

Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Industrial

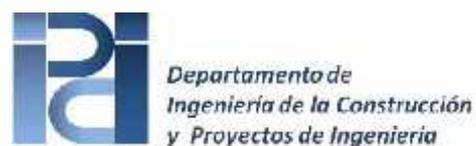
**Proceso de fabricación de fertilizantes  
aditivados multiproducto**

Tomo I: Memoria Descriptiva

Autor: Daniel Antonio Girón Gutiérrez  
Tutor: Andrés Cubero Moya

Dep. Ingeniería de la Construcción y Proyectos de  
Ingeniería  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017







---

Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Industrial

# Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

Autor:  
Daniel Antonio Girón Gutiérrez

Tutor:  
Andrés Cubero Moya  
Profesor titular

Dep. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2017



Autor: Daniel Antonio Girón Gutiérrez

Tutor: Andrés Cubero Moya

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal





---

# **ÍNDICE GENERAL**

**Tomo I: MEMORIA DESCRIPTIVA**

**Tomo II, volumen I: MEMORIA DE CÁLCULO**

**Tomo II, volumen II: LISTADOS DE COMPROBACIÓN**

**Tomo III: PLANOS**

**Tomo IV: MEDICIONES**

**Tomo V: PLANOS**

**Tomo VI: PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD**



# ÍNDICE

## ❖ MEMORIA DESCRIPTIVA

<b>1. CAPÍTULO 1: INFORMACIÓN PREVIA.....</b>	<b>4</b>
1.0.Introducción del capítulo.....	4
1.1.Objeto.....	4
1.2.Alcance.....	4
1.3.Antecedentes.....	4
1.3.1. Introducción histórica y ventajas del uso de fertilizantes líquidos....	4
1.3.2. Evolución del consumo de fertilizantes en España.....	6
1.4.Emplazamiento. ....	9
1.5.Definiciones y abreviaturas.....	11
1.6.Normativas y reglamentos.....	22
1.6.1. Normativas concretas sobre fertilizantes y relacionados.....	22
1.6.2. Legislación medioambiental. Clasificación de la planta.....	25
1.6.3. Normativas aplicables al proceso.....	26
1.7.Condicionantes y requisitos de diseño.....	27
<b>2. CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS .....</b>	<b>31</b>
2.0.Introducción del capítulo.....	31
2.1.Metabolismo vegetal.....	31
2.2.Macronutrientes.....	33
2.3.Micronutrientes.....	34
2.4.Principios generales de la fertilización.....	35
2.5.Fertilizantes.....	37
2.5.1. Definición y clasificación. ....	37
2.5.2. Principales características de los abonos. ....	39
2.5.3. Propiedades específicas de los abonos líquidos.....	47
2.6. Factores determinantes en la selección de fertilizantes.....	49
2.6.1. El terreno.....	50
2.6.2. El agua de riego.....	51
2.6.3. El pH del suelo.....	52
2.6.4. Salinidad en los suelos.....	53
<b>3. CAPÍTULO 3: EL PROCESO.....</b>	<b>55</b>
3.0.Introducción del capítulo.....	55
3.1.Productos.....	55



3.2. Objetivo y capacidad de producción .....	56
3.3. Selección de materias primas.....	59
3.3.1. Selección de macronutrientes.....	59
3.3.2. Selección de micronutrientes.....	63
3.3.3. Otros.....	67
<b>4. CAPÍTULO 4: OBRA CIVIL.....</b>	<b>80</b>
4.0. Introducción del capítulo.....	80
4.1. Introducción del capítulo.....	80
4.2. Trabajos previos.....	81
4.3. Aparcamientos, viales y otros.....	81
4.4. Nave de procesos.....	82
4.5. Nave de almacenamiento.....	83
4.6. Nave de usos múltiples.....	84
<b>5. CAPÍTULO 5: INSTALACIONES Y OTROS SERVICIOS.....</b>	<b>86</b>
5.0. Introducción del capítulo.....	86
5.1. Instalación de fontanería.....	86
5.2. Saneamiento.....	87
5.2.1. Descripción general de las redes de saneamiento.....	87
5.2.2. Cubetos de retención de vertidos.....	89
5.3. Protección contra incendios.....	90
5.4. Instalaciones eléctricas.....	92
5.5. Sistemas de control.....	95
5.6. Sistemas de aire comprimido.....	97
<b>6. ANEXO I Hoja resumen de la planta.....</b>	<b>98</b>
<b>7. ANEXO II Índice de tablas, figuras y gráficos.....</b>	<b>103</b>
<b>8. ANEXO III Bibliografía.....</b>	<b>105</b>



## CAPÍTULO 1: INFORMACIÓN PREVIA

### 1.0 Introducción del capítulo

En el presente capítulo se recogen una serie de puntos que aportan una base de conocimientos para la correcta definición del proyecto. Se verán objetivos de dicho diseño, nivel de profundidad del mismo, una introducción histórica sobre fertilizantes líquidos, así como el empleo de los mismos en España, las ventajas de su uso, normativas aplicables, condicionantes y en resumen, todos aquellos aspectos necesarios para la comprensión de las alternativas estudiadas, y la solución final adoptada.

### 1.1 Objeto

El objeto de este proyecto es el diseño de una planta de fertilizantes líquidos multiaditivos o multielementos.

### 1.2 Alcance

Se va a realizar un proyecto básico sobre una planta de fabricación de fertilizantes líquidos de amplia gama. Se establecerán ciertos parámetros para el posterior proyecto de ejecución, a fin de dejarlo definido y se entrará en algunos detalles del mismo.

### 1.3 Antecedentes

#### **1.3.1 Introducción histórica y ventajas del uso de fertilizantes líquidos**

Aunque parezca que el uso de fertilizantes líquidos es una tecnología relativamente moderna, la utilización de dichos fertilizantes fluidos se remonta a tiempos ancestrales. Así, en Grecia se transportaban residuos semilíquidos orgánicos urbanos, que se destinaban a huertas y naranjos, constituyendo una forma temprana de uso de fertilizantes fluidos. En China se utilizaban prácticas similares para el abonado de diversos cultivos. El gran desarrollo de la industria y adopción de fuentes fluidas tuvo lugar principalmente en EE.UU y en menor medida, en algunos países europeos, asiáticos y Australia.

Durante finales del siglo XVIII, los agricultores europeos y de algunas otras partes del mundo ya utilizaban reservorios para recolectar estiércol líquido y residuos orgánicos provenientes de corrales, comúnmente conocida como “gallinaza”, que se aplicaban en los campos con una mejora de los rendimientos agrícolas. Recién a comienzos del 1800 comenzaron a realizarse experimentos en el ámbito químico con soluciones utilizando sales solubles. Pero no es hasta 1923 cuando se instala en California la primera planta de fertilizantes fluidos comercialmente exitosa, basada en la disolución de sales solubles en agua (Dowdle, 2000). Posteriormente, tuvo lugar cierta adopción del uso de formulaciones líquidas basadas en la disolución de sales solubles en agua, aplicados con diferentes sistemas como hidroponía o fertirriego, como puede observarse en la tabla siguiente (Tabla 1.1).

---

**Tabla 1.1.** Primeros estadios del uso de fertilizantes fluidos durante el siglo XIX.



Año	Estadio en desarrollo de fertilizantes	Hitos destacados
1930	Hidroponia	Uso de soluciones diluidas, económicamente inviables, aunque se avanzó en el conocimiento de soluciones líquidas.
1940	Fertirriego	Aplicación directa de ácido fosfórico a través de sistemas de riego en el oeste de EE.UU.
1953	Primeras mezclas de fertilizantes	Se realizan las primeras mezclas de ácido fosfórico y amoníaco en solución. Esta solución con alta temperatura se la mezclaba con fuentes de potasio (ej. 4-10-10) y luego comenzó a utilizarse urea como materia prima obteniendo formulaciones como 9-9-9 y 12-6-6. En este estadio, el desarrollo de los equipos de aplicación de fertilizantes fluidos era muy pobre .

*Fuente: adaptado de Dowdle (2000)*

Varias revisiones describen los hitos más relevantes en el desarrollo de la tecnología de fertilización y uso de fertilizantes fluidos (Nelson, 1990; Palgrave, 1991). Los hitos más importantes que se destacan en la primera mitad del siglo XX son la adopción generalizada de soluciones nitrogenadas, en particular las formuladas a partir de urea y nitrato de amonio (UAN), como así también el uso de soluciones presurizadas de amoníaco. Entre los fosfatos fluidos, el desarrollo de un reactor tubular simple desarrollado por técnicos del TVA (Tennessee Valley Authority) en 1972 permitió la amonización del ácido superfosfórico y la consiguiente elaboración de polifosfatos de amonio (APP) a bajo costo, facilitando su rápida expansión.

Una vez superada la etapa inicial del desarrollo de los fertilizantes fluidos, comenzó un significativo crecimiento en la adopción de este tipo de fuentes, debido a diferentes causas:

- 1° El desarrollo del ácido superfosfórico y de soluciones de APP.
- 2° La producción de suspensiones.
- 3° El desarrollo de equipos de aplicación.

La producción del ácido superfosfórico, permitió concentrar el ácido fosfórico hasta alcanzar contenidos de  $P_2O_5$  de 68-70%, el cual contiene alrededor de 20-35% de polifosfatos. Esta innovación fue el pilar central para el posterior desarrollo de los APP en sus diferentes grados equivalentes (11-34-0, 10-34-0, 11-37-0). Estas soluciones representaron un gran progreso, debido a las interesantes propiedades de este tipo de fuentes, como su capacidad de secuestro de cationes, estabilidad en almacenamiento, reducción de problemas de taponamiento de emisores en sistemas de riego, entre otros.

Los avances mencionados previamente determinaron un rápido crecimiento de los fertilizantes fluidos, que tuvo su mayor tasa de crecimiento durante el período 1965-1985. La participación del mercado de fertilizantes fluidos aumentó marcadamente hasta comienzo de los años 80. Posteriormente se estabilizó en una participación de mercado



del 40% sobre el total de consumo de fertilizantes, siendo actualmente un mercado maduro (Fertilizer Manual, 1998).

La gran expansión en la adopción de fertilizantes fluidos que tuvo lugar a partir de la década del 60 en EE.UU y en menor medida en algunos países europeos (Francia, Alemania, Reino Unido, España), se puede vincular con los siguientes atributos y ventajas de éste tipo de fertilizantes:

### ❖ **Ventajas**

- ) Posibilidad de utilización de materias primas de bajo costo en las plantas de producción.
- ) Alta eficiencia de uso de nutrientes y menor riesgo ambiental debido a la aplicación como arrancador o en fertirriego.
- ) Excelentes vehículos para la aplicación de micronutrientes, ya que permiten una exacta y uniforme distribución de los mismos en el suelo.
- ) Posibilidad de aplicación conjunta con agroquímicos, en especial herbicidas, reduciendo la cantidad de aplicaciones.
- ) Seguridad en el manipuleo comparado con soluciones presurizadas como el amoníaco.
- ) Facilidad de inyección en sistemas de riego.
- ) Facilidad de almacenamiento.
- ) Posibilidad de usar técnicas sencillas de aplicación foliar.
- ) Elevada capacidad de trabajo debido a la posibilidad de aplicarlo en bandas superficiales, sin necesidad de incorporar en profundidad con sistemas de aplicación especializados como se requiere con el amoníaco.
- ) Adaptación a sistemas de producción en siembra directa, donde se pueden aplicar con gran eficacia logística en aplicaciones en superficie.
- ) Facilidad, rapidez y mayor precisión de aplicación en relación a fuentes sólidas.

### **1.3.2 Evolución del consumo de fertilizantes en España**

Si se analiza brevemente el mercado nacional, en España, al igual que en toda Europa, la utilización y consumo de fertilizantes líquidos ha ido en aumento desde mediados del siglo pasado, a la par que iban evolucionando las fórmulas, procesos productivos, materias primas y tecnologías empleadas en su fabricación. Dicho aumento propulsado por las múltiples ventajas anteriormente mencionadas.

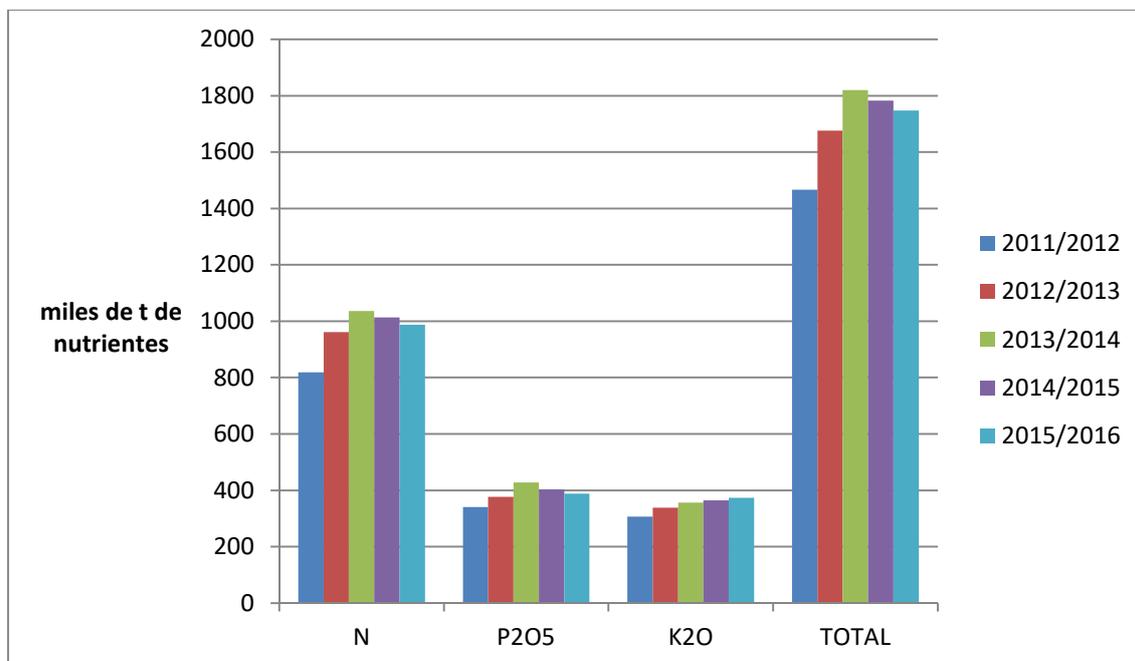


Si bien es cierto que el consumo de los mismos, y del resto de fertilizantes, ha tenido en los últimos años descensos significativos causados principalmente por la crisis económica, parece que dicho descenso se ha estabilizado y recuperado, fijándose este nivel de adquisiciones de sustancias nutrientes en el entorno del 1.700.000 toneladas. Dichos datos se pueden observar en la tabla de a continuación (Tabla 1.2), con su correspondiente gráfico asociado (Gráfico 1.1), además de en el gráfico histórico del consumo total de fertilizantes en España (gráfico 1.3), que se expone más abajo.

**Tabla 1.2 y Gráfico 1.1.** Consumo de fertilizantes en España en nutrientes.

	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015	2015/2016
<b>N</b>	819	961	1.036	1.014	987
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	341	377	428	403	388
<b>K<sub>2</sub>O</b>	307	338	356	365	373
<b>TOTAL</b>	1.467	1.676	1.820	1.782	1.747

*Fuente: Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes (ANFFE)*



Analizando los datos, se ve claramente como el nitrógeno es el principal nutriente demandado por las explotaciones agrícolas, como sucede en el resto del mundo, siendo su consumo más del doble que el de fósforo o potasio. Destacar también como el consumo de fertilizantes potásicos ha ido incrementándose en los últimos años y esa estabilización en general del gasto en fertilizantes del que se hablaba en el párrafo anterior.

También es interesante echar un vistazo al consumo de fertilizantes agrupados en diferentes familias de productos, (gráfico 1.2) para poder situar la posición de los posibles productos de la fábrica objeto de este proyecto en el mercado actual.

**Gráfico 1.2.** Consumo agrícola de fertilizantes en España por productos.



**Consumo por Productos. Año 2015/16.** (miles Tm.)

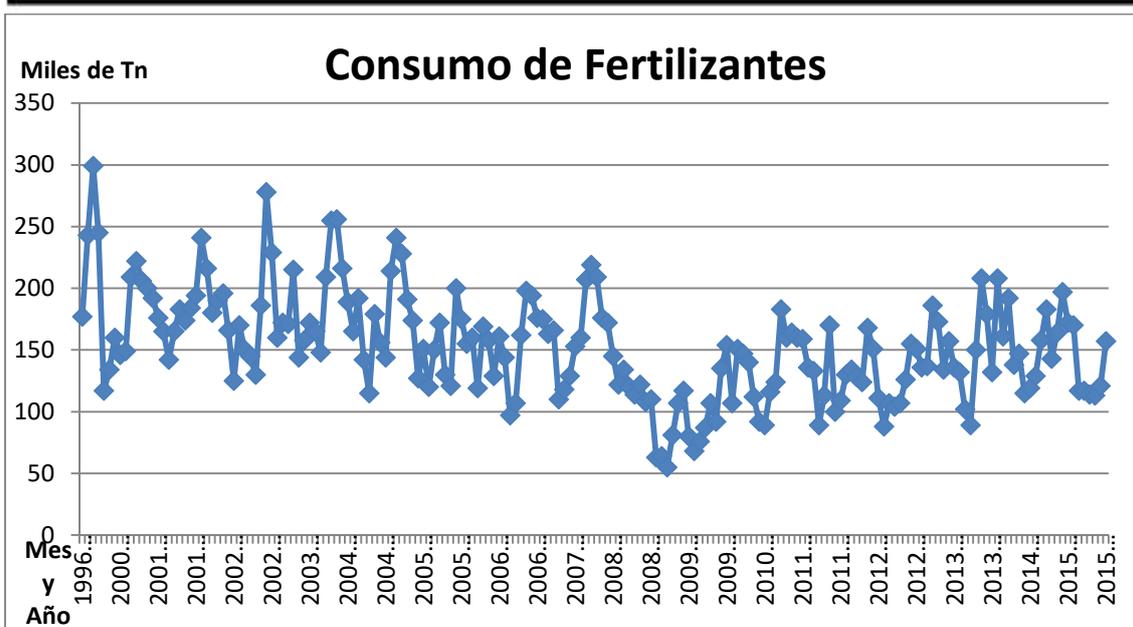
Sulfato amónico		326
Nitrosulfato amónico		110
Nitratos amónicos		751
Urea		654
Soluciones nitrogenadas		301
Otros nitrogenados simples		361
Fosfatados simples		215
Cloruro potásico		241
Sulfato potásico		51
Abonos complejos y suspensiones		1.752
<b>TOTAL</b>		<b>4.762</b>

*Fuente: Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes (ANFFE)*

Los abonos complejos y soluciones nitrogenadas, productos estrella dentro de la futura fabricación de la planta, suman una cantidad nada desdeñable como se puede observar. Citar que el desfase en las cifras entre este gráfico y los anteriores es simplemente causado por la influencia de los otros elementos nutrientes, tales como azufre, magnesio, calcio, cloro, etc. sin olvidarnos del agua de las soluciones.

Siguiendo un poco en esta línea, recogiendo los datos históricos del Instituto Nacional de Estadística de los últimos años, podemos extraer el siguiente gráfico (gráfico 1.3):

**Gráfico 1.3.** Histórico del consumo total de fertilizantes en España.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

En este, si se puede ver con claridad ese descenso del consumo en los principales años de la crisis económica. Si se obtiene además la media del gráfico anterior y se compara con el consumo medio de los últimos años en Andalucía, extraídos de la Junta de Andalucía, se tiene la siguiente tabla (tabla 1.3):

**Tabla 1.3.** Comparativa de consumo de fertilizantes en España y Andalucía.

Miles de toneladas	N	P2O5	K2O	TOTAL
<b>España</b>	791.6	272	265.2	1328.8
<b>Andalucía</b>	183.3	62.6	60.4	306.3

Fuente: Junta de Andalucía

En resumen de esta última tabla, a pesar de que los datos varían un poco con los anteriores registrados, la tendencia de consumo si es común, suponiendo Andalucía aproximadamente entre un quinto y un cuarto del gasto de fertilizantes en España. Aspecto este muy interesante para emplazar nuestra planta.

Para concluir este apartado, decir que todos estos datos resultarán de tremenda ayuda posteriormente, a la hora de fijar un horizonte de producción para la fábrica de fertilizantes líquidos.

### 1.4 Emplazamiento

La factoría se situará en la provincia de Sevilla, concretamente en el polígono industrial El Cádiz III, en el término municipal de La Rinconada. Calle Avenida de la innovación 371 y 372, manzana 22, parcelas 371 y 372. Las referencias catastrales de las mismas para su consulta son: 1224601TG4512S0001YE y 1224602TG4512S0001GE.



La parcela seleccionada es lo suficientemente amplia como para contener todos los servicios y edificaciones que la planta requiere, además de contar con espacio extra para futuras ampliaciones. Dicho terreno extra puede ser utilizado además como aparcamiento para los camiones y otros vehículos de la empresa. En concreto, cuenta con una superficie de 11.356m<sup>2</sup>, siendo su forma rectangular con esquinas achaflanadas, teniendo sus 4 lados acceso a los viales del polígono (Av. De la Innovación, Av. De la Empresa, Av.de la Ciencia y Av. De la Comunicación).

