



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE AMONÍACO PARA UNA EMPRESA SITUADA EN SAGUNTO (VALENCIA)

AUTORA: Amelia Martí Llagaria

TUTOR: José Luis Fuentes Bargues

COTUTOR: José Luis Vivancos Bono

Curso Académico: 2015-16

RESUMEN

Este trabajo de fin de grado se centra en el diseño de un tanque de almacenamiento de amoníaco anhidro para una empresa dedicada a la fabricación de fertilizantes.

Previamente al diseño del tanque, se deben determinar algunos aspectos de los que depende el diseño. Por lo tanto, en primer lugar, se especifican las necesidades de la empresa de fertilizantes: tanto la capacidad del tanque de almacenamiento, como las condiciones de operación del mismo. A partir de estas condiciones de operación se obtienen las propiedades del producto y se comprueba la normativa que se debe considerar en el diseño del tanque.

Una vez determinada la normativa, se procede al diseño del tanque de almacenamiento. El tipo de tanque seleccionado es un depósito de pared integrada que consiste en una cuba primaria y una cuba secundaria. Durante el diseño del tanque se establecen los materiales y las medidas principales de los diferentes elementos que lo componen, así como la cimentación del tanque.

Finalmente, se realiza un presupuesto de ejecución por contrata de la instalación del tanque diseñado.

RESUM

Aquest treball de fi de grau es centra en el disseny d'un tanc d'emmagatzemament d'amoniac anhidre per a una empresa dedicada a la fabricació de fertilitzants.

Prèviament al disseny del tanc, es deuen determinar alguns aspectes dels que depèn el disseny. Per tant, en primer lloc, s'especifiquen les necessitats de l'empresa de fertilitzants: tant la capacitat del tanc d'emmagatzemament, com les condicions d'operació del mateix. A partir d'aquestes condicions d'operació s'obtenen les propietats del producte i es comprova la normativa que es deu considerar en el disseny del tanc.

Una volta determinada la normativa, se procedeix al disseny del tanc d'emmagatzemament. El tipus de tanc seleccionat és un dipòsit de paret integrada que consisteix en una cuba primària i una cuba secundària. Durant el disseny del tanc s'estableixen els materials i les mides principals dels diferents elements que ho componen, així com la fonamentació del tanc.

Finalment, es realitza un pressupost d'execució per contracta de instal·lació del tanc dissenyat.

ABSTRACT

This final degree thesis focuses on the design of an anhydrous ammonia storage tank for a company dedicated to the manufacture of fertilizers.

Previously to the design of the tank, it should be identify some aspects which the design depends. Therefore, first of all, the needs of the fertilizer company are specified: both the capacity of the storage tank, as the tank operating conditions. From these operating conditions the product properties are obtained and the rules to be considered in the design of the tank are checked.

Once determined the rules, the next item is the design of the storage tank. The selected type of tank is a tank integrated wall, consisting of a primary cask and a secondary cask. During the design of the tank the material and the main measures of the various component parts are established, as well as tank foundations.

Finally, a budget execution is performed for contractual tank installation designed.

ÍNDICE GENERAL

Memoria

Presupuesto

Planos

MEMORIA

Índice de la memoria

1. Introducción	1
1.1. Objeto	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Alcance.....	2
2. Descripción de la planta	3
3. Descripción del producto	5
3.1. Propiedades en las condiciones de almacenamiento.....	5
3.2. Clasificación e identificación de peligros	5
3.3. Usos	7
4. Normativa.....	9
5. Diseño.....	11
5.1. Diseño de la cuba primaria	11
5.1.1. Material.....	11
5.1.2. Dimensionado.....	14
5.1.3. Carcasa.....	14
5.1.4. Fondo.....	19
5.1.4.1. Chapas anulares	20
5.1.4.2. Chapas centrales	21
5.1.5. Elementos de la carcasa	22
5.1.6. Techo suspendido.....	24
5.1.7. Peso total de la cuba primaria.....	26
5.2. Diseño de la cuba secundaria	27
5.2.1. Materiales.....	27
5.2.1.1. Encamisado	27
5.2.1.2. Hormigón	27
5.2.2. Dimensionado.....	28
5.2.3. Muro	28
5.2.3.1. Encamisado	28
5.2.3.2. Hormigón	31
5.2.4. Cubierta	36
5.2.4.1. Encamisado	38
5.2.4.2. Hormigón	37

5.2.5. Peso total de la cuba secundaria	39
5.3. Aislamiento	40
5.3.1. Materiales.....	41
5.3.2. Consideraciones de diseño.....	42
5.3.3. Aislamiento de la carcasa	42
5.3.4. Aislamiento del techo suspendido	43
5.3.5. Aislamiento del fondo	45
5.3.6. Peso total del aislamiento	46
6. Cimentación	47
7. Distancias	49
8. Instrumentación y control.....	51
9. Medidas de seguridad	53
9.1. Instalaciones de seguridad	53
9.2. Equipo de protección personal.....	53
10. Conclusiones.....	55
11. Referencias.....	57

Índice de figuras

Figura 1. Estructura del amoníaco.....	5
Figura 2. Pictograma toxicidad aguda.....	6
Figura 3. Pictograma corrosión o quemaduras.....	6
Figura 4. Pictograma peligroso para el medio ambiente.....	6
Figura 5. Pictograma gases a presión	6
Figura 6. Virolas de la carcasa de la cuba primaria.....	18
Figura 7. Carcasa de la cuba primaria.....	18
Figura 8. Esquema fondo de la cuba primaria	19
Figura 9. Fondo de la cuba primaria	22
Figura 10. Techo suspendido de la cuba primaria	24
Figura 11. Conjunto de la cuba primaria	26
Figura 12. Virolas del encamisado de la cuba secundaria	29
Figura 13. Encamisado de la cuba secundaria	30
Figura 14. Muro hormigón pretensado de la cuba secundaria	33
Figura 15. Conjunto de la pared de la cuba secundaria	34
Figura 16. Representación de la cubierta en cúpula	35
Figura 17. Encamisado de la cubierta de la cuba secundaria	36
Figura 18. Hormigón armado de la cubierta de la cuba secundaria.....	38
Figura 19. Conjunto cubierta de la cuba secundaria	39
Figura 20. Conjunto de la cuba secundaria	40

Índice de tablas

Tabla 1. Tipo de acero según producto a almacenar.....	11
Tabla 2. Valor máximo de carbono equivalente.....	12
Tabla 3. Características del acero	13
Tabla 4. Dimensiones mínimas cuba primaria.....	14
Tabla 5. Dimensiones cuba primaria	15
Tabla 6. Espesor mínimo de la chapa de la carcasa.....	15
Tabla 7. Tensión admisible máxima.....	16
Tabla 8. Espesor de las virolas de la carcasa.....	17
Tabla 9. Peso de las virolas de la carcasa	19
Tabla 10. Alturas iniciales rigidizadores.....	23
Tabla 11. Alturas rigidizadores	23
Tabla 12. Pesos de los elementos de la cuba primaria.....	26
Tabla 13. Pesos de los elementos de la cuba secundaria.....	39
Tabla 14. Materiales aislantes para tanques de pared integrada	41
Tabla 15. Pesos de los aislamientos de la cuba primaria.....	46
Tabla 16. Dimensiones principales	55

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objeto

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es diseñar un tanque de almacenamiento de amoníaco anhidro empleado por una fábrica de fertilizantes, situada en Sagunto.

Para ello será necesario alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la normativa que aplica al proyecto.
- Seleccionar la parcela en la que se sitúa el tanque de almacenamiento.
- Definir la capacidad del tanque de almacenamiento.
- Diseñar el tanque de almacenamiento definiendo para ello los materiales y las dimensiones del mismo.
- Ubicar el tanque en la parcela.
- Cuantificar los costes de inversión.

1.2. Justificación

Académica: el presente trabajo de fin de grado sirve como medio para demostrar parte de los conocimientos adquiridos durante los años dedicados al estudio del Grado en Ingeniería Química, así como completar el número de créditos necesarios para finalizar la titulación. Por otra parte, ampliar los conocimientos en la aplicación de las normativas y el estudio de la estructura y fases de un proyecto.

Ambiental: el almacenamiento y uso de productos químicos inadecuado tiene un gran impacto en el medio ambiente, se puede hablar desde la emisión a la atmósfera hasta la contaminación del agua. En concreto, el amoníaco es tóxico para los organismos del agua. Este trabajo de fin de grado pretende evitar los vertidos de éste minimizando la posibilidad de fugas en el tanque de almacenamiento.

Económica: los costes de inversión de una empresa para llevar a cabo la instalación de este tipo de equipos son elevados, por lo que las dimensiones escogidas a lo largo del trabajo de fin de grado son las mínimas permitidas que aseguran la seguridad de la instalación, para reducir así el coste de la instalación.

Legal: las instalaciones de almacenamiento de productos químicos están reguladas por la ley, por lo tanto, las decisiones tomadas a lo largo del trabajo de fin de grado se basan en la normativa vigente.

1.3. Alcance

En este trabajo de fin de grado se incluye:

- Dimensionado de los principales elementos metálicos del tanque de almacenamiento.
- Dimensionado preliminar de los elementos de hormigón del tanque de almacenamiento.
- Dimensionado del aislamiento del tanque de almacenamiento.
- Dimensionado preliminar de la cimentación del tanque de almacenamiento.
- Ubicación del tanque en la parcela según distancias de seguridad básicas.
- Determinación preliminar de los elementos de seguridad básicos.
- Presupuesto de inversión.
- Plano de ubicación de la parcela.
- Plano de distancias de seguridad básicas.
- Planos de los principales elementos del tanque de almacenamiento.

Y no se incluye:

- Estudio completo de la distribución en planta.
- Diseño de las líneas de llenado y vaciado así como los grupos de bombeo del tanque de almacenamiento.
- Diseño de las redes de drenaje, instalación contra incendios, instalaciones de carga y descarga e instalación eléctrica.

2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Una empresa de fertilizantes ubicada en el Polígono Químico de Sagunto (Valencia) ha decidido aumentar su producción. El amoníaco anhidro es una de las materias primas que se emplean en su proceso productivo, y disponen de un depósito de 30.000 toneladas ubicado junto al proceso productivo. La capacidad de este depósito es insuficiente para el nuevo nivel de producción de la empresa, por consiguiente, se decide instalar un nuevo depósito de 5.000 toneladas.

Por razones de espacio, el nuevo depósito de amoníaco anhidro ha de ser ubicado en una parcela propiedad de la empresa distinta a la parcela en la que se encuentra el depósito actual y el proceso productivo, que se encuentra situada próxima a ésta. En el *Plano 1* se observa la ubicación de las parcelas.

La localización de la parcela es: Cr. Acceso IV Planta 51, 46520 Sagunto (Valencia).

Debido a que en la parcela existen cuatro edificios destinados a usos administrativos de la empresa, la red de drenaje se supone instalada.

3. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

El amoníaco (NH_3) es un compuesto químico inorgánico que se encuentra en estado gaseoso en condiciones normales, ya que su punto de ebullición es de $-33.35\text{ }^\circ\text{C}$. Su apariencia es de gas incoloro y presenta un olor pungente.

Este compuesto se obtiene a partir de la síntesis del nitrógeno, que presenta cinco electrones de valencia de los cuales tres se enlazan con átomos de hidrógeno.

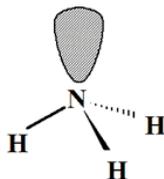


Figura 1. Estructura del amoníaco. Fuente: Textoscientificos.com, 2006.

Los dos electrones no compartidos forman una región de densidad electrónica que pueden ser cedidos, concediendo así las propiedades básicas del amoníaco.

3.1. Propiedades en las condiciones de almacenamiento

Debido al bajo punto de ebullición del amoníaco, típicamente se almacena licuado en depósitos a presión refrigerados. Las condiciones de operación del depósito objeto de este trabajo de fin de grado son:

- Temperatura: $-48\text{ }^\circ\text{C}$.
- Presión: 0,5 bar.

En estas condiciones, las propiedades del amoníaco son:

- Estado: gas licuado.
- Densidad: $\rho = 698,23\text{ kg/m}^3$.
- Calor de vaporización del líquido: $H_{\text{vap}} = 327\text{ kCal/kg}$.

3.2. Clasificación e identificación de peligros

Según la Ficha de Datos de Seguridad del Amoníaco, en las condiciones de operación, se clasifica esta sustancia como: gas licuado y gas a presión, lo que conlleva el peligro de explosión en caso de calentamiento; gas inflamable; tóxico y corrosivo por inhalación; tóxico cutáneo al provocar quemaduras graves en la piel, lesiones oculares graves y muy tóxico para los organismos acuáticos. La palabra de advertencia de la sustancia es: *Peligro*.

El etiquetado de la sustancia siempre debe ir acompañado de los pictogramas indicados en las Figuras 2, 3, 4 y 5.



Figura 2. Pictograma toxicidad aguda. Fuente: Ficha de Seguridad del Amoníaco.



Figura 3. Pictograma corrosión o quemaduras. Fuente: Ficha de Seguridad del Amoníaco.



Figura 4. Pictograma peligroso para el medio ambiente. Fuente: Ficha de Seguridad del Amoníaco.



Figura 5. Pictograma gases a presión. Fuente: Ficha de Seguridad del Amoníaco.

Aunque se tienen datos de inflamabilidad de esta sustancia, la posibilidad de que entre en ignición con el aire es muy baja y se clasifica como no inflamable.

3.3. Usos

El uso principal del amoníaco es la industria de los fertilizantes, siendo el nitrógeno uno de los nutrientes más comunes que se deben aportar a las plantas. Todos los fertilizantes nitrogenados son producidos a partir de amoníaco, necesario para la síntesis de urea, de nitrato amónico y sulfato amónico, algunos de los principales fertilizantes nitrogenados.

Otros usos del amoníaco son:

- Formación de compuestos orgánicos, como las amidas, las aminas y los nitrilos, que provienen de la reacción del amoníaco con otros reactivos.
- Agente refrigerante. Según Smith, E. et al. 2014: *“El amoníaco es un buen sustituto a los refrigerantes clorados o fluoclorados, ya que no contribuye a la disminución de la capa de ozono, efecto invernadero y el calentamiento global”*. A su vez, gracias a su gran eficiencia energética permite un ahorro en el consumo energético de las instalaciones.

La aplicación más interesante para el presente trabajo de fin de grado es la obtención de ácido nítrico, que es empleado a su vez para la producción de nitrato amónico, componente fundamental de los fertilizantes comercializados por la empresa.

4. NORMATIVA

El almacenamiento de productos químicos está regulado por el Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias (en adelante ITC) MIE-APQ 1 a 7.

Según la clasificación del amoníaco, las ITC que podrían ser consultadas son:

- ITC MIE-APQ 1: Almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles.
- ITC MIE-APQ 4: Almacenamiento de amoníaco anhidro.
- ITC MIE-APQ 7: Almacenamiento de líquidos tóxicos.

El campo de aplicación de la ITC MIE-APQ 1 excluye los almacenamientos de productos para los que existan reglamentaciones de seguridad industrial especificadas. Por otra parte, en el campo de aplicación de la ITC MIE-APQ 7 se excluyen los almacenamientos de gases licuados. Por consiguiente, se debe aplicar la ITC MIE-APQ 4.

Según la ITC MIE-APQ 4 el tanque ha de ser diseñado de acuerdo con códigos de reconocida solvencia sin efectuar combinaciones de cálculo de diferentes códigos.

El diseño del tanque se realiza según la Norma UNE EN-14620: Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, construidos en el lugar de emplazamiento para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de servicio entre 0 °C y -165 °C.

Sin embargo, cuando en el código elegido no haya herramientas de cálculo se usarán otros códigos o procedimientos de reconocido prestigio.

5. DISEÑO

El tipo de tanque escogido para el diseño según la norma UNE-EN-14620-1 es un depósito de pared integrada que se compone de una cuba primaria y una cuba secundaria.

La cuba primaria es un depósito autoportante de acero de virola provista de un techo suspendido que contiene el líquido y los vapores emitidos por el producto.

La cuba secundaria es un depósito autoportante de hormigón con un techo en cúpula que debe ser capaz de mantener el aislamiento térmico de la cuba primaria en condiciones normales de operación, contener la totalidad del líquido y ser estanca a los vapores en caso de fugas en la cuba primaria.

3.4. Diseño de la cuba primaria

3.4.1. Material

Los materiales escogidos para el diseño de la cuba primaria se han basado en el alto nivel de resistencia a la temperatura de cálculo del metal.

Según la *Tabla 1*, expuesta a continuación, el tipo de acero que se debe emplear para el depósito de pared integrada de amoníaco es el acero Tipo II: acero al carbono-manganeso especial para ser utilizado a baja temperatura.

Tabla 1. Tipo de acero según producto a almacenar. Fuente: UNE EN 14620-2

Producto	Depósito de pared simple	Depósito de doble pared o de pared integrada	Depósito de membrana	Temperatura típica de almacenamiento del producto
Butano	Tipo II	Tipo I		- 10 °C
Amoniaco	Tipo II	Tipo II		- 35 °C
Propano/Propileno	Tipo III	Tipo II	Tipo V	- 50 °C
Etano/Etileno	Tipo IV	Tipo IV	Tipo V	- 105 °C
GNL	Tipo IV	Tipo IV	Tipo V	- 165 °C

Un acero del Tipo II es un acero con bajo contenido en carbono, de grano fino, especificado para presiones a temperaturas que descienden hasta -50 °C.

El manganeso se emplea como aleante del acero para mejorar su resistencia y templabilidad. Al tratarse de un elemento desoxidante, evita el desprendimiento de los gases durante la solidificación del acero, evitando así la formación de poros.

Al emplear acero del Tipo II, el espesor de chapa de la carcasa debe ser inferior o igual a 40 mm.

La norma UNE-EN-14620-2 establece ciertos requisitos para el acero empleado en el diseño del tanque:

- El acero debe cumplir los requisitos de una norma europea establecida (por ejemplo, la norma UNE-EN-10028-3). No se deben utilizar aceros que tengan un límite elástico mínimo superior a 355 N/mm².
- El acero debe estar en condiciones normalizadas o elaborado mediante un proceso de laminado termo-mecánico.
- El contenido en carbono debe ser inferior al 0,20%. El carbono equivalente (C_{eq}) debe ser inferior o igual a 0,43 de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta estos requisitos, determinamos el acero que se va a emplear en el diseño del tanque interior.

Atendiendo a la clasificación y designación de las calidades de los tipos de acero que se encuentran en la norma UNE-EN-10028-3, la designación de la calidad de un acero especial para muy bajas temperaturas es: P...NL2.

Basándonos en la *Tabla 2*, el espesor acordado de la chapa de acero y la designación P...NL2, se escoge el acero **P355NL2**.

Tabla 2. Valor máximo de carbono equivalente. Fuente: UNE EN 10028-3.

Designación del acero		CEV ^b máx. para el espesor de producto, t , en mm		
		≤ 60	$60 < t \leq 100$	$100 < t \leq 250$
P275NH	1.0487	0,40	0,40	0,42
P275NL1	1.0488			
P275NL2	1.1104			
P355N	1.0562	0,43	0,45	0,45
P355NH	1.0565			
P355NL1	1.0566			
P355NL2	1.1106			
P460NH	1.8935	0,53	-	-
P460NL1	1.8915			
P460NL2	1.8918			

NOTA Los valores del carbono equivalente se basan en el porcentaje en masa y están relacionados con las características mecánicas especificadas para la condición de suministro.

^a Véase el apartado 8.3.3.

^b $CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$

Una vez determinado el acero y el espesor de chapa, tenemos las propiedades mecánicas de éste según la *Tabla 3*.

Tabla 3. Características del acero. Fuente: EN 10028-3.

Designación del acero		Condición de suministro habitual	Espesor del producto t mm	Limite elástico R_{eH} MPa min.	Resistencia a la tracción MPa	Alargamiento después de rotura A % min.
Simbólica	Numérica					
P275NH, P275NL1, P275NL2	1.0487, 1.0488,	+N ^a	≤ 16	275	390 a 510	24
			$16 < t \leq 40$	265		
	1.1104		$40 < t \leq 60$	255	370 a 490	23
			$60 < t \leq 100$	235		
			$100 < t \leq 150$	225	360 a 480	
			$150 < t \leq 250$	215	350 a 470	
P355N, P355NH, P355NL1, P355NL2	1.0562, 1.0565,	+N ^a	≤ 16	355	490 a 630	22
			$16 < t \leq 40$	345		
	1.0566, 1.1106		$40 < t \leq 60$	335	470 a 610	21
			$60 < t \leq 100$	315		
			$100 < t \leq 150$	305	460 a 600	
			$150 < t \leq 250$	295	450 a 590	
P460NH, P460NL1, P460NL2	1.8935, 1.8915, 1.8918	+N ^b	$\leq 16^d$	460	570 a 730	17
			$16^d < t \leq 40$	445	570 a 720	
			$40 < t \leq 60$	430		
			$60 < t \leq 100$	400	540 a 710	
			$100 \leq t \leq 250$	c	c	

^a Véase el apartado 8.2.2.
^b Véase el apartado 8.2.1.
^c ●● Pueden acordarse valores en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido.
^d ●● En el caso de los tipos P460NH y P460NL1, hasta un espesor de 20 mm, en el momento de solicitar la oferta y hacer el pedido se puede acordar un valor mínimo de R_{eH} de 460 MPa y un intervalo de R_m comprendido entre 630 MPa y 725 MPa

Para el acero P355NL2:

- Límite mínimo de tracción: $f_u=490 \text{ N/mm}^2$
- Límite elástico mínimo: $f_y = 345 \text{ N/mm}^2$

La densidad de todos los productos de acero descritos en la norma UNE-EN-10028-3 es:

$$\rho_{\text{acero}} = 7.850 \text{ kg/m}^3$$

3.4.2. Dimensionado

De acuerdo con el diagrama de Mollier del amoníaco, la densidad del líquido en las condiciones de trabajo es 698,23 kg/m³. Se han de almacenar 5.000 t de amoníaco, por lo que el volumen a almacenar es 7.161 m³.

En el artículo 7 de la ITC MIE-APQ 4 se establece el diámetro mínimo del tanque con capacidad mayor a 100 m³, teniendo en cuenta para ello la clasificación del producto inflamable según la ITC MIE-APQ 1. El amoníaco anhidro se clasifica como un producto inflamable de clase A1 según la ITC MIE-AQP 1, por lo tanto, el diámetro mínimo del tanque interior según la ITC MIE-APQ 4 es de 25 m. Conociendo el volumen de producto a almacenar y el diámetro del tanque, obtenemos la altura del líquido:

$$V = r_{\text{mín}}^2 \cdot \pi \cdot H_{\text{líq.mín.}} \quad (2)$$

$$H_{\text{Mín.Líq.}} = 14.59 \text{ m}$$

Según la norma UNE-EN-14620-1, la cuba primaria ha de tener una altura libre por encima del líquido igual o superior a 300 mm. Por lo que la altura total de la cuba primaria es:

$$H_{\text{Mín.Cuba prim.}} = 14.89 \text{ m}$$

Tabla 4. Dimensiones mínimas cuba primaria.

D _{Int.Mín.Cuba prim.}	25 m
H _{Mín.Líq.}	14.59 m
H _{Mín.Cuba prim.}	14.89 m

Para completar el diseño de la cuba primaria se han de determinar los parámetros de la carcasa, el fondo de la cuba y el techo suspendido.

3.4.3. Carcasa

La carcasa de la cuba primaria se forma por un conjunto de chapas cilindradas, unidas mediante soldaduras a tope, de acero P355NL2, llamadas virolas. Cada virola se forma mediante la unión de chapas, éstas se comercializan en tamaño 2.500 x 12.000 mm con espesores variables.

El número de chapas necesarias para la fabricación del tanque se obtiene a partir de las dimensiones mínimas anteriormente calculadas. Serían necesarias 6,28 chapas para cubrir el perímetro total del tanque, así como 5,96 chapas para cubrir la altura total.

Se redimensiona el tanque para ajustarse a la oferta actual en el mercado, empleando para la fabricación del tanque: 7 chapas longitudinalmente y 6 chapas transversalmente. Es decir, cada virola se compone de 7 chapas, teniendo un total de 6 virolas. Las dimensiones de la cuba primaria son las mostradas en la *Tabla 5*.

Tabla 5. Dimensiones cuba primaria

D _{Int.Cuba prim.}	26,74 m
H _{Líqu.}	12,75 m
H _{Cuba prim.}	15 m

A continuación, se determina el espesor de la carcasa de la cuba primaria. El espesor mínimo de la chapa de la carcasa es 6 milímetros según la *Tabla 6*, teniendo en cuenta que el diámetro del depósito está comprendido entre 10 y 30 m.

Tabla 6. Espesor mínimo de la chapa de la carcasa. Fuente: UNE EN 14620-2.

