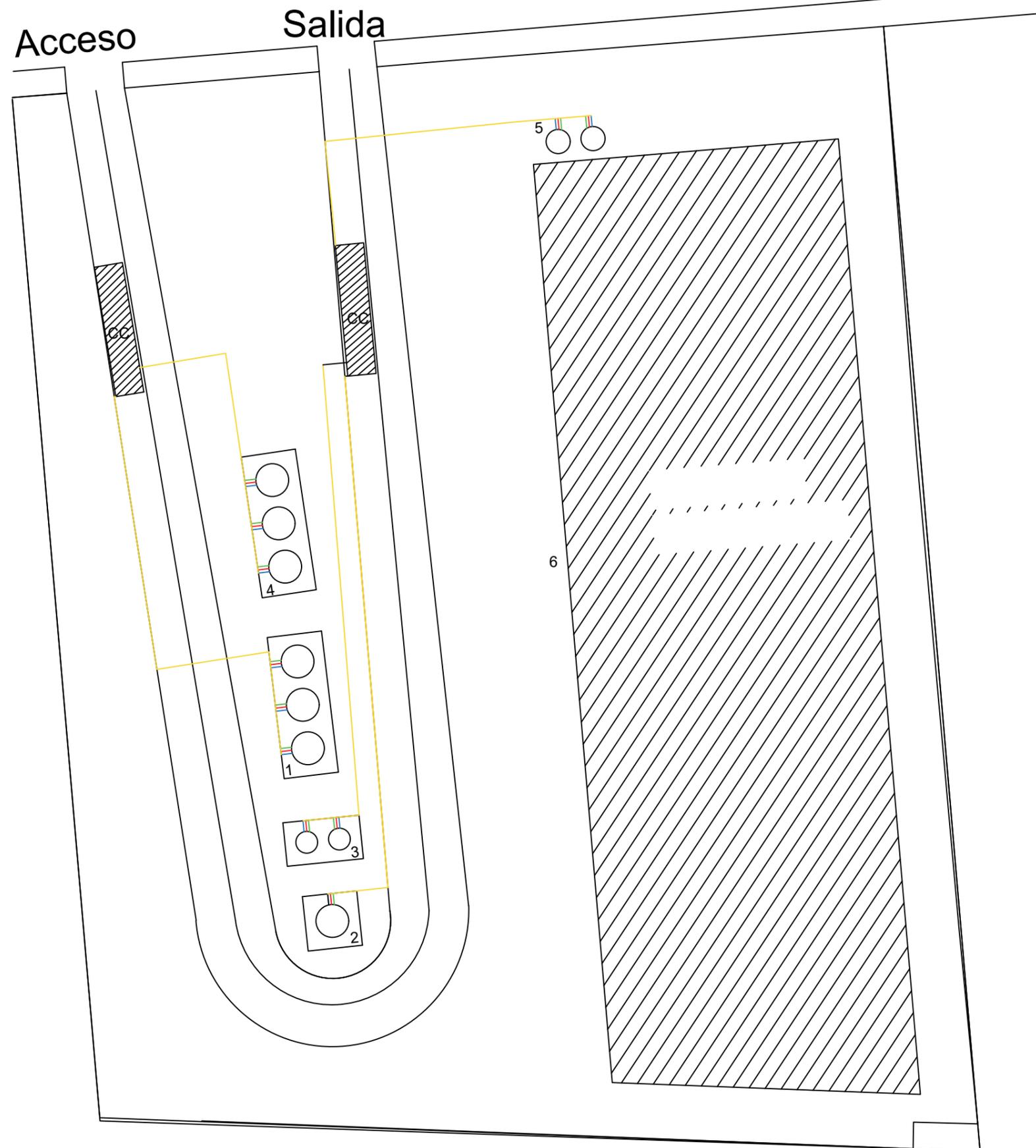


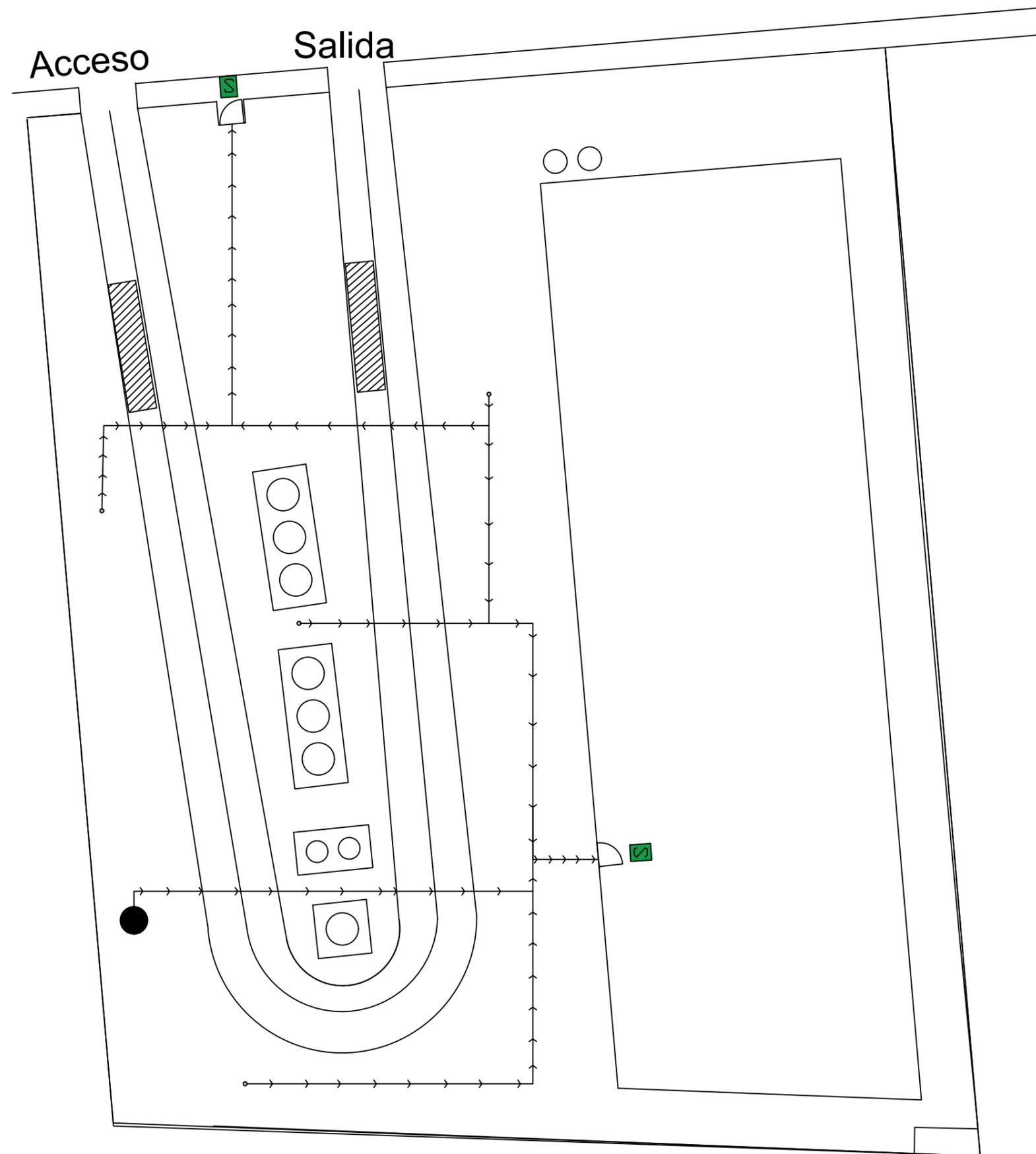
CUBETO 2



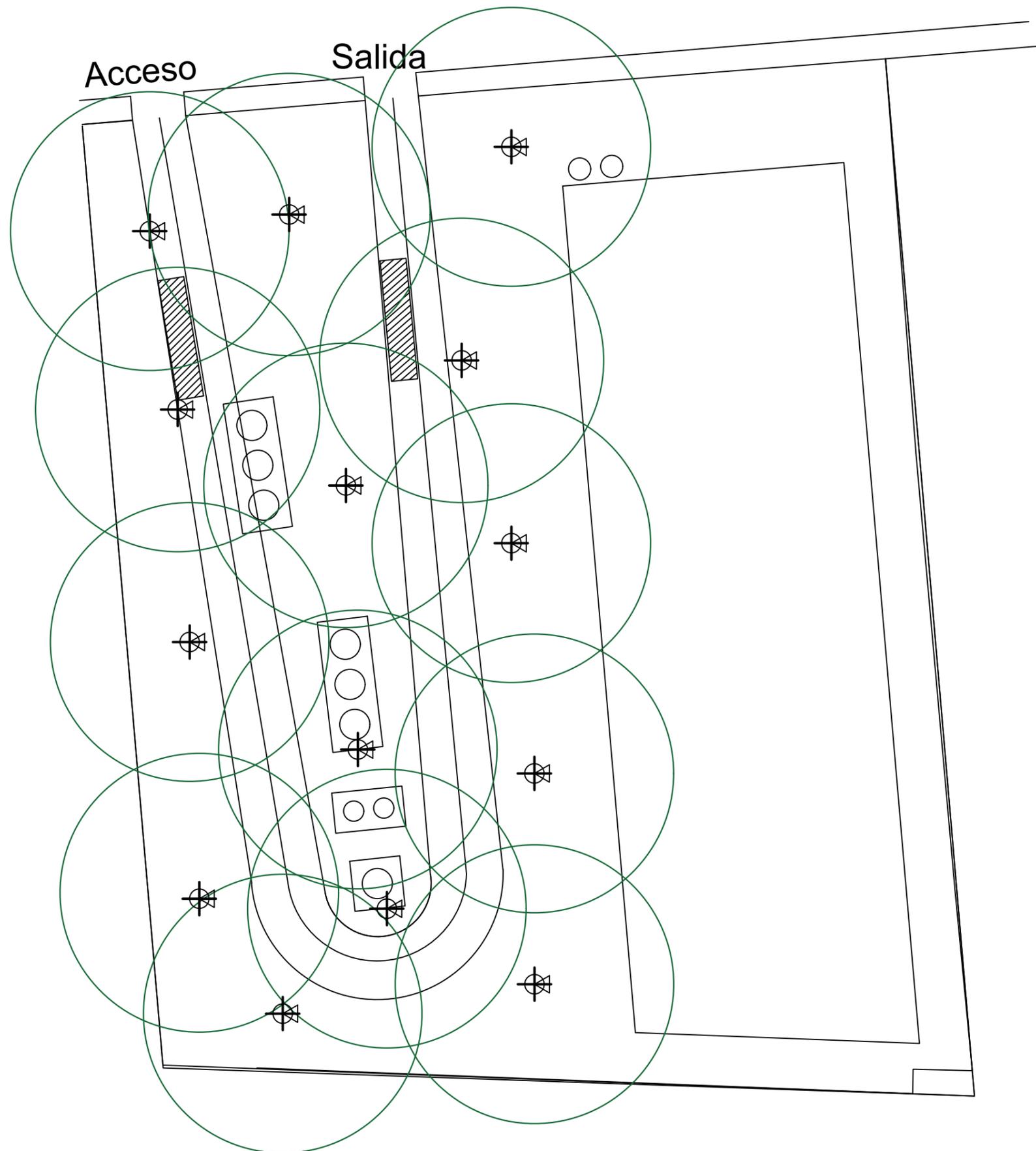








-  Puerta peatonal de emergencia
-  Señalización de camino de evacuación
-  Señalización de salida de emergencia
-  Ubicación más desfavorable



Extintores

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



Proyecto: PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS PARA UNA EMPRESA QUE FABRICA FERTILIZANTES NITROGENADOS EN LA LOCALIDAD DE RIBARROJA DEL TURIA (VALENCIA)