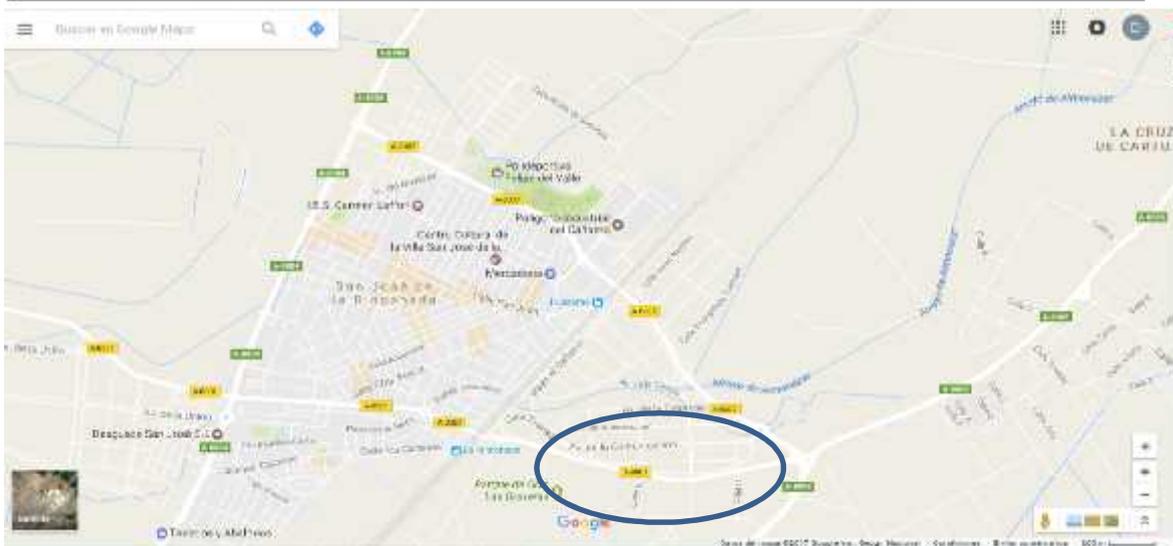
Dicho emplazamiento está situado en una zona de amplio arraigo agrícola, con numerosos nichos de mercados factibles, así como un acceso rápido a la ronda norte de la capital andaluza. Las principales infraestructuras con las que cuenta este polígono industrial son:

**Tabla 1.4.** Infraestructuras básicas del P.I. El Cádiz III.

<p><b>Infraestructuras básicas P.I. El Cádiz III</b></p>	<p>Red de alumbrado público: Sí</p> <p>Sistema de depuradoras: Sí</p> <p>Red de agua potable: Sí</p> <p>Viales y accesos: Sí</p> <p>Red de hidrantes contra incendios: Sí</p> <p>Red de alcantarillados: Sí</p> <p>Recogida de basura: Sí</p> <p>Vigilancia: Sí</p>
--	---

*Fuente: Diputación de Sevilla*

**Figuras 1.1 y 1.2.** Emplazamiento del P.I. El Cádiz III y la planta.



En los planos anteriores se muestra la localización de la parcela en la que se realizaría la implantación de la fábrica.

### **1.5 Definiciones y abreviaturas**

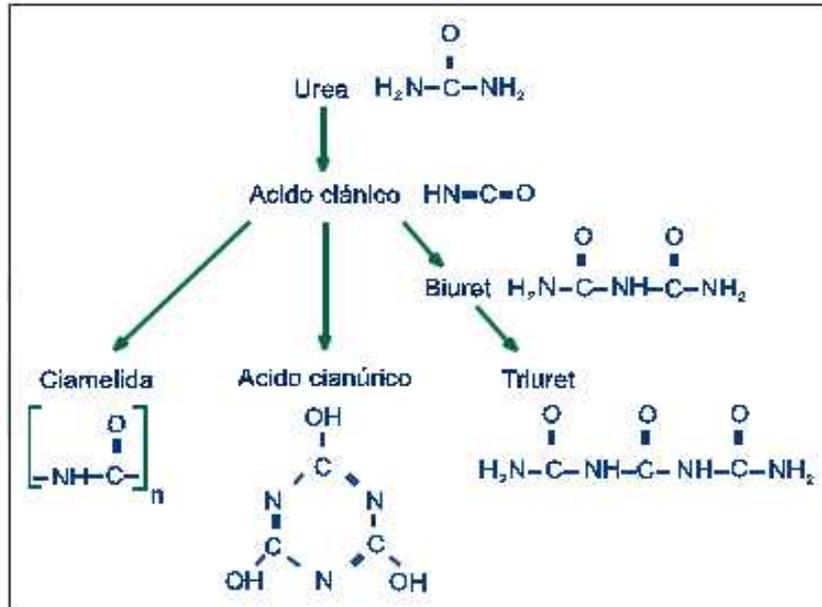
En este apartado, se recogen definiciones de términos de interés o destacados, con una explicación más extensa que una simple definición en algunos casos que así lo requieren, además de abreviaturas que pueden ser útiles a la hora de comprender y estudiar el proyecto sobre el cual trata esta memoria, que no es otro que una planta de fertilizantes líquidos. Destacar que, la primera vez que aparezca una abreviatura, sigla o acrónimo, se explicará en la medida de lo posible su significado, aun estando este recogido en este apartado.



NOTA IMPORTANTE: siempre que una palabra tenga en su parte superior un asterisco (\*), esto es indicativo de que su definición está recogida en este apartado. Sin más, se recogen los siguientes:

- ) **AAI** (Autorización Ambiental Integrada).
- ) **Aditivos**. Sustancias químicas añadidas a los fertilizantes en pequeñas cantidades para, entre otras cosas, facilitar los procesos de fabricación o mejorar sus valores agronómicos o parámetros de calidad (por ejemplo: apelmazamiento, estabilidad térmica, etc.).
- ) **Amoníaco anhidro**. Gas licuado de contenido en amoníaco superior a 99,5 por 100 en peso.
- ) **AN o en español NA** (Fertilizantes basados en nitrato amónico). Fertilizantes que contienen nitrógeno tanto en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) como en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), con independencia de su fuente.
- ) **ANFEE** (Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes).
- ) **APP** (polifosfatos de amonio). Los polifosfatos de amonio (APP) son las soluciones fosfatadas más difundidas a nivel global. Los grados más utilizados son 10-34-0 y 11-37-0.
- ) **Arrancador**. Dícese del fertilizante, normalmente fosfatado, utilizado al inicio de la siembra o momentos antes de la misma que incrementa el índice de área foliar, la radiación interceptada y la acumulación de biomasa aérea, mejorando la velocidad y calidad de la implantación y establecimiento del cultivo. Asimismo, este efecto permite optimizar la habilidad competitiva del cultivo con las malezas. En cultivos como el maíz o girasol, donde el rendimiento se puede ver afectado por la uniformidad del stand de plantas, la utilización de fertilizantes fluidos arrancadores, permite reducir la heterogeneidad espacial y temporal del cultivo, importante para el logro de un elevado rendimiento. El uso de arrancadores tiene especial utilidad en siembras tempranas.
- ) **Biuret**. Compuesto derivado del procesamiento de urea. Cuando se incrementa la temperatura sobre  $132^\circ\text{C}$  (punto de fusión de la urea) durante el proceso de manufactura de la misma, se pueden formar varios compuestos diferentes que incluyen el biuret (figura 1.1). Este compuesto puede ser tóxico para las plantas a concentraciones elevadas, ya sea aplicado al suelo o a las hojas. Aun cuando los procesos actuales de manufactura de la urea producen consistentemente materiales con bajas concentraciones de biuret, todavía existe preocupación en los agricultores sobre los potenciales riesgos asociados a la presencia de este compuesto.

**Figura 1.3.** Formación de biuret en la urea.



Fuente: International Plant Nutrition Institute (IPNI)

- ) **CE** (conductividad eléctrica). La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material o sustancia para dejar pasar la corriente eléctrica a través de él. La conductividad depende de la estructura atómica y molecular del material. La conductividad también depende de otros factores físicos del propio material, y de la temperatura.

La conductividad es la inversa de la resistividad y su unidad es el S/m (siemens por metro) o  $\text{m}^{-1}$ . Usualmente, la magnitud de la conductividad ( ) es la proporcionalidad entre el campo eléctrico y la densidad de corriente de conducción.

NOTA: dependiendo del contexto, la designación CE puede hacer referencia al marcado de productos fertilizantes según el *Reglamento (CE) n° 2003/2003 del parlamento europeo y del consejo*. Un producto marcado CE cumple una serie de requisitos recogidos en dicha legislación.

- ) **Concentración.** En los fertilizantes compuestos o complejos la suma de la riqueza de los tres elementos principales determina la cantidad total de contenido útil del abono y se denomina concentración total. Mediante este concepto que en los abonos simples equivale a la riqueza, se puede calificar a los fertilizantes por su contenido relativo de elementos fertilizantes. De este modo, y un tanto arbitrariamente se clasifican los fertilizantes, según su nivel de riqueza como de baja o alta concentración. En el caso particular de los abonos compuestos, se suele considerar el 35% como frontera entre ambos tipos. Esto es, son abonos compuestos de alta graduación los que tienen 35% o más, de concentración total.
- ) **Contenido declarado.** Contenido de un elemento –o su óxido– que figura en la etiqueta del producto con arreglo a la legislación, o en el documento de acompañamiento si el producto no está envasado.
- ) **CTE** (Código Técnico de la Edificación).



- ) **Cubeto.** Cavidad capaz de retener los productos contenidos en los elementos de almacenamiento en caso de vertido o fuga de los mismos.
- ) **Declaración.** Mención de la cantidad de nutrientes y otras riquezas y características, incluyendo su forma, solubilidad y masa, garantizados dentro de las tolerancias especificadas en el anexo III del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.
- ) **Densidad aparente (suelto).** Relación entre masa y volumen de un material que haya sido depositado libremente en un contenedor en condiciones especificadas con claridad.
- ) **Densidad aparente (compactado).** Relación entre masa y volumen de un material que haya sido depositado en un contenedor y compactado en condiciones especificadas con claridad.
- ) **Densidad de material.** Relación entre masa y volumen del material incluido dentro de la superficie de las partículas.  $\rho = \frac{m}{V}$
- ) **Densidad de envasado (también llamada de carga).** Relación entre masa y volumen de un material después de que un tubo haya sido llenado con él con compactaciones intermitentes, como por ejemplo, en la prueba de resistencia a las explosiones de la UE.
- ) **EHE-08** (instrucción de hormigón estructural).
- ) **Equilibrio.** Este es un concepto exclusivo de los fertilizantes compuestos o complejos, ya que se refiere a la relación que existe entre los tres elementos componentes de este tipo de abonos. Generalmente, para calcular la relación de equilibrio se toma como referencia el nitrógeno, obteniéndose por tanto dicha relación, dividiendo cada riqueza de la fórmula del complejo o compuesto N-P-K por la riqueza en nitrógeno. Así, en el caso 8-24-16, el equilibrio NPK será 1-3-2.
- ) **Estado físico.** El estado físico en que se presenta un abono, que puede ser sólido, líquido y gaseoso. Juega un papel importante en las condiciones de utilización y la eficacia del abono, ya que tanto la homogeneidad de la distribución como su integración más o menos completa en el suelo, van a depender de dicha presentación.
- ) **Fertilización a la carta** o fertilización a medida. Es la definición que se aplica a las formulaciones de los mismos, cuando se hacen expresamente para cubrir las necesidades específicas de un determinado cultivo. El productor, ante estas necesidades concretas de sus cultivos, pacta con un fabricante de fertilizantes, ciertas formulaciones, saliéndose en mayor o menor medida de las fórmulas estándares del mercado. El objetivo de los “fertilizantes a la carta” es aportar sólo los elementos necesarios al ritmo



que la planta puede absorberlos. Esto minimiza las pérdidas por lixiviación\*, lo que significa un ahorro para el agricultor y previene el impacto que el fertilizante puede tener sobre el medio ambiente.

- J) **Fertilizante o abono.** Producto cuya función principal es proporcionar elementos nutrientes a las plantas.
- J) **Fertilizante agregado.** Fertilizante obtenido por la mezcla de varios fertilizantes, sin reacciones químicas.
- J) **Fertilizante complejo.** Los fertilizantes mixtos, obtenidos por reacciones químicas, disolución o, en caso de que estén en estado sólido, por granulación, poseen un contenido declarable de al menos dos de los nutrientes primarios.
- J) **Fertilizantes de tipo A, B y C.** Descripciones aplicadas en el pasado a partir de la clasificación de los fertilizantes. El tipo A hace referencia a los oxidantes (clase 5.1); el tipo B se utilizaba para los que tienen capacidad de autodescomposición (clase 9), y el tipo C para los que no están clasificados como peligrosos. En algunos países (por ejemplo Holanda y Alemania), se utiliza esta terminología, pero las definiciones son distintas. Estas descripciones no se utilizan en esta memoria, pero resulta de interés su conocimiento.
- J) **Fertilizante mixto.** Fertilizante compuesto por un contenido declarable de al menos dos de los nutrientes primarios y obtenido por química, por mezcla o por una combinación de ambos.
- J) **Fertilizante simple.** Fertilizante de nitrógeno, fósforo o potasio con un contenido declarable de sólo uno de los nutrientes primarios.
- J) **Fertirriego.** La fertirrigación consiste en la aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos a través de los sistemas de riego, ya sean o no a presión, creando así una solución nutritiva de riego.

NOTA: Los sistemas de riego utilizados pueden ser diversos:

- o Riego por surcos, cuando el agua se aplica sobre toda la superficie del suelo o restringida a surcos de riego.
- o Aspersión, pueden ser sistemas fijos, semiportables o completamente transportables. Dentro de éstos se encuentran los sistemas de riego tipo “pivote central” o “avance frontal” y los cañones de riego.
- o Localizados: sistemas de riego de bajo volumen (goteo, micro aspersores o microjets).

Los dos últimos sistemas son riegos presurizados. Los sistemas de riego localizados son los más utilizados en cultivos intensivos a campo abierto y



bajo cubierta, y es donde se logra la mayor eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes aplicados. Los fertilizantes líquidos se pueden aplicar con cualquiera de los sistemas de riego mencionados, dependiendo de la calidad del agua, tipo de fertilizantes y los sistemas de aplicación disponibles en los diferentes sistemas de producción. Las principales ventajas de este sistema son:

- Mayor eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes.
- Menor contaminación de aguas subterráneas.
- Ahorro en labores y/o operaciones de aplicación de fertilizantes a la siembra y/o en post-plantación, menor tráfico vehicular y compactación del suelo. Una vez que el sistema de inyección está instalado, la aplicación es sumamente simple.
- Distribución y colocación del agua y nutrientes en la zona de aprovechamiento radicular.
- Posibilidad de sincronizar la oferta con la demanda de nutrientes en las diferentes etapas del cultivo y poder regular la relación entre los nutrientes según el estadio ontogénico.
- Control del perfil de distribución del agua y nutrientes en el suelo.
- Precisión en dosificación y mayor control nutricional de los cultivos.
- Posibilidad de automatizar los programas de fertilización.

Limitaciones:

- Mayor inversión inicial y costos de mantenimiento.
- Riesgo de taponamiento de emisores o líneas de riego completas por crecimiento de algas o por precipitados químicos resultantes de las reacciones entre fertilizantes solubles en el agua de riego.
- Distribución heterogénea del agua y nutrientes donde los emisores o goteros se encuentran taponados.
- Necesidad de filtrado del agua de riego.
- Necesidad de utilizar fertilizantes solubles, especialmente formulados para este sistema, con lo cual no es posible aplicar algunos fertilizantes granulados convencionales.



- Riesgo de corrosión en algunas partes metálicas por la actividad corrosiva de los fertilizantes, especialmente en el equipo de fertilización, exigiendo cuidados al llenar los recipientes, uso de accesorios no atacables en los lugares sensibles, lavado total del sistema y utilización de riego de lavado una vez terminada la fertilización.
- ) **GICA** (Gestión Integrada de la Calidad Ambiental).
- ) **Granulometría.** Estudio de los distintos tamaños de partículas de un fertilizante sólido.
- ) **Gravedad específica o densidad relativa.** Este término, empleado usualmente en las bibliografías de fertilizantes americanas como specific gravity, se define como el cociente de su densidad a una cierta temperatura y la densidad del agua pura. Al tratarse de un cociente de densidades, no posee unidades y sirve fundamentalmente para ver claramente cuantas veces es un material más o menos denso que el agua. Suele tomarse la densidad del agua referencia como  $10^3 \text{ kg/m}^3$ .
- ) **Higroscopicidad.** Capacidad de absorber agua de la atmósfera a partir de un determinado grado de humedad de la misma. Esta absorción puede provocar que una parte de las partículas se disuelvan, con lo que se deshace la estructura física del fertilizante. Generalmente, cuanto mayor es la solubilidad del fertilizante en agua, mayor es su higroscopicidad. Esta absorción puede provocar que una parte de las partículas se disuelvan, con lo que se deshace la estructura física del fertilizante.
- ) **Humedad relativa crítica (HRC o CRH).** Valor de la humedad relativa del aire de alrededor, por encima del cual el material absorbe la humedad y por debajo del cual no lo hace.
- ) **Índice salino.** Esta característica de los fertilizantes puede definirse como el incremento en términos de presión osmótica, producido por un peso igual de fertilizantes relativo al nitrato de sodio (índice salino = 100).
- ) **INE** (Instituto Nacional de Estadística).
- ) **K<sub>2</sub>O.** Óxido de potasio, forma convencional para referirse a la cantidad de potasio en una formulación de fertilizante NPK o cualquier otro abono que contenga potasio.
- ) **Lixiviación.** Es un proceso por el cual se extrae uno o varios solutos de un sólido, mediante la utilización de un disolvente líquido. Ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido.
- ) **Macronutrientes.** Son los elementos fundamentales que requieren las plantas en unas cantidades importantes para su subsistencia. Nitrógeno,



fósforo y potasio son los llamados principales o **primarios**, mientras que calcio, magnesio y azufre cierran este grupo de **secundarios**, en lo que se refiere a esta memoria. No hay que olvidar los otros tres macronutrientes imprescindibles, hidrógeno, carbono y oxígeno, si bien los mismos son tomados por las plantas a través del agua y el aire y no son objeto de este proyecto.

- ) **Material combustible.** Cuando se utilizan en la legislación, «material combustible» y «material totalmente combustible» hacen referencia a la cantidad total de material combustible orgánico e inorgánico (como azufre elemental) presente en el producto y expresado como carbono.

NOTA: Las demás referencias al material combustible utilizadas en esta memoria se aplican a materiales comunes como el petróleo, el gasóleo, el queroseno, la pintura, la madera, los desechos orgánicos, la paja, el grano, el azufre elemental, etc.

- ) **Materiales defectuosos.** Productos que están fuera de especificaciones o se han deteriorado durante el almacenamiento o manipulación hasta tal punto que pueden considerarse potencialmente peligrosos.

NOTA: No pueden venderse como fertilizantes y es posible que haya que tratarlos para que sean seguros. Entre ellos se cuentan, por ejemplo, los que contienen un nivel de materiales combustibles mayor de lo permitido, los que se han deteriorado físicamente en partículas finas y podrían fallar, si es aplicable, en las pruebas de resistencia a las explosiones, y aquellos productos excesivamente contaminados con sustancias reactivas.

- ) **Materiales fertilizantes no conformes.** Materiales que no cumplen las características del producto final buscado en el momento de la producción o almacenamiento (si es aplicable) o durante la comercialización.

NOTA: Durante la producción, si se incumplen los controles del proceso, es posible que se obtengan productos que no satisfagan alguna especificación. También pueden producirse cambios durante el almacenamiento y posterior manipulación que alteren las especificaciones del producto. Entre estos cambios se incluyen, por ejemplo, el aumento de la humedad, la degradación física, el apelmazamiento y la contaminación. La mayor parte de estos cambios no tienen un impacto muy destacable en los posibles peligros de los productos; suelen ocasionar problemas de calidad. Por tanto, no significa que el producto sea inseguro o imposible de vender. Es posible que pueda venderse como un fertilizante de especificaciones distintas o para una aplicación diferente, o es posible que pueda reciclarse o reelaborarse dentro del proceso.

- ) **Materiales inertes.** Rellenos o aditivos que no afectan a las propiedades químicas del fertilizante (por ejemplo: arcilla y arena).

- ) **Materiales o agentes de recubrimiento.** Aditivos que se aplican a la superficie de las partículas de fertilizante para mejorar los parámetros de calidad, como la humidificación, el apelmazamiento, la formación de polvo y la fluidez.



- ) **Micronutrientes.** Son aquellos que, aun siendo necesarios para el desarrollo de la vida vegetal, las cantidades que se precisan son significativamente inferiores que la de los macronutrientes. Carencias de estos pueden ocasionar la muerte de la planta, o simplemente deficiencias en las mismas. Hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y cloro (Cl) son los principales. Algunas especies vegetales precisan también sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co) y aluminio (Al).
- ) **NPK** (nitrógeno, fósforo y potasio), o **contenido de nutrientes.** Normalmente se hace referencia simplemente con contenido de nutrientes a la expresión del contenido de nutrientes primarios, en forma de porcentaje en peso de N (nitrógeno), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (fósforo) (en algunos países, en porcentaje de P) y K<sub>2</sub>O (potasio) (en algunos países, en porcentaje de K). Así, un abono compuesto 8-24-16, contiene 8% de N, 24% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 16% de K<sub>2</sub>O. Cuando el abono compuesto tiene, además, otros elementos, se expresan a continuación, pero con indicación del elemento específico. Por ejemplo, el compuesto 8-24-16-2MgO,2B, contiene además 2% de MgO y 0,2% de Boro.

NOTA: las siguientes conversiones pueden resultar de utilidad a la hora de calcular el porcentaje de un determinado elemento en una formulación cualquiera NPK. (Tabla 1.4).

**Tabla 1.5** Factores de conversión entre algunos elementos nutrientes.

Cantidad de	Factor conversión
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	= P x 2,3
K <sub>2</sub> O	= K x 1,2
CaO	= Ca x 1,4
MgO	= Mg x 1,7
SO <sub>3</sub>	= S x 2,5

- ) **Nutriente.** Cada uno de los elementos químicos necesarios para llevar a cabo los procesos fisiológicos y metabólicos que permiten a las plantas desarrollarse.
- ) **P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.** Óxido de fósforo (V), pentóxido de difósforo, pentaóxido de difósforo u óxido fosfórico. Es la forma usual en las que se expresa la cantidad de fósforo en una formulación de fertilizante NPK o cualquier otro abono que contenga fósforo.
- ) **PH.** El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidrógeno [H]<sup>+</sup> presentes en determinadas disoluciones. En esta memoria también se referirá a la acidez o alcalinidad de un determinado suelo.