Diámetro del depósito m	Espesor mínimo mm
$D \leq 10$	5
$10 < D \leq 30$	6
$30 < D \leq 60$	8
$60 < D$	10

NOTA Para la construcción se requiere el espesor mínimo y puede incluir cualquier sobreespesor de corrosión siempre que se demuestre mediante cálculos la resistencia de la carcasa en el estado de corrosión.

Según la ITC MIE-APQ-4, para el almacenamiento de amoníaco anhidro, se debe considerar como mínimo un milímetro de sobreespesor de corrosión para tanques a presión, por lo que el espesor mínimo de las virolas es 7 mm.

Por otra parte, según la norma UNE EN 14620-2, el espesor de la chapa de la carcasa debe ser el mayor de los valores e_t y e (espesores calculados de chapa en condiciones de ensayo hidrostático y en condiciones de operación respectivamente), siempre y cuando este sea superior al espesor mínimo indicado anteriormente.

Los espesores calculados se hallan a partir de las ecuaciones proporcionadas por la norma UNE 14620-2:

En condiciones de operación:

$$e = \frac{D}{20 \cdot S} \cdot [98 \cdot W \cdot (H - 0.3) + P] + c \quad (3)$$

Donde:

c: es el sobreespesor de corrosión, en mm.

D: es el diámetro interior del depósito, en m.

e: es el espesor calculado de la chapa, en mm.

H: es la altura entre la base de la carcasa considerada y el nivel máximo de líquido calculado, en mm.

P: es la presión de cálculo, en mbar.

S: es la tensión admisible de cálculo, en N/mm^2 .

W: es la densidad máxima del líquido en las condiciones de almacenamiento, en kg/L.

En condiciones de ensayo hidrostático:

$$e_t = \frac{D}{20 \cdot S_t} \cdot [98 \cdot W_t \cdot (H_t - 0.3) + H_t] \quad (4)$$

Donde:

D: es el diámetro interior del líquido, en m.

e_t: es el espesor calculado de la chapa, en mm.

H_t: es la altura entre la base de la carcasa considerada y el nivel de líquido de ensayo, en mm.

P_t: es la presión de ensayo, en mbar.

S_t: es la tensión admisible en las condiciones de ensayo, en N/mm^2 .

W_t: es la densidad máxima del agua en ensayo, en kg/L.

Hallamos la tensión admisible en las condiciones de servicio y de ensayo según la *Tabla 7*:

Tabla 7. Tensión admisible máxima. Fuente: UNE EN 14620-2.

Tipo de acero	Tensión admisible en servicio	Tensión admisible durante el ensayo hidrostático
Tipos I, II, III	la menor de los siguientes valores: $0.43 f_u$ o $0.67 f_y$ o $260 N/mm^2$	la menor de los siguientes valores: $0.60 f_u$ o $0.85 f_y$ o $340 N/mm^2$
Tipo IV	la menor de los siguientes valores: $0.43 f_u$ o $0.67 f_y$	
Tipo V	la menor de los siguientes valores: $0.40 f_u$ o $0.67 f_y$	
NOTA 1 f_u es el límite mínimo de tracción en N/mm^2 y f_y es el límite elástico mínimo en N/mm^2 . NOTA 2 Para los aceros de los tipos III y IV, f_y es igual al 0,2% del límite elástico convencional. NOTA 3 Para los aceros del tipo V, f_y es igual al 1% del límite elástico convencional.		

Para la tensión admisible en servicio:

$$0,43 \cdot f_u = 0,43 \cdot 490 = 210,7 N/mm^2 \quad (5)$$

$$0,67 \cdot f_y = 0,67 \cdot 345 = 231,15 N/mm^2 \quad (6)$$

El menor de los estos dos valores es $210,7 \text{ N/mm}^2$, que a su vez es menor a 260 N/mm^2 . Por lo tanto la tensión admisible en servicio es $S = 210,7 \text{ N/mm}^2$.

Para la tensión admisible durante el ensayo hidrostático:

$$0,60 \cdot f_u = 0,60 \cdot 490 = 294 \text{ N/mm}^2 \quad (7)$$

$$0,85 \cdot f_y = 0,85 \cdot 490 = 293,25 \text{ N/mm}^2 \quad (8)$$

En este caso, el menor valor es $293,25 \text{ N/mm}^2$, también menor a 340 N/mm^2 . La tensión admisible durante el ensayo hidrostático es $S_t = 293,25 \text{ N/mm}^2$.

La presión de ensayo corresponde a 1,25 veces la presión de diseño según lo indicado en la norma UNE EN 14620-5. Es decir, la presión de ensayo es $P_t = 625 \text{ mbar}$.

El ensayo hidrostático se realiza a temperatura ambiente, por lo que suponiendo una temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a la presión de ensayo (625 mbar), la densidad máxima del agua es $W_t = 0,998 \text{ kg/L}$.

A partir de estos datos, podemos calcular el espesor final de cada virola:

Tabla 8. Espesor de las virolas de la carcasa.

Virola	H (mm)	e (mm)	e_t (mm)	e_{Min} (mm)	e_{final} (mm)
1	12,75	9,58	5,61	7	10
2	10,25	8,49	4,48	7	9
3	7,75	7,41	3,36	7	8
4	5,25	6,32	2,23	7	7
5	2,75	5,24	1,11	7	7
6	0,25	4,15	-0,02	7	7

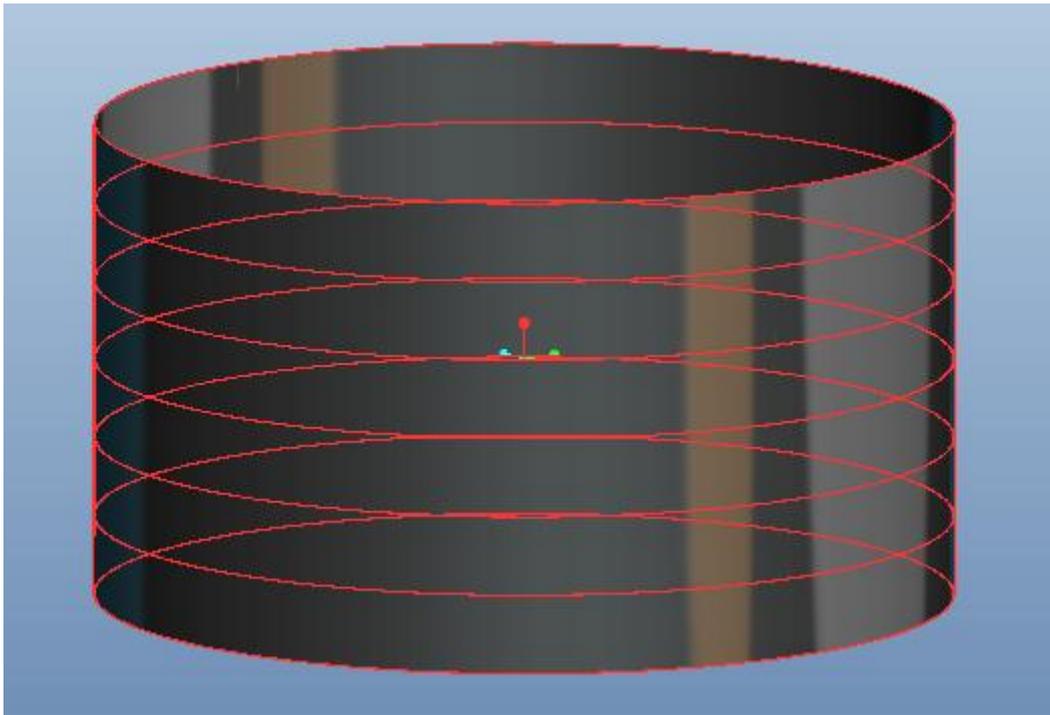


Figura 6. Virolas de la carcasa de la cuba primaria. Fuente: elaboración propia.

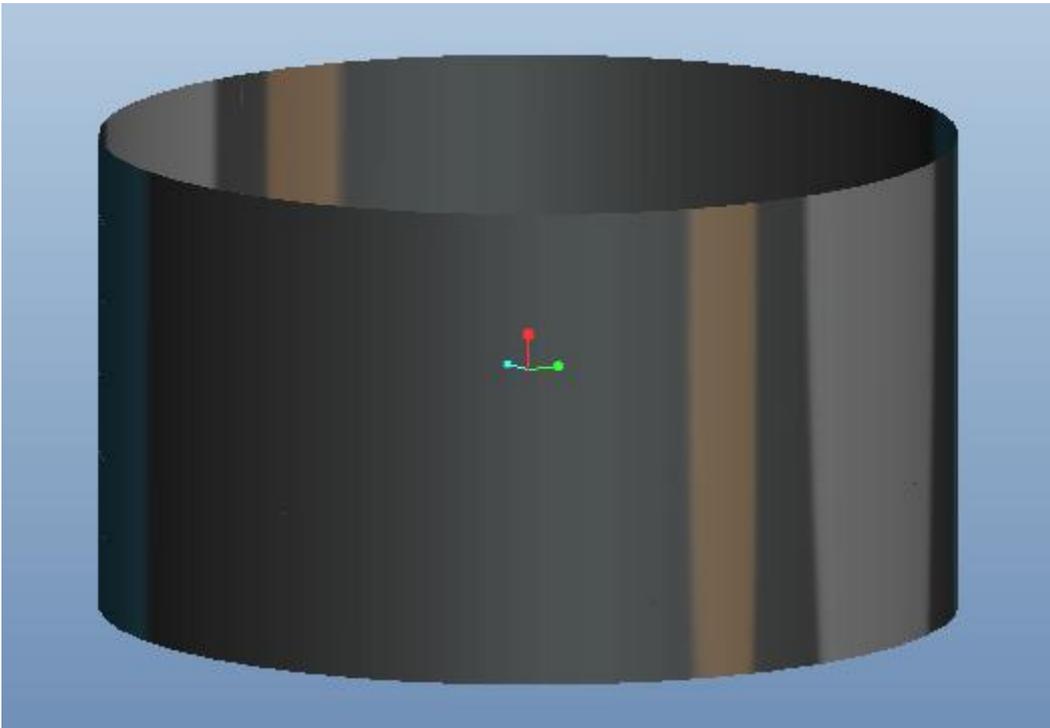


Figura 7. Carcasa de la cuba primaria. Fuente: elaboración propia.

Cálculo del peso de la carcasa:

Se sabe que cada virola se compone de 7 chapas de 12.000 x 2.500 mm, teniendo cada virola el espesor indicado en la *Tabla 9*. A partir de la *Ecuación 9*, hallamos el peso de cada virola.

$$P_{Virola} = V_{Virola} \cdot \rho_{Acero} = 7 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot e_{final} \quad (9)$$

Tabla 9. Peso de las virolas de la carcasa.

Virola	e_{final} (mm)	V_{Virola} (m ³)	P_{Virola} (kg)
1	10	2,10	16.485,0
2	9	1,89	14.836,5
3	8	1,68	13.188,0
4	7	1,47	11.539,5
5	7	1,47	11.539,5
6	7	1,47	11.539,5

A partir de los pesos de las virolas, obtenemos el peso total de la carcasa:

$$P_{Carcasa} = 79.128 \text{ kg}$$

3.4.4. Fondo

El fondo de la cuba primaria se compone de chapas anulares, chapas cortadas y placa de respaldo tal y como se observa en la *Figura 8*:

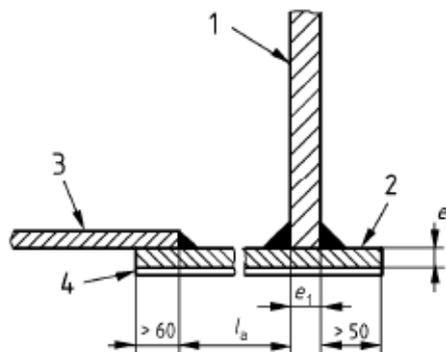


Figura 8. Esquema fondo de la cuba primaria. Fuente: UNE EN 14620-2.

Donde:

- 1- Carcasa.
- 2- Chapa anular.
- 3- Chapa cortada.
- 4- Placa de respaldo.

3.4.4.1. Chapas anulares

El espesor mínimo de las chapas anulares (excluyendo el sobreespesor de corrosión) es el siguiente:

$$e_a = \left(3 + \frac{e_1}{3}\right) \quad (10)$$

Donde e_1 es el espesor de la primera virola de la carcasa, en mm.

El espesor de las chapas anulares es:

$$e_a = 6,33 \text{ mm}$$

Incluyendo el sobreespesor de corrosión mínimo indicado por la ITC MIE-APQ 4 (1 mm), el espesor de las chapas anulares sería 7,33 mm. $e_a \approx 8$ mm.

La anchura mínima entre el borde de la chapa cortada y la cara interior de la carcasa (l_a) se corresponde con el mayor de los siguientes valores:

$$1) \quad l_a > \frac{240}{\sqrt{H}} \cdot e_a \quad (11)$$

Donde:

e_a : es el espesor de la chapa anular, en mm.

H: es la altura máxima de cálculo del líquido, en m.

Para este caso:

$$l_a > \frac{240}{\sqrt{12,75}} \cdot 8 > 537,7 \text{ mm}$$

2) 500 mm.

Por lo tanto, la anchura entre el borde de la chapa cortada y la cara interior de la carcasa es $l_a = 537,7$ mm.

Se deben aplicar los siguientes requisitos complementarios:

- Las uniones radiales entre las chapas anulares deben ser soldaduras a tope.
- El accesorio entre la carcasa y la chapa anular debe estar:
 - Soldado a tope.
 - Soldado en ángulo por ambos lados con cordones de cómo máximo 12 mm de lado (base del cordón). La dimensión mínima del lado es igual al menor de los espesores de la carcasa o de la chapa anular.
 - Soldado en ángulo con talón para una chapa anular de más de 12 mm. La profundidad del talón más el lado de la soldadura en ángulo debe ser igual al espesor de la chapa anular, en este caso 6 mm.
- Las soldaduras radiales de la chapa anular deben estar situadas como mínimo a 300 mm de todas las soldaduras verticales de la carcasa.
- La distancia mínima entre la cara exterior de la chapa de la carcasa y el borde exterior de la chapa anular debe ser igual a 50 mm.

Finalmente el conjunto de las chapas anulares forma un cilindro con las siguientes dimensiones:

- Altura: $e_a = 8$ mm (espesor de la chapa).
- Radio exterior:

$$\begin{aligned} r_{Ext.} &= r_{Int.Cuba\ prim.} + e_{Virola\ 1} + 0,05\ m & (12) \\ r_{Ext.} &= 13,37 + 0,01 + 0,05 \\ r_{Ext.} &= 13,43\ m \end{aligned}$$

- Radio interior:

$$\begin{aligned} r_{Int.} &= r_{Int.Cuba\ prim.} - l_a - 0,06\ m & (13) \\ r_{Int.} &= 13,37 - 0,5377 - 0,06 \\ r_{Int.} &= 12,77\ m \end{aligned}$$

Cálculo del peso de las chapas anulares del fondo:

El peso de las chapas anulares del fondo se calcula a partir del volumen de las mismas:

$$V_{Chapas\ anulares} = \pi \cdot (r_{Ext}^2 - r_{Int}^2) \cdot e_a = 0,4346\ m^3 \quad (14)$$

$$P_{Chapas\ anulares} = \rho_{Acero} \cdot V_{Chapas\ anulares} = 3.411,6\ kg \quad (15)$$

3.4.4.2. Chapas centrales

El espesor mínimo de las chapas del fondo es de 5 mm a excepción del sobreespesor de corrosión. Teniendo en cuenta el sobreespesor de corrosión (1 mm) el espesor de las chapas de fondo es $e_b = 6$ mm.

Se deben aplicar los siguientes requisitos:

- La longitud mínima del borde recto de las chapas cortadas debe ser igual a 500 mm.
- Las chapas del fondo deben estar unidas entre sí mediante soldadura a tope.
- Las chapas del fondo deben solaparse sobre la parte superior de las chapas anulares. El solape mínimo debe ser de 60 mm.
- Las soldaduras a tope deben estar realizadas por ambos lados, o por un único lado con una placa de respaldo.
- La distancia mínima entre cada una de las uniones de tres chapas debe ser igual a 300 mm.

El conjunto de las chapas de fondo formarán un cilindro macizo de las siguientes dimensiones:

- Altura: 6 mm (espesor chapas de fondo).
- Diámetro:

$$\begin{aligned} D_{Chapas\ centrales} &= D_{Int.Cuba\ prim.} - l_a & (16) \\ D_{Chapas\ centrales} &= 26,74 - 0,5377 \\ D_{Chapas\ centrales} &= 26,2\ m \end{aligned}$$

Cálculo del peso de las chapas centrales de fondo:

El peso de las chapas centrales de fondo se calcula a partir del volumen de las mismas:

$$V_{Chapas\ centrales} = \pi \cdot \left(\frac{D_{Chapas\ centrales}}{2}\right)^2 \cdot e_b = 3,23\ m^3 \quad (17)$$

$$P_{Chapas\ centrales} = \rho_{Acero} \cdot V_{Chapas\ centrales} = 25.393\ kg \quad (18)$$

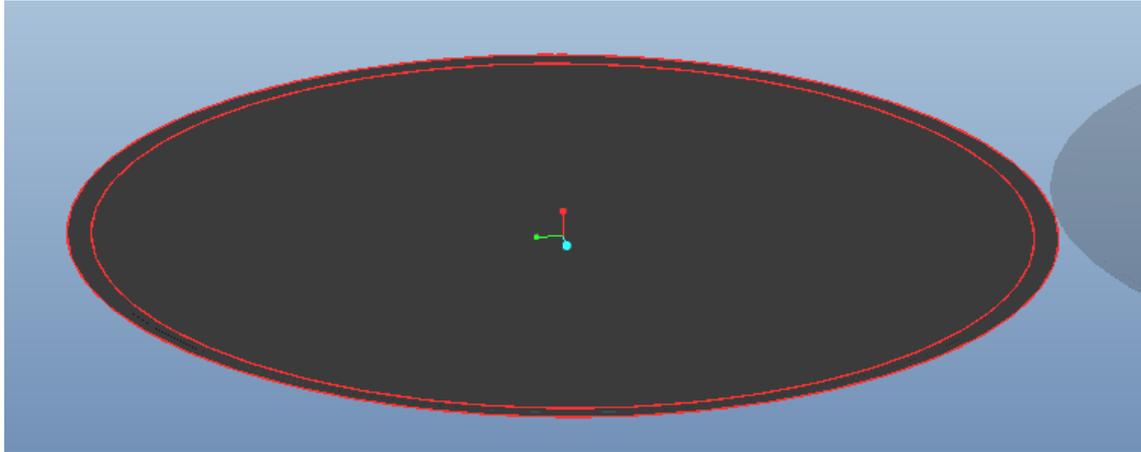


Figura 9. Fondo de la cuba primaria. Fuente: elaboración propia.

El peso total del fondo de la cuba primaria es:

$$P_{fondo} = P_{Chapas\ anulares} + P_{Chapas\ centrales} \quad (19)$$

$$P_{fondo} = 28.804,6\ kg$$

3.4.5. Elementos de la carcasa

Se deben considerar para el diseño de la carcasa las tensiones de compresión circunferenciales y las tensiones axiales. Para soportar estas tensiones, se emplean rigidizadores intermedios, perfiles angulares que se unen al alma de un elemento sustante para rigidizarlo.

Al tratarse de una carcasa de espesor variable, se determina la distancia entre los rigidizadores intermedios utilizando el método de la carcasa transformada:

$$H_e = h \cdot \sqrt{\left(\frac{e_{min}}{e}\right)^5} \quad (20)$$

Donde:

e : es el espesor de la virola considerada, en mm.

$e_{\text{mín}}$: es el espesor de la virola superior, en mm.

H_e : es la altura estable equivalente de cada virola con $e_{\text{Mín}}$, en m.

h : es la altura de la virola considerada, en m.

Las alturas de los rigidizadores intermedios serán las indicadas en la *Tabla 10*:

Tabla 10. Alturas iniciales rigidizadores intermedios.

Virola	e_{final} (mm)	h (m)	H_e (m)
1	10	2,5	1,92
2	9	5,0	3,72
3	8	7,5	5,37
4	7	10,0	10,00
5	7	12,5	12,50
6	7	15,0	15,00

Todos los rigidizadores se deben unir a la carcasa mediante soldadura en ángulo continua por ambos lados.

Los rigidizadores deben estar situados como mínimo a 150 mm de una soldadura horizontal, por tanto, comparando las alturas de los rigidizadores anteriormente calculados con las alturas correspondientes a las soldaduras horizontales que unen las virolas, se observa que hay dos rigidizadores que no pueden colocarse a la altura colocada. Se reajustan las alturas de los rigidizadores.

Tabla 11. Alturas rigidizadores intermedios.

Virola	e_{final} (mm)	h (m)	H_e (m)
1	10	2,5	1,92
2	9	5,0	3,72
3	8	7,5	5,37
4	7	10,0	9,85
5	7	12,5	12,35
6	7	15,0	15

3.4.6. Techo suspendido.

El techo suspendido de la cuba primaria se compone de una chapa de aluminio que no se encuentra en contacto con el líquido, soportado por unos tirantes de acero inoxidable. El espesor mínimo de la chapa es de 5 mm, añadiendo el sobreespesor de corrosión, el espesor de la chapa del techo suspendido es de 6 mm.

El diseño del techo suspendido y de su estructura portante debe tener en cuenta la temperatura mínima de cálculo establecida y debe considerar el posible fallo de cualquier suspensión.

Debido a que no se dispone de herramientas de cálculo para el diseño del techo suspendido en la norma UNE EN 14620, se diseña de acuerdo al código de reconocido prestigio API Standard 650.

La chapa de aluminio del techo suspendido se compone de una base plana horizontal de diámetro igual al diámetro interno de la virola superior de la cuba primaria: (26,74 m) y de un borde vertical que se introduce un mínimo de 100 mm en la superficie del líquido. Tomando para el diseño de dicho borde la altura total máxima del líquido, el borde debe tener una altura total de 2,35 m.

Con el fin de evitar el escape de los vapores de amoníaco, se sitúa una junta aislante flexible entre la superficie exterior del borde vertical de la chapa de aluminio y la superficie interior de la carcasa de la cuba primaria.

Los soportes, anclados a la cubierta hormigonada de la cuba secundaria, han de ser ajustables para poder situar el techo suspendido a dos alturas diferentes: una altura baja en servicio y una altura mayor durante el mantenimiento. Deben ser fabricados con tubos de aluminio y perforados por la parte inferior para permitir el drenaje.

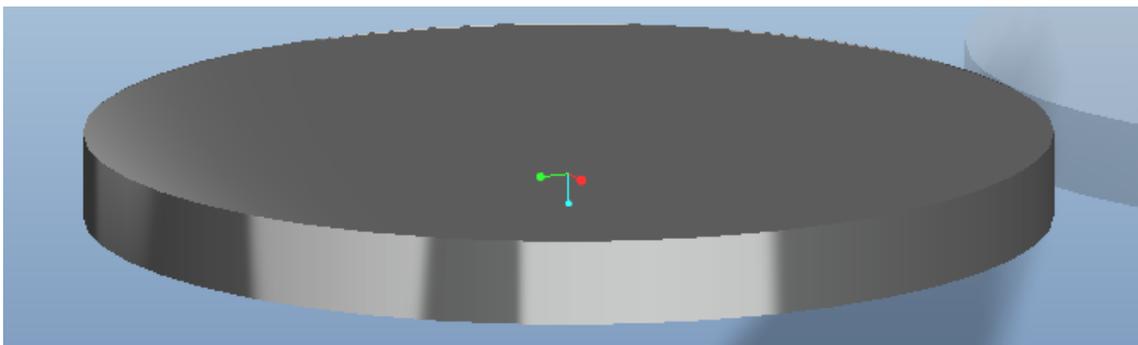


Figura 10. Techo suspendido de la cuba primaria. Fuente: elaboración propia.

Cálculo del peso del techo suspendido:

Se calcula el peso total del techo suspendido como la suma de la chapa horizontal y la chapa que constituye el borde del techo:

$$P_{Techo\ suspendido} = P_{Chapa\ horizontal} + P_{Chapa\ borde} \quad (21)$$

$$P_{Chapa\ horizontal} = \rho_{Aluminio} \cdot V_{Chapa\ horizontal} \quad (22)$$

Se considera la chapa horizontal como un cilindro macizo de 6 mm de altura y 26,72 m de diámetro.

$$V_{Chapa\ horizontal} = \pi \cdot \left(\frac{D_{chapa\ horizontal}}{2}\right)^2 \cdot h = 3,36\ m^3 \quad (23)$$

Siendo la densidad del aluminio 2.700 kg/m³:

$$P_{Chapa\ horizontal} = 9.072\ kg$$

Se considera la chapa del borde como un cilindro de 2,35 m de altura, 26,74 m de diámetro exterior y 6 mm de espesor.

$$V_{Chapa\ borde} = \pi \cdot \left[\left(\frac{D_{Ext.Borde\ techo\ suspendido}}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_{Ext.Bborde\ techo\ suspendido}}{2} - e\right)^2 \right] \cdot h \quad (24)$$

$$V_{Chapa\ borde} = 1,18\ m^3$$

$$P_{Chapa\ borde} = 3.195\ kg$$

$$P_{Techo\ suspendido} = 12.267\ kg$$

3.4.7. *Peso total de la cuba primaria.*

El peso total de la cuba primaria corresponde a la suma de los pesos de la carcasa, el fondo y el techo suspendido.