Plano: Distribución extintores

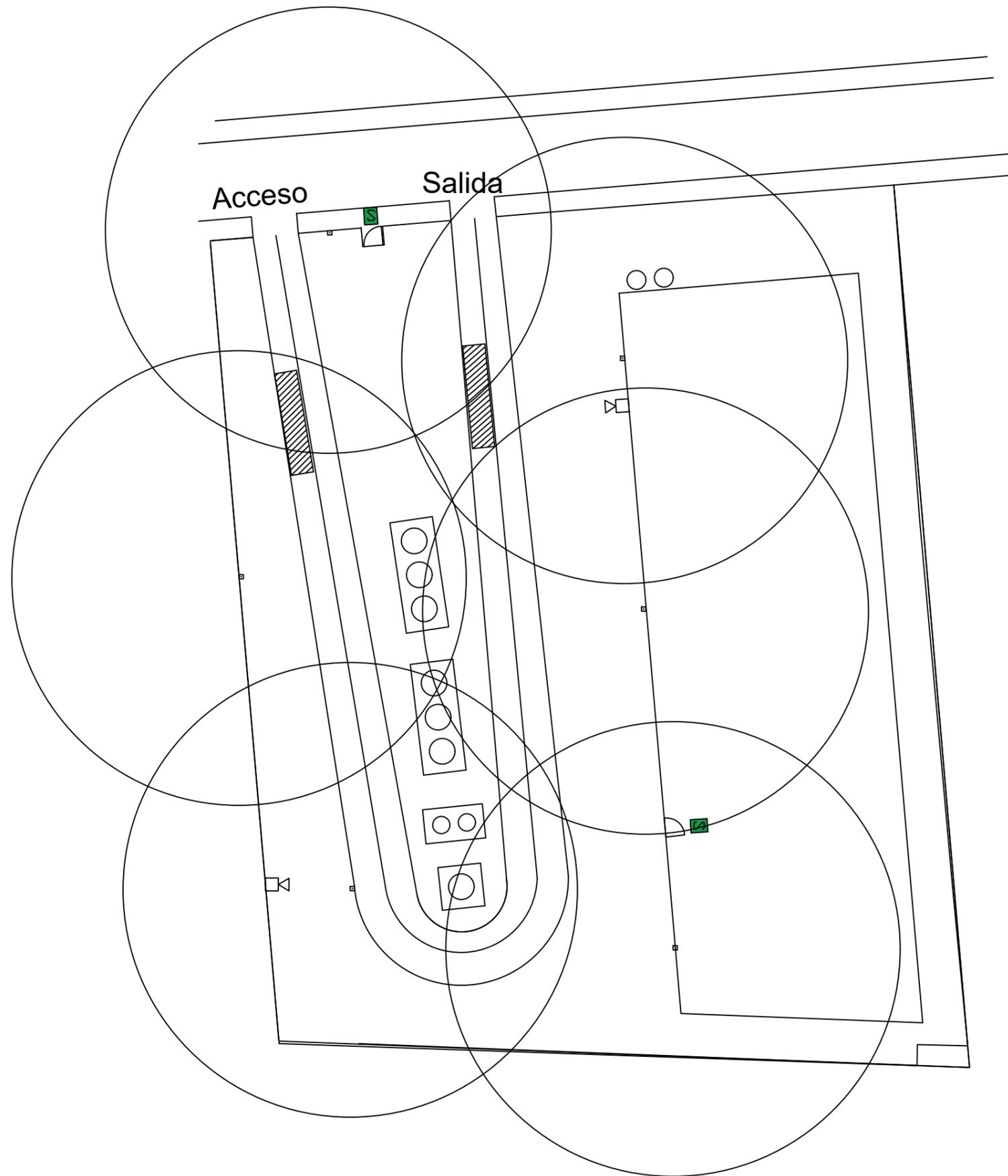
Autor: Alejandro Martínez Gandía