) **Porosidad del terreno.** Hace referencia a la cantidad de huecos entre partículas sólidas presentes en el mismo, es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0-1. Esa porosidad puede contener aire o agua.

) Presión osmótica. Es la presión que se debe aplicar a una solución para detener el flujo neto de disolvente a través de una membrana semipermeable. La presión osmótica es una de las cuatro propiedades coligativas de las soluciones (dependen del número de partículas en disolución, sin importar su naturaleza). Los vegetales utilizan la presión osmótica para hacer ascender agua a través del xilema desde las raíces hasta las hojas. Se trata de una de las características principales a tener en cuenta en las relaciones de los líquidos que constituyen el medio interno de los seres vivos, ya que la membrana plasmática regula la entrada y salida de soluto al medio extracelular que la rodea, ejerciendo como barrera de control.

Cuando se colocan soluciones de distinta concentración, separadas por una membrana semipermeable (membrana que deja pasar las moléculas de disolvente pero no las de los solutos), las moléculas de disolvente, pasan habitualmente desde la solución con menor concentración de solutos a la de mayor concentración. Al suceder la ósmosis, se crea una diferencia de presión en ambos lados de la membrana semipermeable: la presión osmótica.

) **Protección de estibación.** Lo que se coloca bajo la carga para proteger el fertilizante de daños por humedad.

NOTA: La protección de estibación ideal son palés de madera, puesto que elevan la carga y permiten la circulación del aire, lo que contribuye a eliminar la humedad.

) **Quelato.** Un quelato es un compuesto químico constituido por una molécula de naturaleza orgánica, que rodea y se enlaza por varios puntos a un ión metálico, protegiéndolo de cualquier acción exterior, de forma que evita su hidrólisis y precipitación. Existen numerosos tipos de quelatos autorizados.

) **REBT** (Reglamento electrotécnico para baja tensión).

) **Recipiente a presión.** Recipiente diseñado para soportar una presión interna manométrica superior a 0,5 bar.

) **Relleno.** Material sin valor nutritivo primario que se añade principalmente para ajustar el contenido final de nutrientes de los fertilizantes a los niveles especificados.

NOTA: Entre los rellenos figuran el carbonato cálcico, la dolomita y el sulfato cálcico (yeso, anhidrita). Algunos de ellos pueden contener nutrientes secundarios (S, Mg, Ca, etc.) o tener efectos beneficiosos, como, por ejemplo,



en el pH del suelo o en la estabilidad térmica y propiedades de detonación del nitrato amónico.

) **Riqueza.** Se entiende como riqueza, graduación, análisis o concentración de un abono a la cantidad de elemento nutritivo asimilable, que contiene por unidad de peso de producto.

NOTA: En la mayoría de los países se han establecido unas cantidades mínimas para poder considerar que un determinado producto contiene el elemento en cuestión. En España, los contenidos mínimos establecidos son los siguientes:

- Hierro (Fe) 0,1%.
- Zinc (Zn) 0,05%.
- Boro (B) 0,02%.
- Molibdeno (Mo) 5 ppm.
- Manganeso (Mn) 0,05%.
- Cloro (Cl) 0,1%.
- Cobre (Cu) 0,05%.

) **RITE** (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios).

) **Solubilidad.** Es una medida de la capacidad de disolverse de una determinada sustancia (solute) en un determinado medio (disolvente). Implícitamente se corresponde con la máxima cantidad de soluto que se puede disolver en una cantidad determinada de disolvente, a determinadas condiciones de temperatura, e incluso presión (en caso de un soluto gaseoso). Puede expresarse en unidades de concentración: molaridad, fracción molar, etc.

) **Tanque.** Recipiente cerrado diseñado para soportar una presión interna manométrica no superior a 0,5 bar, generalmente de forma cilíndrica de eje vertical.

) **Tolerancia.** Diferencia admisible entre el valor encontrado en el análisis del contenido de un elemento o de otra característica específica, con respecto a su valor declarado.

) **TVA** (Tennessee Valley Authority).

) **UAN** (urea y nitrato de amonio). Una solución de urea  $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$  y nitrato de amonio  $[\text{NH}_4\text{NO}_3]$  que contiene entre 28 y 32% de nitrógeno (N). Es el fertilizante líquido nitrogenado más popular en el mundo.

) **UE** (Unión Europea).

Para más información sobre alguno de los elementos y conceptos mencionados en la lista anterior, acudir al capítulo 2 (Conceptos Básicos), o al anexo adecuado. En esos documentos básicos podrá encontrar información más detallada sobre los mismos.

## 1.6 Normativas y reglamentos



Este apartado es fundamental a la hora de emprender cualquier tipo de acción de diseño de la fábrica. Un conocimiento profuso de la normativa aplicable a este tipo de manufacturas es imprescindible para obtener todas las certificaciones, licencias y garantías por parte de las autoridades pertinentes.

En lo que se refiere a esta memoria, hay bastantes normativas y reglamentos que son de obligada consideración y cumplimiento. Por un lado tenemos las habituales en cualquier proyecto de diseño industrial, es decir, normativas y códigos técnicos referentes a la construcción del mismo, electricidad, medioambiental, contra incendios, seguridad y salud, etc., y por otro lado las propias derivadas del objetivo de esta fábrica, los fertilizantes. En este sentido, se va a comenzar a reseñar por las que hacen referencia a la actividad de la fábrica y sus productos.

### 1.6.1 Normativas concretas sobre fertilizantes y relacionados

Hay que distinguir entre normativas europeas, nacionales y autonómicas.

#### ❖ Europeas

Entre las principales directivas europeas que afectan al diseño y operación de la planta está el **REGLAMENTO (CE) n° 2003/2003 del Parlamento europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 relativo a los abonos**. Este Reglamento se aplicará a los productos que se pongan en el mercado como abonos y lleven la denominación «abono CE». Es el pilar sobre el que se sustenta toda la normativa relacionada con fertilizantes, su procesamiento, usos, identificación, puesta en el mercado, etc. Además hay que considerar todas sus modificaciones:

- J) *REGLAMENTO (CE) N° 2076/2004 DE LA COMISIÓN de 3 de diciembre de 2004*. Por el que se adapta por primera vez el anexo I del Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los abonos (EDDHA y superfosfato triple).
- J) *REGLAMENTO (CE) N° 162/2007 DE LA COMISIÓN de 19 de febrero de 2007*. Por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los abonos para adaptar al progreso técnico sus anexos I y IV.
- J) *REGLAMENTO (CE) N° 1107/2008 DE LA COMISIÓN de 7 de noviembre de 2008*. Por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los abonos, para adaptar al progreso técnico sus anexos I y IV.
- J) *REGLAMENTO (CE) N° 1020/2009 DE LA COMISIÓN de 28 de octubre de 2009*. Por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los abonos, para adaptar al progreso técnico sus anexos I, III, IV y V.
- J) *REGLAMENTO (UE) N° 137/2011 DE LA COMISIÓN de 16 de febrero de 2011*. Por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2003/2003 del



Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los abonos, para adaptar al progreso técnico sus anexos I y IV.

- J) *REGLAMENTO (UE) N° 223/2012 DE LA COMISIÓN de 14 de marzo de 2012.* Por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los abonos, para adaptar al progreso técnico sus anexos I y IV.
- J) *REGLAMENTO (UE) N° 463/2013 DE LA COMISIÓN de 17 de mayo de 2013.* Por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los abonos, para adaptar al progreso técnico sus anexos I, II y IV.
- J) *REGLAMENTO (UE) N° 1257/2014 DE LA COMISIÓN de 24 de noviembre de 2014.* Por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los abonos, a efectos de la adaptación de sus anexos I y IV.
- J) *REGLAMENTO (UE) 2016/1618 DE LA COMISIÓN de 8 de septiembre de 2016.* Por el que se modifica el Reglamento (CE) n° 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a los abonos, a efectos de la adaptación de sus anexos I y IV.

**Reglamento (CE) n° 1272/2008** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) n° 1907/2006. Así como sus posteriores rectificaciones.

## ❖ Españolas

En lo referente a legislación nacional, el **Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes**, es la principal referencia a consultar. En todo lo referente a tolerancias, nomenclaturas, formulaciones, contenido mínimo de nutrientes, etc. Este real decreto tiene por objeto, concretamente, establecer la normativa básica en materia de productos fertilizantes y las normas necesarias de coordinación con las comunidades autónomas, así como regular los aspectos del Reglamento (CE) n° 2003/2003, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, relativo a los abonos, cuya concreción y desarrollo han sido encomendados a los Estados miembros. Definir y tipificar los productos fertilizantes, distintos de los «abonos CE», que puedan utilizarse en la agricultura y la jardinería. Todo ello sin olvidarse de:

- Garantizar que las riquezas nutritivas y otras características de los productos fertilizantes se ajustan a las exigencias de este real decreto.
- Prevenir los riesgos para la salud y el medio ambiente por el uso de determinados productos.
- Regular el Registro de productos fertilizantes para la inscripción de determinados productos.



- Actualizar el procedimiento para la inscripción en el Registro de productos fertilizantes, previo a la puesta en el mercado de determinados productos.
- Establecer el procedimiento para la actualización de los anexos de este real decreto

Las siguientes normativas son relacionadas o actualizaciones de la anterior legislación:

- ) *REAL DECRETO 824/2005, de 8 de julio*, sobre productos fertilizantes.
- ) *Real Decreto 108/2010, de 5 de febrero*, por el que se modifican diversos reales decretos en materia de agricultura e industrias agrarias, para su adaptación a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso de las actividades de servicios y su ejercicio.
- ) *Corrección de errores del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio*, sobre productos fertilizantes.
- ) *Orden AAA/2564/2015, de 27 de noviembre*, por la que se modifican los anexos I, II, III, IV y VI del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.
- ) *Corrección de errores de la Orden AAA/2564/2015, de 27 de noviembre*, por la que se modifican los anexos I, II, III, IV y VI del Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

También es de destacar la **ORDEN APA/260/2006, de 31 de enero**, por la que se aprueba el modelo normalizado de comunicación al Registro de Productos Fertilizantes, y la posterior *Orden AAA/770/2014, de 28 de abril*, por la que se corrige el modelo normalizado de solicitud al Registro de Productos Fertilizantes.

## ❖ Andaluzas

En cuanto al ámbito andaluz, **DECRETO 261/1998**, de 15 de diciembre, por el que se designan las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Este se puede considerar el precursor de una serie de regulaciones que fueron modificando dichas zonas y las actuaciones que de esos usos se derivan:

- ) *ORDEN de 27 de junio de 2001*, conjunta de las Consejerías de Medio Ambiente y de Agricultura y Pesca, por la que se aprueba el Programa de Actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía.
- ) *DECRETO 36/2008, de 5 de febrero*, por el que se designan las zonas vulnerables y se establecen medidas contra la contaminación por nitratos de origen agrario.



- J) *ORDEN de 18 de noviembre de 2008*, por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía.
- J) *CORRECCIÓN de errata a la Orden de 18 de noviembre de 2008*, por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía (BOJA núm. 4, de 8.1.2009).
- J) *CORRECCIÓN de errores de la Orden de 18 de noviembre de 2008*, por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias designadas en Andalucía (BOJA núm. 4, de 8.1.2009).
- J) *ORDEN de 7 de julio de 2009*, conjunta de las Consejerías de Agricultura y Pesca y Medio Ambiente, por la que se aprueba la modificación de las zonas vulnerables designadas mediante Decreto 36/2008, de 5 de febrero, por el que se designan las zonas vulnerables y se establecen medidas contra la contaminación por nitratos de origen agrario.
- J) *ORDEN de 9 de marzo de 2010*, por la que se modifica la de 18 de noviembre de 2008, por la que se aprueba el programa de actuación aplicable en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedente de fuentes agrarias designadas en Andalucía.

### 1.6.2 Legislación medioambiental. Clasificación de la planta.

Es importante resaltar esta legislación en un apartado sólo para ella, por la relevancia en el diseño de la fábrica que conlleva. La **Ley 7/2007, de 9 de julio de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental (GICA)**, es la principal normativa a la que se atiene esta memoria. (Comunidad Autónoma de Andalucía «BOJA» núm. 143, de 20 de julio de 2007. «BOE» núm. 190, de 9 de agosto de 2007 Referencia: BOE-A-2007-15158. TEXTO CONSOLIDADO con su última modificación: 12 de enero de 2016).

A fin de tener clara la clasificación de nuestra planta en lo que a regulación medioambiental se refiere, se extrae en la tabla 1.5 la fila del anexo I de la ley de GICA en la que queda definida.

**Tabla 1.6.** Clasificación ambiental de la planta según GICA.

CAT.	ACTUACION	INSTR.
5.3	Instalaciones químicas para la fabricación a escala industrial, mediante transformación química o biológica de fertilizantes a base de fósforo, de nitrógeno o de potasio (fertilizantes simples o compuestos).	AAI

*Fuente: Junta de Andalucía*

Es por ello que la fábrica se engloba en la categoría 5.3, cuya clasificación hace necesaria la solicitud y concesión por parte de la consejería pertinente, Consejería de



Medioambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía en este caso, de una AAI (Autorización Ambiental Integrada). Dicha autorización requiere de una serie de documentación y estudios de impacto ambiental los cuales deben ser realizados, cumplimentando los impresos pertinentes. En lo que se refiere a esta memoria, se atenderá a establecer un diseño que respete todas las disposiciones en esta legislación recogida.

La **Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación**, es la ley de ámbito nacional sobre la que se sustenta y a la que acuden en numerosas ocasiones la legislación GICA andaluza.

Hacer mención también a las siguientes normas:

- ) **Decreto 239/2011, de 12 de julio**, por el que se regula la calidad del medio ambiente atmosférico y se crea el Registro de Sistemas de Evaluación de la Calidad del Aire en Andalucía.
- ) **DECRETO 218/1999, de 26 de octubre**, por el que se aprueba el Plan Director Territorial de Gestión de Residuos Urbanos de Andalucía.

### 1.6.3 Normativas aplicables al proceso

Existen varias normativas que afectarán directamente al diseño y ejecución de distintos componentes que forman parte del proceso industrial de fabricación, entre las cuales cabe destacar las que hacen referencia a calderas, equipos de presión y al almacenamiento de sustancias químicas usadas en la fabricación.

- ) **Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre**, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- ) **Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo**, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión y se modifica el Real Decreto 1244/1979, de 4 de abril, que aprobó el Reglamento de aparatos a presión.
- ) **Orden de 31 de mayo de 1985**, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria MIE-AP-12, del Reglamento de Aparatos a Presión, referente a calderas de agua caliente.
- ) **Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio**, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- ) **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 MIE APQ-1, MIE APQ-2, MIE APQ-3, MIE APQ-4, MIE APQ-5, MIE APQ-6 y MIE APQ-7.



- ) **Real decreto 2016/2004, de 11 de octubre**, por el que se aprueba la Instrucción técnica complementaria MIE APQ-8 «Almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con alto contenido en nitrógeno».
- ) **Real decreto 888/2006, de 21 de julio**, por el que se aprueba el Reglamento sobre almacenamiento de fertilizantes a base de nitrato amónico con un contenido en nitrógeno igual o inferior al 28 por ciento en masa.

#### **1.6.4 Legislación generalista**

Las principales normativas a tener en consideración de forma general:

- ) **Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto**, por el que se aprueba el **Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT)**.
- ) **LEY 38/1999, de 5 de noviembre**, de Ordenación de la Edificación, por la que nace el **Código Técnico de la Edificación (CTE)**.
- ) **Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio**, por el que se aprueba la **instrucción de hormigón estructural (EHE-08)**.
- ) **Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre**, por el que se establecen disposiciones mínimas de **seguridad y de salud** en las obras de construcción.
- ) **Ley 16/2011, de 23 de diciembre**, de Salud Pública de Andalucía.

### **1.7 Condicionantes y requisitos de diseño**

Las principales fuentes de condicionantes para este proyecto, provienen tanto de los requisitos del cliente, como de la naturaleza del mercado al que se vende o la propia naturaleza de dicha fábrica y la normativa a la que está sujeta. Es por ello que se van a analizar brevemente cada una de ellas para tenerlas bien claras a la hora de tomar posibles soluciones de diseño.

#### **1.7.1 Demandas desde el cliente**

Los principales requisitos que el mismo demanda de la planta a diseñar son:

##### **❖ Versatilidad**

La planta deberá poder realizar distintas formulaciones de fertilizantes líquidos, que recojan todos o la gran mayoría de nutrientes necesarios para el correcto crecimiento y desarrollo vegetal. Por aclarar, tanto macronutrientes principales, como secundarios y micronutrientes. Es por ello que se necesitará hacer acopio de una gran cantidad de



materias primas diferentes, cada una con sus distintas problemáticas asociadas, tanto de almacenamiento como de procesado o manipulación.

Además, el deseo del cliente es que el sistema productivo pueda hacerse cargo de distintas producciones, incluso simultáneas; solventar problemáticas causadas por fallos o mantenimiento en alguno o algunos de sus equipos; picos de producción excepcionales, que requieran de la implantación de más turnos o emplear equipos hasta ese momento en standby, analizando que sería óptimo y más rentable para la empresa, etc. todo ello conlleva un diseño versátil de la planta, en la que los cuellos de botella del proceso sean los menos posibles.

Esta versatilidad abarca por tanto, no sólo la capacidad de ofrecer una amplia gama de productos fertilizantes, sino también en lo que se refiere al sistema productivo de los mismos.

### ❖ Fertilización “a la carta”

Se debe enfocar la producción no sólo en ciertas formulaciones estándar y recogidas en un catálogo de empresa para su posterior venta, sino también en lo que se conoce en el mundo de los fertilizantes como “fertilización a la carta” o fertilización a medida. Esta fertilización a medida consiste en analizar los condicionantes del consumidor final, cítese: tipología y morfología de suelos, agua de riego en uso, formas de irrigar, cultivos a tratar, etc. y con todo recomendar uno de los productos estándar o formular soluciones explícitas para dicho cliente. Es por esto por lo que en el diseño de la explotación se debería incluir un laboratorio donde el equipo de ingenieros (normalmente de la especialidad agronómica) o químicos encargados de la operación en la planta, puedan seleccionar las distintas fuentes de nutrientes y formular la más adecuada para esta explotación agrícola.

### ❖ Calidad de productos

Para asegurar la calidad de los fertilizantes se fabrican es importante en la manipulación y almacenamiento tanto de materias primas como de productos terminados, garantizar que se mantiene la calidad de dichos materiales. Desde la descarga de las materias primas hasta el momento de la utilización, hay que controlar que no haya aumento de humedad, ni apelmazamiento o contaminación y con el menor polvo posible. Esto también se aplica a fuentes de micronutrientes.

Es importante realizar muestreos periódicos y aperiódicos, obteniendo muestras representativas con fines analíticos y de calidad. Es preferible conseguir la misma de una corriente móvil a recogerla de un montón o de un saco.

Dichos controles se realizarán también en el laboratorio de la empresa, haciendo uso de los equipos en el mismo establecidos y siguiendo siempre los cánones de la normativa y los distintos manuales de buenas prácticas para este tipo de fábricas.

#### 1.7.2 Condicionantes por el producto

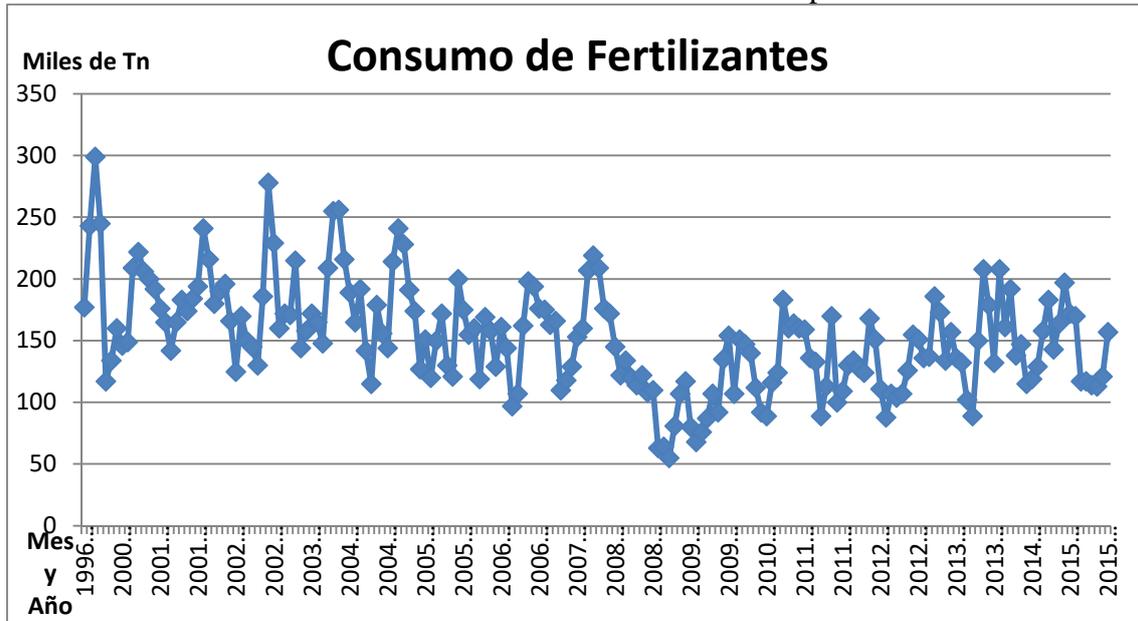
Otros condicionantes a los que se enfrenta el diseño de la fábrica son los derivados del propio producto, los fertilizantes líquidos.