Tabla 12. Pesos de los elementos de la cuba primaria

Elemento cuba primaria	Peso (kg)
Carcasa	79.128
Fondo	28.804,6
Techo suspendido	12.267

$$P_{\text{cuba primaria}} = 116.902,6 \text{ kg}$$

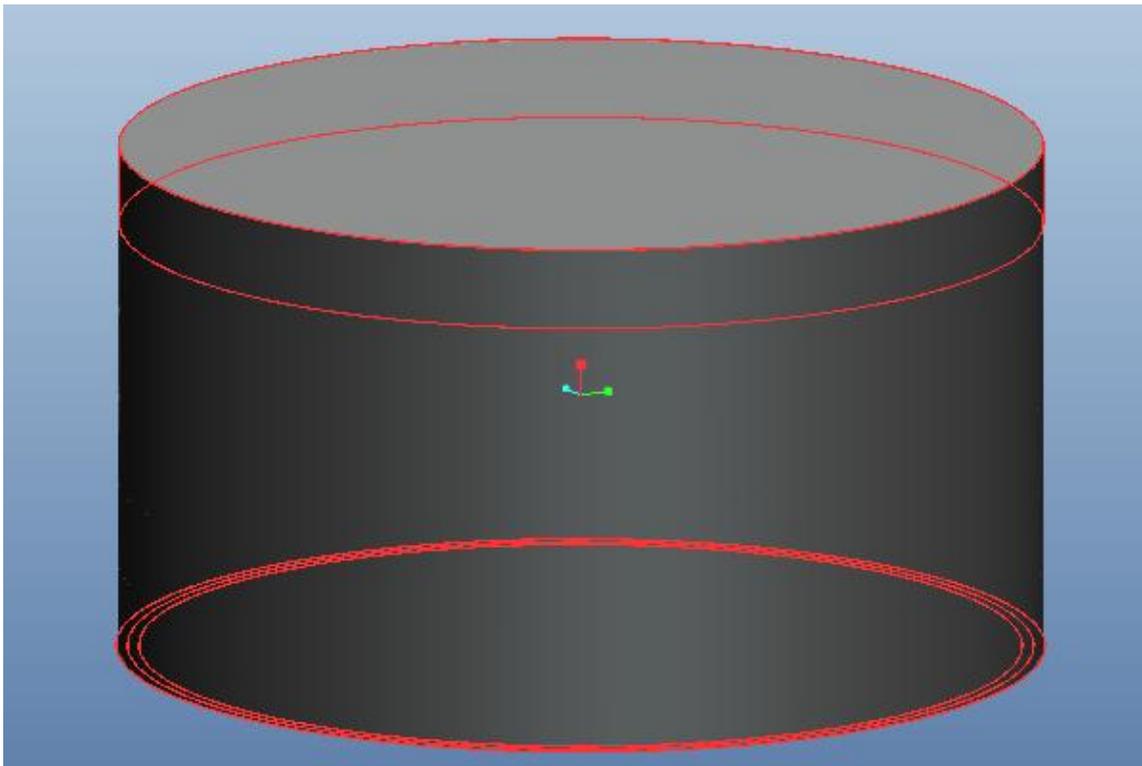


Figura 11. Conjunto de la cuba primaria. Fuente: elaboración propia.

3.5. Diseño de la cuba secundaria

La cuba secundaria se compone de una estructura de hormigón pretensado y una camisa metálica destinada a asegurar la estanqueidad al vapor y al líquido.

3.5.1. Materiales

3.5.1.1. Encamisado

La función del encamisado de la cuba secundaria de hormigón es asegurar la estanqueidad del líquido y del vapor. El encamisado se ubica en la superficie interior del hormigón, evitando así la filtración de humedad y de vapor a la estructura.

El encamisado se realizará con acero P355NL2, escogido anteriormente para la cuba primaria.

3.5.1.2. Hormigón

En el Anexo A de la norma UNE-EN-14620-3 se establecen ciertos requisitos para los materiales resistentes a bajas temperaturas:

- Utilización de una baja proporción agua/cemento.
- La mezcla de hormigón puede contener hasta un 5% de aire.
- El valor mínimo de la resistencia característica a compresión del hormigón ensayado en probeta cilíndrica a 28 días (f_{ck}) ha de ser como mínimo 40 MPa.

Para determinar las propiedades del hormigón, se ha de consultar la norma UNE-EN-1992-1-1. A partir del valor de resistencia característica a compresión, se fijan los siguientes parámetros:

- Valor medio de la resistencia a compresión del hormigón ensayado en probeta cilíndrica: $f_{cm} = 48$ MPa
- Valor medio resistencia a tracción: $f_{ctm} = 3,5$ MPa
- Módulo de elasticidad: $E_{cm} = 35$ GPa

Estudiando los valores de resistencia del hormigón a compresión y a tracción, se observa que la resistencia a tracción es del orden de diez veces inferior a su resistencia a compresión. Para mejorar la resistencia a tracción del hormigón se combina con un material que resista los esfuerzos a tracción: el acero, que tiene una resistencia a tracción aproximada de 400 N/mm². Este tipo de hormigón combinado con acero se denomina hormigón armado.

Existen en el mercado aceros de alto límite elástico (cuya resistencia a tracción se encuentra en torno a 2.000 N/mm²). El módulo elástico de los aceros de alto límite elástico es igual que el de aceros de bajo límite elástico, aproximadamente 200.000 N/mm². Esto supone que al aplicar una tensión próxima a su resistencia máxima a un acero de alto límite elástico se producirá una deformación grande, que causará grietas y deformaciones en el hormigón. Para evitar que esto ocurra, se debe someter al acero a una tensión inicial denominada pretensado antes de introducirlo en el hormigón, consiguiendo así deformaciones pequeñas al aplicar tensiones próximas al límite elástico. Este tipo de hormigón se denomina hormigón pretensado.

Para la elección del acero empleado para el pretensado del hormigón, se deben considerar las siguientes indicaciones:

- Las mayores cargas se producen durante la carga a tracción de las barras de pretensado en construcción del hormigón. El esfuerzo a tracción al que se somete a las barras de pretensado es el 80 % de su límite elástico.
- Las pérdidas de pretensado se puede considerar a temperatura ambiente.

El acero empleado para el pretensado del hormigón es un acero especial no aleado.

3.5.2. Dimensionado.

Una de las funciones para la que debe estar diseñada la cuba secundaria es retener la totalidad del líquido almacenado en caso de fuga de la cuba primaria. Por otra parte, también se ha de tener en cuenta que, según la norma UNE-EN-14620-1, el espacio de la cámara anular, que se corresponde con el espacio entre la cuba primaria y la cuba secundaria ha de ser igual o inferior a 2 m.

El volumen de amoníaco a almacenar es 7.161 m^3 , el diámetro exterior de la cuba primaria, aproximando el espesor de todas las virolas al de la virola de la base, es 26,76 m y la altura de la cuba primaria es 15 m.

Se fija el diámetro interior máximo de la cuba secundaria:

$$D_{Int.Máx.Cuba\ sec.} = D_{Ext.Cuba\ prim.} + 4\ m = 30,76\ m \quad (25)$$

3.5.3. Muro

3.5.3.1. Encamisado

Las chapas empleadas para la fabricación del encamisado de la cuba secundaria tienen las mismas dimensiones que las empleadas para la carcasa de la cuba primaria: chapas de 2.500 x 12.000 mm. Según el diámetro máximo calculado, serían necesarias 8,05 chapas para cubrir el perímetro del encamisado, por lo que se recalcula el diámetro interno definitivo de la cuba secundaria empleando 8 chapas en cada virola:

$$D_{Int.Cuba\ sec.} = 30,55\ m$$

Conociendo el diámetro interior de la cuba secundaria, se plantea la *Ecuación 26* para conocer la altura mínima de la cuba:

$$V_{Amoníaco} = \pi \cdot \left(\frac{D_{Int.Cuba\ sec.}}{2}\right)^2 \cdot H_{Cuba\ prim.} - \pi \cdot \left(\frac{D_{Ext.Cuba\ prim.}}{2}\right)^2 \cdot H_{Cuba\ prim.} + \pi \cdot \left(\frac{D_{Int.Cuba\ sec.}}{2}\right)^2 \cdot (H_{Mín.Cuba\ sec.} - H_{Cuba\ prim.}) \quad (26)$$

$$H_{Mín.Cuba\ sec.} = 21,28\ m$$

El número de virolas necesarias para cubrir la altura de la cuba secundaria sería de 8,51. De nuevo, se recalcula la altura de la cuba secundaria para emplear 9 virolas.

$$H_{Cuba\ sec.} = 22,5\ m$$

En conclusión, el encamisado de la cuba secundaria se compone de 9 virolas formadas por 8 chapas cada una.

El espesor mínimo de la chapa según la norma UNE-EN-14620-3 es de 3 mm, considerando el milímetro de sobreespesor por corrosión indicado en la MIE APQ-4, el espesor de la camisa de acero es de 4 mm.

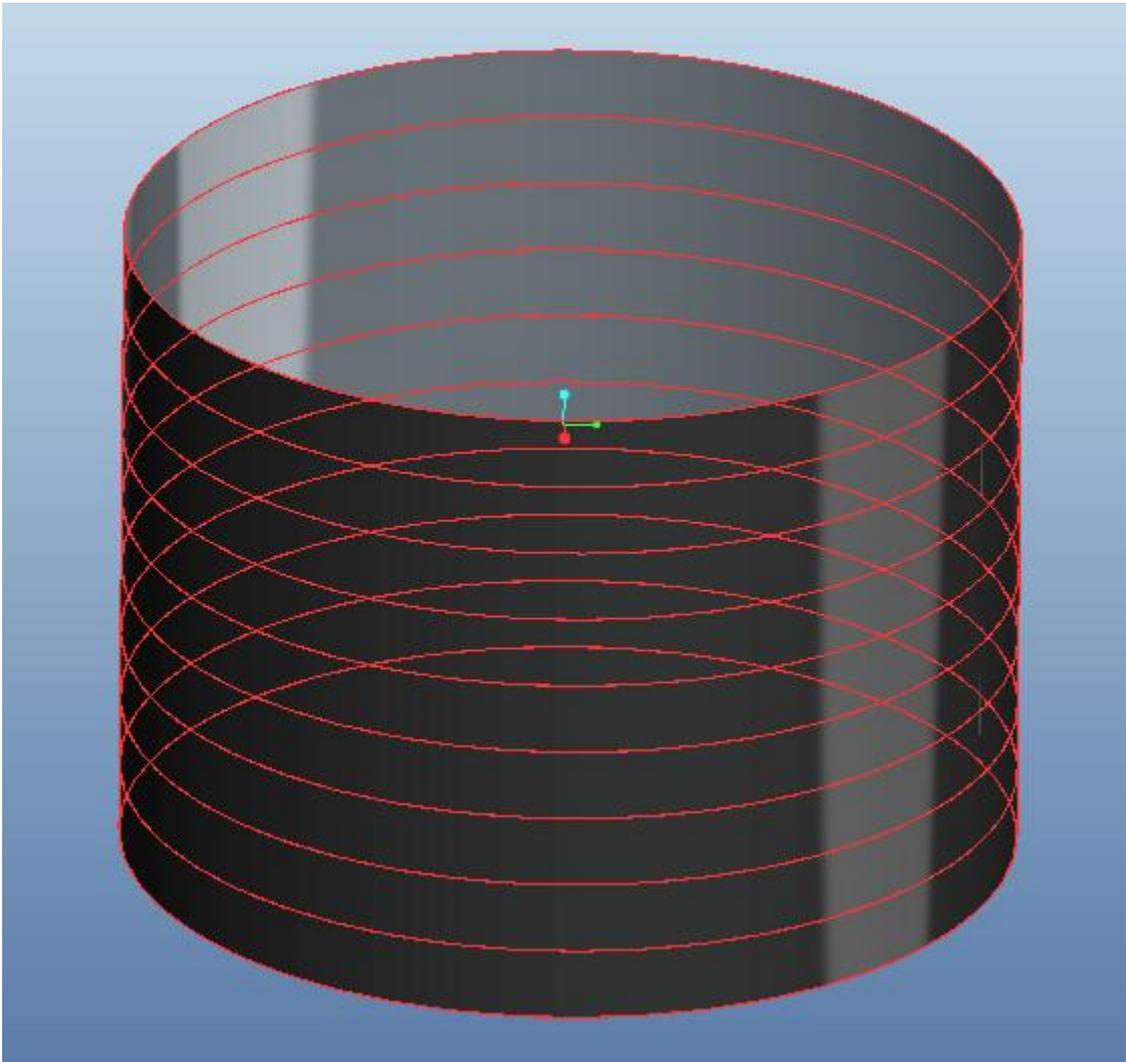


Figura 12. Virolas del encamisado de la cuba secundaria. Fuente: elaboración propia.

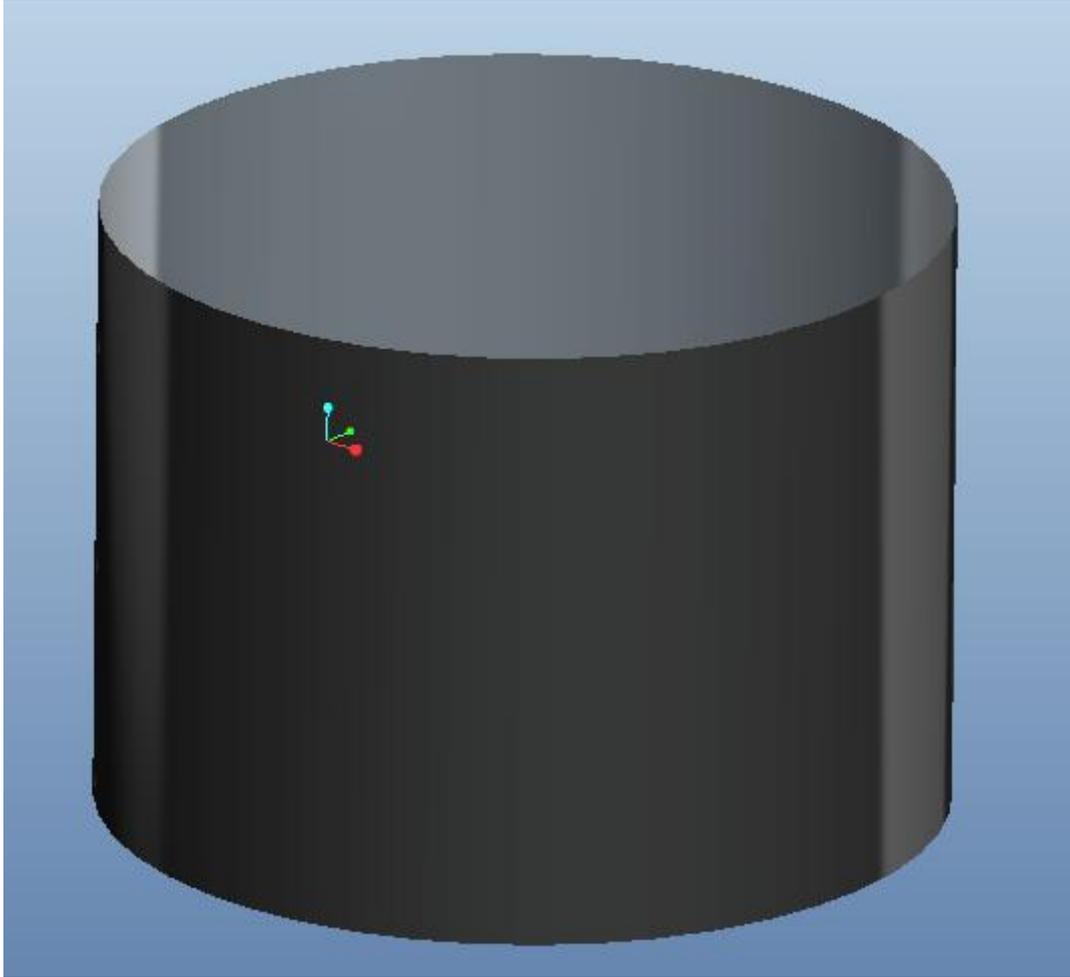


Figura 13. Encamisado de la cuba secundaria. Fuente: elaboración propia.

Cálculo del peso del encamisado.

El volumen de cada virola del encamisado es:

$$V_{Virola} = n^{\circ} \frac{\text{chapas}}{\text{virola}} \cdot \text{ancho}_{\text{chapa}} \cdot \text{alto}_{\text{chapa}} \cdot \text{espesor}_{\text{chapa}} \quad (27)$$

$$V_{Virola} = 8 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot 0,004 = 0,96 \text{ m}^3$$

$$P_{Virola} = V_{Virola} \cdot \rho_{\text{Acero}} \quad (28)$$

$$P_{Virola} = 0,96 \cdot 7.850 = 7.536 \text{ kg}$$

El encamisado se compone de 9 virolas, por lo que el peso total del encamisado es:

$$P_{\text{Encamisado}} = 67.824 \text{ kg}$$

3.5.3.2. Hormigón

En este apartado se realiza un predimensionado de los elementos de hormigón, ya que la estructura de hormigón pretensado y la comprobación frente a los estados límites de servicio y estados últimos de acuerdo a la normativa vigente no es objeto del presente trabajo de fin de grado.

El espesor de las paredes de hormigón, según la norma UNE-EN-14620-3 debe ser suficiente para que el recubrimiento de los cables de pretensado sea adecuado y se obtenga un hormigón homogéneo.

Se realiza el predimensionado de la parte de hormigón de la cuba secundaria. Para ello, se hace uso de la fórmula de Barlow, denominada así por el matemático y físico británico Peter Barlow.

La fórmula de Barlow (Ecuación 29) relaciona la presión que soporta una tubería o cuerpo a presión cilíndrico, con la resistencia a tracción del material y sus dimensiones.

$$P = \frac{2 \cdot St \cdot t}{D} \quad (29)$$

Siendo:

P: fuerzas ejercidas en el tanque.

St: resistencia a tracción del material.

t: espesor de la pared.

D: diámetro externo.

Las fuerzas ejercidas en el tanque se componen por la presión interior del tanque y la fuerza ejercida por el mismo líquido.

$$P = P_{Int} + \rho_{Amoníaco} \cdot g \cdot H_{Liq.} \quad (30)$$

$$P = 50.000 Pa + 698,23 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 12,75m$$

$$P = 137.333 Pa = 1,4 kg/cm^2$$

Se aplica un coeficiente de mayoración de carga por las acciones accidentales de 1,05.

$$P = 1,47 kg/cm^2$$

La resistencia a tracción característica del hormigón empleado para la construcción de la cuba secundaria ($f_{ctm} = St$) es 3,5 MPa, es decir, 35,69 kg/cm². Se aplica un coeficiente de seguridad de minoración de la resistencia característica del hormigón de 1,1, por lo que $St = 32,45 kg/cm^2$.

No se conoce el diámetro exterior de la cuba secundaria, si no, el diámetro interior, por lo que se ajusta la ecuación de Barlow:

$$P = \frac{2 \cdot St \cdot t}{D_{int.} + 2 \cdot t} \quad (31)$$

El diámetro interior del hormigón se corresponde al diámetro interior de la cuba secundaria más dos veces el espesor del encamisado de la cuba secundaria, es decir:

$$D_{Int.hormigón} = 30,558 \text{ m} = 3.055,8 \text{ cm}$$

A partir de la ecuación de Barlow obtenemos el valor del espesor de hormigón:

$$t = 72,5 \text{ cm}$$

El pretensado de la cuba secundaria de hormigón se realiza con cables horizontales de pretensado de siete alambres. Según la norma UNE-EN-14620-3, se han de colocar las vainas en el centro de la pared de hormigón, para asegurar la protección contra incendios procedentes del exterior y los cables deben estar bien protegidos contra la corrosión durante la vida del depósito.

Se establece que el acero de pretensado incrementa un 15 % el espesor del hormigón, por lo que el espesor final es 83,4 cm. Se emplea un hormigón pretensado que por metro cúbico de hormigón contiene 66 kg de acero.

$$e_{Hormigón} = 0,834 \text{ m}$$

Finalmente, la parte de hormigón de la cuba secundaria presenta las siguientes dimensiones:

$$D_{Int.hormigón} = 30,558 \text{ m}$$

$$D_{Ext.hormigón} = 32,226 \text{ m}$$

$$H_{Cuba \text{ sec.}} = 22,5 \text{ m}$$

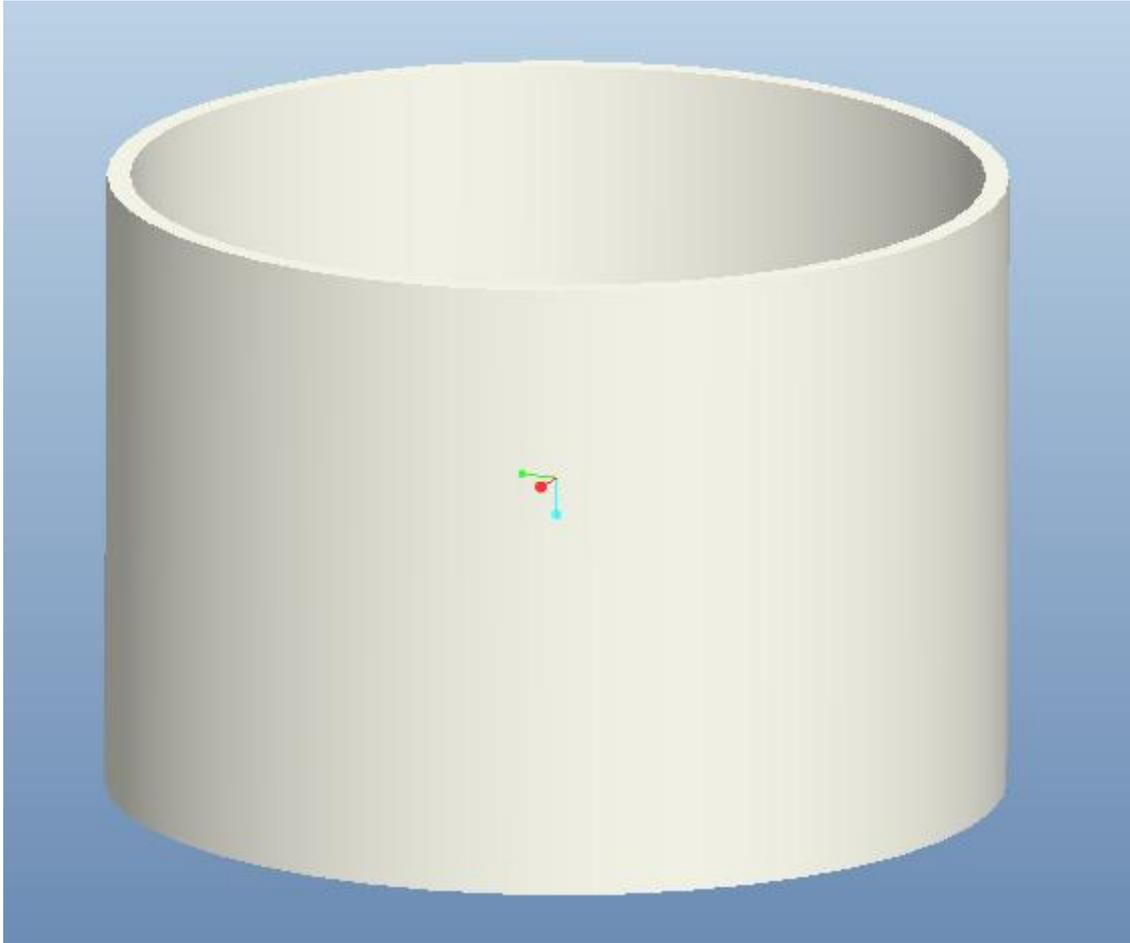


Figura 14. Muro hormigón pretensado de la cuba secundaria. Fuente: elaboración propia.