Fecha: Febrero 2024

Escala: 1:200

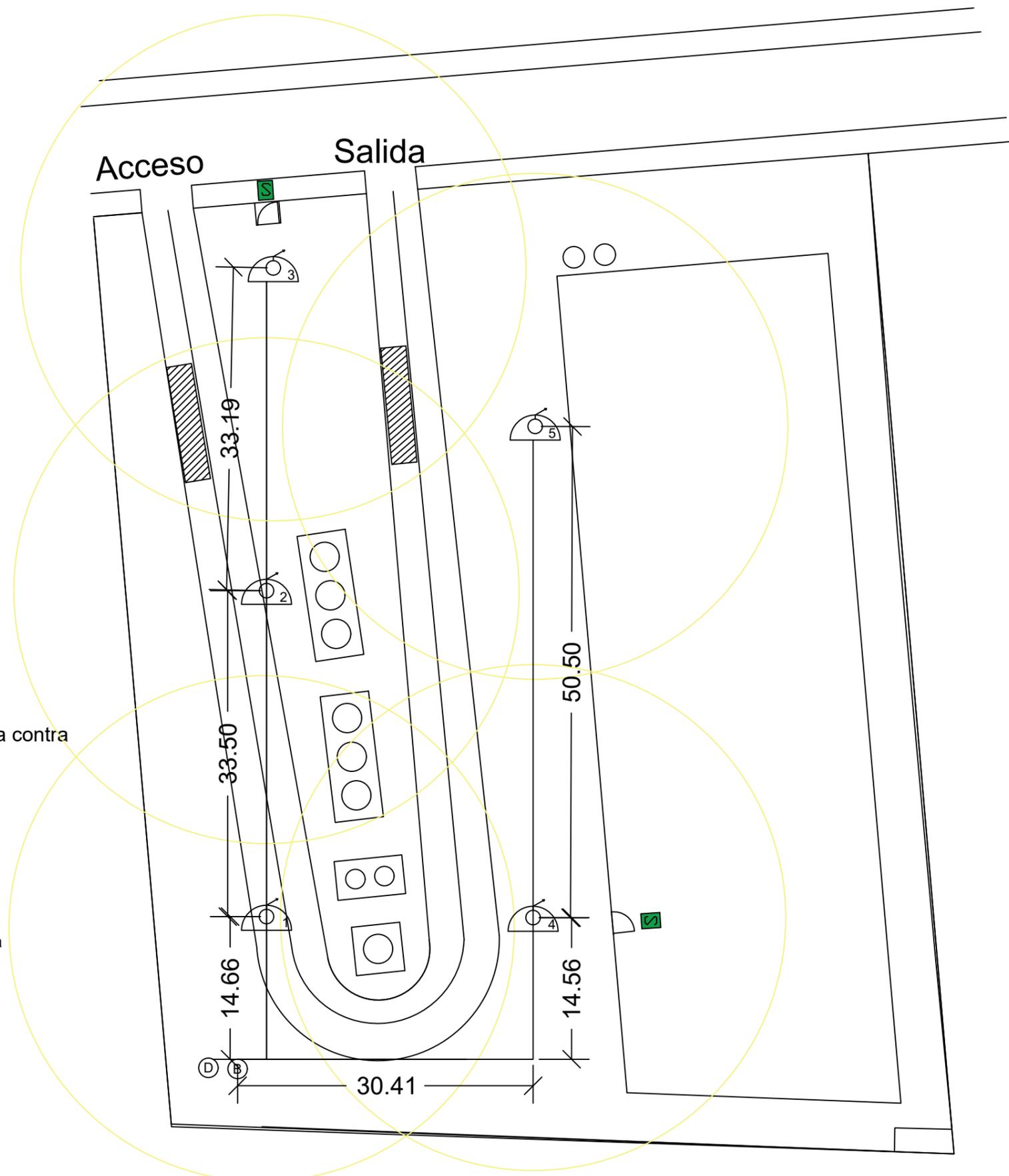
Nº Plano:

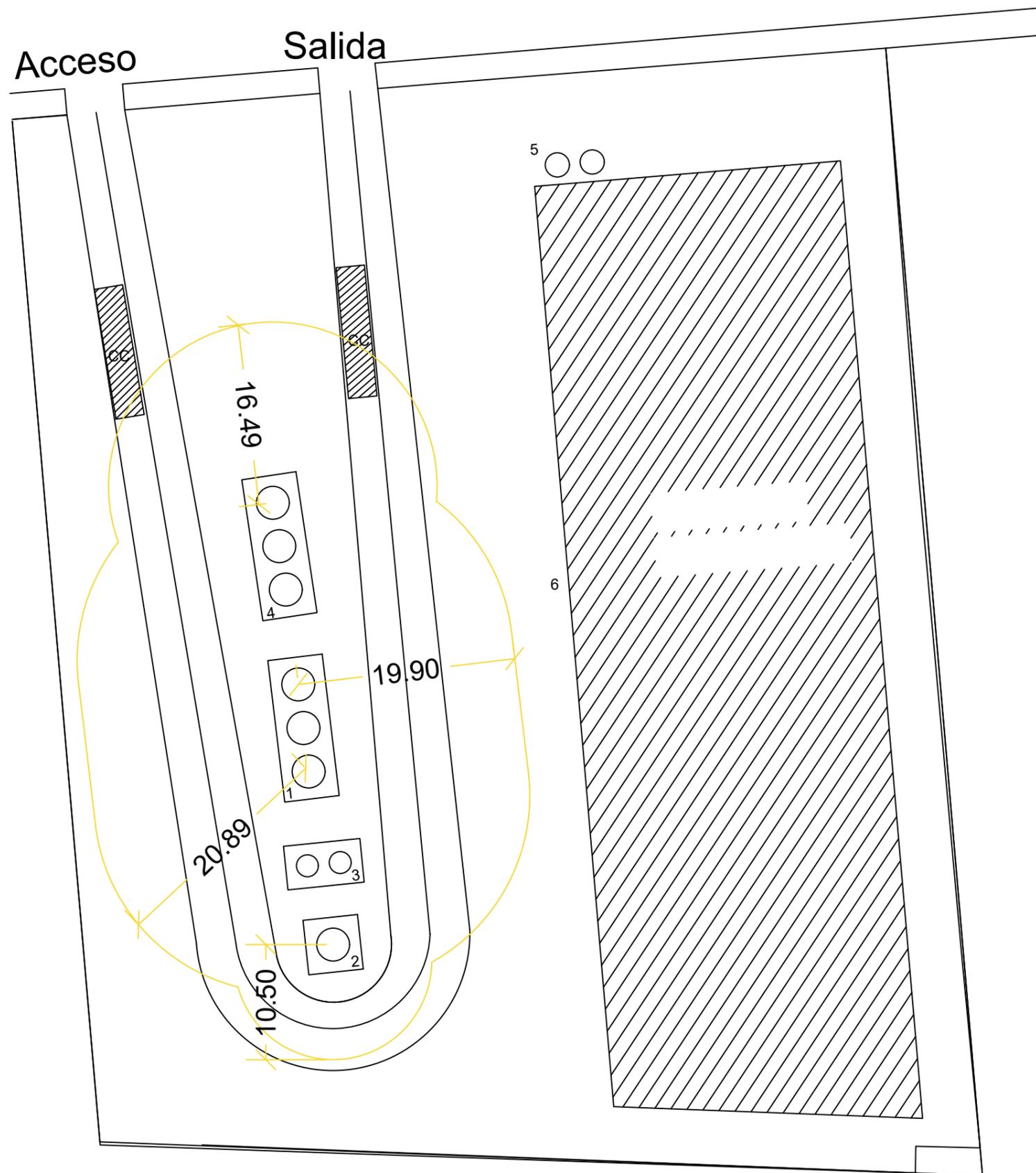
10



-  Puerta peatonal de emergencia
-  Accionador de alarma de incendios
-  Señalización de salida de emergencia
-  Sirena de alarma de incendios

- D** Depósito de reserva
- B** Grupo de bombeo de agua contra incendios
-  BIE
-  Red de tuberías
-  Señalización de salida de emergencia