## ❖ Mercado y estacionalidad

La estacionalidad de la venta de fertilizantes es algo de lo que debe tomarse especial cuidado. Si retomamos la gráfico 1.3, recogiendo los datos históricos del consumo de fertilizantes del Instituto Nacional de Estadística de los últimos años en España:

**Gráfico 1.3.** Histórico del consumo total de fertilizantes en España.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

Es bastante claro que este mercado es muy volátil, teniendo numerosas fluctuaciones dentro del mismo año debido a numerosas causas: meteorología, economía de los agricultores, pero fundamentalmente a las distintas épocas de fertilización según los cultivos a los que van dirigidos. Así, por ejemplo en el año 2015, se pasaron de consumir 200.000 t a 100.000 t en prácticamente un mes. Este salto de unas 100.000 t es lo usual entre épocas de abonado y estaciones, si bien es verdad que en ocasiones, distintos motivos (por ej. Frío extremo o durante más tiempo del común o falta de sol) hacen que el consumo de fertilizantes se dispare, haciéndose necesario lo que se conoce como abonado de emergencia.

Esa elasticidad en el consumo es un punto muy importante de diseño, ya que se debe proponer y ejecutar una factoría la cual esté preparada para cubrir esos picos de demanda, aun quedándose sobredimensionada para épocas de poca venta. Por lo tanto, en el próximo análisis de capacidad de elaboración de productos, con su consiguiente selección de equipos de proceso, acopio de materias primas, almacenaje de abonos terminados, etc. será un punto muy importante.

## ❖ El producto

Los productos que se van a fabricar en dicho conjunto industrial serán de naturaleza líquida, a partir de ciertas materias primas tanto sólidas como líquidas con una mayor o menor peligrosidad medioambiental en caso de derrame o acceso accidental de



cualquiera de ellas en el entorno que las rodea. Es por ello que habrá de tenerse en cuenta estas naturalezas y condiciones, así como todas las normativas anteriormente enumeradas a la hora del diseño final.

Además, se tendrá que analizar y considerar las diferentes opciones para proveer el producto a los consumidores finales o intermedios, es decir, si se envasará el producto o no en planta, si se tendrá salida a camiones cisterna de diferente tamaños, etc.

## **CAPÍTULO 2: CONCEPTOS BÁSICOS**

### **2.0 Introducción del capítulo**

El capítulo que da aquí comienzo tratará de abordar una serie de conceptos teóricos básicos para el diseño y desarrollo del proceso. Es lo que se podría denominar la base o el núcleo a partir del cual se irán fraguando cada uno de los siguientes capítulos. Se abordará el tema de los nutrientes, tanto macronutrientes como micronutrientes, desde su función dentro del metabolismo de las plantas, hasta llegar a elección de las materias primas que los contienen para su uso en el proceso de fabricación de fertilizantes fluidos.

### **2.1 Metabolismo vegetal**



Las plantas son consideradas los únicos productores netos de energía de nuestro sistema biológico, con la excepción de algunos microorganismos. Son capaces de elaborar compuestos orgánicos complejos a partir del agua, del dióxido de carbono del aire, de la energía solar y de los elementos nutritivos del suelo.

Para llevar a cabo los procesos fisiológicos y metabólicos que les permiten desarrollarse, las plantas necesitan tomar del medio una serie de elementos indispensables. Es, a partir del análisis de la materia seca de los vegetales, como se describen sus constituyentes esenciales:

**Macronutrientes.** Suponen el 99% de la masa y son: carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), así como nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). El C y O son tomados del aire a través de la fotosíntesis y el O por la respiración. El agua proporciona H y O, además de tener múltiples papeles en la fisiología vegetal. El resto de elementos minerales son absorbidos principalmente por las raíces de la solución del suelo. Sólo las leguminosas utilizan N del aire.

**Micronutrientes.** Necesarios en muy pequeñas cantidades. Son: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y cloro (Cl). Los micronutrientes son asimismo absorbidos de la solución del suelo. Algunas especies vegetales precisan también sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co) y aluminio (Al). (Ver figuras 2.1 y 2.2).

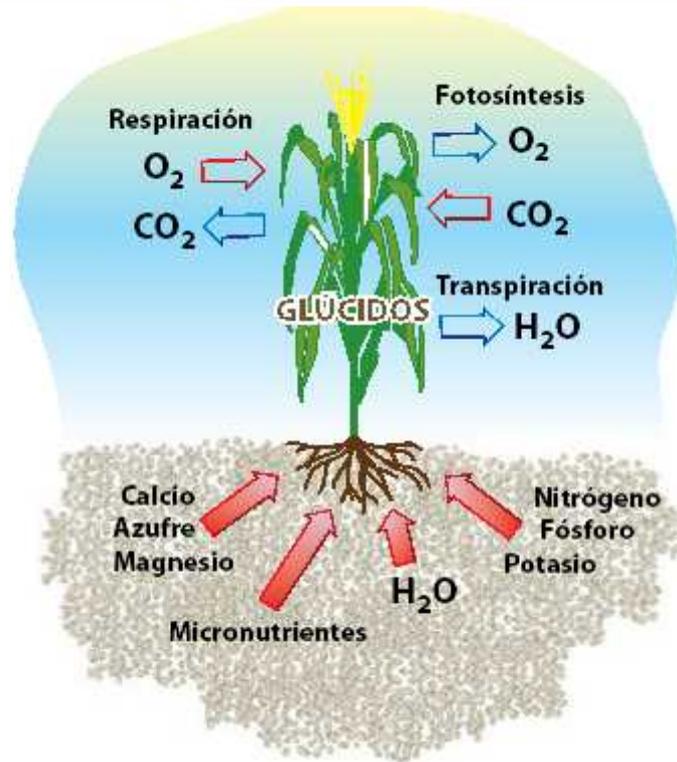
Los criterios de esencialidad de un nutriente, en relación a la fisiología vegetal, son:

- ) Aparece en todos los vegetales.
- ) No puede ser sustituido por otro nutriente.
- ) Su deficiencia o carencia provoca alteraciones en el metabolismo, fisiopatías o la muerte de la planta.

Además, cabe diferenciar dentro de los macronutrientes, aquellos que son considerados principales o primarios, nitrógeno, fósforo y potasio, mientras que calcio, magnesio y azufre cierran este grupo de secundarios.

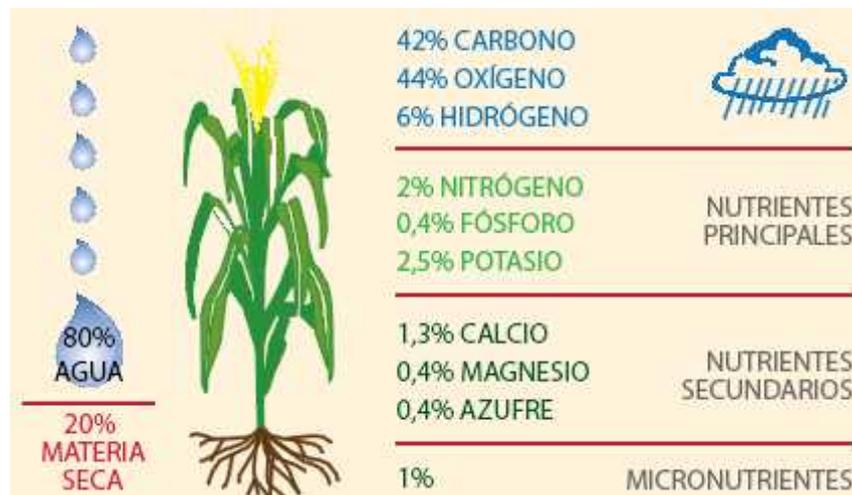
---

**Figura 2.1.** Esquema básico de la nutrición de los cultivos.



Fuente: guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España.

**Figura 2.2.** Composición media de una planta (% de materia seca).



Fuente: Fertiberia.

Todos y cada uno de los elementos nutritivos juegan un papel específico en la nutrición vegetal. El oxígeno, el carbono, el hidrógeno, el nitrógeno, el fósforo y el azufre son los constituyentes básicos de los tejidos vegetales y participan en las reacciones bioquímicas básicas del metabolismo. El fósforo es un constituyente esencial del ATP (Adenosín Trifosfato), y está ligado a los procesos de intercambio de energía. Los cationes, calcio, potasio y magnesio, regulan los potenciales osmóticos, la permeabilidad de las membranas celulares y la conductividad eléctrica de los jugos vegetales.



Por su parte, los micronutrientes son catalizadores de numerosas reacciones del metabolismo vegetal.

## **2.2 Macronutrientes**

Son los elementos fundamentales que requieren las plantas en unas cantidades importantes para su subsistencia. Nitrógeno, fósforo y potasio son los llamados principales o primarios, mientras que calcio, magnesio y azufre cierran este grupo de secundarios, en lo que se refiere a esta memoria. No hay que olvidar los otros tres macronutrientes imprescindibles, hidrógeno, carbono y oxígeno, si bien los mismos son tomados por las plantas a través del agua y el aire y no son objeto de este proyecto.

### **❖ Principales o primarios**

*El nitrógeno, factor de crecimiento y desarrollo.* El nitrógeno es uno de los constituyentes de los compuestos orgánicos de los vegetales. Interviene en la multiplicación celular y se considera factor de crecimiento; es necesario para la formación de los aminoácidos, proteínas, enzimas, etc. De modo que, el aporte del nitrógeno en cantidades óptimas conduce a la obtención de forrajes y granos con mayor contenido proteico. Además, muy recientemente se ha demostrado la relación directa del nitrógeno con el contenido en vitaminas. La deficiencia en nitrógeno afecta de manera notable al desarrollo de la planta. Se manifiesta, en primer lugar, en las hojas viejas, que se vuelven cloróticas desde la punta hasta extenderse a la totalidad a través del nervio central. Las hojas adquieren un color verde amarillento y en los casos más graves la planta se marchita y muere (fisiopatía provocada en las plantas por falta de clorofila, que precisa cuatro átomos de nitrógeno para cada molécula).

*El fósforo, factor de precocidad.* Estimula el desarrollo de las raíces y favorece la floración y cuajado de los frutos, interviniendo en el transporte, almacenamiento y transferencia de energía, además de formar parte de fosfolípidos, enzimas, etc. Es considerado factor de precocidad, ya que activa el desarrollo inicial de los cultivos y favorece la maduración. La carencia de fósforo conduce a un desarrollo débil del vegetal, tanto de su parte aérea como del sistema radicular. Las hojas se hacen más delgadas, erectas, con nerviaciones menos pronunciadas y presentan un color azul verdoso oscuro, pudiendo incluso llegar a caer de forma prematura.

*El potasio, factor de calidad.* En la planta el potasio es muy móvil y juega un papel múltiple. Mejora la actividad fotosintética; aumenta la resistencia de la planta a la sequía, heladas y enfermedades; promueve la síntesis de lignina, favoreciendo la rigidez y estructura de las plantas; favorece la formación de glúcidos en las hojas a la vez que participa en la formación de proteínas; aumenta el tamaño y peso en los granos de cereales y en los tubérculos. La carencia de potasio provoca un retraso general en el crecimiento y un aumento de la vulnerabilidad de la planta a los posibles ataques de parásitos. Se hace notar en los órganos de reserva: semillas, frutos, tubérculos. Si la deficiencia es acusada aparecen manchas cloróticas en las hojas que, además, se curvan hacia arriba. Un correcto abonado potásico mejora la eficiencia y el aprovechamiento del abonado nitrogenado.

### **❖ Secundarios**



**El azufre** Es componente de aminoácidos azufrados como la cisteína y la metionina. Forma parte de vitaminas, proteínas, coenzimas y glicósidos. Participa en las reacciones de óxido-reducción formando parte de la ferredoxina.

**El calcio** Es necesario en la división y crecimiento de la célula. Es el elemento estructural de paredes y membranas celulares, y es básico para la absorción de elementos nutritivos. Participa junto con el magnesio en la activación de las enzimas del metabolismo de glúcidos y proteínas.

**El magnesio** Forma parte de la molécula de clorofila, siendo por tanto esencial para la fotosíntesis y para la formación de otros pigmentos. Activa numerosas enzimas del metabolismo de las proteínas y glúcidos. Favorece el transporte y acumulación de azúcares en los órganos de reserva y el del fósforo hacia el grano. Al igual que el calcio, es constituyente de las paredes celulares. Influye en los procesos de óxido-reducción. (*Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*).

### **2.3 Micronutrientes**

La denominación de micronutriente es debida a su bajo contenido en la planta, pero no por su menor importancia, ya que su carencia puede ser tan perjudicial para el desarrollo de los cultivos como la de cualquier macronutriente. Su presencia en suelos es variable considerándose como valores medios los recogidos en la tabla 2.1. Níquel y cloro no se usan como fertilizantes, por lo que no serán tratados.

**Tabla 2.1.** Contenidos medios de micronutrientes en suelos.

<b>Elemento</b>	<b>%</b>
<b>Hierro</b>	3.8
<b>Manganeso</b>	0.06
<b>Zinc</b>	0.005
<b>Cobre</b>	0.003
<b>Boro</b>	0.001
<b>Molibdeno</b>	0.002

*Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio ambiente (2015)*

A continuación se detallan las principales funciones de estos microelementos en el metabolismo vegetal.

**El hierro**, interviene en la síntesis de la clorofila y en la captación y transferencia de energía en la fotosíntesis y en la respiración. Actúa en reacciones de óxido-reducción, como la reducción de nitratos.

**El manganeso**, está ligado al hierro en la formación de clorofila. Además participa en el metabolismo de los hidratos de carbono.



*El zinc*, es fundamental en la formación de auxinas, que son las hormonas del crecimiento. Interviene en la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas y vitamina C. Tiene un efecto positivo en el cuajado, maduración y agostamiento.

*El cobre*, participa en la fotosíntesis y en el metabolismo de las proteínas.

*El molibdeno*, interviene en la fijación del nitrógeno del aire en las leguminosas, al igual que en la transformación de nitratos en el interior de la planta.

*El níquel*, actúa en la ureasa y sólo recientemente ha sido considerado elemento esencial.

*El boro*, interviene en el transporte de azúcares. Participa en la regulación interna del crecimiento por las hormonas vegetales, en la fecundación, en la absorción de agua, en la síntesis de ácidos nucleicos y en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular.

*El cloro*, tiene una actividad ligada a la fotosíntesis y participa en el mantenimiento de la turgencia celular. (*Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*).

## **2.4 Principios generales de la fertilización**

La fertilidad del suelo se entiende como su capacidad para suministrar todos y cada uno de los nutrientes que necesitan las plantas en cada momento, en la cantidad necesaria y en forma asimilable.

La asimilabilidad de los elementos nutritivos presentes en el suelo no depende sólo de la forma química en que se encuentren, sino que es también función del clima, de la genética de la planta, de su estado de desarrollo, de las propiedades físicas y químicas del suelo y de las prácticas culturales.

### **❖ Ley de la restitución**

Al finalizar el ciclo de cultivo el suelo debería conservarse en las mismas condiciones en las que se encontraba al iniciarse. En lo que a nutrientes se refiere, esto significa que deben reponerse los extraídos por las cosechas, con objeto de que no se pierda fertilidad tras las sucesivas campañas.

La restitución al suelo de lo exportado por la cosecha, debe de considerarse desde un punto de vista económico y en cuanto a garantizar la correcta nutrición de la próxima cosecha.

La fertilización debe tener como objetivo primordial mantener la fertilidad del suelo, no debiendo limitarse a la restitución de los elementos extraídos por la cosecha. Esta práctica es necesaria, pero no suficiente, por tres razones fundamentales:



- ) Un número importante de suelos tienen una pobreza natural que exige la incorporación de uno o varios elementos nutritivos para ser considerados cultivables y permitir la implantación y desarrollo de los cultivos.
- ) El suelo está inevitablemente sometido a una serie de fenómenos naturales como la erosión y el lavado que, entre otros efectos negativos para la fertilidad del suelo, originan pérdidas de nutrientes que se suman a las extracciones de las cosechas.
- ) La planta tiene necesidades nutritivas en momentos determinados de su ciclo vegetativo, necesidades instantáneas e intensas, durante los cuales las reservas movilizadas del suelo pueden ser insuficientes.

### ❖ Ley del mínimo

Von Liebig, en el año 1840, enunció el siguiente principio: “el rendimiento de la cosecha está determinado por el elemento nutritivo que se encuentra en menor cantidad”. Además, un exceso en cualquier otro nutriente, no puede compensar la deficiencia del elemento nutritivo limitante.

Esta Ley pone en evidencia la relación entre los elementos nutritivos y la necesidad de alcanzar una riqueza suficiente en cada uno de ellos, para que pueda obtenerse el rendimiento óptimo.

La interacción entre elementos nutritivos es positiva cuando el efecto producido por un conjunto de dos factores, en este caso nutrientes, es superior a la suma del efecto de los dos factores considerados aisladamente. De esta manera, si se satisfacen las necesidades de un cultivo en potasio se asegura la eficacia de la fertilización con nitrógeno.

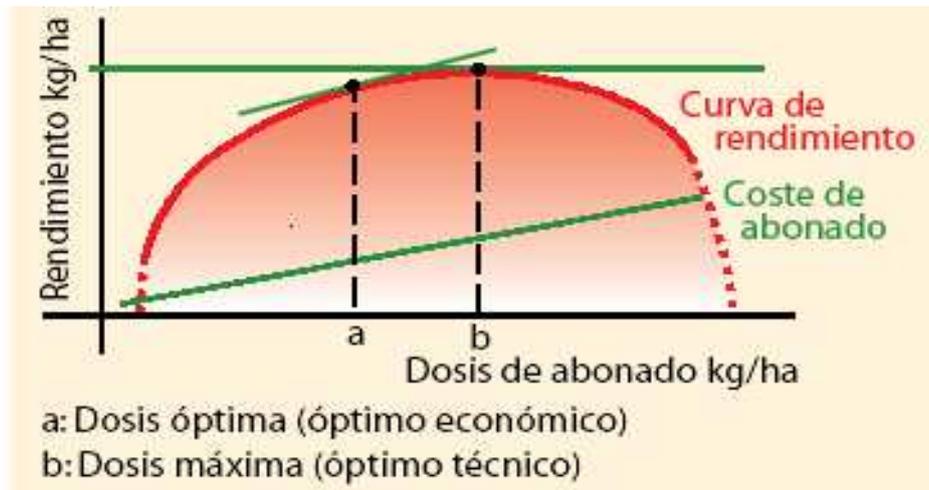
En el suelo, la sinergia entre los elementos nutritivos se manifiesta de manera evidente. La movilización de determinadas formas químicas de un elemento facilita la movilización de otros. De este modo, la presencia de sulfato y nitrato amónico favorecen la solubilidad del fósforo.

### ❖ Ley de los rendimientos decrecientes

La Ley de los rendimientos decrecientes o Ley de Mistcherlich concluye que: “a medida que se aumentan las dosis de un elemento fertilizante disminuye el incremento de cosecha que se consigue por cada unidad fertilizante suministrada, hasta llegar un momento en que los rendimientos no solo no aumentan sino que disminuyen”.

El rendimiento máximo, según el potencial de cada cultivo y suelo, se alcanza con aportaciones de fertilizantes, sin considerar el gasto que se realiza en fertilizantes. El rendimiento óptimo o económico es el punto que se alcanza cuando el rendimiento que se obtiene de la cosecha compensa el gasto en fertilizante. (Figura 2.3).

Figura 2.3. Ley de los rendimientos decrecientes.



Fuente: Fertiberia

Evidentemente, en la determinación del rendimiento óptimo o económico intervienen una serie de factores ajenos a la naturaleza y rendimiento del cultivo, tales como el precio de los fertilizantes utilizados y el precio de los productos agrícolas. (*Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*).

## 2.5 Fertilizantes

### 2.5.1 Definición y clasificación

Fertilizante o abono, según el propio Reglamento (CE) nº 2003/2003 del parlamento europeo, es todo producto cuya función principal es proporcionar elementos nutrientes a las plantas.

Siendo un poco más concretos, un fertilizante o abono es cualquier tipo de sustancia orgánica o inorgánica que contiene nutrientes en formas asimilables por las plantas, para mantener o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo, mejorar la calidad del sustrato a nivel nutricional, estimular el crecimiento vegetativo de las plantas, etc.

Los fertilizantes pueden clasificarse de acuerdo a diversos criterios, estado físico, origen, composición, etc. Así, el estado físico en que se presenta un abono, que puede ser sólido, líquido y gaseoso, juega un papel importante en las condiciones de utilización y la eficacia del abono, ya que tanto la homogeneidad de la distribución como su integración más o menos completa en el suelo, van a depender de dicha presentación.

Los abonos **sólidos** son los de mayor uso en España y suelen presentarse en las siguientes formas:

*Abonos en polvo, con grado de finura variable según el tipo de fertilizante.* Normalmente no son aconsejables, ya que su manejo resulta molesto, entorpecen el funcionamiento de las máquinas y sufren pérdidas en la manipulación. Sin



embargo, esta forma sin puede ser apropiada cuando la solubilidad en agua es escasa o nula, y resulta idónea en los casos en los que el abono se mezcla íntimamente con el suelo.

**Abonos granulados.** Aquéllos en los que al menos el 90 % de las partículas presentan un tamaño de 1-4 mm. Esta presentación permite un manejo más cómodo, un mejor funcionamiento de las abonadoras, una dosificación más exacta y una distribución sobre el terreno más uniforme.

**Abonos cristalinos**, que facilitan la manipulación y distribución.

**Abonos perlados (prill).** Mediante el sistema de pulverización en una torre de gran altura, se obtienen esferas de tamaño muy uniforme, al solidificarse las gotas durante la caída.

**Abonos macrogranulados.** Constituidos por grandes gránulos, de 1-3 cm de diámetro e incluso mayores, de liberación progresiva de los elementos nutritivos. (*tecnológica*).