Cálculo del peso del hormigón pretensado

El volumen total del hormigón pretensado es:

$$V_{\text{Hormigón Cuba sec.}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{Ext.Hormigón}}^2 - D_{\text{Int.Hormigón}}^2) \cdot H_{\text{Cuba sec.}} \quad (32)$$

$$V_{\text{Hormigón Cuba sec.}} = 1.850,6 \text{ m}^3$$

A partir del volumen de hormigón armado, con una densidad del hormigón 2.350 kg/m^3 , y conociendo que por metro cúbico de hormigón se introducen 66 kg de acero, obtenemos el peso de la cuba secundaria de hormigón pretensado.

$$P_{\text{Hormigón Cuba sec.}} = V_{\text{Hormigón Cuba sec.}} \cdot \rho_{\text{Hormigón}} + V_{\text{Hormigón Cuba sec.}} \cdot 66 \text{ kg}_{\text{acero}}/\text{m}^3 \quad (33)$$

$$P_{\text{Hormigón Cuba sec.}} = 4.471,049 \text{ t}$$

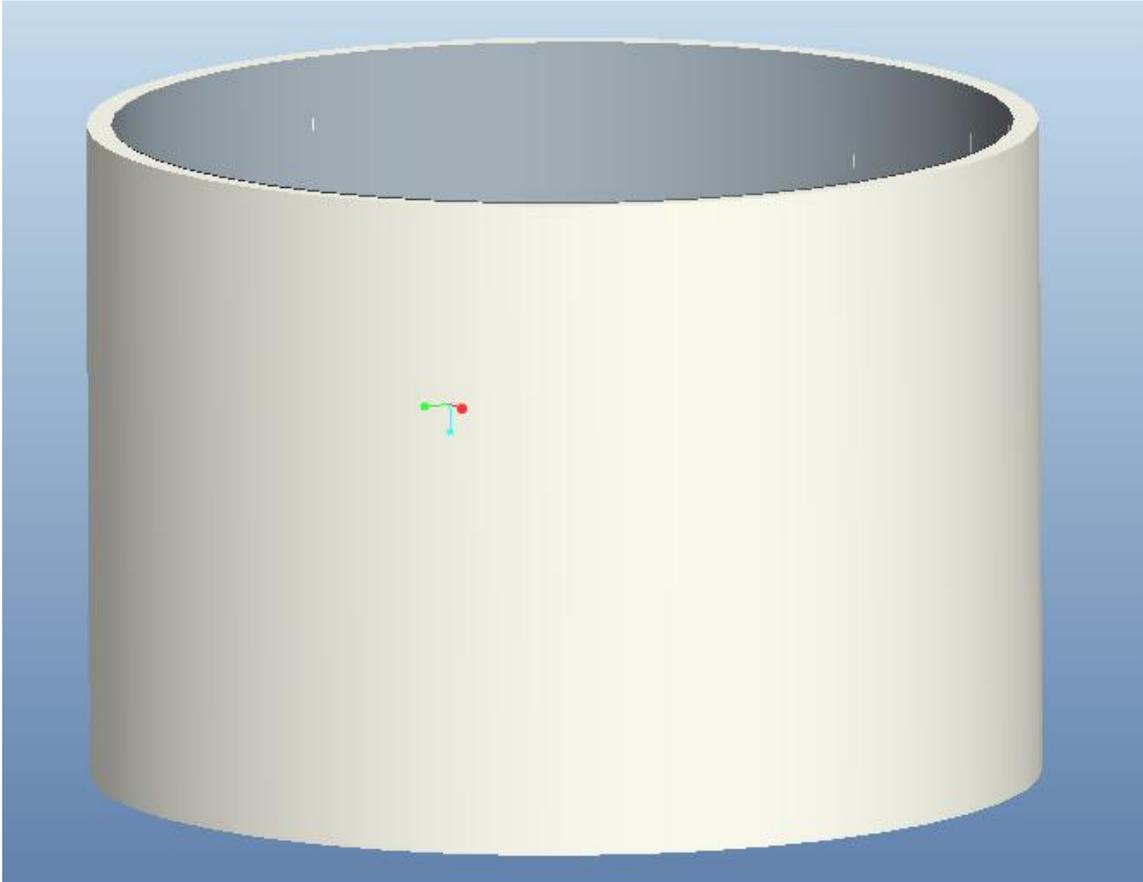


Figura 15. Conjunto de la pared de la cuba secundaria. Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Cubierta

La cubierta de la cuba secundaria, al igual que la cuba secundaria, se compone de un encamisado de acero P355NL2 estanco al vapor y una estructura de hormigón. Sin embargo, el hormigón empleado para la construcción de la cubierta es hormigón armado, ya que la cubierta no ha de ser estanca a los líquidos.

El encamisado de la cubierta ha de estar anclado a la cubierta de hormigón mediante tirantes y puede utilizarse como encofrado durante el vertido del hormigón.

La cubierta de la cuba secundaria tiene forma de techo en cúpula. Se realiza un predimensionado de la misma, siendo el diámetro de la base de la cúpula igual al diámetro interno de la cuba secundaria, 30,55 m.

Basamos el predimensionado de la cúpula en los cálculos trigonométricos siguientes, considerando el triángulo rectángulo ACr:

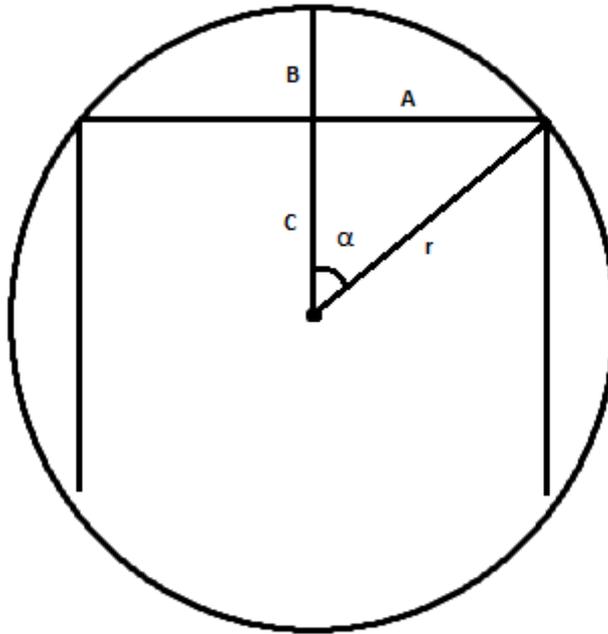


Figura 16. Representación de la cubierta en cúpula. Fuente: elaboración propia.

$$\text{sen } \alpha = \frac{A}{r} \quad (34)$$

$$\text{cos } \alpha = \frac{C}{r} \quad (35)$$

$$r = B + C \quad (36)$$

Donde:

A: es el radio interior de la cuba secundaria ($r_{\text{Int.Cuba sec.}} = 15,275 \text{ m}$).

B: es la altura interior de la cubierta de la cuba secundaria ($(H_{\text{Int.Cubierta Cuba sec.})}$).

Se determina un valor de $\alpha = 30^\circ$. Con este valor se obtiene una pendiente suficiente como para drenar el agua de lluvia. Por otra parte una pendiente mayor supondría un incremento en el coste de los anclajes de las tuberías e instalaciones auxiliares del tanque.

Por lo tanto:

$$r_{\text{Circunf.}} = 30,55 \text{ m}$$

$$C = 26,457 \text{ m}$$

$$H_{\text{Int.Encamisado Cubierta}} = 4,093 \text{ m}$$

3.5.4.1. Encamisado

El encamisado de la cubierta ha de tener cómo mínimo según la norma UNE-EN-16420-2 5 mm de espesor, considerando el sobreespesor de corrosión, el espesor del encamisado de la cubierta es de 6 mm.

Las chapas que forman el encamisado deben tener un solape mínimo de 25 mm.

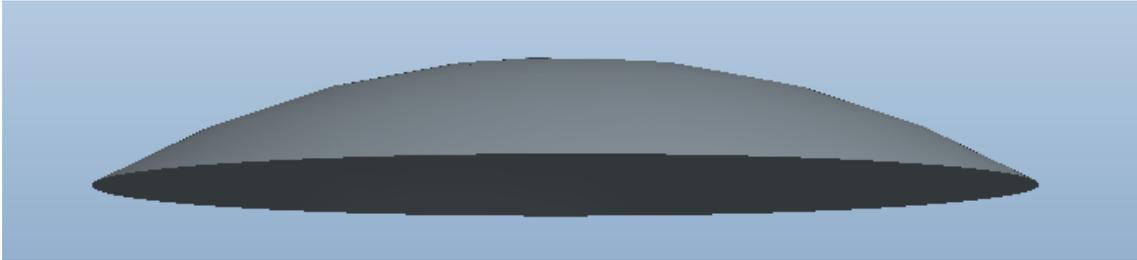


Figura 17. Encamisado de la cubierta de la cuba secundaria. Fuente: elaboración propia.

Cálculo del peso del encamisado de la cubierta

El peso de la cubierta se determina a partir del volumen de la misma. Calculamos el volumen por diferencias. Se considera $V_{Cúp.maciza}$ al volumen de la cúpula si fuese maciza y V_{Hueco} al volumen interior de la cúpula que realmente queda hueco.

$$V_{Encam.Cubierta} = V_{Cúp.maciza} - V_{Hueco} \quad (37)$$

$$V_{Cúp maciza} = \frac{\pi \cdot H_{Ext.Encam.Cubierta}^2 \cdot [3 \cdot (r_{Circunf.} + e_{Encam.}) - H_{Ext.Encam.Cubierta}]}{3} \quad (38)$$

Donde:

$$H_{Ext.Encam.Cubierta} = 4,099 \text{ m}$$

$$V_{Cúp.maciza} = 1.540,759 \text{ m}^3$$

$$V_{Hueco} = \frac{\pi \cdot H_{Int.Encam.Cubierta}^2 \cdot [3 \cdot r_{Circunf.} - H_{Int.Encam.Cubierta}]}{3} \quad (39)$$

$$V_{Hueco} = 1.536,041 \text{ m}^3$$

$$V_{Encam.Cubierta} = 4,718 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, siendo la densidad del acero Tipo II 7.850 kg/m^3 , el peso del encamisado es:

$$P_{Encam.Cubierta} = 37.036 \text{ kg}$$

3.5.4.2. Hormigón

La cúpula de hormigón debe ser capaz de resistir las presiones a las que se encuentra expuesta:

- Presión interior del depósito: 500 mbar= 5.099 kg/m².
- Carga uniforme repartida de $P_u=1,2 \text{ kN/m}^2= 122,4 \text{ kg/m}^2$. Esta carga se impone en la norma UNE-EN-14620-1, y no debe combinarse con la carga de nieve y viento, por lo que son despreciadas.
- Peso del techo suspendido, el encamisado de la cubierta y el propio peso del hormigón armado.

$$P = P_{int} + P_u + \frac{P_{Techo\ suspendido}}{A_{Techo\ suspendido}} + \frac{P_{Encam.Cubierta}}{A_{Encam.Cubierta}} + \frac{P_{Hormigón\ Cubierta}}{A_{Hormigón\ Cubierta}} \quad (40)$$

Falta por determinar las áreas del techo suspendido, del encamisado de la cubierta y del hormigón armado de la cubierta:

$$A_{Techo\ suspendido} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{Techo\ suspendido}^2 \quad (41)$$

$$A_{Techo\ suspendido} = 560,74 \text{ m}^2$$

$$A_{Encam.Cubierta} = 2 \cdot \pi \cdot r_{Circunf.} \cdot H_{Int.Encamisado\ Cubierta} \quad (42)$$

$$A_{Encam.Cubierta} = 785,67 \text{ m}^2$$

$$A_{HormigónCubierta} = 2 \cdot \pi \cdot (r_{Circunf.} + e_{Encam.Cubierta}) \cdot H_{Ext.Encamisado\ Cubierta} \quad (43)$$

$$A_{HormigónCubierta} = 786,96 \text{ m}^2$$

El hormigón armado de la cubierta contiene 40 kg de acero por metro cúbico de hormigón. El peso del hormigón armado de la cubierta, por tanto se obtiene a partir del volumen de hormigón y el peso del acero para el armado:

$$P_{Hormigón\ Cubierta} = V_{Hormigón} \cdot \rho_{Hormigón} + V_{Hormigón} \cdot 40 \text{ kg}_{Acero}/\text{m}^3 \quad (44)$$

Se halla el volumen de hormigón mediante la diferencia del volumen total de la cúpula considerando esta maciza (V_T) y el volumen hueco real de hormigón (V_H). Este último volumen se corresponde al volumen macizo hallado anteriormente para la obtención del volumen del encamisado de la cubierta.

$$V_H = V_{Cúp.maciza} = 1.540,759 \text{ m}^3$$

$$V_{Hormigón} = (V_T - V_H) \quad (45)$$

$$V_T = \frac{\pi}{3} \cdot (H_{Ext.Encam.Cubierta} + e)^2 \cdot [3 \cdot (r_{Circunf.} + e_{Encamisado\ Cubierta}) - (H_{Ext.Encam.Cubierta} + e)] \quad (46)$$

Donde la única incógnita es e : espesor de la cubierta de hormigón.

Se determina el espesor de la cúpula de hormigón empleando la fórmula de Barlow:

$$P = \frac{2 \cdot St \cdot e}{D_{Ext.Cuba Hormigón}} \quad (47)$$

A partir de las Ecuaciones 40,44, 45, 46 y 47, se obtiene el espesor del hormigón armado de la cubierta.

$$e = 0,297 \text{ m}$$

A partir del espesor de la cúpula, se determinan las dimensiones de la misma.

$$D_{Base \text{ Cúpula Int.Hormigón Cubierta}} = 30.56 \text{ m}$$

$$D_{Base \text{ Cúpula Ext.Hormigón Cubierta}} = 31.15 \text{ m}$$

$$H_{Ext.Hormigón.Cubierta} = 4,396 \text{ m}$$

$$V_{Hormigón} = 243,39 \text{ m}^3$$

El radio interior y el radio exterior de la circunferencia de la cúpula de hormigón son:

$$r_{Int.Hormigón \text{ Cubierta.Circunf}} = 30,556 \text{ m}$$

$$r_{Ext.Hormigón \text{ Cubierta.Circunf}} = 30,853 \text{ m}$$

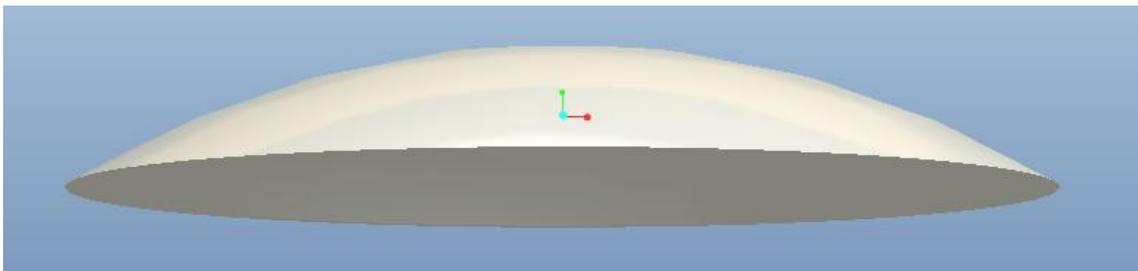


Figura 18. Hormigón armado de la cubierta de la cuba secundaria. Fuente: elaboración propia.

Cálculo del peso del hormigón armado:

A partir de la *Ecuación 44*, obtenemos el peso del hormigón armado de la cubierta:

$$P_{\text{Hormigón Cubierta}} = 581.693 \text{ kg}$$

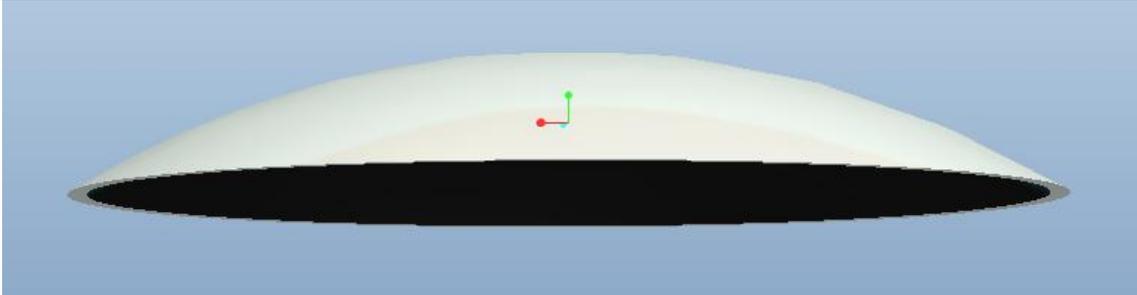


Figura 19. Conjunto cubierta de la cuba secundaria. Fuente: elaboración propia.

3.5.5. Peso total de la cuba secundaria

El peso total de la cuba secundaria corresponde a la suma de los pesos del encamisado de la cuba, el muro de hormigón pretensado, el encamisado de la cubierta y el hormigón armado de la cubierta.

Tabla 13. Pesos de los elementos de la cuba secundaria.

Elemento cuba secundaria	Peso
Encamisado cuba secundaria	67.824 kg
Muro hormigón pretensado	4.471,049 t
Encamisado cubierta	37.036 kg
Hormigón armado cubierta	581.693 kg

$$P_{\text{Cuba secundaria}} = 5.157,602 \text{ t}$$

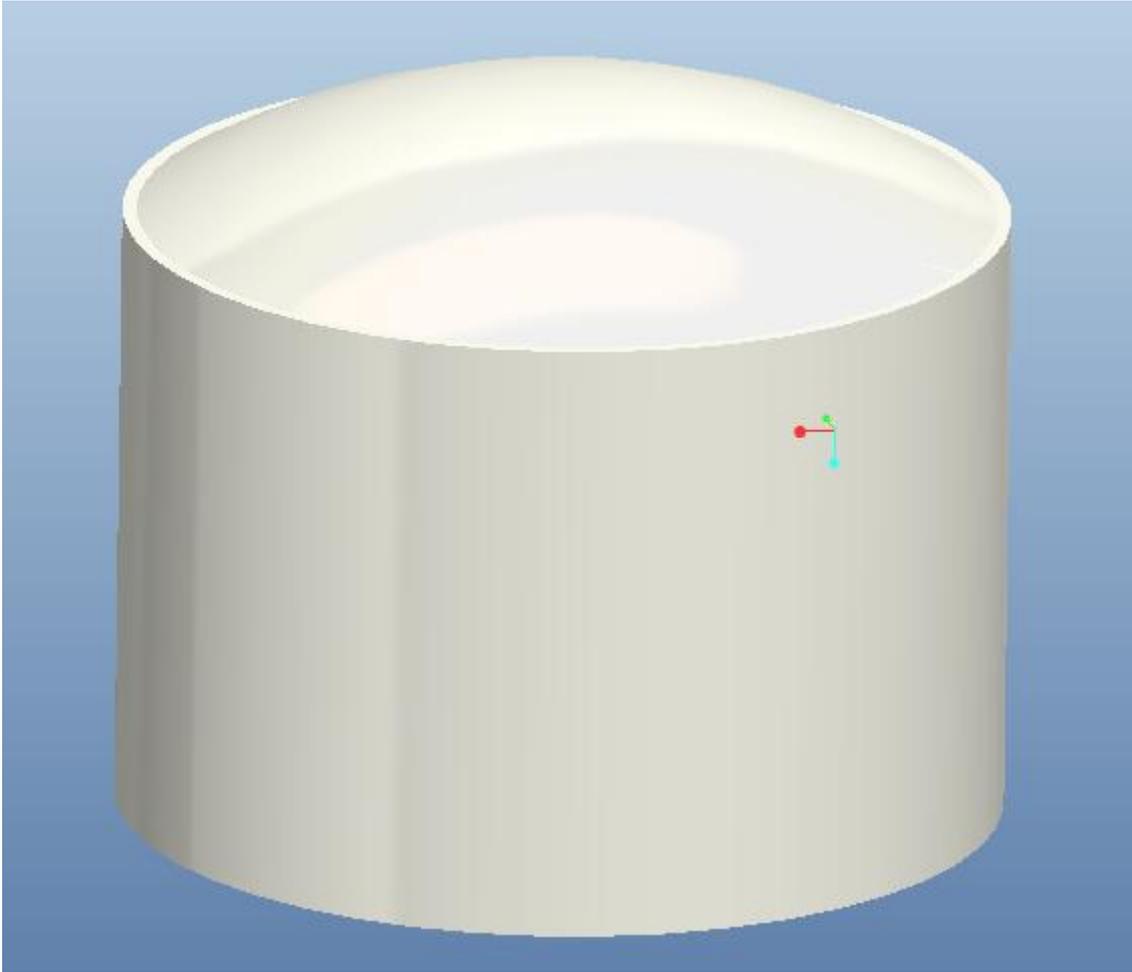


Figura 20. Conjunto de la cuba secundaria. Fuente: elaboración propia.

3.6. Aislamiento

Las principales funciones del aislamiento del tanque son:

- Mantener la temperatura del producto por debajo de los límites especificados.
- Proteger las partes del depósito que no deben ser sometidos a baja temperatura.
- Evitar la condensación y la formación de hielo o escarcha en las superficies exteriores del depósito.

Según la norma UNE-EN-14620-4, el sistema de aislamiento ha de estar fijado contra, colocado sobre, insertado entre o soportado por otros elementos de la estructura y deben estar protegidos contra posibles deterioros como:

- Deterioros producidos por acciones mecánicas.
- Absorción de agua, lluvia o nieve.
- Deterioros debidos a factores climáticos como: viento, heladas o radiación ultravioleta.
- Formación de hielo por penetración de vapor de agua.
- Deterioros originados por el fuego.

El aislamiento se coloca en la cámara anular, que es el espacio comprendido entre la cuba primaria y secundaria, por lo que el encamisado de la cuba exterior proporciona la estanqueidad necesaria al líquido y al vapor para evitar dichos deterioros.

3.6.1. Materiales

Los materiales empleados para el aislamiento son los indicados en la *Tabla 14*:

Tabla 14. Materiales aislantes para tanques de pared integrada. Fuente: UNE EN 14620-4.

Material	Soporte anular	Fondo de la cuba (servicio normal)	Aislamiento de la cubierta		Aislamiento de la virola/pared (servicio normal)		Sistema de protección térmico	
			Sobre techo suspendido	Sobre cúpula de la cuba interior	En espacio intermedio	Sobre la cara interior de la pared	Sin 9% de placa de acero níquel	Con 9% de placa de acero níquel
Madera dura	x							
Bloques/viga de hormigón de perlita	x							
Bloques/viga de hormigón ligero	x							
Hormigón armado	x ^a							
Vidrio celular	x ^b	x						x
Perlita expandida			x	x	x			
Manta de lana mineral			x	x	x ^c			
Espuma de PVC – MD		x						x
– HD	x ^b	x						x
PUF/PIR – ND BL-SPR-FIP								
– MD BL-SPR						x ^d	x ^d	x
– HD BL-SPR	x ^b	x				x ^d	x ^d	x
– GR BL	x ^b	x					x ^d	x
^a A utilizar como placa de reparto de cargas sobre la parte inferior de la capa de material aislante térmico. ^b A utilizar debajo de una placa de reparto de cargas. ^c La manta de lana mineral se puede utilizar como material resiliente entre el panel de aislamiento de perlita y la virola de la cuba interior. ^d Únicamente para categorías especiales de sistemas aplicados por vaporización, sin juntas, estancos a los vapores y a los líquidos.						Símbolos/abreviaturas BL = en bloques FIP = vertido <i>in situ</i> GR = reforzada con fibra de vidrio HD = alta densidad MD = densidad media ND = densidad normal SPR = tipo por vaporización		

Se emplea vidrio celular para el aislamiento del fondo de la cuba, perlita expandida para el aislamiento de la carcasa de la cuba primaria y mantas de lana mineral para el techo suspendido.

3.6.2. Consideraciones de diseño

Según la norma UNE-EN-14620-4, los espesores de la capa de aislamiento de los diferentes elementos se deben determinar en base al intercambio térmico especificado y considerando el requisito de reducir la condensación y la formación de hielo.

Se consideran las siguientes simplificaciones a efectos de cálculo:

- No se tiene en cuenta la transmisión de calor por la cubierta y el fondo del tanque de almacenamiento.
- Se consideran las paredes de las cubas como anillos infinitos sin soldaduras.
- Solo se tiene en cuenta para la transmisión de calor el hormigón y la perlita.
- Se desprecia la transmisión de calor por convección y radiación.
- Se considera la vaporización del amoníaco uniforme en el tiempo.

3.6.3. Aislamiento de la carcasa

El espesor de la capa aislante de la carcasa se determina a partir de la tasa de vaporización del amoníaco y los siguientes datos:

- Tasa objetivo de vaporización de amoníaco: 0,065%/día.
- Temperatura máxima registrada en los últimos años en el Puerto de Sagunto: 30°C.
- Temperatura mínima del amoníaco: -48°C.
- Calor de vaporización del amoníaco: $H_{vap} = 327 \text{ kCal/kg}$.

Teniendo en cuenta que el volumen máximo de amoníaco en el depósito es de 7.161 m^3 y la tasa objetivo de vaporización de amoníaco, la tasa de vaporización es $4,65 \text{ m}^3/\text{día}$, que son 3.250 kg/día .