ANEJOS

Depósito Vertical Aéreo

Código	Vol. (L)	Altura (mm)		Borde PRFF
		Ø	Alto	
DVA-10100	1.000	1000	1300	DN 50
DVA-20130	2.000	1300	1750	DN 50
DVA-30130	3.000	1300	2000	DN 50
DVA-30140	3.000	1400	2000	DN 50
DVA-40140	4.000	1400	2000	DN 50
DVA-40160	4.000	1600	1800	DN 50
DVA-50180	5.000	1800	2000	DN 65
DVA-50200	5.000	2000	1800	DN 65
DVA-60200	6.000	2000	1900	DN 65
DVA-60240	6.000	2400	1900	DN 65
DVA-70200	7.000	2000	2200	DN 65
DVA-70240	7.000	2400	1900	DN 65
DVA-80200	8.000	2000	2300	DN 65
DVA-80240	8.000	2400	1700	DN 65
DVA-80240	8.000	2400	2000	DN 65
DVA-80260	8.000	2600	1400	DN 65
DVA-100240	10.000	2400	2200	DN 65
DVA-100280	10.000	2800	1800	DN 65
DVA-120240	12.000	2400	2600	DN 65
DVA-120280	12.000	2800	1800	DN 65
DVA-150240	15.000	2400	3000	DN 65
DVA-150280	15.000	2800	2400	DN 65
DVA-180240	18.000	2400	4000	DN 65
DVA-180280	18.000	2800	2900	DN 65
DVA-200240	20.000	2400	4400	DN 65
DVA-200280	20.000	2800	3200	DN 65
DVA-220280	22.000	2800	3600	DN 65
DVA-220300	22.000	3000	3000	DN 65
DVA-250280	25.000	2800	4200	DN 65
DVA-250300	25.000	3000	3600	DN 65
DVA-300280	30.000	2800	4600	DN 80
DVA-300300	30.000	3000	4000	DN 80
DVA-350300	35.000	3000	5000	DN 80
DVA-400300	40.000	3000	5600	DN 80
DVA-450300	45.000	3000	6400	DN 80
DVA-500300	50.000	3000	7100	DN 80

"Borde reforzado"
* Consultar para depósitos de mayor capacidad.



Depósitos fabricados en Polietileno Reforzado con Fibras de Vidrio (PRFF) para instalación en superficie.

Aplicaciones:

- Almacenamiento de Agua Potable.
- Almacenamiento de vino o productos alimenticios.
- Almacenamiento de abonos líquidos y productos [químicos](#) (Consultar)

Características:

- Alta resistencia química y mecánica.
- Alta resistencia a la corrosión y a la intemperie. Larga durabilidad.
- No necesitan mantenimiento.
- Ligeros y fáciles de transportar.
- Posibilidad de fabricación a medida.

Accesorios incluidos:

- 1 [Bomba](#) de bomba superior DN450.
- 1 [Bomba](#) de aspiración PRFF.
- Rebocadero, refuerzo para flotador y Juego de nivel.
- Plata Top [K&N](#), color gris con tratamiento anti-UV.

Accesorios opcionales:

- Boca hermética lateral.
- Flotador con boya RC
- Juego de nivel
- Floar de nivel exterior





Tubos de acero soldados para conducciones

(extremos, lisos, roscados ó ranurados)

Clase: negro, galvanizado o pintado

EN 10255 tipo L2 (serie extraligera ISO 65)

DIN	Designación de la rosca	Diámetro exterior			Espesor mm	Peso Kg/m
		D mm	Máx. mm	Mín. mm		
10	3/8	17,2	17,3	16,7	1,8	0,67
15	1/2	21,3	21,4	21,0	2,0	0,94
20	3/4	26,9	26,9	26,4	2,3	1,38
25	1	33,7	33,8	33,2	2,6	1,98
32	1 1/4	42,4	42,5	41,9	2,6	2,54
40	1 1/2	48,3	48,4	47,8	2,9	3,23
50	2	60,3	60,3	59,6	2,9	4,08
65	2 1/2	76,1	76,1	75,2	3,2	5,71
80	3	88,9	88,9	87,9	3,2	6,72
90	3 1/2*	101,6	—	—	3,2	7,87
100	4	114,3	114,3	113,0	3,6	9,75
125	5*	130,7	—	—	3,75	11,60
150	6*	165,1 (168,3)	—	—	3,75	14,20
Tolerancia:					- 12,50%	± 7,5% (> 10)

* Estos pasos nominales no corresponden a la norma.