Dentro de los **fertilizantes líquidos**, los tipos más característicos son los siguientes:

**Suspensiones.** Para mantener las suspensiones se requiere una agitación periódica. Son soluciones sobresaturadas, en las que parte de los nutrientes no están disueltos y se mantienen en suspensión por la acción de arcillas especiales, tipo atapulgita, que evitan la precipitación de las partículas en suspensión, fundamentalmente el potasio.

En su fabricación entran a formar parte materias primas muy diversas. Su aspecto es de líquido espeso pero fluido, bastando una ligera agitación para recuperar sus propiedades físicas iniciales. Las suspensiones se almacenan en tanques provistos de sistemas de agitación, para evitar la decantación.

Se aplican por pulverización sobre la superficie del terreno, en las mismas dosis y momentos que otros complejos sólidos o líquidos. Pueden ser aplicados conjuntamente con herbicidas y otros productos.

**Soluciones con presión:** soluciones acuosas de nitrógeno en las que participa como componente el amoníaco anhidro con concentración superior a la que se mantiene en equilibrio con la presión atmosférica. Para su aplicación se requieren equipos especiales que soporten la presión adecuada.

**Soluciones normales o claras sin presión:** soluciones acuosas que contienen uno o varios elementos nutritivos disueltos en agua. Estas serán el objeto principal de esta memoria y de la fábrica a diseñar.

Entre los **abonos gaseosos** únicamente se emplea el amoníaco anhidro, que es un gas a la temperatura y presión normal. Para que pase a estado líquido y facilitar el almacenaje y el transporte, se comprime y vuelve a transformarse en gas cuando se inyecta en el suelo. (*tecnológica*).

En relación a la composición, los fertilizantes suelen clasificarse entre:



- ) *Simples.*
- ) *Compuestos o complejos (NPK).*

Mientras que los fertilizantes simples tienen una composición a base de un único nutriente, los fertilizantes compuestos o complejos tienen dos (binarios) o más nutrientes, incluyendo en su caso incluso micronutrientes.

### 2.5.2 Principales características de los abonos

En lo que se refiere a este proyecto, el conocimiento de las distintas propiedades de los fertilizantes, tanto líquidos, que son los producidos, como de los sólidos es de una importancia vital ya que en torno a ellos gira todo el proceso. Muchos de estos fertilizantes sólidos son la base y materia prima en la que se fundamentan los fertilizantes líquidos procesados, hecho por el cual conocer sus principales características también es muy importante. En lo que sigue, se detallarán una serie de propiedades intrínsecas de estos fertilizantes sólidos, tanto físicas como químicas, algunas de las cuales serán comunes a los fertilizantes líquidos, empezando por su riqueza.

#### ❖ Riqueza

Se entiende como riqueza, graduación, análisis o concentración de un abono a la cantidad de elemento nutritivo asimilable, que contiene por unidad de peso de producto.

En el caso de los fertilizantes simples, la riqueza o unidad fertilizante corresponde a la cantidad del único elemento nutritivo que contiene, expresada en porcentaje o lo que es igual, en Kg. de elemento por cada 100 Kg (% p/p) de producto. Así por ejemplo, 1% de un nutriente en cualquiera que sea la formulación, implica 10 kg del nutriente en 1 tonelada de fertilizante.

Las unidades empleadas en España para expresar la riqueza de elementos nutritivos, son (Tabla 2.2):

**Tabla 2.2.** Unidades empleadas usualmente en España para expresar la riqueza de nutrientes.

<b>Formas Elementales</b>	<b>Formas de Óxidos</b>
<b>N para el nitrógeno</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para el fósforo</b>
<b>B para el boro</b>	<b>K<sub>2</sub>O para el potasio</b>
<b>Cl para el cloro</b>	<b>CaO para el calcio</b>
<b>Co para el cobalto</b>	<b>MgO para el magnesio</b>
<b>Cu para el cobre</b>	<b>SO<sub>3</sub> para el azufre</b>



Fe para el hierro	
Mn para el manganeso	
Mo para el molibdeno	
Zn para el zinc	

Fuente: *tecniagricola.com*

En general, la riqueza de un fertilizantes ya sea simple o compuesto se expresa como %p/p de sus nutrientes siguiendo el orden NPK, es decir, N – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – K<sub>2</sub>O seguido de otros nutrientes secundarios o micronutrientes, - CaO – MgO – etc. Por ejemplo, el compuesto 15-15-15-2 MgO, contiene 15% de N, 15% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 15% de K<sub>2</sub>O y además un 2% de MgO.

Es interesante en muchos casos evaluar la cantidad de cada elemento concreto que forma parte de la formula NPK, pasando así los óxidos a su estado elemental. Para ello, es adecuado hacer uso de tablas de conversión como la Tabla 1.4, o la siguiente (Tabla 2.3):

**Tabla 2.3** Equivalencia de conversión entre algunos elementos nutrientes y sus óxidos.

Óxido (1 kg de)	=	Elemento
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	=	0.437 kg de P
K <sub>2</sub> O	=	0.83 kg de K
CaO	=	0.714 kg de Ca
MgO	=	0.603 kg de Mg
SO <sub>3</sub>	=	0.4 kg de S

*Elaboración propia.*

En España, según la normativa que regula los fertilizantes (Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes), hay una riqueza mínima o contenido mínimo de nutrientes para que dichos abonos sean reconocidos según ciertos epígrafes o no, con numerosas implicaciones adicionales. Este contenido mínimo depende del elemento y puede ser analizado en el Anexo I de dicha legislación. Sólo ha modo ilustrativo, se recogen bajo estas líneas algunos de ellos (tabla 2.4):

**Tabla 2.4** Abonos con nutrientes principales y/o secundarios que contienen micronutrientes (contenidos mínimos).

Si el micronutriente es:	En cultivos extensivos y pastos con aplicación al suelo	En fertirrigación o en uso hortícola con aplicación al suelo	En aplicación foliar
Boro (B)	0.01	0.01	0.01



<b>Cobalto (Co)</b>	0.002	..	0.002
<b>Cobre (Cu)</b>	0.01	0.002	0.002
<b>Hierro (Fe)</b>	0.5	0.02	0.02
<b>Manganeso (Mn)</b>	0.1	0.01	0.01
<b>Molibdeno (Mo)</b>	0.001	0.001	0.001
<b>Zinc (Zn)</b>	0.01	0.002	0.002

Fuente: Real Decreto 506/2013, anexo I apartado 1.3.4.

### ❖ **Concentración**

En los fertilizantes compuestos o complejos la suma de la riqueza de los tres elementos principales determina la cantidad total de contenido útil del abono y se denomina concentración total. Mediante este concepto que en los abonos simples equivale a la riqueza, se puede calificar a los fertilizantes por su contenido relativo de elementos fertilizantes. De este modo, y un tanto arbitrariamente se clasifican los fertilizantes, según su nivel de riqueza como de baja o alta concentración. En el caso particular de los abonos compuestos, se suele considerar el 35% como frontera entre ambos tipos. Esto es, son abonos compuestos de alta graduación los que tienen 35% o más, de concentración total.

### ❖ **Equilibrio**

Este es un concepto exclusivo de los fertilizantes compuestos o complejos, ya que se refiere a la relación que existe entre los tres elementos componentes de este tipo de abonos. Generalmente, para calcular la relación de equilibrio se toma como referencia el nitrógeno, obteniéndose por tanto dicha relación, dividiendo cada riqueza de la fórmula del complejo o compuesto N-P-K por la riqueza en nitrógeno. Así, en el caso 8-24-16, el equilibrio NPK será 1-3-2. (*tecnigrícola*).

### ❖ **Pureza**

Este es un atributo que cobra especial importancia en sistemas de fertirrigación, pues si los fertilizantes empleados contienen materias inertes podrían producir obturaciones en los goteros, entre otros problemas. La pureza de un determinado abono puede ser considerado un síntoma de su buena o mala calidad.

En fábricas de fertilizantes complejos, un buen ajuste de los abonos preparados a las especificaciones de la formulación, junto con un control de calidad multietapas, son básicos para garantizar el éxito de cualquier fábrica.

### ❖ **Granulometría**

La granulometría de un fertilizante sólido, puede ser considerada simplemente como el tamaño de cada partícula y es una fuente de diferenciación bastante importante. En este sentido cabe destacar los abonos ya mencionados con anterioridad, cítese: abonos granulados, abonos macrogranulados, abonos perlados (prill) y los abonos en polvo.

El estado de finura de un abono interviene de forma directa en otras de sus características, especialmente en la solubilidad.



## ❖ Solubilidad

En lo que se refiere a fertilizantes sólidos, la solubilidad es una de sus características fundamentales, especialmente importante para esta memoria. Básicamente, la solubilidad es una medida de la capacidad de disolverse de una determinada sustancia (solute) en un determinado medio (disolvente). Implícitamente se corresponde con la máxima cantidad de soluto que se puede disolver en una cantidad determinada de disolvente, a determinadas condiciones de temperatura. Suele quedar definida mediante la cantidad en gramos de soluto disueltos en 100 g de agua, fijada la temperatura.

En lo que se refiere a fertilizantes, la solubilidad generalmente aumenta con la temperatura de forma como se puede apreciar en la siguiente tabla (Tabla 2.5). A cada temperatura se genera a una determinada concentración máxima.

**Tabla 2.5.** Variación de la solubilidad de varios fertilizantes sólidos con la temperatura.

Fertilizante	Temperatura (°C)					
	0	5	10	20	25	30
	.....g/L.....					
<b>Urea</b>	680	780	850	1060	1200	1330
<b>Sulfato de amonio</b>	700	715	730	750	770	780
<b>Nitrato de amonio</b>		1183	1510	1920		
<b>Sulfato de amonio</b>		710	730	750		
<b>Nitrato de calcio</b>		1020	1130	1290		
<b>Nitrato de magnesio</b>		680	690	710	720	
<b>Sulfato de potasio</b>	70	80	90	110	120	130
<b>Cloruro de potasio</b>	280	290	310	340	350	370
<b>Nitrato de potasio</b>	130	180	210	320	370	460
<b>Fosfato monoamónico (MAP)</b>		250	295	374	410	464

*Elaboración propia*

Es importante destacar que muchos fertilizantes al disolverse aumentan la temperatura de la solución (Reacción exotérmica) y otros la disminuyen (Reacción endotérmica). Con esta información al prepararse una solución multinutrientes deben disolverse en primer lugar los de reacción exotérmica para facilitar la disolución de los segundos.

En la actualidad es común atribuir a los fertilizantes solubles la característica de hidrosolubles, si bien los primeros son eficaces para aplicación directa al suelo, los segundos son los productos más idóneos para la inyección en todo tipo de sistemas de riego. Este tipo de fertilizantes se disuelve totalmente sin precipitados y forman una solución cristalina sin turbiedad. (*Tecniagricola*).

## ❖ Higroscopicidad y humedad relativa crítica



La higroscopicidad puede ser definida como la capacidad de absorber agua de la atmósfera a partir de un determinado grado de humedad de la misma. Esta absorción puede provocar que una parte de las partículas se disuelvan, con lo que se deshace la estructura física del fertilizante. Generalmente, cuanto mayor es la solubilidad del fertilizante en agua, mayor es su higroscopicidad. Esta absorción puede provocar que una parte de las partículas se disuelvan, con lo que se deshace la estructura física del fertilizante, provocando también en ocasiones compactaciones y costras en las superficies de los montones.

La humedad relativa crítica (HRC o CRH). Valor de la humedad relativa del aire de alrededor, por encima del cual el material absorbe la humedad y por debajo del cual no lo hace. Cuanto menor es el valor de HCR, mayor es la susceptibilidad del fertilizante a absorber humedad, como es el caso de los fertilizantes nitrogenados o mezclas que los incluyan. Aquellos fertilizantes muy higroscópicos presentan problemas en el transporte, manejo y almacenamiento en la planta de fertilizantes y en el campo, en razón del apelmazamiento que sufren, tornándose húmedos y pegajosos.

La temperatura ambiente también afecta a la HRC, variando según la misma. En la tabla bajo estas líneas se recogen algunas variaciones de HRC con la temperatura de ciertos abonos (Tabla 2.6).

**Tabla 2.6.** Influencia de la temperatura en la humedad relativa crítica.

Fertilizante	Temperatura (°C)						
	10	15	20	25	30	40	50
	.....% Humedad crítica relativa.....						
Nitrato amónico	75.3	69.8	66.9	62.7	59.4	52.5	48.4
Urea	81.8	79.9	77.0	75.8	72.5	68.0	62.5
Nitrato potásico			92.3		90.5		
Nitrato cálcico				40	34.6		
Cloruro potásico					84.0	78.1	

*Elaboración propia*

### ❖ Tendencia al endurecimiento o apelmazamiento (caking)

Como es obvio, esta propiedad es exclusiva de los fertilizantes sólidos y puede definirse como la tendencia de un fertilizante a compactarse, dificultando la separación entre sus partículas. Esta tendencia a apelmazarse de los abonos tiene mucho que ver con su composición química y las condiciones de almacenamiento en la que se encuentren. Abonos nitrogenados, cuya fuente de nitrógeno sea por ejemplo el nitrato de amonio o la urea, tiene una mayor tendencia al caking que aquellos con base en sulfatos o fosfatos.

Para evitar este apelmazamiento, sobre todo durante periodos largos de almacenamiento, hay que tener especial control de la humedad, pues favorece su aparición, así como un exceso de presión en los montones o temperatura. El tamaño y forma de las partículas también incide en este, ya que cuanto menor sea la superficie específica de las mismas, menor será la tendencia al apelmazamiento. Hay que tener los montones bien ventilados para evitar esta aparición.



## ❖ Dureza del gránulo

La dureza de los gránulos de un fertilizante sólido se corresponde con la presión que hay que aplicar sobre una de sus partículas para dividirla en fracciones más pequeñas. Esta característica es de notable importancia en abonos granulados o perlados, ya que su fraccionamiento afecta de forma directa a la forma en la que los mismos distribuyen sus nutrientes en el suelo.

Además, la dureza de los gránulos, o más bien la falta de ella, derivan en problemas directos en su almacenamiento, transporte e incluso en su aplicación. Esto es debido a que al romperse sus partículas se generan polvo, el cual aparte de ser un engorro para los operarios que deben tener las adecuadas protecciones para evitar que el mismo afecte a su salud, también hace que se pierdan nutrientes y materias primas en el aire, que se atasquen equipos y que el propio abono se vea afectado en la variación de otras de sus características tales como la solubilidad, por ejemplo.

A fin de evitar estos problemas, no solo se puede aplicar medidas sobre el propio abono tales como endurecimientos químicos o físicos de las partículas, cambiar tamaño de las mismas, etc. sino que también se puede mejorar su manipulación a fin de evitar roturas de sus gránulos. En este sentido, a modo ilustrativo, una medida sencilla y que forma parte de cualquier manual de buenas prácticas de almacenaje, consiste simplemente en reducir el salto o distancia entre la salida del abono de las cintas y el suelo, tanque o recipiente al que va dirigido para su almacenamiento. Esta reducción del salto puede efectuarse, por ejemplo, mediante el uso de mangueras y boquillas dirigidas.

## ❖ Índice salino

Uno de los requisitos indispensables para lograr eficiencia en el sistema agua-suelo-planta es una baja salinidad, medida por la conductividad eléctrica (CE) de la solución fertilizante o solución de suelo. Lograrla, es también una preocupación de los productores, quienes a través de cultivos sucesivos en el mismo sitio incrementan los riesgos de acumulación de sales. En las regiones húmedas, cuando las coberturas plásticas son removidas temporariamente, el peligro de salinización disminuye por la acción de lavado de las aguas de lluvia.

A pesar del riesgo de una alta salinidad, ésta es mejor tolerada en períodos de alta intensidad lumínica. Los cultivos son más tolerantes a niveles altos de CE (3.5 a 4.0 dS/m) bajo estas condiciones que con intensidad lumínica baja (hasta 2.5 a 3.0 dS/m). Por otra parte, una mayor salinidad es favorable para el desarrollo de sabor durante el período de maduración de los frutos, especialmente cuando esta es alcanzada levantando los niveles de K. Es peligroso sin embargo, regular el exceso de salinidad restringiendo los volúmenes de agua regados, ya que puede provocar entre otros problemas, una mayor incidencia de podredumbre apical.

Los fertilizantes son sales que contribuyen al aumento de la salinidad del agua de riego. La salinidad afecta principalmente la presión osmótica\* con que el agua es absorbida, requiriendo consecuentemente mayor energía para la planta. Los rangos usuales requeridos para el agua de riego no deberían exceder 3 dS/m. Cuando el agua de riego posee una conductividad eléctrica entre 0,25 y 0,75 dS/m, representa un moderado a alto peligro de salinización del suelo.



En una operación de fertirrigar, al agregar fertilizantes, aumenta la concentración salina del agua de riego y también la de la solución del suelo, (Tabla 2.7). Experimentalmente se tiene que 10 meq/l de solución es aproximadamente 1 mS (ó 1 dS/m) de conductividad eléctrica de la solución. Un miliequivalente de sales solubles corresponden a 64 mg. En base a esta relación es posible controlar la fertilización por medio de la medición directa de la CE con un conductímetro, determinando directamente la concentración de la solución de riego. En los picos de máximos consumos de nutrientes en cultivos hortícolas de invernáculo, la concentración aportada por los nutrientes en el agua puede llegar a 15 a 20 meq/l, incrementando sensiblemente su salinidad en 1.5 a 2.0 mS adicionales al agua de irrigación. Bajo esas condiciones, especialmente cuando el agua excede 1.0 mS se deben extremar los cuidados en los iones acompañantes, minimizando aquellos no absorbidos por ejemplo Cl<sup>-</sup> o SO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

**Tabla 2.7.** Variación de la CE al variar la concentración de nutrientes.

Nutrientes	Conductividad Eléctrica (mS/cm)			
	2.0	3.0	4.0	5.0
	.....mg/L.....			
<b>Nitrógeno (NO<sub>3</sub>)</b>	180	310	435	560
<b>Fósforo (P)</b>	40	40	40	40
<b>Potasio (K)</b>	300	500	700	900
<b>Calcio (Ca)</b>	200	330	470	600
<b>Magnesio (Mg)</b>	40	65	95	120

*Fuente: fertilizando.com*

Respecto al índice salino de los abonos más usuales en el mercado (Tabla 2.8), se puede realizar una tabla que los relacione, si se define este parámetro como el incremento en términos de presión osmótica, producido por un peso igual de fertilizantes relativo al nitrato de sodio (índice salino = 100).

**Tabla 2.8.** Índice salino de fertilizantes usuales en el mercado.

Fertilizante	Índice salino
<b>Fosfato monoamónico</b>	30
<b>Fosfato diamónico</b>	34
<b>Sulfato de magnesio</b>	44
<b>Sulfato de potasio</b>	46
<b>Amoníaco anhidro</b>	47
<b>Nitrato de calcio</b>	53
<b>Sulfato de amonio</b>	69
<b>Nitrato de potasio</b>	74
<b>Urea</b>	75
<b>Nitrato de amonio</b>	105
<b>Cloruro de potasio</b>	116

*Fuente: Fertilizer Manual*



## ❖ Índice de acidez

Este es un parámetro que no siempre se recoge en la bibliografía de fertilizantes, a pesar de su relevancia. Así, puede ser definido como el número de partes en peso de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) necesarias para neutralizar la acidez contenida en 100 partes en peso del fertilizante. Esta reacción del fertilizante sobre el pH del suelo viene determinada por el índice de acidez o basicidad del fertilizante, que también puede ser definida como la cantidad de cal viva que es necesaria para equilibrar el incremento de acidez del suelo (fertilizantes de reacción ácida) o producir un incremento de pH equivalente (fertilizantes de reacción básica).

Si se consideran los kg de  $\text{CaCO}_3$  que neutralizan 1 kg de N del fertilizante nitrogenado, por ejemplo, se obtiene el valor de 3,5 kg. Este valor es utilizado por la industria como una constante para todos los fertilizantes, a pesar de que la incidencia de la aplicación de los fertilizantes nitrogenados sobre el pH del suelo depende de varios factores que a veces interactúan entre sí. Entre los más importantes se mencionan, además del efecto rizosférico, el ion acompañante del N, el tipo de cultivo fertilizado (mono o dicotiledónea) y dosis de producto aplicados. (*B. Rodríguez y Martín Torres, cap.1*).

## ❖ Densidad

La densidad\* de un producto suele ser definida simplemente como el cociente entre su masa y volumen,  $\rho = \frac{m}{V}$  siendo sus unidades el  $\text{kg/m}^3$ , todo ello con unas ciertas condiciones de temperaturas definidas. Si bien en lo que se refiere a fertilizantes, cabe distinguir distintas densidades dependiendo de su estado físico. Así, en lo que se refiere a abonos sólidos se suele diferenciar entre:

- ) **Densidad aparente (suelto).** Relación entre masa y volumen de un material que haya sido depositado libremente en un contenedor en condiciones especificadas con claridad.
- ) **Densidad aparente (compactado).** Relación entre masa y volumen de un material que haya sido depositado en un contenedor y compactado en condiciones especificadas con claridad.
- ) **Densidad de envasado (también llamada de carga).** Relación entre masa y volumen de un material después de que un tubo haya sido llenado con él con compactaciones intermitentes, como por ejemplo, en la prueba de resistencia a las explosiones de la UE.

En lo que se refiere a fertilizantes líquidos, la densidad no tiene diferenciaciones y queda simplemente definida como masa partido de volumen. Las unidades en este ámbito pueden encontrarse usualmente en  $\text{kg/l}$ .

En el mundo del abonado la densidad es de vital transcendencia, pues aparte de ser útil para calcular almacenamientos de sustancias o potencias de mezcladoras, se empleará también para deducir las cantidades de fertilizantes necesarias para cubrir las necesidades nutricionales de los cultivos.