Como se desprecia la transmisión de calor por el techo y el fondo del tanque, el calor que se introduce en el tanque corresponde al que se transmite por la pared del mismo:

$$q_{Pared} = P_{Amoníaco \text{ vaporizado}} \cdot H_{vap} \quad (48)$$

$$q_{Pared} = 1.062.750 \frac{\text{kCal}}{\text{día}} = 44.281,25 \frac{\text{kCal}}{\text{h}} = 51,487 \text{ kW}$$

Se considera el depósito como dos paredes cilíndricas concéntricas de la misma altura: la interior de perlita y la exterior de hormigón; y se aplica la Ecuación 49.

$$q_{Pared} = \frac{2 \cdot \pi \cdot H \cdot (T_{Ambiente \text{ máxima}} - T_{Liq})}{\frac{Ln \frac{r_{Ext.Cuba \text{ primaria}} + e_{Perlita}}{r_{Ext.Hormigón}}}{k_{Perlita}} + \frac{Ln \frac{r_{Ext.Hormigón}}{r_{Int.Hormigón}}}{k_{Hormigón}}} \quad (49)$$

Donde:

q_{Pared} : es el calor calculado que se introduce en el taque.

H: altura de la carcasa de la cuba primaria.

k: conductividad térmica del material.

$e_{Perlita}$: espesor de la capa de aislamiento de perlita.

La conductividad térmica de la perlita y hormigón son:

$$k_{Perlita} = 0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$k_{Hormigón} = 82,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

A partir de la *Ecuación 49*, se obtiene un espesor de la capa de perlita del aislamiento de la carcasa de la cuba primaria:

$$e_{Perlita} = 7,6 \text{ cm}$$

Cálculo del peso de perlita expandida en la carcasa

El volumen de perlita empleado para el aislamiento de la carcasa se halla considerando que la perlita forma un cilindro hueco:

$$V_{Perlita \text{ carcasa}} = \pi \cdot \left((r_{Ext.Cubaprimaria} + e_{Perlita})^2 - r_{Ext.Cuba \text{ Primaria}}^2 \right) \cdot H_{Cuba \text{ prim.}} \quad (50)$$

$$V_{Perlita \text{ carcasa}} = 96,11 \text{ m}^3$$

La densidad de la perlita expandida es $87,5 \text{ kg/m}^3$. Por lo tanto, el peso de la perlita:

$$P_{Perlita \text{ carcasa}} = 8.410 \text{ kg}$$

3.6.4. Aislamiento del techo suspendido

El aislamiento del techo suspendido se realiza con una manta de lana mineral.

Esta manta debe cubrir la superficie total de la parte superior de la cuba primaria: superficie del techo suspendido y el espesor de la perlita de aislamiento de la carcasa, por lo tanto, el radio de la manta es:

$$r_{Manta} = r_{Techo \text{ Suspendido}} + e_{Perlita} \quad (51)$$

$$r_{Manta} = 13,37 + 0,076 = 13,446 \text{ m}$$

La conductividad térmica de la manta depende de la densidad de la misma. Para una densidad de 40 kg/m^3 , la conductividad térmica es de $0,03 \text{ W/kg}\cdot\text{K}$. Estas mantas se comercializan en espesores variables.

Se establece la hipótesis de que el flujo de calor de la carcasa es igual al flujo de calor del techo:

$$Q_{Pared} = Q_{Techo} \quad (52)$$

$$Q_{Pared} = \frac{q_{Pared}}{S_{Pared}} = \frac{q_{Pared}}{2 \cdot \pi \cdot r_{Ext.Cuba Primaria} \cdot H_{Cuba Primaria}} \quad (53)$$

$$Q_{Pared} = \frac{51.487 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot 13,38 \text{ m} \cdot 15 \text{ m}} = 40,83 \text{ W/m}^2$$

$$Q_{Techo} = \frac{q_{Techo}}{S_{Techo suspendido}} = \frac{q_{Pared}}{\pi \cdot r_{Techo Suspendido}^2} \quad (54)$$

$$40,83 \text{ W/m}^2 = \frac{q_{Pared}}{\pi \cdot (13,36 \text{ m})^2}$$

$$q_{Techo} = 22,895 \text{ kW}$$

Este calor puede expresarse como la suma del calor transmitido por el aislamiento y el hormigón de la cubierta en cúpula:

$$q_{Techo} = q_{Aislamiento Techo} + q_{Cubierta Horm.} \quad (55)$$

$$q_{Aislamiento Techo} = \frac{T_{Cám.Anular} - T_{Liq}}{\frac{e_{Manta}}{k_{Manta}} \cdot S_{Techo suspendido}} \quad (56)$$

$$q_{Cubierta Horm.} = \frac{4 \cdot \pi \cdot (T_{Ambiente máxima} - T_{Cám.Anular})}{\frac{1}{r_{Ext.Cubiert.} \cdot H_{Ext.HormCubierta}} + \frac{1}{\frac{r_{Int.Horm.Cubiert.}}{k_{Hormigón}} - \frac{r_{Ext.HormCubiert.}}{k_{Hormigón}}} + \frac{1}{r_{Int.Horm.Cubiert.} \cdot H_{Int.Cubierta}}} \quad (57)$$

De igual forma, el calor transmitido por la pared del depósito calculado mediante la Ecuación 49, puede expresarse en función de la temperatura de la cámara anular:

$$q_{Pared} = \frac{2 \cdot \pi \cdot H \cdot k_{Perlita} \cdot (T_{Cám.Anular} - T_{Liq})}{Ln \frac{r_{Ext.Cuba primaria} + e_{Perlita}}{r_{Ext.Cuba primaria}}} + \frac{2 \cdot \pi \cdot H \cdot k_{Hormigón} \cdot (T_{Ambiente máxima} - T_{Cám.Anular})}{Ln \frac{r_{Ext.Hormigón}}{r_{Int.Hormigón}}} \quad (58)$$

A partir de la Ecuación 58, se halla la temperatura de la cámara anular:

$$T_{Cám.Anular} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Mediante las Ecuaciones 55,56 y 57, se obtiene el espesor de la manta de lana mineral:

$$e_{Manta} = 0,057 \text{ m} \approx 0,06 \text{ m}$$

Cálculo del peso de la manta de lana mineral

Se calcula el peso a partir del volumen de la manta

$$V_{Manta} = \pi \cdot r_{Manta}^2 \cdot e_{Manta} \quad (59)$$

$$V_{Manta} = 34,08 \text{ m}^3$$

La densidad de las mantas es 40 kg/m³.

$$P_{Manta} = 1.363 \text{ kg}$$

3.6.5. Aislamiento del fondo

El aislamiento del fondo de la cuba primaria se realiza con vidrio celular foamglas.

El vidrio celular se comercializa en briquetas con un grosor variable entre 40 y 180 mm, presenta una densidad de 115 kg/m³ y su conductividad térmica es 0,041 W/m·K.

El radio del aislamiento del fondo es igual al radio exterior de las chapas anulares de fondo:

$$r_{Vidrio\ celular} = 13,43 \text{ m}$$

Se emplea de nuevo la hipótesis establecida para el aislamiento del techo suspendido, por lo tanto:

$$Q_{Pared} = Q_{Fondo} = 40,83 \text{ W/m}^2 \quad (60)$$

$$Q_{Fondo} = \frac{q_{Fondo}}{S_{Fondo}} = \frac{q_{Fondo}}{\pi \cdot r_{Ext.Chapa\ anular}^2} \quad (61)$$

$$q_{Fondo} = 23,135 \text{ kW}$$

En el fondo del depósito, el aislamiento ha de mantener este calor, por lo que:

$$q_{Fondo} = \frac{T_{Ambiente\ máxima} - T_{Liq}}{\frac{e_{Briqueta}}{k_{Briqueta} \cdot S_{Fondo}}} \quad (62)$$

$$e_{Briqueta} = 0,078 \text{ m} \approx 0,08 \text{ m}$$

Cálculo del peso del vidrio celular

Se calcula el peso a partir del volumen de la capa de briquetas:

$$V_{\text{Vidrio celular}} = \pi \cdot r_{\text{Vidrio celular}}^2 \cdot e_{\text{Briqueta}} \quad (63)$$

$$V_{\text{Vidrio celular}} = 45,33 \text{ m}^3$$

La densidad de las briquetas es 115 kg/m³.

$$P_{\text{Vidrio celular}} = 5.213 \text{ kg}$$

3.6.6. Peso total del aislamiento.

El peso total del aislamiento corresponde a la suma de los pesos de los aislamientos de la carcasa, techo suspendido y fondo de la cuba primaria.

Tabla 15. Pesos de los aislamientos de la cuba primaria.

Aislamiento	Peso (kg)
Carcasa	8.410
Techo suspendido	1.363
Fondo	5.213

$$P_{\text{Aislamiento}} = 14.986 \text{ kg}$$

6. CIMENTACIÓN

La función de la cimentación es transmitir las cargas del depósito al suelo, distribuyendo estas cargas uniformemente para no superar la tensión admisible de éste, evitando así las cargas zonales y los agrietamientos en el depósito.

La cimentación del depósito es de tipo superficial empleando una losa de hormigón armado.

Se realiza un predimensionado de la cimentación del depósito, ya que al igual que la estructura de hormigón de la cuba secundaria, el cálculo de la sección de hormigón armado y la comprobación frente a los estados límites de servicio y estados últimos de acuerdo a la normativa vigente no es objeto del presente trabajo de fin de grado.

Para este predimensionado, se utiliza el propio peso del depósito, la sobrecarga de uso y de los elementos (tuberías, válvulas, escaleras...) y la sobrecarga de nieve.

El peso total del depósito se obtiene a partir de los pesos de los distintos elementos:

$$P_{\text{Depósito}} = P_{\text{Amoníaco}} + P_{\text{Cuba primaria}} + P_{\text{Cuba secundaria}} + P_{\text{Aislamientos}} \quad (64)$$

$$P_{\text{Depósito}} = 10.289.491,2 \text{ kg}$$

Se considera la sobrecarga de uso y de los elementos:

$$SC_{\text{Uso y elementos}} = 0,5 \text{ kg/cm}^2$$

La sobrecarga de nieve para Sagunto teóricamente es 0 kg/cm^2 , sin embargo, por razones de seguridad teniendo en cuenta el tipo de tanque se ha considerado emplear:

$$SC_{\text{Nieve}} = 0,1 \text{ kg/cm}^2$$

La superficie exterior de la cubierta en cúpula es:

$$S_{\text{Cubierta}} = 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{Ext.Hormigón Cubierta.Circunf}} \cdot H_{\text{Ext.Hormigón Cubierta}} \quad (65)$$

$$S_{\text{Cubierta}} = 852,19 \text{ m}^2$$

Las sobrecargas totales en el depósito son:

$$SC_{\text{Uso y elementos}} = 4.260.950 \text{ kg}$$

$$SC_{\text{Nieve}} = 852.190 \text{ kg}$$

Dado que el terreno en que se emplaza el depósito está muy próximo al mar, se supone una tensión admisible del terreno (σ_{adm}) de $0,5 \text{ kg/cm}^2$ y un canto mínimo de la losa de hormigón armado de $1,5 \text{ m}$, para evitar efectos de punzonamiento.

A partir de las hipótesis tomadas, se debe cumplir que la tensión total sobre la losa sea menor que la tensión admisible del terreno:

$$\sigma \leq \sigma_{adm} \quad (66)$$

La tensión que soporta la losa es:

$$\sigma = \frac{P_{Depósito} + SC_{Uso y elementos} + SC_{Nieve}}{S_{Losa cimentación}} \quad (67)$$

Al tratarse de un depósito circular, la losa de cimentación debe ser cuadrada con un lado superior al diámetro del depósito.

$$L_{Losa cimentación} = \sqrt{\frac{P_{Depósito} + SC_{Uso y elementos} + SC_{Nieve}}{\sigma_{adm}}} \quad (68)$$

$$L_{Losa cimentación} = \sqrt{\frac{10.289.491,2 + 4.260.950 + 852.190}{0,5}}$$

$$L_{Losa cimentación} = 5.550 \text{ cm} = 55,5 \text{ m}$$

La losa de cimentación es de sección cuadrada con 55,5 m de longitud y 1,5 m de espesor.

La cimentación se sitúa de forma que la base del depósito quede sobre el nivel de la rasante, realizando para ello una excavación previa de la cimentación. Entre la cimentación y la base del terreno excavado se situará una capa de arena compactada de 0,5 m de espesor.

7. DISTANCIAS

Para ubicar el depósito de almacenamiento de amoníaco anhidro en la parcela escogida de emplazamiento, han de ser consideradas las distancias mínimas de seguridad desde la pared del depósito especificadas en la ITC MIE-APQ 4.

El resto de las distancias mínimas se deben tomar de la ITC MIE-APQ 1, considerando el amoníaco como producto de clase D.

Para minimizar la longitud de las tuberías de trasiego desde el depósito de almacenamiento hasta el proceso productivo, se decide, observando el *Plano 1. Ubicación de la parcela*, ubicar el depósito lo más próximo posible a la esquina situada al este de la parcela.

Las distancias mínimas especificadas por la ITC MIE-APQ 4 son:

- Vía de comunicación pública de circulación rápida: 20 m.
En las inmediaciones de la parcela se encuentra el camino del polígono industrial, por lo que se debe ubicar el depósito a 20 metros del perímetro de la parcela.
- Lugar de concentración de personal de la propia factoría (edificio administrativo, comedor, vestuario): 50 m.
Actualmente en la parcela existen cuatro edificios destinados a labores administrativas, estos se encuentran alejados a más de 50 metros de la zona en la que se prevé instalar el depósito.
- Agrupamiento de viviendas: 200 m.
Al tratarse de un polígono industrial, no existen agrupamientos de viviendas próximos a la parcela.
- Local de pública concurrencia: 500 m.
No hay locales de pública concurrencia a una distancia inferior de 500 m de la parcela.

Las distancias mínimas especificadas por la ITC MIE-APQ 1 son:

- Unidades de proceso: 10 m.
- Vallado de la planta: 10 m.
- Límites de propiedades exteriores en las que pueda edificarse y vías de comunicación pública: 10 m.

A las distancias mínimas de la ITC MIE-APQ 1 se les debe aplicar un coeficiente de reducción por la capacidad del depósito. Como el volumen almacenado está comprendido entre 5.000 y 7.500 m³, el coeficiente de es 0,8. Por lo tanto:

- Unidades de proceso: 8 m.
La unidad de proceso no se encuentra en la parcela en la que se ubica el depósito.
- Vallado de la planta: 8 m.
- Límites de propiedades exteriores en las que pueda edificarse y vías de comunicación pública: 8 m.

Se ha tomado la distancia mínima de 20 m desde la periferia de la parcela hasta el depósito de almacenamiento, tomada de la ITC MIE-APQ 4. Con esta distancia se observa en el *Plano 2. Distancias de seguridad*, que también se cumplen las impuestas por la ITC MIE-APQ 1.

Teniendo en cuenta la totalidad de las restricciones marcadas, se sitúa el depósito en la parcela tal y como se ve en el *Plano 3. Ubicación del depósito*.

8. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Para asegurar el correcto funcionamiento y la seguridad de la instalación deben instalarse, como mínimo, los elementos correspondientes para la medición y control de las siguientes variables:

- Nivel del líquido:
Con el fin de evitar desbordamientos del líquido, se deben instalar dos indicadores de nivel de alta precisión, estos indicadores permitirán conocer en todo momento el nivel del líquido en el depósito. Cada circuito debe disponer de un dispositivo de alarma óptica y acústica del nivel de llenado, un dispositivo de alarma por exceso de nivel y un dispositivo de corte.
- Presión:
Un transmisor de presión alta y un transmisor de presión baja. Estos dispositivos han de ser independientes del sistema de medición de la presión normal. Dispondrán de alarmas independientes de alta y baja presión, con señalización óptica y acústica.
- Temperatura:
Los dispositivos necesarios para el correcto control de temperatura en el depósito son:
 - Seis termostatos que controlan la temperatura del líquido a diferentes alturas del depósito. La distancia entre cada dispositivo es de dos metros.
 - Dos termostatos que controlan la temperatura de la fase gaseosa. Uno de ellos se sitúa en la parte superior del techo suspendido, el otro en la parte se sitúa por debajo del mismo.
 - Dos termostatos que controlan la temperatura de la virola y del fondo de la cuba primaria.
- Detección de incendio y de gas.
- Detección de fugas de la cuba primaria:
El sistema de detección de fugas de la cuba primaria se compone de los instrumentos necesarios para el control de:
 - Caída de temperatura.
 - Detección de gas.
 - Medición de la presión diferencial.

También deberán instalarse las siguientes válvulas:

- Una válvula en todas las conexiones del depósito, situando la válvula lo más cerca posible del punto de conexión. En las conexiones situadas por debajo del nivel máximo del líquido se debe instalar una válvula de bloqueo con accionamiento a distancia.
- Dos válvulas de seguridad de presión.
- Dos válvulas de seguridad de vaciado.

Finalmente, el depósito debe tener dos tomas de tierra.

9. MEDIDAS DE SEGURIDAD

9.1. Instalaciones de seguridad

Se determina, de forma preliminar, las instalaciones de seguridad necesarias según la ITC MIE-APQ 4:

- Debe señalizarse la zona mediante rótulos normalizados advirtiendo del peligro existente e indicando la prohibición de fumar y encender fuego.
- Se ha de instalar una red de agua con bocas de incendio suficientes y caudal y presión adecuado para el control de las posibles emergencias.
- La iluminación del almacenamiento debe ser suficiente para una correcta iluminación en las horas de menos luz.
- Se ha de instalar indicadores de la dirección y sentido del viento. Estos indicadores deben estar bien iluminados.
- Si la instalación frigorífica del tanque de almacenamiento no dispone de suministro eléctrico de dos procedencias distintas se dispondrá de una antorcha para quemar de forma controlada los escapes de gas en caso de fallo en el suministro eléctrico.
- Los elementos que puedan ser deteriorados por maquinaria o vehículos deben tener barreras parachoque.
- En las inmediaciones del depósito deben ser instaladas duchas y lavaojos.

9.2. Equipo de protección personal

Los equipos de protección individual necesarios dependen de la situación en la que se encuentra el trabajador:

- Condiciones de operación normal: guantes de goma, gafas de seguridad con ajuste a la cara y equipo de protección respiratoria.
- Conexión o desconexión de tuberías y mangueras de carga y descarga: guantes de goma, traje impermeable de plástico, botas resistentes al amoníaco y equipo respiratorio con adaptador facial que cubra toda la cara, autónomo o de cartucho.
- Condiciones de emergencia: traje hermético, equipo respiratorio autónomo, cuerdas salvavidas, cinturón de seguridad.

El uso de estos equipos es de obligado cumplimiento y se debe disponer la totalidad de éstos para cada trabajador que pueda encontrarse expuesto a las situaciones anteriormente nombradas. Estos equipos se deben situar en lugares accesibles durante condiciones de emergencia.

El personal del almacenamiento debe recibir la formación adecuada sobre las propiedades y peligros del amoníaco, las consecuencias de un mal funcionamiento y acciones en caso de derrame.

10. CONCLUSIONES

Durante el presente trabajo de fin de grado se ha diseñado un tanque de almacenamiento de amoníaco anhidro de 5.000 toneladas para una fábrica de fertilizantes.

Para el diseño del tanque de almacenamiento se ha aplicado la ITC MIE-APQ 4, que regula el almacenamiento de dicho producto, así como la norma UNE-EN-14620 que regula el diseño y fabricación de tanques de acero, cilíndricos, verticales y de fondo plano para gases licuados refrigerados.

La parcela en la que se ubica el tanque se encuentra próxima a la parcela donde se lleva a cabo el proceso productivo. Se ha ubicado el tanque en ésta de forma que se cumplan las distancias mínimas de seguridad y a su vez se minimicen las distancias hasta el proceso productivo. La localización de la parcela es: Cr. Acceso IV Planta 51, 46520 Sagunto (Valencia).

Se han determinado los materiales para la fabricación del tanque y las dimensiones del mismo. Las dimensiones principales se encuentran recogidas en la *Tabla 16*.

Tabla 16. Dimensiones principales.

Elemento del tanque	Dimensión	Unidad (m)
Cuba primaria		
	Diámetro interior	26,740
	Altura	15,000
Cuba secundaria		
	Diámetro interior	30,550
	Diámetro exterior	32,226
	Altura	22,500
Cubierta		
	Altura	4,394

Finalmente, se ha realizado un estudio del coste de inversión de la instalación. Este estudio se incluye en el documento Presupuesto del presente trabajo de fin de grado. El importe de ejecución por contrata de la instalación asciende a 2.584.450,68 €.

A nivel personal, durante la realización de este trabajo de fin de grado me he enfrentado a un problema cuya solución no estaba guiada y abarcaba varias vertientes de la ingeniería. Para resolverlo, se han aplicado y reforzado conocimientos adquiridos a lo largo del Grado en Ingeniería Química en asignaturas como Transmisión de Calor, Diseño de Plantas Químicas Asistido por Ordenador, Seguridad Industrial o Proyectos de Ingeniería Química. Por otra parte, ha sido necesario ampliar conocimientos de ingeniería que no son del ámbito de la ingeniería química o no se estudian en profundidad como el predimensionado de los elementos de hormigón o la cimentación.

En conclusión, el presente trabajo de fin de grado me ha servido para conocer las situaciones a las que se puede enfrentar y las decisiones que ha de tomar un graduado en Ingeniería Química en la vida real.

11. REFERENCIAS

- AENOR (2008). *Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, construido en el lugar de emplazamiento para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de servicio entre 0 °C y -165 °C. Parte 1: Generalidades.* UNE-EN 14620-1. Madrid: AENOR.
- AENOR (2008). *Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, construido en el lugar de emplazamiento para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de servicio entre 0 °C y -165 °C. Parte 2: Componentes metálicos.* UNE-EN 14620-2. Madrid: AENOR.
- AENOR (2008). *Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, construido en el lugar de emplazamiento para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de servicio entre 0 °C y -165 °C. Parte 3: Componentes de hormigón.* UNE-EN 14620-3. Madrid: AENOR.
- AENOR (2008). *Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, construido en el lugar de emplazamiento para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de servicio entre 0 °C y -165 °C. Parte 4: Componentes aislantes.* UNE-EN 14620-4. Madrid: AENOR.
- AENOR (2008). *Diseño y fabricación de tanques de acero cilíndricos, verticales y de fondo plano, construido en el lugar de emplazamiento para el almacenamiento de gases licuados refrigerados con temperaturas de servicio entre 0 °C y -165 °C. Parte 5: Ensayos, secado, purga y enfriamiento.* UNE-EN 14620-5. Madrid: AENOR.
- AENOR (2010). *Productos planos de acero para aplicaciones a presión. Parte 3: Aceros soldables de grano fino en condiciones de normalizado.* UNE-EN-10028-3. Madrid: AENOR.
- AENOR (2013). *Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.* UNE-EN-1992-1-1. Madrid: AENOR.
- American Petroleum Institute (1998). *Welded Steel Tanks for Oil Storage.* API STANDARD 650. Washington, D.C.: API Publishing Services, 2005.
- Cad-Cae Ingeniería Ltda. *Manual de cañerías.* <http://www.cad-cae.com/PDF_CAD_CAE/Manual_de_canerias.pdf> [Consulta: 10 de enero de 2016].
- España, R.D. 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias MIE-APQ-1, MIE-APQ-2, MIE-APQ-3, MIE-APQ-4, MIE-APQ-5, MIE-APQ-6 y MIE-APQ7. Boletín Oficial del Estado (BOE), núm. 112. pp. 16838-16852, 16893-16900 y 16919-16920, jueves 10 de mayo, 2001, Madrid.
- HERNÁNDEZ, E.; GIL, L.M. (2014). *Hormigón armado y pretensado: concreto reforzado y preesforzado.* Madrid: Ibergarceta: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- HOUSECROFT, C. y SHARPE, A. (2006). *Química Inorgánica.* Madrid: Pearson Educación S.A.
- LILEY, P.; THOMSON, G.; FRIEND, D.; DAULBERT, T. y BUCK, E. (2001). "Datos físicos y químicos" en Perry, R.; y Chilton, C. *Manual del Ingeniero Químico.* Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U. Volumen. 1.

- SMITH, E.; ROYAL,R.; SILLER, D.; TIMM, M.; JEKEL, T.; VALLORT, R.; LIM, C. (2014). *Ammonia as a Refrigerant*. Atlanta, Georgia: ASHRAE. <www.ashrae.org> [Consulta: 16 de febrero de 2016]
- TextosCientíficos.com. *Modelo de repulsión de los pares de electrones de la capa de valencia*. <www.textoscientificos.com/quimica/inorganica/vserp>. [Consulta: 16 de febrero de 2016].
- The Linde Group. *Ficha de Seguridad del Amoníaco Anhidro*. <http://www.abellolinde.es/internet.lg.lg.esp/es/images/FDS-10021772-01-00-ES316_89360.pdf>. [Consulta: 16 de febrero 2016].