EN 10255 Serie media M (serie media DIN 2440)

DIN	Designación de la rosca	Diámetro exterior			Espesor mm	Peso Kg/m
		D mm	Máx. mm	Mín. mm		
10	3/8	17,2	17,5	16,7	2,3	0,83
15	1/2	21,3	21,8	21,0	2,6	1,21
20	3/4	26,9	27,3	26,5	2,6	1,58
25	1	33,7	34,2	33,3	3,2	2,41
32	1 1/4	42,4	42,9	42,0	3,2	3,10
40	1 1/2	48,3	48,8	47,9	3,2	3,56
50	2	60,3	60,8	59,7	3,6	5,03
65	2 1/2	76,1	76,5	75,3	3,6	6,42
80	3	88,9	89,5	88,0	4,0	8,36
100	4	114,3	115,0	113,1	4,5	12,20
125	5	130,7	140,8	138,5	5	16,60
150	6	165,1 (168,3)*	166,5	163,9	5	19,80
Tolerancia:					- 12,50%	± 7,5% (> 10)

* Estos pasos nominales no corresponden a la norma.

CONDICIONES DE SUMINISTRO

Longitud: Los tubos se suministran en longitudes comerciales de 6 metros según norma. A petición se pueden suministrar otras longitudes.

Tolerancias: De acuerdo con la norma correspondiente.

Material: S195T (1.0026)

Acabado: Los tubos se suministran en negro o galvanizados (EN ISO 1461 y EN 10240), con extremos lisos, roscados (EN 10226-1) o ranurados.

Contraintendidos: Material en stock pintado en túnel de 5 etapas (desengrase, enjuague, fosfatado, enjuague y pasivado con agua desmineralizada). Acabado rojo RAL 3000.

Bajo demanda se pueden suministrar con aplicación de granallado y pintados con óxido de Fe, silicato de zinc o epoxi con el color deseado según RAL. Igualmente suministramos aislamiento térmico en coquillas, planchas o rollos.

www.tubosol.com

PARARRAYOS / LIGHTNING CONDUCTOR



PARARRAYOS CON DISPOSITIVO DE CEBADO (AT) PDC UNE 21.186/NF-C 17.102/NP 4.426 LIGHTNING CONDUCTOR WITH STREAMER DEVICE (AT) PDC

Ref.	Modelo Model	Altura Mástil Shaft Height	Radio Acción Nivel 1 Protection Level 1	Radio Acción Nivel 2 Protection Level 2	Radio Acción Nivel 3 Protection Level 3	Radio Acción Nivel 4 Protection Level 4	€
1001	PDC-S1	6 m.	40 m.	50 m.	60 m.	70 m.	
1002	PDC-S2	6 m.	50 m.	60 m.	70 m.	80 m.	
1003	PDC-S3	6 m.	60 m.	75 m.	80 m.	90 m.	
1004	PDC-S4	6 m.	80 m.	86 m.	93 m.	107 m.	
EFICACIA DE LA PROTECCIÓN / PROTECTION EFFECTIVENESS			98%	95%	90%	80%	

NIVELES SEGÚN EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (SOLO ESPAÑA) PROTECTION LEVELS ACCORDING TO THE CTE (SPAIN ONLY)

Ref.	Modelo Model	Altura Mástil Shaft Height	Radio Acción Nivel 1 Protection Level 1	Radio Acción Nivel 2 Protection Level 2	Radio Acción Nivel 3 Protection Level 3	Radio Acción Nivel 4 Protection Level 4	€
1001	PDC-S1	6 m.	56 m.	66 m.	81 m.	96 m.	
1002	PDC-S2	6 m.	60 m.	75 m.	90 m.	105 m.	
1003	PDC-S3	6 m.	77 m.	87 m.	102 m.	117 m.	
1004	PDC-S4	6 m.	88 m.	98 m.	113 m.	128 m.	
EFICACIA DE LA PROTECCIÓN / PROTECTION EFFECTIVENESS			98%	95%	90%	80%	

Descripción:

Pararrayos certificados con la marca Bureau Veritas, conforme a las normas CTE, UNE 21.186:2011 Anexo "C", 50164, NF-C 17.102 y NP 4.426. Para conseguir una protección eficaz se recomienda proyectar sobre el Nivel 1. Los valores (AL) deben estar comprendidos entre 5 y 50µs como indican los gráficos de la Norma UNE 21.186:2011. El aumento de estos valores (AL) no son significativos dado que en ningún caso se pueden sobredimensionar los radios de acción máximos que contempla la norma.

Description:

Certified lightning arrestors with Bureau Veritas brand, according to UNE 21.186:2011 annex "C", 50164, NF-C 17.102 and NP 4.426. In order to get an optimum protection, it is recommended to base any project on Level 1. The (AL) values must be included between 5 and 50µs showed in the standard UNE 21.186:2011 graphics. The increase of these values (AL) is of no significance, aMax. radius of action, as stated in UNE 21.186:2011 Standard, cannot be increased.

PUNTA FRANKLIN / FRANKLIN ROD

Ref.	Modelo Model	Radio de Protección Medio (m) Medium Protection Level	€
13001	Acero Inox. / Stainless Steel	No dispone / None	
13002	Cobre / Copper	No dispone / None	

Descripción:

Punta formada por pieza central, vástago principal y cuatro laterales. Es de tipo semi-pasivo. Fabricado en acero inoxidable. Norma Internacional AISI 316 (18/8/2). Norma Española UNE-96-016-75. Medidas: 430mm. Idem de punta. Fabricado en bronce-níquel UNE C-6440.