### 2.5.3 Propiedades específicas de los abonos líquidos

#### ❖ Claridad

La claridad es una característica típica de los fertilizantes líquidos. A través de un análisis visual del aspecto y turbiedad de una solución se pueden extraer conclusiones bastante interesantes. Por ejemplo, si estamos frente a soluciones claras o normales, la presencia de partículas en suspensión o turbiedad del fertilizante, puede ser indicativo de un almacenamiento inadecuado, suciedad en la red de transporte, cisternas de camiones descuidadas, etc. Tiene cierta importancia este aspecto, incluso puede significar el replanteamiento del proceso productivo o su formulación, para aumentar temperaturas de cristalizaciones, por ejemplo.

En los que se refiere a suspensiones, la turbiedad también resulta una característica de interés, pues conociendo el aspecto turbio normal de cierta formulación, una variación de la misma puede hacer saltar las alarmas de que algo está fuera de control. Un ejemplo caso bastante significativo de esta característica de las suspensiones, es un producto fertilizantes ya elaborado, el cual permanece relativamente demasiado tiempo en almacén. El mismo presentará un aspecto bastante más claro de lo habitual, teniendo todas sus partículas que debieran estar en suspensión, decantadas en el fondo del recipiente de almacenamiento. Un simple removido puede ser suficiente en la mayoría de los casos para que recupere sus propiedades originales.

#### ❖ pH

El pH o potencial de hidrógeno de una disolución es una medida de su acidez o alcalinidad, e indica la concentración de iones  $H^+$  presentes en la misma. El pH se define matemáticamente como el logaritmo negativo en base 10 de la actividad de los iones hidrógeno, es decir:

$$pH = -\log_{10} [a_{H^+}]$$

También es interesante definir el pOH o potencial hidroxilo, como:

$$pOH = -\log_{10} [O^-]$$

Para así poder obtener la siguiente relación:

$$pH + pOH = 14$$

En disolución acuosa, la escala de pH varía, típicamente, de 0 a 14. Son ácidas las disoluciones con pH menores que 7, mientras que las disoluciones alcalinas tienen un pH superior a 7. La disolución se considera neutra cuando su pH es igual a 7.

En fertilizantes fluidos como los empleados en la planta a diseñar, el pH influirá tanto en almacenaje y transporte de productos dentro del proceso, como en la formulación de los mismos a fin de adecuarse a las condiciones explícitas dadas por los clientes para maximizar el rendimiento de sus campos y situaciones de cultivos. En este sentido, tener



un adecuado conocimiento de la influencia del pH del suelo en la disponibilidad de los nutrientes para las plantas resulta de vital importancia.

Un ejemplo sencillo para ver la relevancia de esta propiedad, es el uso de fertilizantes más bien ácidos en situaciones de fertirriego, para así evitar taponamientos de los orificios de salida de la solución acuosa de riego. Hay ocasiones en las que se hace uso incluso de ácido nítrico para corregir aguas muy duras como corrector del pH.

### ❖ Viscosidad

La viscosidad de un producto fluido es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción. La viscosidad se corresponde con el concepto informal de "espesor". Por ejemplo, la miel tiene una viscosidad mucho mayor que el agua. En lo que se refiere a abonos líquidos, puede ser definida de una forma un poco más laxa como la resistencia del mismo al escurrimiento. Es una propiedad que depende de la temperatura, la formulación del fertilizante e incluso de la presencia de impurezas en el mismo.

En física, la viscosidad dinámica ( $\mu$ ) se mide en unidades del Sistema Internacional en pascal-segundo ( $P \cdot s$ ), o en  $N \cdot s \cdot m^{-2}$  o  $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$ . En el Sistema Cegesimal, que es muy habitual en los manuales de fertilización, se utiliza el poise (P).  $1 \text{ poise} = 10^{-1} P \cdot s$ .

Esta propiedad es importante a la hora del diseño y dimensionado de los distintos equipos de transporte y almacenamiento en el proceso de fabricación, pues influye en la dinámica de los fluidos. Asimismo, tiene también una relevancia significativa en los distintos sistemas de aplicación de los fertilizantes líquidos en los campos. De una forma ilustrativa, los fertilizantes líquidos claros suelen tener un límite de viscosidad de entre 100 a 250 centipoises (cp) a 25°C, y en suspensiones entre 1000 cp a 25°C o 1500 cp a 0°C.

### ❖ Temperatura de cristalización

Esta puede que sea de las propiedades más importantes de los abonos líquidos y desde luego siempre suele estar presente en las hojas de productos de los mismos. Puede definirse como la temperatura a la cual en un fertilizante líquido comienzan a aparecer precipitados de sus componentes, generalmente en forma de cristales. Si bien estos precipitados suelen poderse volver a disolver fácilmente con un agitado del producto, su aparición y desconocimiento puede llevar a cambios significativos en las propiedades químicas del fertilizante, su riqueza, su facilidad de absorción por parte de las plantas, e incluso causar daños en los equipos de almacenamiento, transporte o distribución en el campo, especialmente obturaciones en las boquillas de riego en fertirrigación.

Esta propiedad tiene una importancia capital a la hora de diseñar el almacenamiento de los abonos fluidos, especialmente en aquellas regiones en las que las temperaturas son especialmente bajas. También hay que tenerla en consideración en las distintas estaciones del año, teniendo especial cuidado en la caída de temperatura por las noches. En numerosas plantas, al principio de cada jornada se da un agitado a los tanques



de almacenamiento para volver a disolver los posibles precipitados formados por las noches.

Una forma de evitar todos estos problemas o inconvenientes causados por los precipitados, es realizar una correcta formulación de los productos, diseñando su temperatura de cristalización por encima de las mínimas previstas para esa región y estación del año. Un ejemplo claro y común en las bibliografías es el del UAN (urea nitrato de amonio). Esta solución, la cual será detallada más adelante por su papel principal en la fabricación de la planta diseñada, tiene su concentración máxima delimitada en gran medida por su temperatura de cristalización. Así, las formulaciones más habituales en el mercado son: (Tabla 2.9) )

**Tabla 2.9** Propiedades químicas del UAN.

Propiedades	Concentración		
	28 % N	30 % N	32 % N
<b>Composición (% en peso)</b>			
Nitrato de amonio	40	42	44
Urea	30	33	35
Agua	30	25	20
Temperatura de cristalización	-18	-10	-2
pH de la solución	Aproximadamente 7		
Gravedad específica* (respecto al agua, medida a 60 °F o 15,6°C)	1.283	1.303	1.320

*Fuente: Ipni.net.*

## **2.6 Factores determinantes en la selección de fertilizantes**

Los puntos fundamentales a la hora de seleccionar qué fertilizantes usar en un cultivo determinado, no sólo dependen del tipo de cultivo o agua de riego, sino también del suelo en el que está el mismo.

Como es fácilmente entendible, cada cultivo tiene una necesidad de nutrientes diferentes y específicas para sí, las cuales varían con las distintas épocas del año y están amplia y claramente definidas en cualquier manual de fertilización competente. Si bien hay que tener siempre en consideración el estudio tanto del suelo como del agua de riego para así poder fijar las dosis adecuadas a la plantación, teniendo como base teórica las tres leyes fundamentales de la fertilización anteriormente explicadas, la ley del mínimo, la de la restitución y la de los rendimientos decrecientes.

### **2.6.1 El terreno**

En lo que se refiere al terreno destinado al cultivo, hay una serie de características que lo definen, como pueden ser su composición, estructura o textura.



Todo suelo cultivable está compuesto generalmente por aire, agua y componentes sólidos, tanto minerales como materiales orgánicos. Todos y cada uno de sus componentes tienen su papel para posibilitar el desarrollo de vida vegetal. Por un lado, los huecos del terreno (porosidad\*) están ocupados por aire o agua, siendo una cantidad orientativa para el cultivo del 50%, con un contenido de humedad óptimo cuando el volumen ocupado por el agua es igual al ocupado por el aire. La fracción sólida de la tierra fina de suelo (partículas menores de 2 mm) está ocupada en un 95-98% por material mineral y en un 1-3% por materia orgánica.

### ❖ Granulometría o textura del terreno

En cuanto a la granulometría del terreno, o lo que mundanamente se le llama como su textura, se hace referencia a la distribución de tamaños de las partículas elementales que lo componen. Con arreglo al tamaño y con ayuda de alguna guía de textura se determina exactamente el tipo de suelo.

De forma general y considerando sólo en el contenido de arcilla del suelo, se puede clasificar en:

- ) Suelo arenoso, con una cantidad de arcilla inferior al 10%.
- ) Suelo franco, con la relación de arcillas entre el 10 y el 30%.
- ) Suelo arcilloso, arcilla superior al 30%.

La textura influye decisivamente en el comportamiento del suelo respecto a su capacidad de retención de agua y nutrientes, su permeabilidad (encharcamiento, riesgo de lixiviación\* de agua y nitrógeno, etc.) y su capacidad para descomponer la materia orgánica.

Los **suelos arenosos**, sueltos, tienen pocos poros y grandes, están bien aireados, son permeables y pueden almacenar poca agua y nutrientes.

Los **suelos arcillosos**, fuertes, con muchos más poros pero más pequeños, son más compactos, menos permeables y pueden retener una mayor cantidad de agua y elementos químicos. Su fertilidad es, por tanto, más elevada.

### ❖ Estructura del suelo

En líneas generales, puede definirse como la disposición en que se unen las distintas partículas del suelo para formar agregados y la unión de éstos entre sí. De ella, depende que las raíces del cultivo penetren adecuadamente en el suelo, que circule bien el aire y el agua, y que sea más o menos intensa la vida microbiana del suelo. La estructura es siempre más fácil de modificar que la textura.

Cuando las partículas más pequeñas del suelo, soldadas por el humus en presencia de calcio, reemplazan al aire y al agua de los poros, la estructura del suelo es estable y porosa. Cuando las labores se hacen con el tempero adecuado la estructura del suelo se mantiene. Cuando se incorporan al suelo los restos de las cosechas se mejora la estructura. (*Magrama*).



### 2.6.2 EL agua de riego

Es indispensable para las plantas no sólo como alimento, ya que es su componente esencial, sino también para reponer las pérdidas que por evapotranspiración se producen durante el ciclo vegetativo. En el suelo, el agua disuelve los elementos nutritivos que absorben las plantas a través de la solución del suelo.

Con un buen manejo del agua en los riegos, se puede conseguir un importante ahorro de agua y de nutrientes, sobre todo nitrógeno, disminuyendo sus pérdidas por lixiviación\*. Entre las prácticas aconsejables se citan:

- ) En suelos arenosos se deben efectuar riegos frecuentes y con dosis menores que en suelos arcillosos.
- ) Se debe ajustar el intervalo de riego y las dosis a las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de su ciclo.
- ) No se deben aplicar dosis altas de riego en los días posteriores a la aplicación de abonos nitrogenados.

El agua de riego puede contener nitrógeno y otros nutrientes y contaminantes. Es absolutamente necesario conocer el contenido de estos nutrientes en el agua de riego para reducir su cuantía en la fertilización y poner en práctica medidas que minimicen o anulen los posibles efectos contaminantes. La cantidad de nitrógeno que puede aportarse al suelo por el agua de riego, depende de su contenido en nitratos y del volumen de agua utilizado a lo largo del cultivo.

El agua puede contener también potasio y magnesio. Los contenidos de estos dos elementos aportados por el agua de riego también deben considerarse en el momento de calcular la fertilización.

La aplicación de los fertilizantes mejora el aprovechamiento del agua por los cultivos pues aumenta su resistencia a la sequía, regula su transpiración y permite que las plantas necesiten un menor volumen de agua para formar su materia seca.

### 2.6.3 EL pH del suelo

Mide la actividad de los H<sup>+</sup> libres en la solución del suelo (acidez actual) y de los H<sup>+</sup> fijados sobre el complejo de cambio (acidez potencial). La acidez total del suelo es la suma de las dos, porque cuando se produce la neutralización de los H<sup>+</sup> libres se van liberando H<sup>+</sup> retenidos, que van pasando a la solución del suelo.

El pH puede variar desde 0 a 14 y de acuerdo con esta escala los suelos se clasifican en:

- ) Suelos ácidos .....pH inferior a 6,5
- ) Suelos neutros.....pH entre 6,6 y 7,5



## ) Suelos básicos.....pH superior a 7,5

Los suelos tienen tendencia a acidificarse. Primero se descalcifican, ya que el calcio es absorbido por los cultivos o desplazado del complejo de cambio por otros cationes y emigra a capas más profundas con el agua de lluvia o riego. Después, lo normal, es que los iones  $H^+$  ocupen los huecos que dejan el  $Ca^{2+}$  y el  $Mg^{2+}$  en el complejo.

Los abonos nitrogenados, en su mayoría, ejercen una acción acidificante sobre el suelo. También acidifican el suelo los ácidos orgánicos excretados por las raíces de las plantas. En España, los suelos del norte y de la parte más occidental son ácidos y el resto, que son la mayoría, básicos.

### ❖ **Influencia del pH en el suelo**

Un suelo con fuerte acidez es pobre en bases (calcio, magnesio, potasio), la actividad de los microorganismos se reduce y el fósforo disponible disminuye, al precipitarse con el hierro y el aluminio. Los micronutrientes, excepto el molibdeno, se absorben mejor en este tipo de suelos.

Un suelo con fuerte basicidad presenta un alto contenido de bases de cambio, pero la presencia de un elevado contenido de carbonato de calcio bloquea la posible absorción de fósforo y de la mayor parte de los micronutrientes.

La neutralidad en su sentido más amplio (6,6 pH 7,5) es una condición adecuada para la asimilación de los nutrientes y para el desarrollo de las plantas. Ahora bien, algunas como la patata, las pratenses y el centeno prefieren una ligera acidez, mientras que otras como el tomate, el pimiento, la alfalfa y la remolacha prefieren suelos con pH ligeramente elevado.

El poder tampón de un suelo refleja la mayor o menor facilidad que tiene un suelo para modificar su pH, y en gran parte depende de la textura. Los suelos arcillosos presentan una elevada resistencia, es decir, tienen un fuerte poder tampón.

### ❖ **Corrección de suelos ácidos**

Se realiza aportando calcio al suelo bajo distintas formas, lo que se conoce como encalado. El encalado debe realizarse de forma progresiva, pues al aportar el calcio se favorece la destrucción de la materia orgánica. Si se hace muy de golpe puede producirse un “excesivo adelanto de capital” al mineralizarse la materia orgánica muy rápidamente.

Las enmiendas cálcicas y magnésicas son tanto más efectivas cuanto más fina es su granulometría y mayor cantidad aportan de óxido de calcio o magnesio. Los productos más utilizados son la caliza comercial, la cal viva o apagada y la dolomita, que tiene la ventaja de que además de aportar calcio aporta también magnesio.

Todos los productos que se utilicen deberán ajustarse a los tipos, características y especificaciones del anexo I del R.D. 824/2005.



La dosis a emplear depende, sobre todo, de la textura y nivel de acidez del suelo. De forma práctica se puede decir que en un suelo arcilloso sería necesario triplicar la dosis respecto a la de un suelo arenoso.

### ❖ Corrección de suelos alcalinos

Aunque posible, es más costosa y complicada que la corrección de suelos ácidos, y sólo se realiza cuando hay problemas adicionales de salinidad.

#### 2.6.4 Salinidad en los suelos

Se dice que un suelo es salino cuando contiene un exceso de sales solubles, producido por el empleo de aguas salinas para el riego o por el ascenso hasta el suelo de las sales que contiene el subsuelo, lo que puede suceder cuando se pone en regadío una finca.

Los efectos de la salinidad sobre las plantas son de dos tipos. Por una parte, se incrementa el potencial osmótico de la solución del suelo y las plantas necesitan más esfuerzo para absorber el agua. Por otra, algunos iones: sodio, cloro y boro, absorbidos en exceso, producen efectos tóxicos.

La cantidad de sales contenidas en la solución del suelo se mide por la Conductividad Eléctrica del extracto de saturación (CEes). El sodio, que causa la dispersión de las arcillas, se valora por el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI). En base a estos parámetros los suelos se clasifican en:

- ) Suelos Salinos CEes > 4 dS/m
- ) Suelos Sódicos CEes < 4 dS/m y PSI >15%
- ) Suelos Salinos-Sódicos CEes > 4 dS/m y PSI >15%

Para la recuperación de estos suelos debe procederse de la forma siguiente:

- ) En los suelos salinos, que frecuentemente presentan una costra blanca de sales pero cuya estructura no se ve afectada, se realizará un lavado de las sales que contiene. Los lavados sirven para reducir la salinidad inicial (lavados de recuperación) o impedir que el suelo se salinice de nuevo (lavados de mantenimiento).
- ) En los suelos sódicos se adicionarán mejorantes que aporten calcio (yeso ó fosfoyeso), o sean ácidos (azufre o ácido sulfúrico).
- ) En los suelos salinos-sódicos se realizarán dos operaciones: primero la adición de un mejorante, que aporte calcio para desplazar al sodio, y segundo un lavado para arrastrar al sodio a capas profundas del suelo.

Para la redacción de este capítulo, se ha hecho uso de la *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España*, facilitada a través del Ministerio de



Medio Ambiente. Se recomienda acudir a ella para ampliar los conocimientos en estos apartados expuestos.

## **CAPÍTULO 3: EL PROCESO**

### **3.0 Introducción del capítulo**

En el presente capítulo se van a desarrollar todos los detalles referentes al proceso productivo. En el mismo se abarcará desde la selección de nutrientes y materias primas, hasta la definición del proceso o capacidad de la planta.

### **3.1 Productos**

El primer punto al que se debe responder en el diseño de esta planta es al de qué producir exactamente, que no es otra que fertilizantes líquidos claros.



Son abonos que se obtienen mediante la disolución y mezcla física de distintas sustancias químicas en agua. Para esa disolución puede que haga falta el aporte de calor, bien mediante la adición de agua caliente proveniente de una caldera, bien mediante un intercambiador de calor.

En concreto, tras recurrir a fuentes gubernamentales y analizar los estadísticos de consumo y gustos del mercado al que va dirigido esta producción, que fundamentalmente es el español, sobretodo el andaluz y sevillano, se ha llegado a la selección de seis formulaciones de NPK ( % de nitrógeno, % de fósforo y % de potasio), o lo que es lo mismo de fertilizantes líquidos. Estas formulaciones son:

**Tabla 3.1.** Principales formulaciones elaboradas en la planta.

Formulación NPK	% en peso		
	N	P2O5	K2O
4-8-12	4	8	12
6-8-8	6	8	8
8-4-10	8	4	10
10-6-10	10	6	10
10-4-6	10	4	6
12-4-6	12	4	6

*Fuente: Magrama*

Estos, podrán encontrarse ya preparados en alguno de los tanques de almacenamiento, o bien habrá que prepararlos bajo pedido. La decisión de que productos mantener en stock, dependerá de la respuesta de los mercados y, en todo caso, la resolución final será a manos del **gestor de la fábrica** y su departamento de operación.

A todo ello hay que sumar los llamados **fertilizantes líquidos a “la carta”** o a medida. Este será el punto fuerte de la planta. Un estudio integral de las necesidades de fertilización de cada agricultor, mediante incluso la toma de muestras del terreno de cultivo y su agua de riego para su análisis y su correspondiente solución personalizada.

La fertilización a medida permite ajustar las dosis de nutrientes a las necesidades inmediatas e intrínsecas de cada cultivo del cliente concretamente. Esto supone un ahorro de materiales así como un uso más eficiente y respetuoso con el medioambiente. Además, se reducen posibles problemas de salinidad en el suelo al reducir la cantidad de nutrientes aportados.

Las soluciones claras en esta fábrica desarrolladas, serán formuladas de manera que las mismas aseguren su calidad, temperaturas de cristalizaciones adecuadas a la región, maximizando su eficiencia y respeto al medio ambiente. Muchas de estas formulaciones, han sido calculadas y pueden ser analizadas en **Tomo II, Memoria de cálculo.**



### 3.2 Objetivo y capacidad de producción

El objetivo de producción que se ha marcado para esta fábrica ha surgido de un elaborado estudio del mercado sevillano y andaluz. Se han tenido en consideración los principales cultivos de la zona, sus hectáreas en activo, así como otros factores como pueden ser la cantidad de fertilizantes consumidos por hectárea en la región analizada y lo más importante, la época o meses del año en las que se realizan las labores de abonado.

Las fluctuaciones en el volumen de producción que se prevén serán causadas fundamentalmente por el condicionante explicado en el apartado 1.7 de esta memoria, que no es otro que la fuerte estacionalidad de la demanda. El mercado de los fertilizantes sufre grandes variaciones en su volumen de ventas causadas por las distintas épocas de abonados que hay en el año, según cultivo, región, meteorología, etc. es por ello por lo que la planta tiene que tener un sobredimensionamiento en lo que se refiere a capacidad de almacenaje y/o de producción.

Haciendo uso de los datos estadísticos del sector, recogidos tanto de la página del Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente, como de la Junta de Andalucía y de la ANFEE\*, se puede elaborar una tabla en la que se recogen los principales cultivos en la provincia de Sevilla, principal nicho de mercado por la situación geográfica de la planta, así como las hectáreas cultivadas, necesidades de abonado y los meses en los que se abonan (Tabla 3.2):

**Tabla 3.2** Principales cultivos en la provincia de Sevilla, según hectáreas dedicadas a ellos, necesidades de abonado y meses en los que se fertiliza.