PRESUPUESTO

Índice del presupuesto

1. Cuadro de mano de obra	1
2. Cuadro de materiales	2
3. Cuadro de maquinaria.....	3
4. Descompuestos	4
5. Presupuestos y mediciones.....	12
5.1. Presupuesto parcial nº1: Movimiento de tierras	12
5.2. Presupuesto parcial nº2: Cimentación	13
5.3. Presupuesto parcial nº3: Cuba primaria.....	13
5.3.1. Carcasa.....	13
5.3.2. Fondo.....	14
5.3.3. Techo suspendido.....	14
5.4. Presupuesto parcial nº4: Cuba secundaria	15
5.4.1. Muro	15
5.4.2. Cubierta	15
5.5. Presupuesto parcial nº5: Aislamiento	16
6. Resumen	17

1. Cuadro de mano de obra

Núm.	Código Denominación de la mano de obra	Precio	Horas	Total
1.1	MO01 Oficial Albañilería	20,000	1.387,351 h	27.747,02
1.2	MO02 Peón Albañilería	18,000	1.156,332 h	20.813,98
1.3	MO03 Oficial 1ª Soldador	16,980	593,184 h	10.072,26
1.4	MO04 Ayudante Soldador	15,980	593,184 h	9.479,08
1.5	MO07 Oficial 1ª ferrallista	15,750	3.800,301 h	59.854,74
1.6	MO05 Oficial 1ª encofrador	15,270	121,694 h	1.858,27
1.7	MO08 Ayudante ferrallista	15,060	3.800,301 h	57.232,53
1.8	MO06 Ayudante encofrador	14,730	121,694 h	1.792,55
1.9	MO09 Oficial primera	13,420	388,172 h	5.209,27
1.10	MO10 Ayudante	13,060	388,172 h	5.069,53
1.11	O01A070 Peón ordinario	12,770	1.694,138 h.	21.634,14
			Total mano de obra:	220.763,37

2. Cuadro de materiales

Núm.	Código Denominación del material	Precio	Cantidad	Total
2.1	MA06 Chapa plana de acero al carbono-manganeso de 10 mm de espesor, con dimensiones 2.500 x 12.000 mm.	1.648,500	7,000 Ud	11.539,50
2.2	MA05 Chapa plana de acero al carbono-manganeso de 9 mm de espesor, con dimensiones 2.500 x 12.000 mm.	1.483,650	7,000 Ud	10.385,55
2.3	MA04 Chapa plana de acero al carbono-manganeso de 8 mm de espesor, con dimensiones 2.500 x 12.000 mm	1.318,800	7,000 Ud	9.231,60
2.4	MA03 Chapa plana de acero al carbono-manganeso de 7 mm de espesor, con dimensiones 2.500 x 12.000 mm,	1.153,950	21,000 Ud	24.232,95
2.5	MA10 Chapa de acero al carbono-manganeso de 4 mm de espesor, con dimensiones 2.500 x 12.000 mm.	659,400	82,800 Ud	54.598,32
2.6	MA14 Perlita expandida	150,000	96,111 m3	14.416,65
2.7	MA01 Hormigón para cimentación	70,000	5.082,413 m3	355.768,91
2.8	MA11 Hormigón	61,230	2.118,351 m3	129.706,63
2.9	MA09 Chapa de aluminio de 6 mm de espesor	48,440	758,998 m2	36.765,86
2.10	MA07 Chapa plana de acero al carbono-manganeso de 8 mm de espesor.	43,960	54,325 m2	2.388,13
2.11	MA16 Vidrio celular foamglas	36,000	566,634 m2	20.398,82
2.12	MA08 Chapa plana de acero al carbono-manganeso de 6 mm de espesor	32,970	1.404,792 m2	46.315,99
2.13	P01AA030 Arena de río 0/5 mm.	13,630	1.771,144 m3	24.140,69
2.14	MA15 Manta de lana mineral de 60 mm de espesor.	9,360	567,985 m2	5.316,34
2.15	MA12 Acero para pretensado	2,040	122.141,250 kg	249.168,15
2.16	MA13 Acero corrugado para el armado de hormigón	1,820	194.550,480 kg	354.081,87
Total materiales:				1.348.455,96

3. Cuadro de maquinaria

Num.	Código Denominación de la maquinaria	Precio	Cantidad	Total
3.1	M05RN020 Retrocargadora neum. 75 CV	38,570	954,878 h.	36.829,64
3.2	M05RN025 Retrocargadora neum. 90 CV	37,290	800,865 h.	29.864,26
3.3	M07CB010 Camión basculante 4x2 10 t.	25,070	1.170,495 h.	29.344,31
3.4	MM02 Máquina cilindadora	6,900	31,953 h	220,48
3.5	M08RL010 Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	5,640	77,006 h.	434,31
3.6	M11M010 Motosoldad.eléctrica 3 KVAs	3,650	539,085 h.	1.967,66
3.7	MM04 Vibrador hormigón gasolina	2,430	1.047,007 h	2.544,23
3.8	MM03 Radial eléctrica 230 W	1,020	54,098 h	55,18
3.9	MM01 Vibrador de aguja	0,500	115,509 h	57,75
3.10	M07N050 Canon de tierra a vertedero	0,310	6.160,500 m3	1.909,76
Total maquinaria:				103.227,58

4. Descompuestos

Num.	Código	Ud	Descripción	Total
4.1	Ch.Ac.C-M.10	Ud	Chapa de acero al carbono-manganeso de 10 mm de espesor para construcción de virolas. Chapa soldada y cilindrada.	
	MO03		1,450 h Oficial 1ª Soldador	16,980 24,62
	MO04		1,450 h Ayudante Soldador	15,980 23,17
	MA06		1,000 Ud Chapa plana acero carbono-manganeso 10mm	1.648,500 1.648,50
	MM02		0,166 h Máquina cilindradora	6,900 1,15
	M11M010		1,450 h. Motosoldad.eléctrica 3 KVAs	3,650 5,29
	%		4,000 % Costes directos complementarios	1.702,730 68,11
			4,000 % Costes indirectos	1.770,840 70,830
			Total por Ud	1.841,67

Son MIL OCHOCIENTOS CUARENTA Y UN EUROS CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS por Ud.

4.2	Ch.Ac.C-M.4	Ud	Chapa de acero al carbono-manganeso de 4 mm de espesor para virola.	
	MO03		1,450 h Oficial 1ª Soldador	16,980 24,62
	MO04		1,450 h Ayudante Soldador	15,980 23,17
	MA10		1,150 Ud Chapa acero carbono-manganeso 4 mm	659,400 758,31
	MM02		0,166 h Máquina cilindradora	6,900 1,15
	M11M010		1,450 h. Motosoldad.eléctrica 3 KVAs	3,650 5,29
	%		4,000 % Costes directos complementarios	812,540 32,50
			4,000 % Costes indirectos	845,040 33,800
			Total por Ud	878,84

Son OCHOCIENTOS SETENTA Y OCHO EUROS CON OCHENTA Y CUATRO CÉNTIMOS por Ud.

Proyecto de almacenamiento de amoníaco para una empresa situada en Sagunto (Valencia)

4.3	Ch.Ac.C-M.6	m2	Chapa de acero al carbono-manganeso de 6 mm de espesor. Totalmente montada y terminada.		
	MA08	1,000	m2 Chapa plana acero carbono-manganeso 6mm	32,970	32,97
	MM03	0,040	h Radial eléctrica 230 W	1,020	0,04
	MO03	0,200	h Oficial 1ª Soldador	16,980	3,40
	MO04	0,200	h Ayudante Soldador	15,980	3,20
	M11M010	0,160	h. Motosoldad.eléctrica 3 KVA	3,650	0,58
	%	2,000	% Costes directos complementarios	40,190	0,80
		4,000	% Costes indirectos	40,990	1,640
			Total por m2		<u>42,63</u>

Son CUARENTA Y DOS EUROS CON SESENTA Y TRES CÉNTIMOS por m2.

4.4	Ch.Ac.C-M.7mm	Ud	Chapa de acero al carbono-manganeso de 7 mm de espesor para construcción de virolas. Chapa soldada y cilindrada		
	MO03	1,450	h Oficial 1ª Soldador	16,980	24,62
	MO04	1,450	h Ayudante Soldador	15,980	23,17
	MA03	1,000	Ud Chapa plana acero al carbono-manganeso 7 mm	1.153,950	1.153,95
	MM02	0,166	h Máquina cilindradora	6,900	1,15
	M11M010	1,450	h. Motosoldad.eléctrica 3 KVA	3,650	5,29
	%	4,000	% Costes directos complementarios	1.208,180	48,33
		4,000	% Costes indirectos	1.256,510	50,260
			Total por Ud		<u>1.306,77</u>

Son MIL TRESCIENTOS SEIS EUROS CON SETENTA Y SIETE CÉNTIMOS por Ud.

Proyecto de almacenamiento de amoníaco para una empresa situada en Sagunto (Valencia)

4.5	Ch.Ac.C-M.8	Ud	Chapa de acero al carbono-manganeso de 8 mm de espesor para construcción de virolas. Chapa soldada y cilindrada.			
	MO03		1,450	h Oficial 1ª Soldador	16,980	24,62
	MO04		1,450	h Ayudante Soldador	15,980	23,17
	MA04		1,000	Ud Chapa plana acero carbono-manganeso 8mm	1.318,800	1.318,80
	MM02		0,166	h Máquina cilindradora	6,900	1,15
	M11M010		1,450	h. Motosoldad.eléctrica 3 KVAs	3,650	5,29
	%		4,000	% Costes directos complementarios	1.373,030	54,92
			4,000	% Costes indirectos	1.427,950	57,120
				Total por Ud		<u>1.485,07</u>

Son MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y CINCO EUROS CON SIETE CÉNTIMOS por Ud.

4.6	Ch.Ac.C-M.8.S	m2	Chapa de acero al carbono-manganeso de 8 mm de espesor. Totalmente montada y terminada.			
	MA07		1,000	m2 Chapa plana acero carbono-manganeso 8mm.	43,960	43,96
	MM03		0,040	h Radial eléctrica 230 W	1,020	0,04
	MO03		0,200	h Oficial 1ª Soldador	16,980	3,40
	MO04		0,200	h Ayudante Soldador	15,980	3,20
	M11M010		0,160	h. Motosoldad.eléctrica 3 KVAs	3,650	0,58
	%		2,000	% Costes directos complementarios	51,180	1,02
			4,000	% Costes indirectos	52,200	2,090
				Total por m2		<u>54,29</u>

Son CINCUENTA Y CUATRO EUROS CON VEINTINUEVE CÉNTIMOS por m2.

Proyecto de almacenamiento de amoníaco para una empresa situada en Sagunto (Valencia)

4.7	Ch.Ac.C-M.9	Ud	Chapa de acero al carbono-manganeso de 9 mm de espesor para construcción de virolas. Chapa soldada y cilindrada.		
	MO03	1,450	h Oficial 1ª Soldador	16,980	24,62
	MO04	1,450	h Ayudante Soldador	15,980	23,17
	MA05	1,000	Ud Chapa plana acero carbono-manganeso 9mm	1.483,650	1.483,65
	MM02	0,166	h Máquina cilindradora	6,900	1,15
	M11M010	1,450	h. Motosoldad.eléctrica 3 KVAs	3,650	5,29
	%	4,000	% Costes directos complementarios	1.537,880	61,52
		4,000	% Costes indirectos	1.599,400	63,980
			Total por Ud		<u>1.663,38</u>

Son MIL SEISCIENTOS SESENTA Y TRES EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS por Ud.

4.8	Ch.Al.6	m2	Chapa de aluminio plana de 6 mm de espesor. Totalmente montada y terminada.		
	MA09	1,000	m2 Chapa aluminio 6 mm	48,440	48,44
	MO03	0,200	h Oficial 1ª Soldador	16,980	3,40
	MO04	0,200	h Ayudante Soldador	15,980	3,20
	MM03	0,040	h Radial eléctrica 230 W	1,020	0,04
	M11M010	0,160	h. Motosoldad.eléctrica 3 KVAs	3,650	0,58
	%	4,000	% Costes directos complementarios	55,660	2,23
		4,000	% Costes indirectos	57,890	2,320
			Total por m2		<u>60,21</u>

Son SESENTA EUROS CON VEINTIUN CÉNTIMOS por m2.

Proyecto de almacenamiento de amoníaco para una empresa situada en Sagunto (Valencia)

4.9	Ch.AI.6.C	m2	Chapa de aluminio cilindrada de 6 mm de espesor. Totalmente montada y terminada.			
	MA09	1,000	m2 Chapa aluminio 6 mm	48,440	48,44	
	MM02	0,066	h Máquina cilindradora	6,900	0,46	
	MO03	0,200	h Oficial 1ª Soldador	16,980	3,40	
	MO04	0,200	h Ayudante Soldador	15,980	3,20	
	MM03	0,040	h Radial eléctrica 230 W	1,020	0,04	
	M11M010	0,160	h. Motosoldad.eléctrica 3 KVAs	3,650	0,58	
	%	4,000	% Costes directos complementarios	56,120	2,24	
		4,000	% Costes indirectos	58,360	2,330	
			Total por m2		60,69	

Son SESENTA EUROS CON SESENTA Y NUEVE CÉNTIMOS por m2.

4.10	Cup.Ac.C-M.6	m2	Cúpula de material acero al carbono-manganeso de 6 mm de espesor. Totalmente montada y terminada			
	MA08	1,100	m2 Chapa plana acero carbono-manganeso 6mm	32,970	36,27	
	MO03	0,200	h Oficial 1ª Soldador	16,980	3,40	
	MO04	0,200	h Ayudante Soldador	15,980	3,20	
	M11M010	0,200	h. Motosoldad.eléctrica 3 KVAs	3,650	0,73	
	%	4,000	% Costes directos complementarios	43,600	1,74	
		4,000	% Costes indirectos	45,340	1,810	
			Total por m2		47,15	

Son CUARENTA Y SIETE EUROS CON QUINCE CÉNTIMOS por m2.

4.11	E02SZ040	m3	Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena, por medios manuales, con rodillo vibratorio, considerando la arena a pie de tajo, y con p.p. de medios auxiliares.			
	O01A070	0,700	h. Peón ordinario	12,770	8,94	
	M08RL010	0,050	h. Rodillo v.dúplex 55cm 800 kg.man	5,640	0,28	
	P01AA030	1,150	m3 Arena de río 0/5 mm.	13,630	15,67	
		4,000	% Costes indirectos	24,890	1,000	
			Total por m3		25,89	

Son VEINTICINCO EUROS CON OCHENTA Y NUEVE CÉNTIMOS por m3.

Proyecto de almacenamiento de amoníaco para una empresa situada en Sagunto (Valencia)

4.12	E02T020	m3	Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 10 km., considerando ida y vuelta, con camión basculante cargado a máquina, canon de vertedero, y con p.p. de medios auxiliares, considerando también la carga.		
	M05RN025	0,130	h. Retrocargadora neum. 90 CV	37,290	4,85
	M07CB010	0,190	h. Camión basculante 4x2 10 t.	25,070	4,76
	M07N050	1,000	m3 Canon de tierra a vertedero	0,310	0,31
		4,000	% Costes indirectos	9,920	0,400
			Total por m3		10,32

Son DIEZ EUROS CON TREINTA Y DOS CÉNTIMOS por m3.

4.13	E02ZM020	m3	Excavación en zanjas, en terrenos flojos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero y con p.p. de medios auxiliares.		
	O01A070	0,100	h. Peón ordinario	12,770	1,28
	M05RN020	0,155	h. Retrocargadora neum. 75 CV	38,570	5,98
		4,000	% Costes indirectos	7,260	0,290
			Total por m3		7,55

Son SIETE EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS por m3.

4.14	Hor.Arma.	m3	Hormigón armado para cimentación en losa, compactado mediante vibrador de aguja		
	MO01	0,100	h Oficial Albañilería	20,000	2,00
	MO02	0,050	h Peón Albañilería	18,000	0,90
	MA01	1,100	m3 Hormigón para cimentación	70,000	77,00
	MM01	0,025	h Vibrador de aguja	0,500	0,01
	Ac.Co	40,000	kg Acero corrugado	2,190	87,60
	%	2,000	% Costes directos complementarios	167,510	3,35
		4,000	% Costes indirectos	170,860	6,830
			Total por m3		177,69

Son CIENTO SETENTA Y SIETE EUROS CON SESENTA Y NUEVE CÉNTIMOS por m3.

Proyecto de almacenamiento de amoníaco para una empresa situada en Sagunto (Valencia)

4.15	Hor.Pret	m3	Suministro y puesta en obra de hormigón pretensado incluyendo parte proporcional de acero para el pretensado.		
	MA11	1,000	m3 Hormigón	61,230	61,23
	MO01	0,500	h Oficial Albañilería	20,000	10,00
	MO02	0,500	h Peón Albañilería	18,000	9,00
	MM04	0,500	h Vibrador hormigón gasolina	2,430	1,22
	Ac.Pret	66,000	kg Acero para pretensado	2,410	159,06
	%	6,000	% Costes directos complementarios	240,510	14,43
		4,000	% Costes indirectos	254,940	10,200
			Total por m3		<u>265,14</u>

Son DOSCIENTOS SESENTA Y CINCO EUROS CON CATORCE CÉNTIMOS por m3.

4.16	Horm.Armado	m3	Suministro y puesta en obra de hormigón armado para muro, incluyendo parte proporcional de acero corrugado.		
	MA11	1,100	m3 Hormigón	61,230	67,35
	MO05	0,500	h Oficial 1ª encofrador	15,270	7,64
	MO06	0,500	h Ayudante encofrador	14,730	7,37
	MM04	0,500	h Vibrador hormigón gasolina	2,430	1,22
	Ac.Co	40,000	kg Acero corrugado	2,190	87,60
	%	4,000	% Costes directos complementarios	171,180	6,85
		4,000	% Costes indirectos	178,030	7,120
			Total por m3		<u>185,15</u>

Son CIENTO OCHENTA Y CINCO EUROS CON QUINCE CÉNTIMOS por m3.

Proyecto de almacenamiento de amoníaco para una empresa situada en Sagunto (Valencia)

4.17	Man.Lana.Min	m2	Manta de lana mineral de 60 mm de espesor colocada sobre superficie horizontal plana.		
	MA15	1,000	m2 Manta lana mineral 60mm	9,360	9,36
	MO09	0,100	h Oficial primera	13,420	1,34
	MO10	0,100	h Ayudante	13,060	1,31
	%	3,000	% Costes directos complementarios	12,010	0,36
		4,000	% Costes indirectos	12,370	0,490
			Total por m2		<u>12,86</u>

Son DOCE EUROS CON OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS por m2.

4.18	Perl.Expan	m3	Perlita expandida para aislamiento térmico colocado sobre estructuras verticales		
	MA14	1,000	m3 Perlita expandida	150,000	150,00
	MO09	0,500	h Oficial primera	13,420	6,71
	MO10	0,500	h Ayudante	13,060	6,53
	%	3,000	% Costes directos complementarios	163,240	4,90
		4,000	% Costes indirectos	168,140	6,730
			Total por m3		<u>174,87</u>

Son CIENTO SETENTA Y CUATRO EUROS CON OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS por m3.

4.19	Vid.Celular	m2	Vidrio celular foamglas de 80 mm de espesor colocada sobre superficie plana.		
	MA16	1,000	m2 Vidrio celular foamglas	36,000	36,00
	MO09	0,500	h Oficial primera	13,420	6,71
	MO10	0,500	h Ayudante	13,060	6,53
	%	2,000	% Costes directos complementarios	49,240	0,98
		4,000	% Costes indirectos	50,220	2,010
			Total por m2		<u>52,23</u>

Son CINCUENTA Y DOS EUROS CON VEINTITRES CÉNTIMOS por m2.

5. Presupuestos y mediciones

5.1. Presupuesto parcial nº1: Movimiento de tierras

Código	Ud	Denominación	Medición			Precio	Total
5.1.1 E02ZM020	m3	Excavación en zanjas, en terrenos flojos, por medios mecánicos, con extracción de tierras a los bordes, sin carga ni transporte al vertedero y con p.p. de medios auxiliares.					
Tierra extraída para cimentación y capa de arena	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal		
	1	55,500	55,500	2,000	6.160,500		
		Total m3			6.160,500	7,55	46.511,78
5.1.2 E02T020	m3	Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 10 km., considerando ida y vuelta, con camión basculante cargado a máquina, canon de vertedero, y con p.p. de medios auxiliares, considerando también la carga.					
Transporte a vertedero tierra extraídas	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal		
	1	55,500	55,500	2,000	6.160,500		
		Total m3			6.160,500	10,32	63.576,36
5.1.3 E02SZ040	m3	Relleno, extendido y compactado de zanjas con arena, por medios manuales, con rodillo vibratorio, considerando la arena a pie de tajo, y con p.p. de medios auxiliares.					
Capa de arena compactada	Uds.	Largo	Alto	Alto	Subtotal		
	1	55,500	55,500	0,500	1.540,125		
		Total m3			1.540,125	25,89	39.873,84

5.2. Presupuesto parcial nº2: Cimentación

Código	Ud	Denominación	Medición	Precio	Total	
5.2.1 Hor.Arma.	m3	Hormigón armado para cimentación en losa, compactado mediante vibrador de aguja				
Cimentación	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	
Losa de cimentación	1	55,500	55,500	1,500	4.620,375	
Total m3				4.620,375	177,69	820.994,43

5.3. Presupuesto parcial nº3: Cuba primaria

Código	Ud	Denominación	Medición	Precio	Total
--------	----	--------------	----------	--------	-------

5.3.1 Carcasa

5.3.1.1 Ch.Ac.C-M.7mm Ud Chapa de acero al carbono-manganeso de 7 mm de espesor para construcción de virolas. Chapa soldada y cilindrada

Ud chapas	Uds.	Largo	Ancho	Subtotal		
Virola 4	7			7,000		
Virola 5	7			7,000		
Virola 6	7			7,000		
Total Ud				21,000	1.306,77	27.442,17

5.3.1.2 Ch.Ac.C-M.8 Ud Chapa de acero al carbono-manganeso de 8 mm de espesor para construcción de virolas. Chapa soldada y cilindrada.

	Uds.	Largo	Ancho	Subtotal		
Virola 3	7			7,000		
Total Ud				7,000	1.485,07	10.395,49

5.3.1.3 Ch.Ac.C-M.9 Ud Chapa de acero al carbono-manganeso de 9 mm de espesor para construcción de virolas. Chapa soldada y cilindrada.

	Uds.	Largo	Ancho	Subtotal		
Virola 2	7			7,000		
Total Ud				7,000	1.663,38	11.643,66

5.3.1.4 Ch.Ac.C-M.10 Ud Chapa de acero al carbono-manganeso de 10 mm de espesor para construcción de virolas. Chapa soldada y cilindrada.

	Uds.	Largo	Ancho	Subtotal		
Virola 1	7			7,000		
Total Ud				7,000	1.841,67	12.891,69

5.3.2 Fondo

5.3.2.1 Ch.Ac.C-M.8.S m2 Chapa de acero al carbono-manganeso de 8 mm de espesor. Totalmente montada y terminada.

Chapa anular	Uds.	R ext	R int	Subtotal
Chapa anular [A*3.1416*(B*B-C*C)]	1	13,430	12,770	54,325
Total m2				54,325
				54,29
				2.949,30

5.3.2.2 Ch.Ac.C-M.6 m2 Chapa de acero al carbono-manganeso de 6 mm de espesor. Totalmente montada y terminada.

Chapa central	Uds.	R	Ancho	Subtotal
A*3.1416*B*B	1	13,100		539,130
Total m2				539,130
				42,63
				22.983,11

5.3.3 Techo suspendido

5.3.3.1 Ch.Al.6 m2 Chapa de aluminio plana de 6 mm de espesor. Totalmente montada y terminada.

Chapa plana techo suspendido	Uds.	R	Ancho	Subtotal
A*3.1416*B*B	1	13,370		561,583
Total m2				561,583
				60,21
				33.812,91

5.3.3.2 Ch.Al.6.C m2 Chapa de aluminio cilindrada de 6 mm de espesor. Totalmente montada y terminada.

Borde techo suspendido	Uds.	R	Alto	Subtotal
A*2*3.1416*B*C	1	13,370	2,350	197,415
Total m2				197,415
				60,69
				11.981,12

5.4. Presupuesto parcial nº4: Cuba secundaria

Código	Ud	Denominación	Medición	Precio	Total
--------	----	--------------	----------	--------	-------

5.4.1 Muro

5.4.1.1 Ch.Ac.C-M.4 Ud Chapa de acero al carbono-manganeso de 4 mm de espesor para virola.

	Uds.	Largo	Ancho	Subtotal		
Virola 1	8			8,000		
Virola 2	8			8,000		
Virola 3	8			8,000		
Virola 4	8			8,000		
Virola 5	8			8,000		
Virola 6	8			8,000		
Virola 7	8			8,000		
Virola 8	8			8,000		
Virola 9	8			8,000		
Total Ud				72,000	878,84	63.276,48

5.4.1.2 Hor.Pret m3 Suministro y puesta en obra de hormigón pretensado incluyendo parte proporcional de acero para el pretensado.