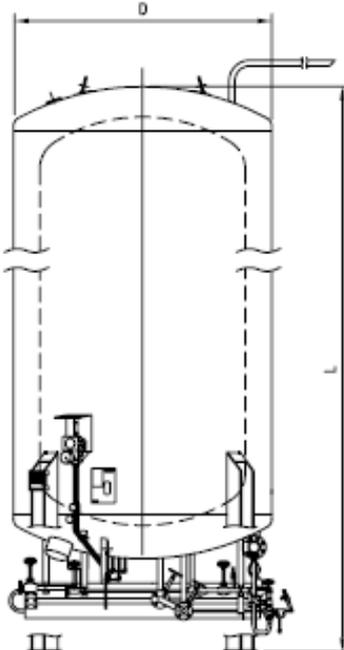
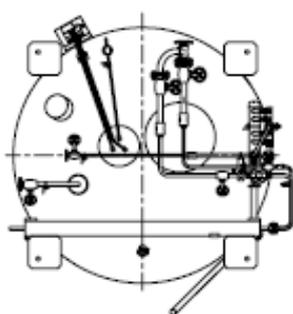
Description:

One central rod and four laterals form it and it is of a semi-passive type. Manufactured Stainless Steel International Standard AISI 316. Spanish Standard UNE-96-016-75. Size: 430 mm. Idem rod. Manufactured: Brass-Nickel UNE C-6440.



CO₂DEPÓSITOS CRIOGÉNICOS PARA ALMACENAMIENTO DE CO₂

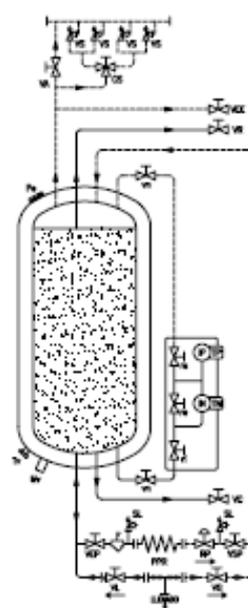
lapesa



DEPÓSITO INTERIOR EN ACERO AL CARBONO
Modelos de 6, 11, 15, 20, 32, 46 y 60 m³

Letra	Función
VG	Válv. Renata fase Gas
VL	Válv. Renata fase Líquida
VC	Válv. Consumo
VI	Válv. Retenciones
PPH	Evaporador (Puerta Presión Rápida)
VEP	Válv. Entrada PPH
VSP	Válv. Salida PPH
RP	Regulador Presión
F	Filtro
VEE	Conexión auxiliar
N	Nivel
P	Manómetro
m	Válv. paso nivel
re	Válv. by-pass
ri	Válv. nivel inferior
rs	Válv. nivel superior
TP	Transexidor presión (x/modelo)
TN	Transexidor Nivel (x/modelo)
CS	Válv. 3 vías (seguridad)
VS	Válv. Seguridad
SL	Válv. Seguridad línea
VA	Válv. alivio presión
Pa	Dispositivo seguridad envolvente
Tv	Tomo de vacío
Mv	Dispositivo medición vacío

DEPÓSITO para GASES LICUADOS
ESQUEMA DE PRINCIPIO
Series 2200V y 3000V



Ref.: LCC398-05

MODELOS Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

MODELOS	LCC 6 V	LCC 11 V	LCC 15 V	LCC 20 V	LCC 32 V	LCC 46 V	LCC 60 V
Volumen (m ³)	6,1	10,6	15,2	19,8	32,0	46,0	59,9
Diámetro exterior D (mm)	2.200	2.200	2.200	2.200	3.000	3.000	3.000
Altura total L (mm)	4.250	6.200	8.150	10.100	8.450	11.350	14.250
Peso en vacío (kg)	4.400	7.200	9.300	11.600	18.900	22.500	25.900
Peso contenido del CO ₂ (kg)*	6.400	11.130	15.960	20.790	33.600	48.300	62.900
Salida máxima de líquido (kg/h)**	400	400	400	400	950	950	950
Tasa de evaporación (% CO ₂ /día)	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03

* Peso con referencia a presión 10 bar y llenado al 95% de su capacidad.

** Capacidad de salida PPH estándar, sin disminución de la presión. Consultar otras opciones.

lapesa

www.lapesa.es


Lapesa Grupo Empresarial, S.L.

Pol. Industrial Malpica, Calle A, Parc. 1-A
50016 - ZARAGOZA - ESPAÑA

Tel. 0034 976465180 / Fax 0034 976574393

e-mail: lapesa@lapesa.es • www.lapesa.es