Sevilla			MES											
Cultivo	ha	Abono Kg/ha	ENE	FEB	MAR	ABRIL	MAYO	JUN	JUL	AUG	SEPT	OCT	NOV	DIC
Trigo	180000	300/300												
Cebada	9000	250												
Avena	11000	200												
Triticale	11300	250												
Arroz	36000	430												
Maíz	24000	600/700												
Total cereales	270000	300												
Cítricos	60000	1300												
Otros frutales	11000	1000												
Hortalizas	11000													
Remolacha	5500	500												
Algodón	45000	500/700												
Girasol	85000	-----												
Flores	25000	n/s												
Legumbres	13000													
Olivar	222600	300												



Tubérculos	4500													
Viñedos	1000													

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se aprecia claramente que en la provincia de Sevilla, los meses en los que se abona se agrupan fundamentalmente en torno a los primeros meses del año, no siendo ello excluyente a aportaciones fertilizantes durante el resto del año. Es por ello que la producción de la planta diseñada tendrá que cubrir ese pico de demanda, quedando el resto del año infrautilizada, llegando incluso si fuera necesario a parar total o parte de la producción y/o cerrar en meses como julio o agosto. Dicha decisión quedará a manos del gestor y de la sinergia que obtenga la fábrica durante los primeros años de funcionamiento.

Pues bien, si se siguen recopilando los datos pertinentes de las páginas anteriormente mencionadas, se puede montar una comparativa entre los consumos anuales de fertilizantes a nivel provincial, de la comunidad autónoma y nacional (Tabla 3.3).

**Tabla 3.3.** Consumos de abonos en mercado regional, andaluz y español.

Consumo de Fertilizantes (en t/año)			
Tipos de Fertilizantes	Sevilla	Andalucía	España
NPK y soluciones nitrogenadas	65.000	371.500	2.051.000
Abonos en general	150.000	825.500	4.762.000

Fuente: Elaboración propia.

El principal nicho de mercado es, como ya se indicó la propia provincia de Sevilla, así como Andalucía en general. Ello no conlleva que no se puedan enviar lotes al resto de España, pero por el simple hecho de la proximidad parece más factible que los consumidores vengan de esta región.

Se ha fijado una estimación inicial de ventas de aproximadamente unas **10.000 t/año**, pudiéndose alcanzar cotas incluso superiores. En años sucesivos, una vez que se haya implantado la fábrica en el mercado y se acostumbren los consumidores a la misma, la previsión es de un aumento en las ventas.

Pues bien, si se enfrenta dicha estimación inicial a los datos anteriormente ilustrados mediante las tablas 3.1 y 3.2, se pueden sacar varias conclusiones. En primer lugar, que una producción de unas **10.000 t/año** se corresponde a un volumen de mercado en porcentaje de (Tabla 3.4):

**Tabla 3.4.** Porcentajes de mercados de la planta a nivel regional, andaluz y español.

**Porcentaje de la fábrica en el mercado de Fertilizantes**

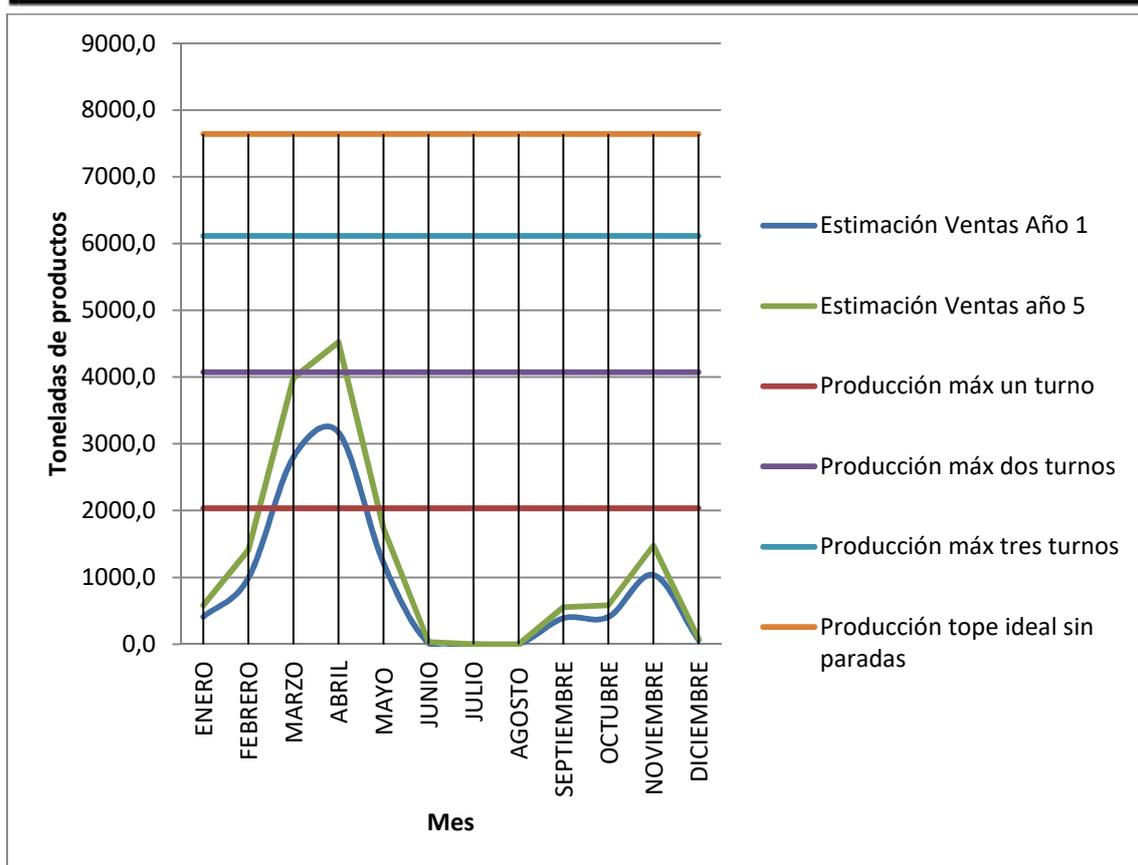
Tipos de Fertilizantes	Sevilla	Andalucía	España
NPK y soluciones nitrogenadas	15%	3%	0,5%
Abonos en general	7%	1,5%	0,2%

*Fuente: Elaboración propia.*

En segundo lugar, que esta estimación inicial de producción es la base sobre la que fundamentar la futura posible expansión de la planta. Se ha tenido en cuenta que se aumentará el volumen de producción de forma anual para responder a un aumento en la presencia en el mercado de la misma, de forma que el porcentaje del mercado al que responderá esta fábrica aumentara a ritmo aproximado del 1% anual en los próximos 5 años, a la vez que aumentan también ligeramente el consumo de estos fertilizantes tras la recuperación económica, pudiéndose elevar las ventas a unas **15.000 t/año**.

En el siguiente gráfico se pueden ver tanto las demandas esperadas como las estimaciones de producción, ponderadas por factores de corrección que tienen en cuenta paradas y fallos en las líneas de las misma, así como el tope de fabricación de la fábrica de forma ideal a tres turnos. Gráfico 3.1.

**Gráfico 3.1.** Evolución anual del mercado actual, estimada a 5 años y producción de la planta.



Fuente: Elaboración propia

A la vista de este gráfico se dimensionaron los equipos de forma que son capaces de producir unas **100-120 t al turno**, a fin de poder hacer frente al gran incremento de la demanda de los meses anteriormente mencionados. Todo ello teniendo en cuenta que había que evitar en la mayor medida posible interrupciones de la producción durante estos meses, pues harían peligrar la economía de la empresa.

También se podría anticipar estos picos de ventas y adelantar la producción de los principales productos demandados en esos meses, almacenando producto o soluciones madre básicas para hacer frente a estos meses críticos. Sin embargo, debido a que el complejo tiene como objetivo la diversidad de formulaciones y la fabricación a la carta, tener grandes almacenamientos de productos a costa de una capacidad de producción más reducida y emplazada a lo largo de más meses no tiene mucha cabida.

El diseño finalmente adoptado minimiza los cuellos de botella para evitar paradas innecesarias.

### 3.3 Selección de materias primas

#### 3.3.1 Macronutrientes

Los macronutrientes son los componentes fundamentales de las distintas sustancias fertilizantes, ya que aportan los principales compuestos necesarios para el



correcto funcionamiento y crecimiento vegetal, así como son los componentes más abundantes en la mayoría de formulaciones.

## ❖ Nitrógeno

El nitrógeno puede considerarse nutriente más importante y eje central de la gran mayoría de formulaciones. Esto es debido a que es el usualmente más demandado por los clientes por su función en el crecimiento vegetal. Además, es uno de los componentes a seleccionar entre distintas materias primas más baratas y con mejores solubilidades. Suele dar lugar a fertilizantes líquidos de fácil manejo y uso. Para este tipo de componentes, es deseable alcanzar concentraciones óptimas en la solución del suelo entre 200 y 250 ppm (mg/L) de N. No obstante, dichas tasas dependen en gran medida de la etapa de crecimiento del cultivo, factores ambientales tales como el clima, el tipo de cosecha, los mercados a los que van dirigidos los productos, etc.

Uno de los factores importantes a la hora de seleccionar una fuente de nitrógeno para una formulación específica, es determinar la proporción de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y de amonio ( $\text{NH}_4$ ) deseada según las especificaciones del cliente para su cultivo. Hay que considerar la influencia de cada forma iónica en el suelo de cultivo. Cantidades más elevadas de  $\text{NO}_3$  aumenta el pH y a la inversa, una de  $\text{NH}_4$  la acidifica, con las consecuencias que ello implica, como pueden ser por ejemplo variaciones en las solubilidades de otros elementos nutrientes necesarios para los cultivos.

Las principales materias primas para el aporte de nitrógeno son la urea, el nitrato amónico, el UAN y el ácido nítrico.

La urea desde un punto de vista comercial tiene grandes ventajas, como son su bajo precio y gran disponibilidad. Además su alta solubilidad la hace una fuente de nitrógeno idóneo. Sin embargo hay que tener cierto cuidado a la hora de emplearla, pues tiene algunas características que pueden afectar nocivamente a las formulaciones, como por ejemplo su concentración de biuret\* o la necesidad de su nitrógeno aportado de más días para poder estar disponible para la planta.

Por su lado, el nitrato de amonio cuenta con una gran aceptación popular como fuente de nitrógeno y es una materia prima también barata. Otra característica es que no presenta elementos tóxicos ni deja residuos en el suelo, además baja el pH del agua de riego. Hay que tener cuidado con su almacenamiento en estado sólido, especialmente si posee concentraciones de nitrógeno elevadas, por su carácter comburente, pudiendo agravar incendios.

La mezcla líquida de nitrato amónico y urea, también conocida como UAN, es una fuente de nitrógeno idónea para muchos cultivos, y puede ser empleada tanto como materia prima para otras formulaciones como para su venta directa al público.

Por último, el ácido nítrico tiene un uso fundamentalmente como corrector de pH de la solución nutritiva madre, variando la dosis en función del volumen de solución y el pH que se desea obtener. También tiene un gran uso para prevenir precipitaciones e precipitaciones calcáreas que dan lugar a taponamientos de goteros y conducciones. Especialmente recomendado para aguas muy duras.



A la hora de formular un fertilizante, usualmente se emplean nitratos de calcio, potasio o magnesio para así suplir la necesidad de K, Ca y Mg en las mismas. Es recomendable la disolución en ciertos casos de sulfatos en vez de los nitratos mencionados y aportar de esta forma el azufre que ciertos cultivos demandan. Esta opción habría que complementarla con un aporte de nitrógeno en forma de nitrato de amonio o urea.

Finalmente se seleccionó como fuentes principales de nitrógeno la **urea** y el **nitrato amónico**, siendo el **nitrato cálcico**, **sulfato amónico** y el **nitrato potásico** fuentes también empleadas en la fábrica según requerimientos de la formulación. Todo ello tras analizar precios, disponibilidades en la zona, compatibilidades con otros elementos, etc.

### ❖ Fósforo

El fósforo puede encontrarse en distintas materias primas, como son el fosfato monoamónico, el fosfato diamónico, el fosfato monopotásico, el ácido fosfórico y distintas soluciones de polifosfatos, entre otras. Hay que tener en cuenta que los fertilizantes que lo contienen deben intentar favorecer el movimiento de este elemento por el suelo, ya que de por sí tiene una reducida movilidad y tiende a acumularse en las zonas cercanas a su vertido.

El fosfato monoamónico y el diamónico cristalinos y el fosfato monopotásico, son compuestos que pueden encontrarse en los mercados con apariencia de sólidos en polvo. Poseen las ventajas de una alta solubilidad y una alta proporción de cationes nutrientes, lo que le ofrece un bajo potencial salino. Además, el fosfato monoamónico y el diamónico son fertilizantes que generen salinidad y el pH de la reacción que producen es totalmente ácida. El fosfato monopotásico por su parte no genera salinidad, aunque también es de reacción ácida.

El ácido fosfórico es una sustancia ampliamente usada y relativamente barata respecto a otras fuentes de fósforo. Suele dar lugar a soluciones ácidas, cuyo pH se encuentra normalmente entre 1 y 3, más usualmente menor a 2. Este suele ser mezclado con UAN, urea, cloruro de potasio, sulfato de amonio, etc., para dar lugar a formulaciones completas. Algunas de las principales ventajas de las soluciones fosfatadas ácidas a base de ácido fosfórico son por ejemplo que pueden disolver una gran cantidad de micronutrientes, además de aportar una gran solidez frente a la formación de precipitados cuando se emplean aguas duras. No obstante, tiene la desventaja de tener cierta capacidad corrosiva, siendo necesario un especial cuidado en su manipulación, dotando al personal de la formación y medidas de protección de las vías respiratorias, los ojos y el contacto con la piel. Su incompatibilidad con otras materias primas tales como los principales abonos que aportan calcio y magnesio o las sales de hierro, tanto orgánicas como inorgánicas, formando precipitados insolubles, es otra de sus grandes desventajas.

Por último, los polifosfatos de amonio (APP\*) son las soluciones fosfatadas más difundidas a nivel global y pueden ser empleadas como materia prima de fósforo con un rendimiento excelente. Los grados más utilizados son 10-34-0 y 11-37-0. La mayor parte de las soluciones de APP se obtienen a partir del ácido superfosfórico (proceso húmedo), amonio y agua. En concreto, la solución de grado 10-34-0 contiene comúnmente más de 65-70 % del P total en forma de polifosfato, siendo el 30-35 % restante ortofosfato, siendo



la más usual en los mercados. Las soluciones de APP pueden contener dos o más de varias especies de fosfatos tales como ortofosfatos, pirofosfatos y especies lineares de fosfatos conteniendo tres o más átomos de fósforo que incluyen comúnmente tri-polifosfatos y tetra-polifosfatos. Un atributo de gran relevancia del APP es su capacidad secuestrante (quelante) de cationes, permitiendo incorporar una mayor cantidad de micronutrientes en las formulaciones NPK que utilicen APP como materia prima.

En cuanto al fósforo, el **ácido fosfórico “verde”** y la solución de polifosfatos de amonio **10-34-0**, son las materias primas seleccionadas. Este ácido fundamentalmente por su precio y disponibilidad en el mercado, y los APP por su necesidad de uso en ciertas formulaciones en las cuales no es recomendable o posible el uso del ácido y su característica de mejorar la incorporación de micronutrientes a las mezclas.

### ❖ Potasio

El potasio al igual que el fósforo tiene también poca movilidad en el suelo, ya que es mantenido con éxito en los sitios de intercambio, por lo que formulaciones cuyos elementos mejoren su movilidad serían a priori deseables. En concreto, se moviliza más que el fósforo y mucho menos que el nitrato o la urea.

Hay una característica bastante inusual en este elemento, y es que cualquier fuente de potasio es igualmente efectiva para proveer este nutriente. Sin embargo, es importante la solubilidad y el anión acompañante, que debería ser absorbido como nutriente y no elevar innecesariamente la salinidad del medio.

Entre las distintas fuentes más usuales, se encuentran el cloruro potásico, sulfato potásico y nitrato potásico. Esta última es bastante popular ya que presenta ventajas de solubilidad, alta concentración de potasio y además aporta nitratos en cantidades razonables, para suplir una buena parte de los requerimientos de nitrógeno. Sin embargo su precio es elevado.

En cuanto al cloruro de potasio es la fuente más barata, y por ello su empleo como fuente de potasio es muy deseable. Además, su solubilidad a bajas temperaturas es mayor que la del nitrato potásico. Sin embargo, sólo es conveniente usarlo si no hay problemas de salinidad o alta conductividad de la solución, ni cultivos sensibles al cloro.

El sulfato de potasio cristalino es un fertilizante que a diferentes concentraciones, no influye en la temperatura final de la solución. En cuanto al pH, el sulfato de potasio genera una reacción alcalina. La salinidad que genera el sulfato de potasio a partir de una solución de 1 g/L es un poco superior a la generada por el nitrato. Entre sus ventajas suministra azufre en cantidades suficientes, necesarias para aquellos suelos de bajo contenido de materia orgánica y puede combinarse sin problemas con ácidos nítrico o fosfórico.

**Nitrato potásico, cloruro potásico y sulfato potásico**, son las elecciones como fuentes de potasio. El uso del nitrato potásico debería estar limitado a ocasiones que así lo requieran, por su alto precio en comparación con el cloruro potásico. El sulfato de potasio tampoco es una opción siempre que pueda ser empleado el cloruro potásico, por su elevado precio frente a este y su necesidad de calentamiento para mejorar solubilidad.



### ❖ Azufre, calcio y magnesio

Son elementos cuyo aporte a la sustancia fertilizante deseada se realizará como consecuencia del mezclado de ciertos nitratos o sulfatos. En concreto, para el calcio se ha seleccionado el **nitrato cálcico**, para el magnesio el **sulfato magnésico** (bajo precio y excelente solubilidad) y para el azufre este último y el **sulfato de amonio** o el **sulfato potásico**. Dependiendo de la necesidad de uno u otro elemento en el fertilizante líquido, así como por la disponibilidad en ese momento o su precio, serán seleccionadas unas materias u otras desde el stock de la fábrica.

### 3.3.2 Micronutrientes

La denominación de micronutriente es debida a su bajo contenido en la planta, pero no por su menor importancia, ya que su carencia puede ser tan perjudicial para el desarrollo de los cultivos como la de cualquier macronutriente.

La incorporación de micronutrientes en fertilizantes fluidos y su aplicación utilizando como vehículo formulaciones líquidas, permite una dosificación precisa y una aplicación uniforme de los nutrientes. Con la excepción del B y Mo, las principales fuentes de micronutrientes utilizados en formulaciones líquidas son sulfatos, quelatos o complejos.

Tabla 3.5. Fuentes inorgánicas de micronutrientes.

Fuente	Contenido	Forma química	Solubilidad
<b>Borax</b>	11% B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Ácido bórico</b>	20% B	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Pentaborato de sodio</b>	18% B	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Tetraborato de sodio (Fertibor®)</b>	21% B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Soluble
<b>Octaborato disódico decahidratado (Solubor®)</b>	21% B	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Sulfato de cobre pentahidratado</b>	25% Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Sulfato de cobre monohidratado</b>	35% Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Sulfato férrico heptahidratado</b>	20% Fe	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Sulfato de manganeso</b>	27% Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Molibdato de amonio</b>	54% Mo	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Molibdato de sodio</b>	39% Mo	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Sulfato de zinc Heptahidratado</b>	22-23% Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Soluble
<b>Sulfato de zinc monohidratado</b>	36-37% Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Soluble



<b>Sulfato de zinc amoniaco</b>	10% Zn	$Zn(NH_3)_4SO_4$	Soluble
<b>Oxisulfato de zinc</b>	20-60% Zn	$xZnSO_4 \cdot xZnO$	Soluble

Fuente: Bell & Dell (2008)

La selección de la fuente de micronutriente a ser utilizada como materia prima en formulaciones líquidas multielementales se basa fundamentalmente en la compatibilidad de las mismas con las fuentes de macronutrientes. Asimismo, la solubilidad de Cu, Fe, Mn y Zn los micronutrientes es mayor en soluciones de polifosfatos que en soluciones de ortofosfatos. Los polifosfatos secuestran los micronutrientes metálicos y los mantienen en altas concentraciones en solución. La solubilidad de los micronutrientes también se puede modificar a través del manejo del pH de la solución. Así, en soluciones de UAN, si el pH es mantenido entre 7 y 8 a través del agregado de amonio, la solubilidad del sulfato de zinc se incrementa de 0,5 a 2%, permitiendo la aplicación de dosis más ajustadas a los requerimientos agronómicos (Bell y Dell, 2008).

**Tabla 3.6.** Quelatos y algunos complejos utilizados como fuente de micronutrientes.

<b>Fuente</b>	<b>Formula química</b>	<b>% de elemento</b>
<b>Quelatos de cobre</b>	$Na_2CuEDTA$	13-14
	$NaCuHEDTA$	9
<b>Lignosulfonato de cobre</b>	-	4-5
<b>Poliflavonoides de cobre</b>	-	4-7
<b>Quelatos de hierro</b>	$NaFeEDTA$	5-14
	$NaFeHEDTA$	5-9
	$NaFeEDDHA$	4-6
	$FeEDDHMA$	4-6
	$FeEDDHSa$	3-6
	$NaFeDTPA$	10
	$FeEDDCHA$	6
<b>Lignosulfonato de hierro</b>	-	5-8
<b>Poliflavonoide de hierro</b>	-	9-10
<b>Quelatos de manganeso</b>	$MnEDTA$	5-12
	$MnDTPA$	6
<b>Lignosulfonato de manganeso</b>	-	5
<b>Poliflavonoide de manganeso</b>	-	5-8
<b>Quelatos de zinc</b>	$Na_2ZnEDTA$	8-14
	$NaZnHEDTA$	6-10



	NaZnEDTA	9-13
	NaZnNTA	9-13
<b>Lignosulfonato de zinc</b>	-	5-12
<b>Poliflavonoide de zinc</b>	-	5-10

*Fuente: Bell & Dell (2008)*

Si se analizan cada uno de los microelementos por separado para su selección, se puede tener una visión más específica de cómo interactúan estos con el suelo, las plantas y otros compuestos.