Hormigón pretensado muro	Uds.	R ext	R int	Alto	Subtotal		
A*3.1416*(B*B-C*C)*D	1	16,113	15,279	22,500	1.850,625		
Total m3					1.850,625	265,14	490.674,71

5.4.2 Cubierta

5.4.2.1 Cup.Ac.C-M.6 m2 Cúpula de material acero al carbono-manganeso de 6 mm de espesor. Totalmente montada y terminada

Encamisado cúpula	R ext. encam. cúp.	H ext. encam.cúp	Ancho	Alto	Subtotal		
2*3.1416*A*B	4,099	30,556			786,965		
Total m2					786,965	47,15	37.105,40

6. Resumen

Capítulo	Importe
Capítulo 1 Movimiento de tierras	149.961,98
Capítulo 2 Cimentación	820.994,43
Capítulo 3 Cuba primaria	134.099,45
Capítulo 3.1 Carcasa	62.373,01
Capítulo 3.2 Fondo	25.932,41
Capítulo 3.3 Techo suspendido	45.794,03
Capítulo 4 Cuba secundaria	636.119,69
Capítulo 4.1 Muro	553.951,19
Capítulo 4.2 Cubierta	82.168,50
Capítulo 5 Aislamiento	53.706,51
Presupuesto de ejecución material	1.794.882,06
13% de gastos generales	233.334,67
6% de beneficio industrial	107.692,92
Suma	2.135.909,65
21% IVA	448.541,03
Presupuesto de ejecución por contrata	2.584.450,68

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de DOS MILLONES QUINIENTOS OCHENTA Y CUATRO MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA EUROS CON SESENTA Y OCHO CÉNTIMOS.

PLANOS

Índice de los planos

Plano 1. Ubicación de la parcela	1
Plano 2. Distancias de seguridad	2
Plano 3. Ubicación del depósito	3
Plano 4. Elementos de la cuba primaria	4
Plano 5. Muro cuba secundaria	5
Plano 6. Cubierta cuba secundaria.....	6
Plano 7. Conjuntos cuba primaria y cuba secundaria	7
Plano 8. Conjunto depósito.....	8



INSTALACIONES ACTUALES DE LA EMPRESA

PARCELA DEL DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO



Imagen aérea de la zona. Fuente: Google Maps

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUIMICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto:

PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO PARA UNA EMPRESA SITUADA EN SAGUNTO (VALENCIA)

Fecha:

Febrero 2016

Escala:

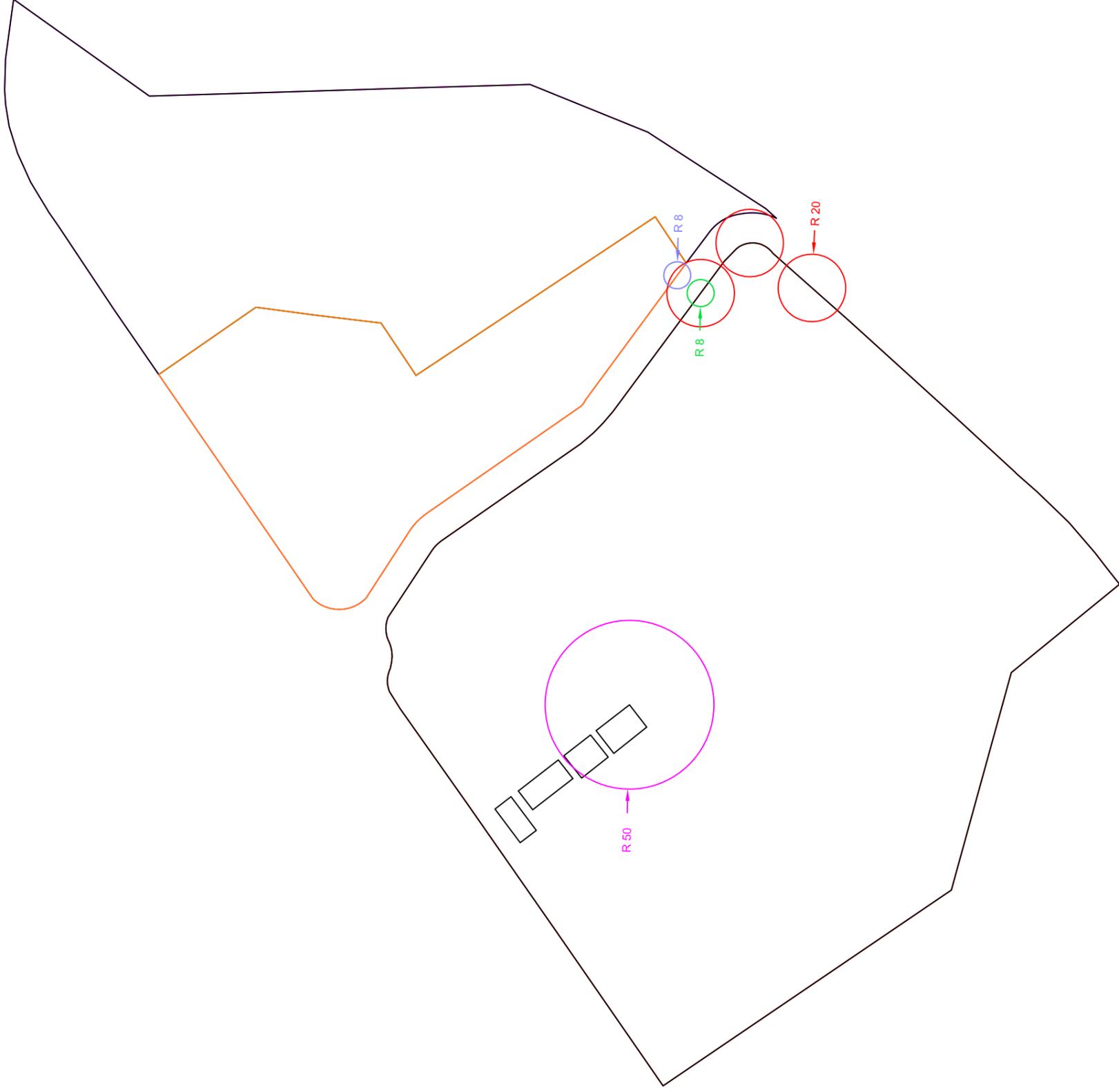
1/2.000

Planos:

Nº Planos:

Ubicación de la parcela

Amelia Martí Llagaria
Autor proyecto



LÍMITES DE PROPIEDADES EXTERIORES

DISTANCIA MÍNIMA EDIFICIOS ADMINISTRATIVOS

DISTANCIA MÍNIMA VÍA DE COMUNICACIÓN PÚBLICA

DISTANCIA MÍNIMA LÍMITES DE PROPIEDADES EXTERIORES

DISTANCIA MÍNIMA VALLADO DE LA PLANTA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUÍMICA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto:

PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO PARA UNA EMPRESA SITUADA EN SAGUNTO (VALENCIA)

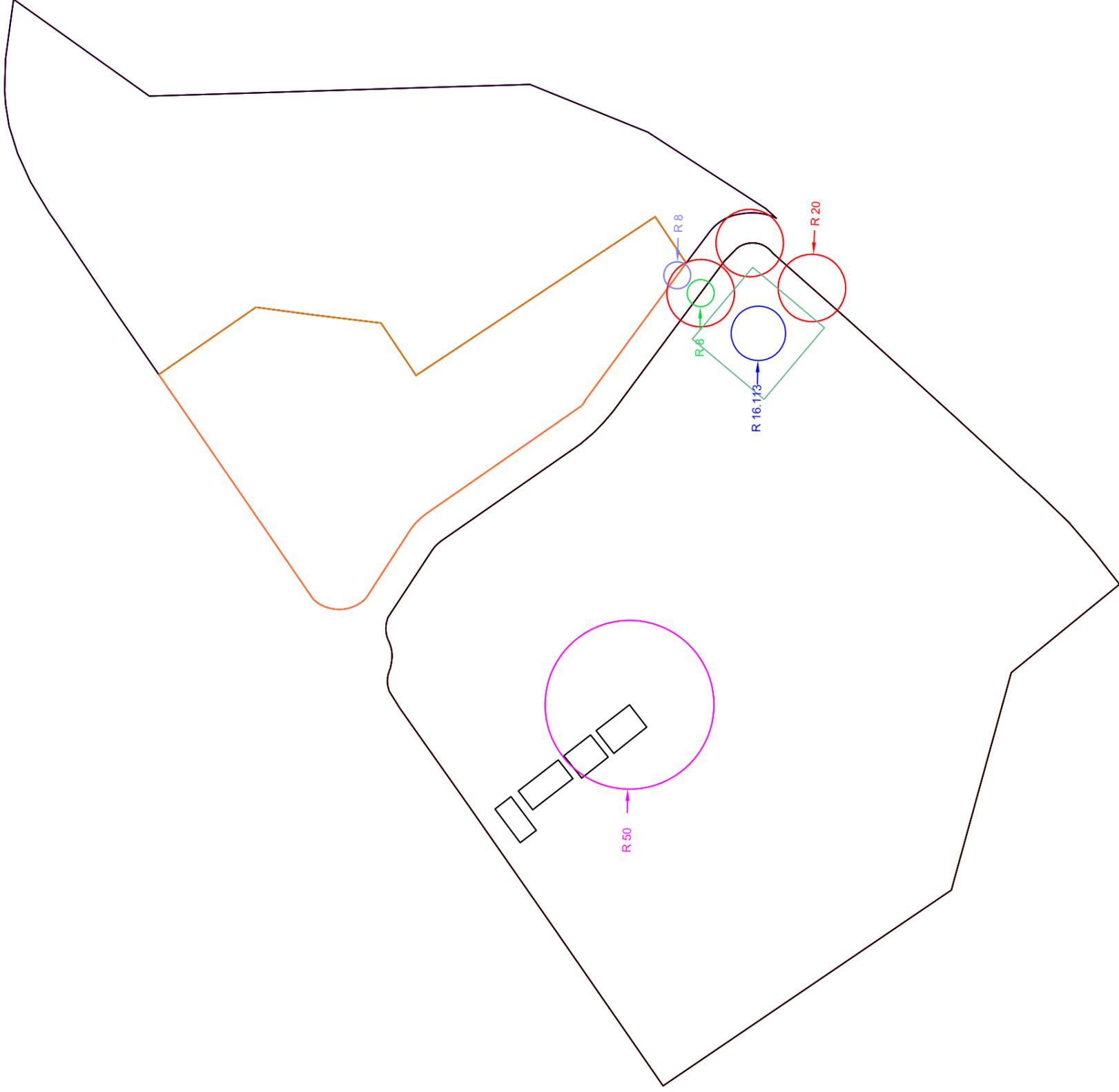
Fecha: Febrero 2016

Escala: 1/2.000

Plano: Distancias de seguridad

Nº Plano: 2

Amelia Martí Llagaria
Autor proyecto



LÍMITES DE PROPIEDADES EXTERIORES

DISTANCIA MÍNIMA EDIFICIOS ADMINISTRATIVOS

DISTANCIA MÍNIMA VÍA DE COMUNICACIÓN PÚBLICA

DISTANCIA MÍNIMA LÍMITES DE PROPIEDADES EXTERIORES

DISTANCIA MÍNIMA VALLADO DE LA PLANTA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

DEPÓSITO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO

LOSA DE CIMENTACIÓN

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUIMICA



Proyecto:

PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO PARA UNA EMPRESA SITUADA EN SAGUNTO (VALENCIA)

Fecha:

Febrero 2016

Escala:

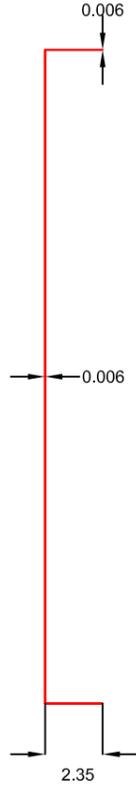
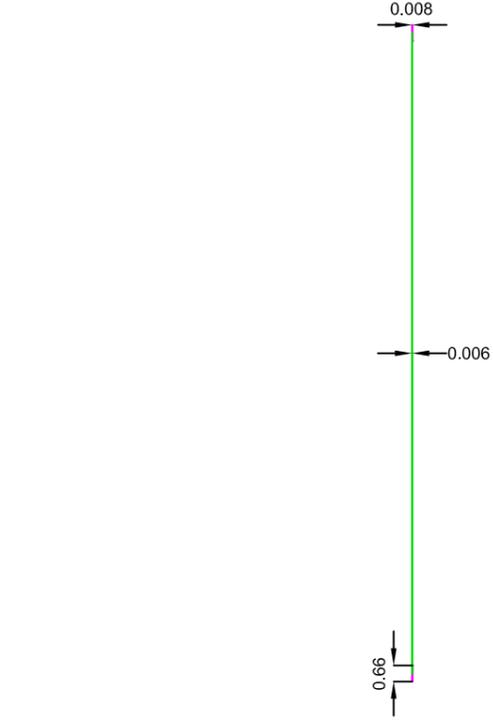
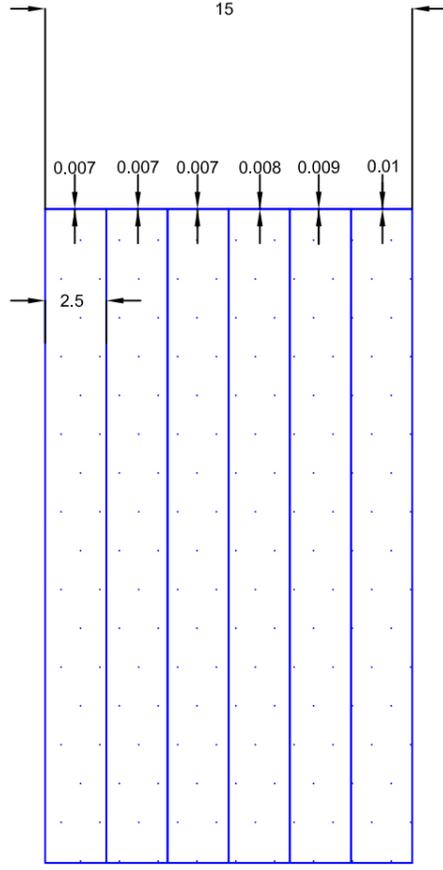
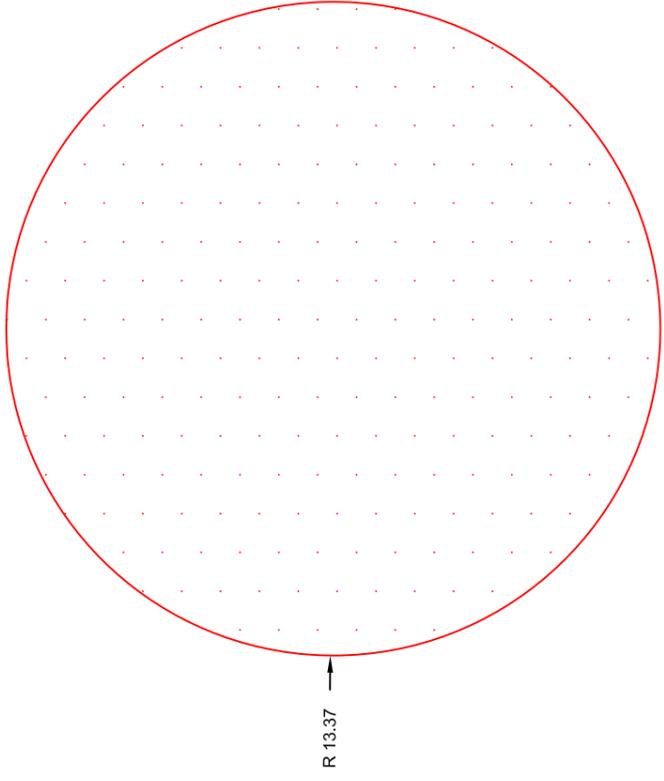
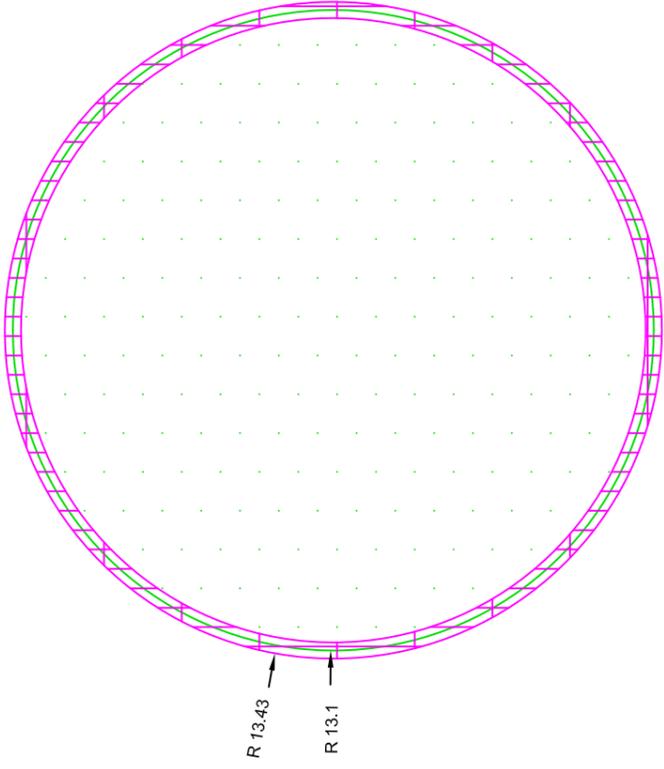
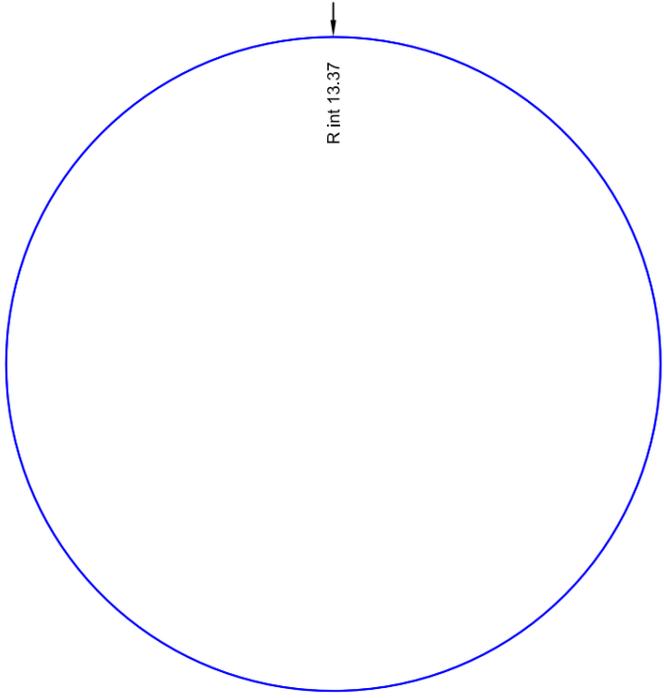
1/2.000

Planoc:

Ubicación del depósito

Nº Planoc:

Amelia Martí Llagaria
Autor proyecto



CARCASA: acero al carbono-manganeso
CHAPA ANULAR DEL FONDO: acero al carbono-manganeso
CHAPA CENTRAL DEL FONDO: acero al carbono-manganeso
TECHO SUSPENDIDO: aluminio

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUIMICA

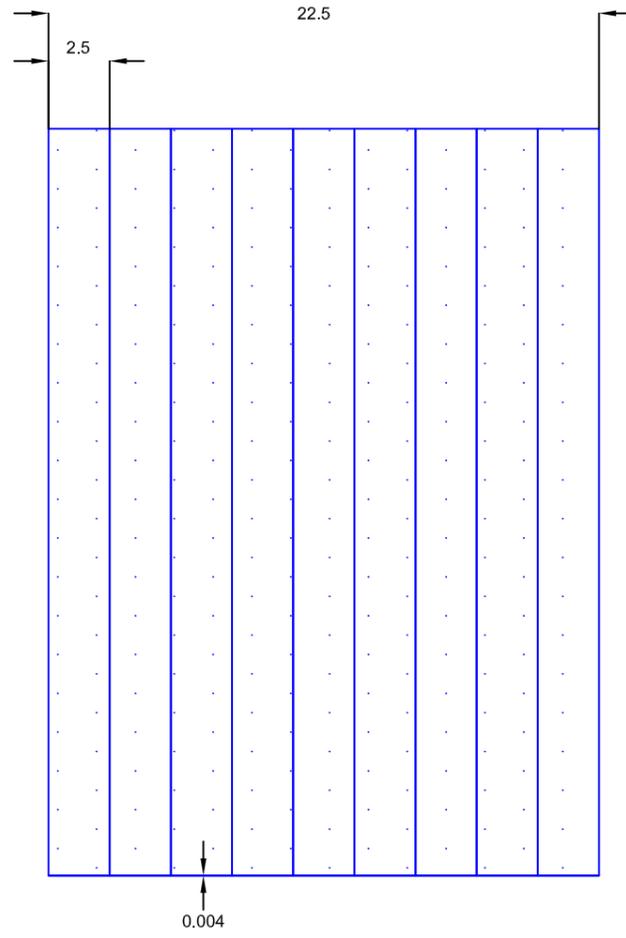
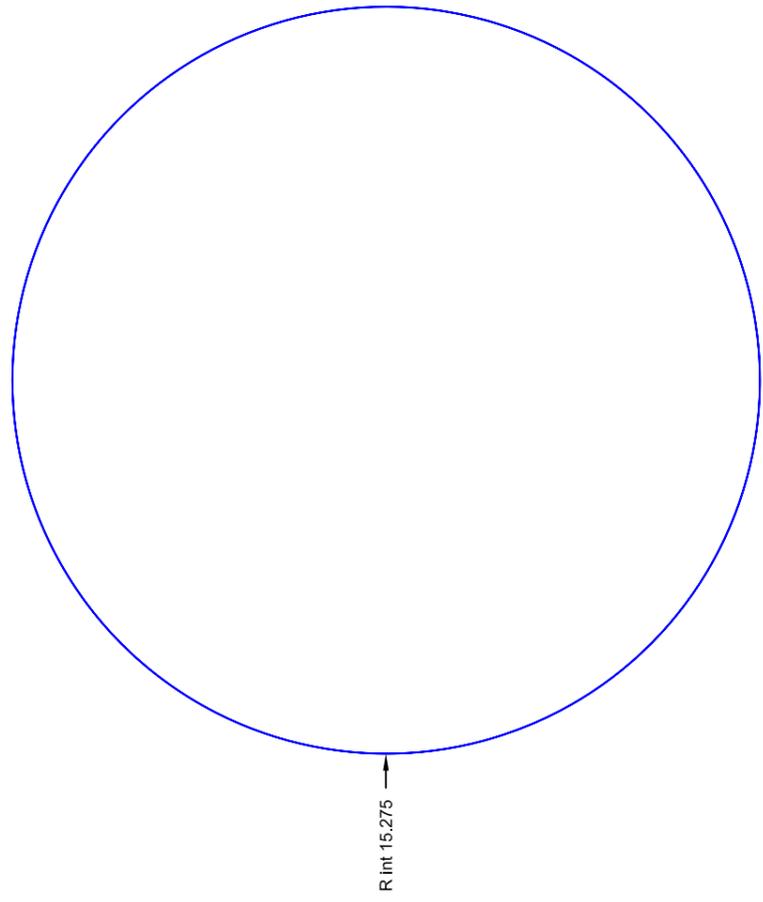
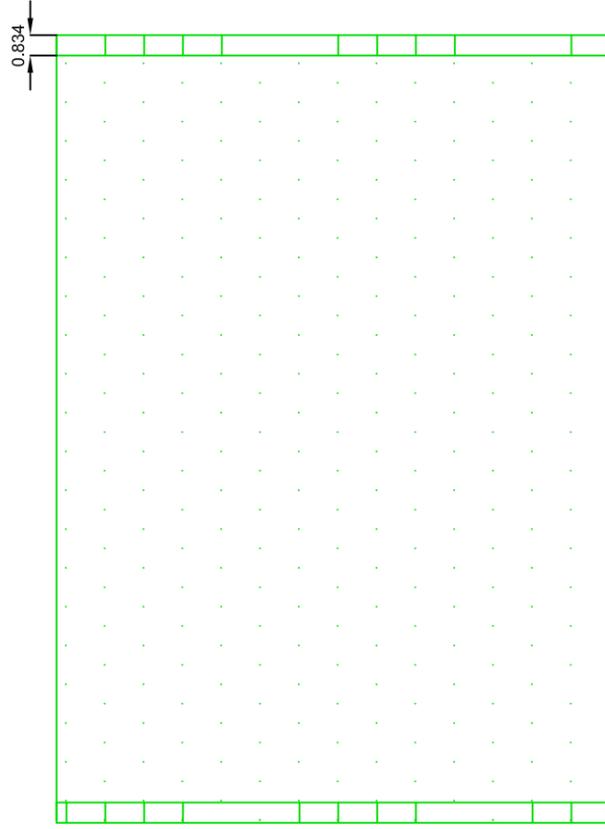
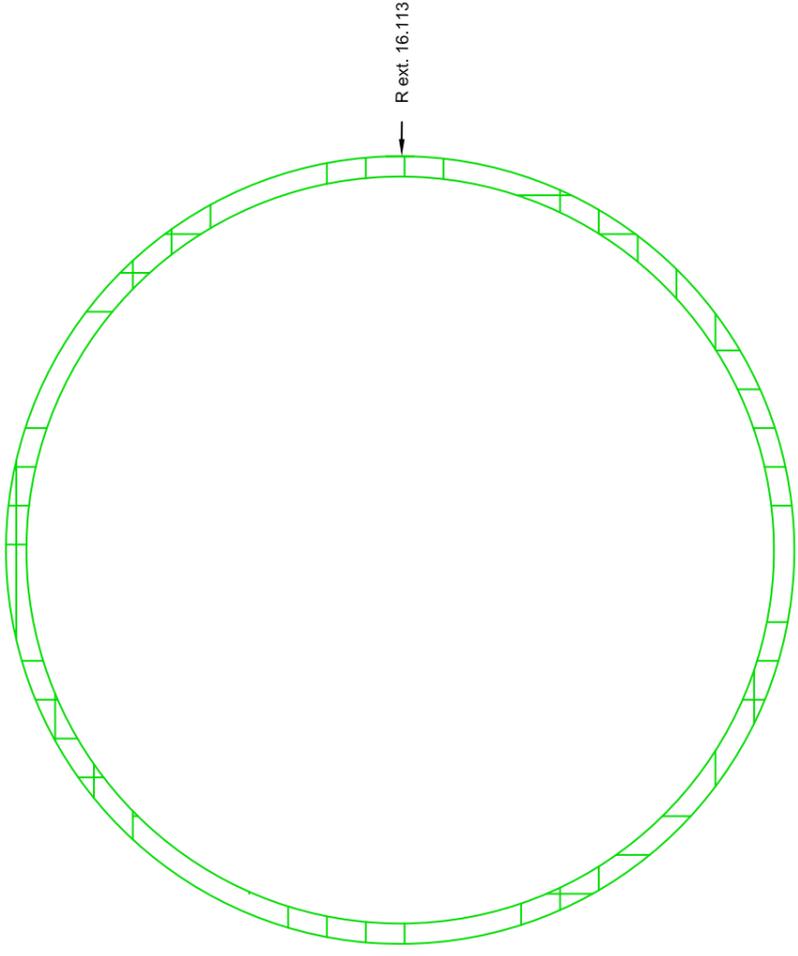
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO PARA UNA EMPRESA SITUADA EN SAGUNTO (VALENCIA)

Fecha: Febrero 2016
 Escala: 1/200
 Nº Plano: 4

Elementos de la cuba primaria

Amelia Martí Llagaria
 Autor proyecto



ENCAMISADO: acero al carbono-manganeso

HORMIGÓN: hormigón pretensado

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUIMICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

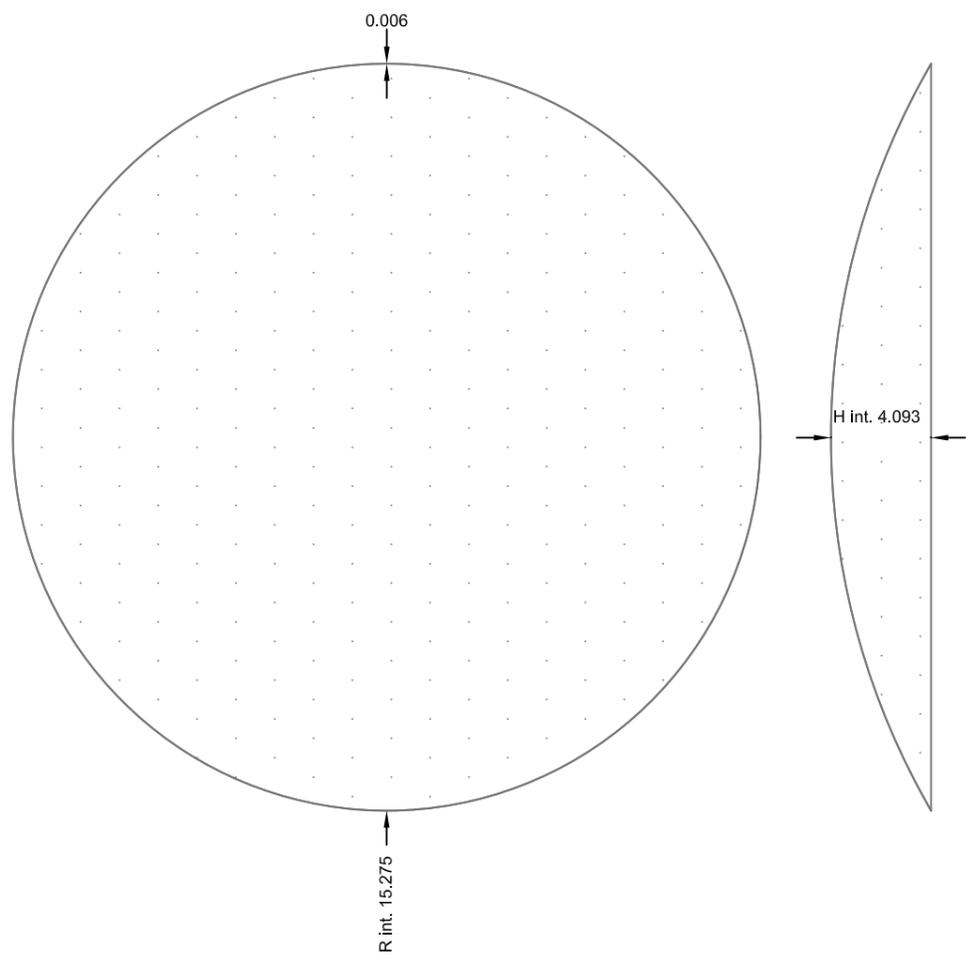
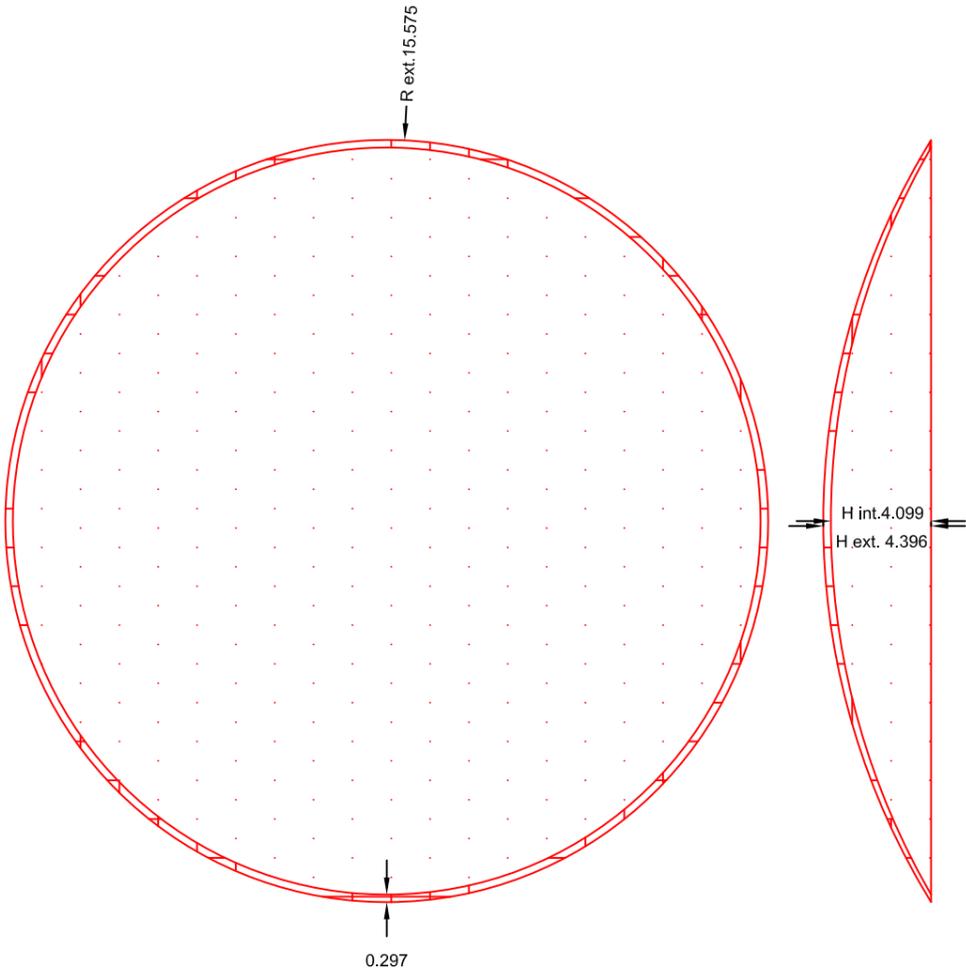
Proyecto: PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO PARA UNA EMPRESA SITUADA EN SAGUNTO (VALENCIA)

Fecha: Febrero 2016

Escala: 1/200

Nº Plano: Muro cuba secundaria

Autor proyecto: Amelia Martí Llagaria



ENCAMISADO: acero al carbono-manganeso

HORMIGÓN: hormigón armado

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUIMICA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

Projecte:

PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO PARA UNA EMPRESA SITUADA EN SAGUNTO (VALENCIA)

Fecha:

Febrero 2016

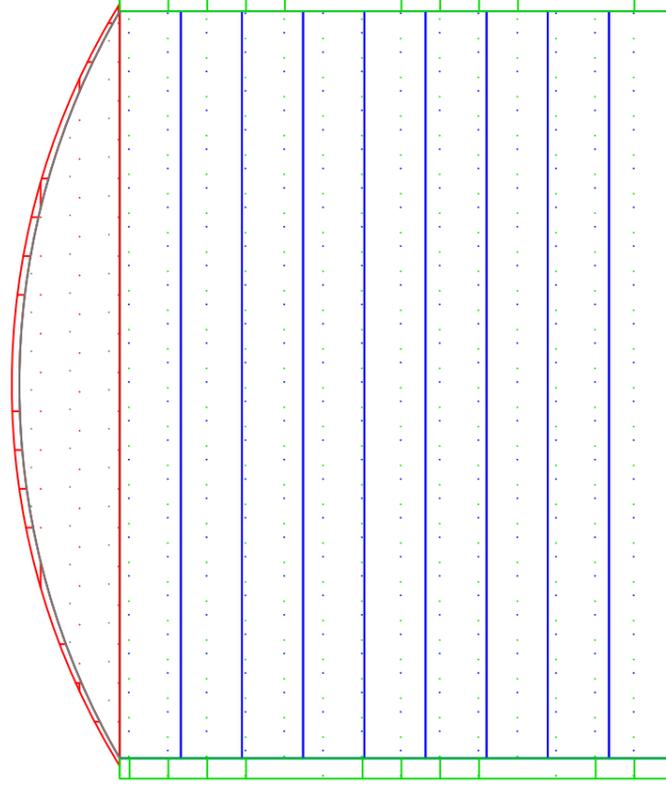
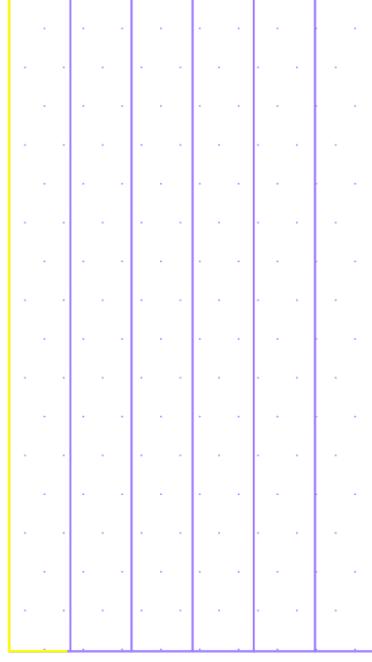
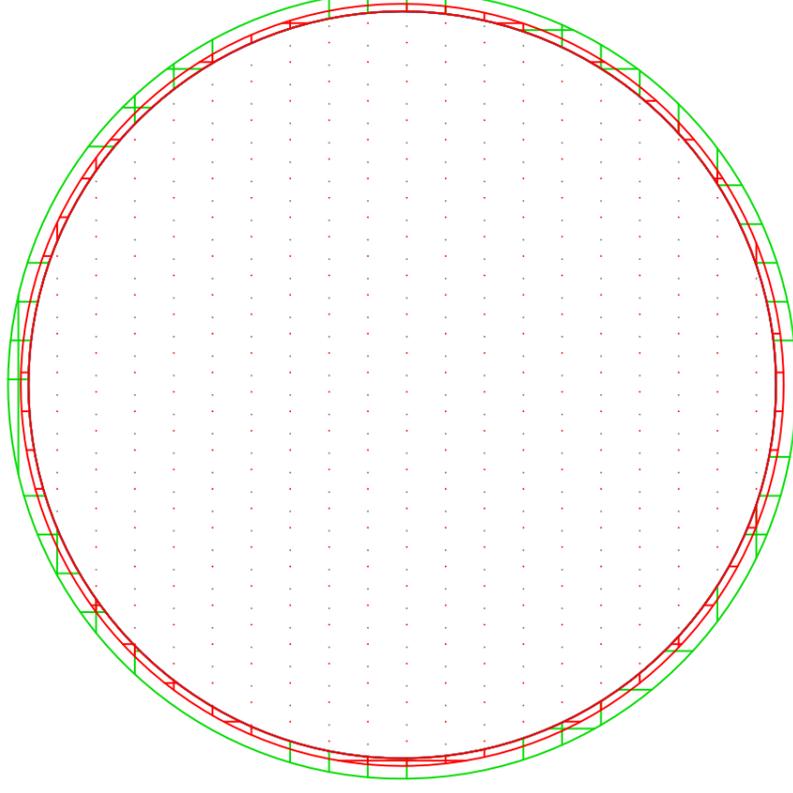
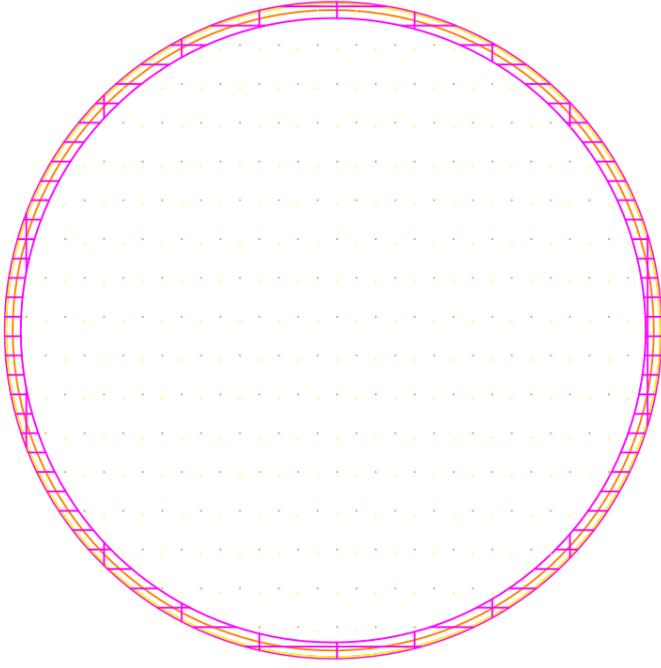
Escala:

1/200

Nº Plano:

Cubierta cuba secundaria

Amelia Martí Llagaria
 Autor proyecto



- CARCASA CUBA PRIMARIA
- CHAPA ANULAR FONDO CUBA PRIMARIA
- CHAPA CENTRAL FONDO CUBA PRIMARIA
- TECHO SUSPENDIDO CUBA PRIMARIA
- ENCAMISADO MURO CUBA SECUNDARIA
- HORMIGÓN MURO CUBA SECUNDARIA
- ENCAMISADO CUBIERTA CUBA SECUNDARIA
- HORMIGÓN CUBIERTA CUBA SECUNDARIA

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA QUIMICA



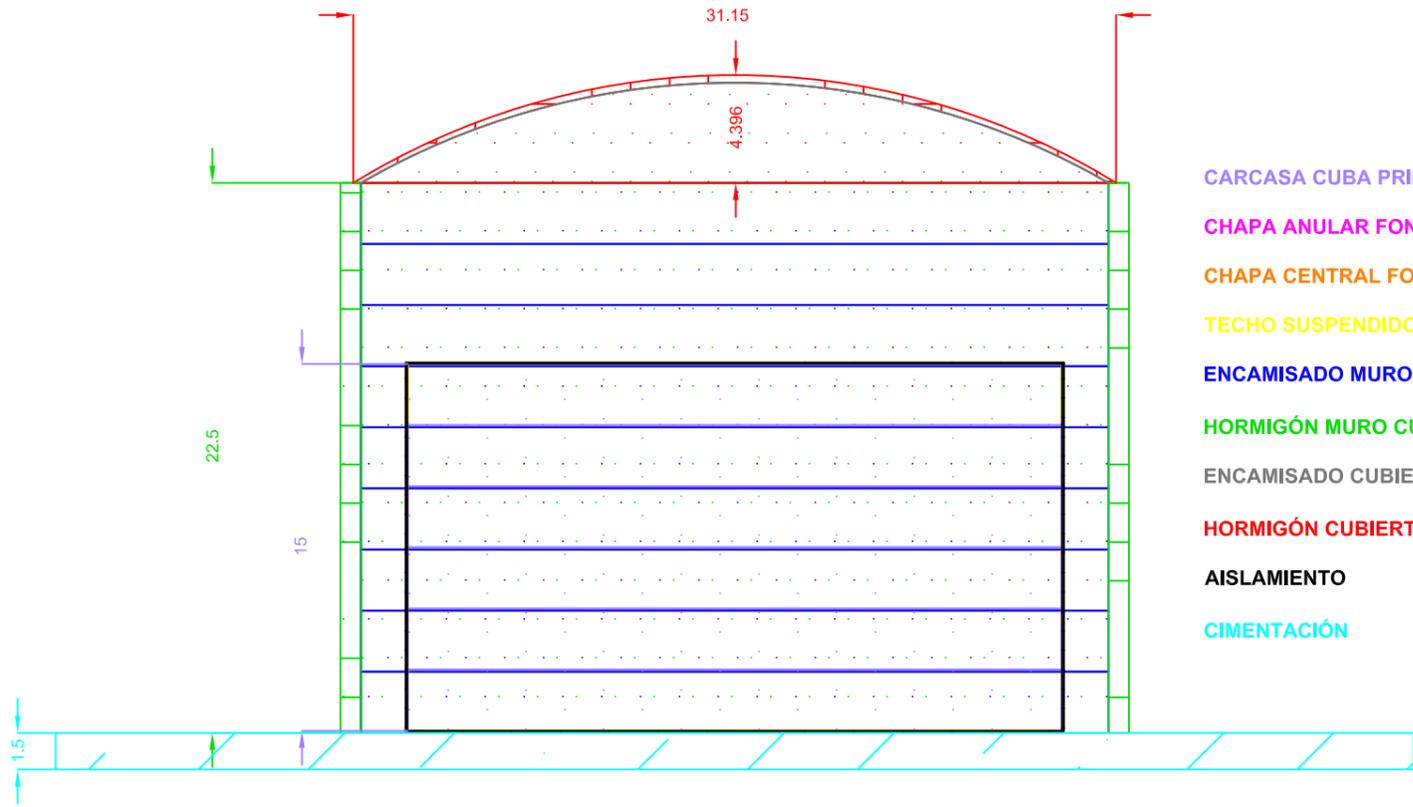
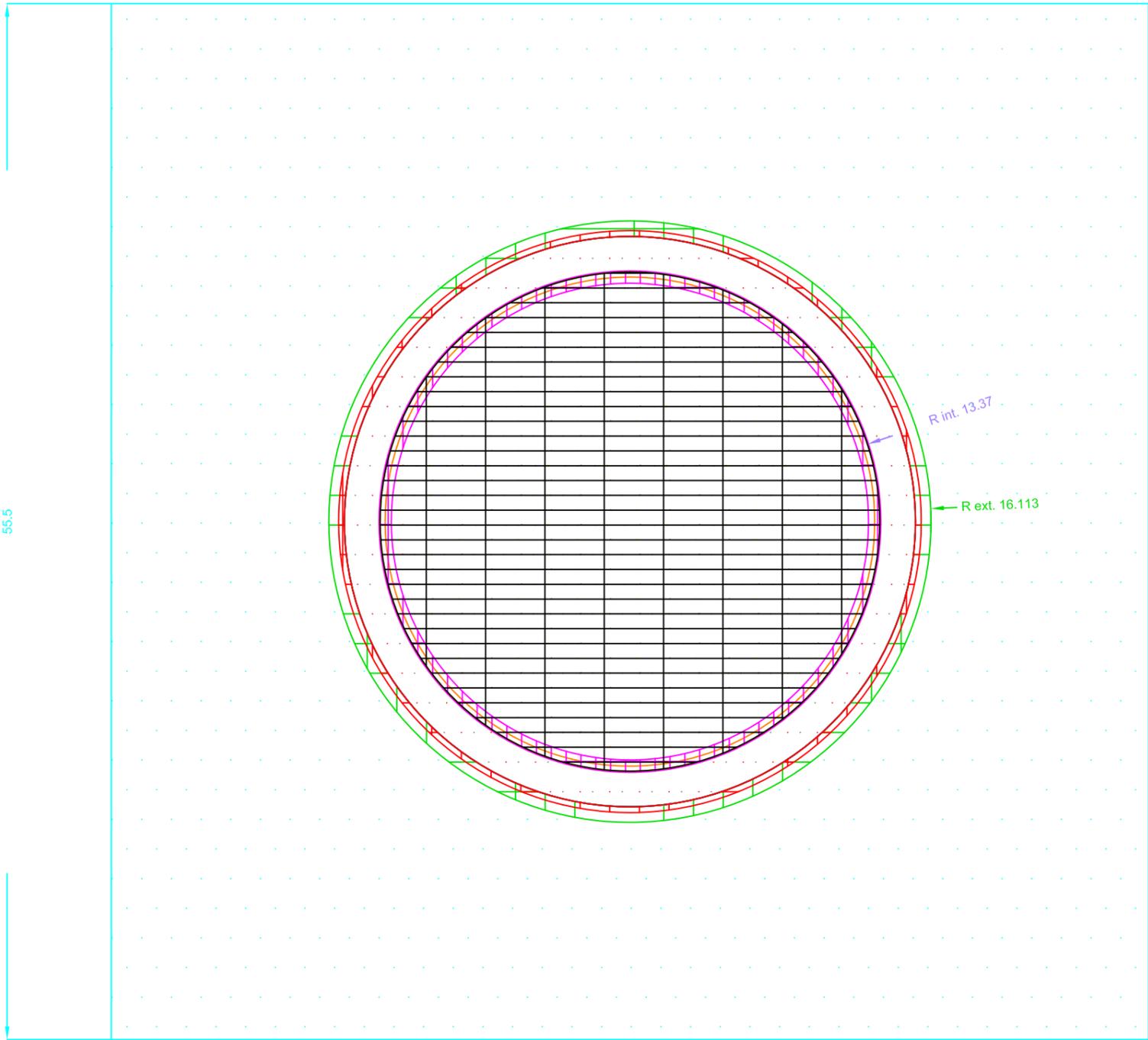
Proyecto: **PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO PARA UNA EMPRESA SITUADA EN SAGUNTO (VALENCIA)**

Fecha: **Febrero 2016** Escala: **1/200**

Planos: **1** Nº Planos: **7**

Conjuntos cuba primaria y cuba secundaria

Amelia Martí Llagaria
Autor proyecto



- CARCASA CUBA PRIMARIA
- CHAPA ANULAR FONDO CUBA PRIMARIA
- CHAPA CENTRAL FONDO CUBA PRIMARIA
- TECHO SUSPENDIDO CUBA PRIMARIA
- ENCAMISADO MURO CUBA SECUNDARIA
- HORMIGÓN MURO CUBA SECUNDARIA
- ENCAMISADO CUBIERTA CUBA SECUNDARIA
- HORMIGÓN CUBIERTA CUBA SECUNDARIA
- AISLAMIENTO
- CIMENTACIÓN

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



Proyecto:
PROYECTO DE ALMACENAMIENTO DE AMONIACO PARA UNA EMPRESA SITUADA EN SAGUNTO (VALENCIA)

Fecha:
Febrero 2016

Escala:
1/200

Planos:
Conjunto depósito

Nº Planos

Amelia Martí Llagaria
Autor proyecto