### ❖ Hierro

La adición de hierro no es buena solución si no se utilizan productos que aseguren la permanencia en forma soluble en el suelo, y esto se logra aplicando quelatos de hierro de alta estabilidad. Entre ellos los más usados son los que tienen EDDHA, compuesto que puede presentar dos isómeros: el orto-orto de alta estabilidad y eficacia a largo plazo y el orto-para de menor estabilidad, pero de rápida respuesta. Existen productos con una elevada presencia en orto-para y otros en cuya composición sólo hay orto-orto. Lo importante es tener en cuenta la riqueza en los isómeros y no en Fe soluble, ya que si el Fe no está quelado precipitará y no será usado por las plantas. EDDHMA, EDDHSA y EDDCHA forman también quelatos férricos de alta estabilidad. Los dos últimos son los más solubles por lo que suelen ser los más usados en fertilizantes líquidos. Para cultivos poco sensibles, o sustratos no tan calcáreos y con adición frecuente de quelatos, es posible usar los quelantes de menor estabilidad para el hierro como son EDTA, HEEDTA y DTPA. Recientemente se ha propuesto el uso de IDHA como agente quelante biodegradable.

No suele ser rentable el uso de quelatos en cultivos de menor valor añadido, por lo que en esos casos se pueden realizar aplicaciones foliares con compuestos como sulfato ferroso o complejos de Fe, utilizando un mojante adecuado. Dado que las aplicaciones foliares no mejoran el movimiento del Fe en la planta es necesario repetir las varias veces.

### ❖ Manganeso, zinc y cobre

La solución es similar a la del caso del hierro: deben ser aplicados al suelo de forma soluble y asimilable por la planta. Los quelatos más eficaces en este caso son los de DTPA, EDTA, HEEDTA y también IDHA. Sin embargo, ninguno es una solución completamente satisfactoria, sobre todo para el manganeso, si el contenido de caliza del suelo es muy elevado.

En suelos muy lavados de bajo pH, es posible que el contenido total de zinc e incluso de manganeso, no sea suficiente para nutrir a los cultivos. En estos casos la incorporación de sales inorgánicas puede ser adecuada y barata, aunque igualmente los quelatos y complejos serán más eficaces.

### ❖ Boro



Las principales fuentes de boro son el ácido bórico o los boratos sódicos o cálcicos que, muy frecuentemente se aplican junto a los fertilizantes complejos NPK con la fertilización de fondo.

### ❖ Molibdeno

La aplicación de molibdato amónico o sódico es suficiente para resolver el problema; si se incorpora al suelo.

A la vista de los análisis individuales de cada elemento, teniendo en cuenta además que en la fábrica proyectada se va a hacer uso de la solución madre nitrogenada UAN, entre otras, es conveniente ver las interacciones de la misma con dichos micronutrientes. Por ejemplo, utilizando bórax como fuente de B en soluciones de UAN 32 se puede obtener una solución con 0,17% de B (a 0°C), mientras que empleando ácido bórico, se puede alcanzar una mayor concentración (0,32% de B). En cuanto al Zn, en esta misma solución, se alcanza una concentración de 0,24% de Zn y como se mencionó antes, se puede incrementar sustancialmente la solubilidad a través del agregado de amonio (2% de Zn). Asimismo, cuanto más baja sea la concentración de N de la solución de UAN (UAN 28), mayor es la posibilidad de incrementar la concentración de Zn en forma de sulfato. En cuanto a los quelatos sintéticos, se puede lograr un 0,45% de Zn y Cu en soluciones de UAN 32.

Por otra parte, los sulfatos de Fe, Cu, Mn y Co son incompatibles con soluciones de ortofosfatos de grado 8-24-0. El agregado de polifosfatos (mínimo 45 % del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total) o el uso de quelatos son estrategias adecuadas para aportar estos microelementos en concentraciones viables desde el punto de vista agronómico. En cuanto al B, utilizando bórax se logra 1% de B y con molibdato de sodio 0,5% de B. La acidificación de la solución incrementa la solubilidad de los micronutrientes metálicos.

En la misma línea, debido a la capacidad de secuestro de cationes de los polifosfatos, la solubilidad de los metales en soluciones 10-34-0 y 11-37-0 es significativamente mayor que en soluciones de ortofosfatos de grado similar (8-24-0). De hecho, la solubilidad de los mismos es directamente proporcional al contenido de polifosfatos de la solución. Se han reportado soluciones estables por más de 20 días a 20°C preparadas en base a sulfato de microelementos metálicos y 10-34-0, logrando una concentración individual de nutrientes del 1% para Zn, Cu, y Fe.

Estos datos, junto a unos análisis de compatibilidades, precios, mercados, disponibilidades, etc. han de ser tomados en cuenta por el gestor, ingeniero (normalmente de la especialidad agronómica) o químico encargado y responsable de la operación en la planta, a la hora de seleccionar las distintas fuentes de micronutrientes que serán empleadas en los diversos procesos. Además, sería recomendable realizar lo que se conoce como un “Jar test”, de las diversas alternativas.

**Tabla 3.7.** Selección de las principales fuentes de microelementos.

Microelemento	Fuente	Formula química
Boro	Borax	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> · 10H <sub>2</sub> O



<b>Cloro</b>	Cloruro de potasio	KCl
<b>Cobre</b>	Poliflavonoides de cobre	-
<b>Hierro</b>	Quelatos de hierro	NaFeEDTA
		NaFeEDDHA
		FeEDDCHA
	Sulfato férrico heptahidratado	FeSO <sub>4</sub> .7 H <sub>2</sub> O
<b>Manganeso</b>	Quelato de manganeso	MnEDTA
<b>Molibdeno</b>	Molibdato de amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> .4H <sub>2</sub> O
<b>Zinc</b>	Quelato de zinc	Na <sub>2</sub> ZnEDTA

Fuente: Elaboración propia

Con ello, se tienen cubiertos todos los microelementos que puedan ser demandados desde el departamento de control y diseño del proceso. Este será el encargado de crear y ejecutar las distintas formulaciones, tanto de los productos listados por la empresa, como aquellos que se hagan explícitamente para cada cliente que así lo requiera, también conocidos como “a la carta”.

### 3.3.3 Selección final

Las materias primas empleadas en el proceso productivo se seleccionaron teniendo en cuenta varios factores, como pueden ser: precio, disponibilidad en el mercado, influencia en el pH del producto, versatilidad en el proceso de producción, tener disponible distintas fuentes para un mismo nutriente y así poder tener un cierto juego en el stock de almacén, compatibilidades, temperaturas de cristalización, etc. Todo ello sin olvidarnos de lo fundamental, el agua. Así, tenemos:

**Tabla 3.8.** Materias primas empleadas.

MACRONUTRIENTES		MICRONUTRIENTES
Sólidos	Líquidos	
Urea Nitrato Amónico Cloruro Potásico Nitrato Potásico Sulfato Potásico Nitrato Cálcico Sulfato de Amonio Sulfato de Magnesio	Ácido Fósforo NPK 10-34-0 UAN32	Borax Poliflavonoides de cobre Quelatos de hierro: (NaFeEDTA, NaFeEDDHA, FeEDDCHA) Sulfato férrico heptahidratado Quelato de manganeso Molibdato de amonio Quelato de zinc

Fuente: Elaboración propia

Para obtener información adicional, consultar Tomo II “Selección de materias primas”.

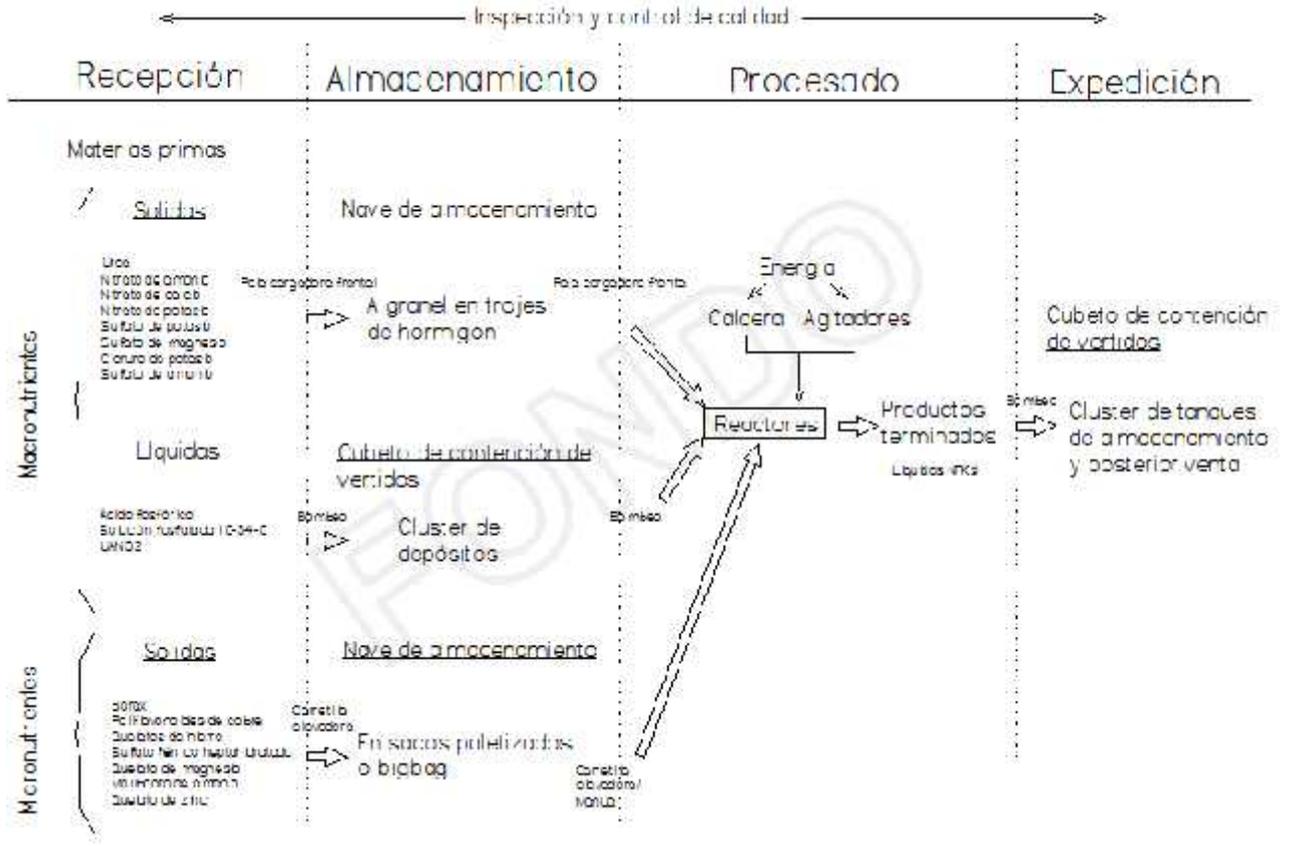


### 3.4 El proceso productivo

#### 3.4.1 Esquema general y diagrama de flujo de producción

En líneas generales, el proceso de producción de la planta puede resumirse en las siguientes figuras (figuras 3.1 y 3.2). Las mismas han sido sacadas de los planos que se agregan en este proyecto, para más detalles se sugiere recurrir a los mismos.

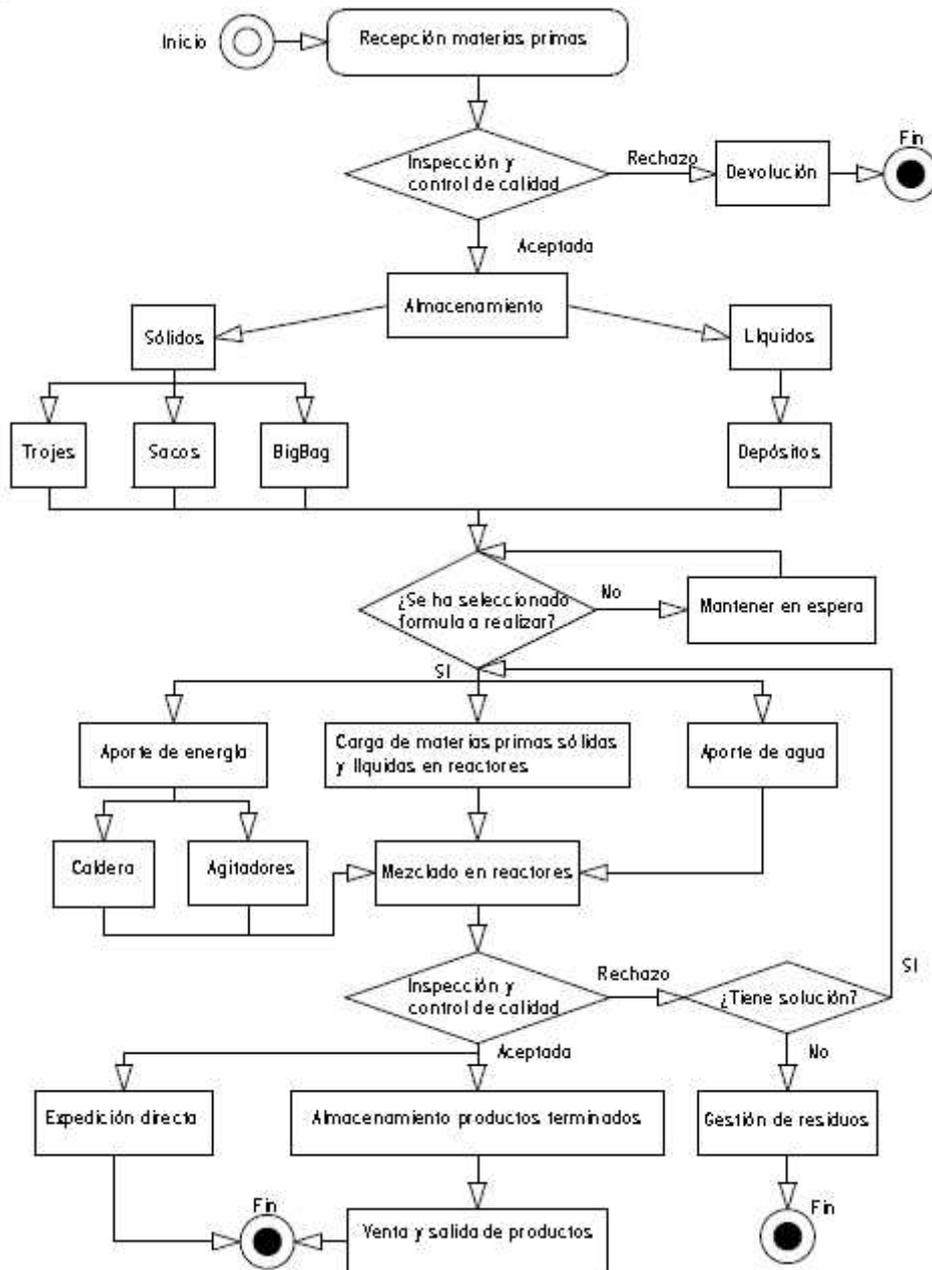
Figura 3.1 y 3.2. Esquema general de diseño.



Fuente: Elaboración propia

En dicho plano, se ve que el proceso de fabricación está dividido en cuatro etapas, recepción, almacenamiento, procesado y expedición. Cada una de las cuales tiene una problemática y una serie de acciones concretas, cuya solución adoptada en este mismo aparatado.

Figura 3.2. Diagrama de flujo general de la planta.



Fuente: Elaboración propia

En la segunda figura, se ve claramente el funcionamiento de la fábrica. Citar que en los planos se pueden encontrar, además de este diagrama de flujo, otros dos, uno en el que se explicita el proceso de fabricación de un cierto fertilizante cualquiera y otro en el que se diseña la gestión de clientes, desde que este se pone en contacto con la empresa hasta que obtiene su fertilizante líquido.

### 3.4.2 Recepción de materias primas

La primera etapa es la recepción de materias primas. El departamento encargado de la gestión de la fábrica, tras analizar los distintos niveles de materias primas, la evolución de precios en el mercado, la previsión de ventas, etc., realiza un pedido a alguno de los distintos proveedores y estos envían la mercancía a la planta. Nada más llegar, el camión debe pesarse en la báscula que a tal efecto se situará en la fábrica y se



enviará el mismo a la zona de almacenaje, tras la pertinente verificación y toma de muestra de la mercancía. Esto debe realizarse tanto si el camión trae sustancias líquidas como sólidas. Además, antes de salir del complejo deberá volver a pesarse, para así confirmar la cantidad de materia prima entregada.

Este paso de pesaje será controlado por un operario de la fábrica situado en un edificio noble multiusos situado cerca de la entrada.

En el caso de que la zona de acceso a la nave almacén esté ocupada o la báscula, dicho camión podrá esperar su turno de acceso en el aparcamiento de camiones que se establecerá en el recinto. Esto será así para evitar posibles colapsos, colas o inconvenientes en la vía pública del parque empresarial en el que se encuentra la planta.

### 3.4.3 Almacenamiento

Es aquí donde se inicia la etapa segunda, la de almacenaje. La gestión del almacén es uno de los puntos más importantes del proceso. Una buena gestión del mismo, sobre todo durante las épocas de fuerte demanda y máxima producción en la planta, pueden evitar numerosos problemas y hacer ganar al gestor unos buenos beneficios, tanto monetarios como en reputación corporativa.

Dicho almacenamiento, tras considerar las ventajas e inconvenientes de múltiples opciones (paletizados, silos, domos, al aire libre, etc.), se realizará bien en depósitos situados en un clúster, en caso de ser materias primas líquidas, o bien en una nave de almacenamiento si es materia prima sólida a granel o micronutrientes.

La materia prima en polvo a granel o micronutrientes, serán almacenados en dicha nave en trojes de almacenamiento de hormigón, en concreto, se disponen de:

**Tabla 3.9.** Capacidad de los trojes de almacenamiento.

NAVE DE ALMACENAMIENTO				
Tipo de nutrientes	Forma	Capacidad nominal	Capacidad máxima	Número de trojes
Macronutrientes	Graneleo	45'5m <sup>3</sup> ( 50 t)	95 m <sup>3</sup> ( 100 t)	6
Macronutrientes	Graneleo	42 m <sup>3</sup> ( 46 t)	60 m <sup>3</sup> ( 72 t)	2
Micronutrientes	Paletizados, bisbag o bidones de 1.000 l	El primero y el último, para unos 10 palets/bigbags por troje a una altura (posibilidad de posicionar a más alturas).		2
<b>Totales</b>	-	<b>565 m<sup>3</sup> ( 616 t)</b>	<b>730 m<sup>3</sup> ( 784 t)</b>	<b>10</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Para el caso de la materia prima líquida, se almacenarán en depósitos al aire, situados en un cubeto de retención junto a los depósitos de NPKs terminados. La capacidad de estos depósitos será:

**Tabla 3.10.** Capacidad de los depósitos de almacenamiento de materias primas.

<b>CLÚSTER DE DEPÓSITOS</b>		
<b>Nutrientes</b>	<b>Capacidad nominal</b>	<b>Número de depósitos</b>
Ácido fosfórico	100 m <sup>3</sup>	1
UAN-32	100 m <sup>3</sup>	1
NPK 10-34-0	100 m <sup>3</sup>	1
<b>Totales</b>	<b>300 m<sup>3</sup></b>	<b>3</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Para calcular los volúmenes necesarios de almacenamiento, se han realizado una serie de cálculos recogidos en el capítulo correspondiente del Tomo II de este proyecto.

En general, para estas materias primas, los tiempos hasta que comienzan a ser inservibles para su uso, siempre que se sigan unas buenas prácticas de almacenamiento, suelen ser de meses o años, por lo que no habría que preocuparse en exceso si sobran componentes entre campañas.

Se ha considerado una tasa de reposición en época de demanda máxima semanal para las materias primas. No obstante, la variedad de materias primas con las que se pueden a portar a una misma formulación un elemento concreto, hacen que se puedan tener retrasos en las entregas de dichas materias por parte de los proveedores sin que tenga porque ser necesariamente un punto de paro de producción.

Por último, también se ha calculado un almacenaje de agua para proceso, a fin de asegurar la producción incluso bajo cortes en el suministro. A tal efecto, 2 depósitos de 100 m<sup>3</sup> cada uno serán dispuestos en una zona próxima al área de proceso. Se ha considerado un requerimiento máximo de agua para el funcionamiento de la fábrica de 100 m<sup>3</sup> al día, por lo que dos días es el tiempo de trabajo sin suministro a pleno rendimiento y realizando las formulaciones que demandan más agua.

El material del que serán fabricados estos depósitos será el plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), ya que tiene excelentes cualidades frente a la corrosión y al resto de propiedades químicas que puedan tener los fertilizantes líquidos en ellos almacenados. Todo ello teniendo en cuenta que los fertilizantes líquidos serán almacenados a temperatura ambiente, con las protecciones específicas frente a las radiaciones solares y otros perjuicios ambientales que las empresas proveedoras de dichos tanques de almacenamiento recomienden.

#### **3.4.4 Procesado**

El proceso de elaboración de los productos se basa en el tipo discontinuo, batch o por lotes.

Para ello se contará con 4 reactores, 2 principales de unos 6´6 m<sup>3</sup> ( 8 t) y 2 reactores secundarios de 3´55 m<sup>3</sup> ( 4´3 t), situados en una nave de procesos. La fabricación de los NPKs en los mismos es básicamente el mezclado de ciertas materias primas sólidas y líquidas con agua, haciendo uso de agitadores automáticos y con adición



o no de calor mediante agua caliente y/o intercambiadores de calor tipo serpentín. La generación de este calor se llevará a cabo a partir de una caldera de agua caliente, pudiéndose almacenar parte de esta agua en dos acumuladores diseñados a tal fin y poder aportarla directamente al reactor pertinente llegado el caso. Dichos acumuladores y caldera contarán con su propia sala perteneciente a una nave pareada a la de procesos.

Dichos reactores serán fabricados en acero inoxidable con las características necesarias para poder resistir adecuadamente los distintos reactivos que en ellos se viertan. Además, deberán contar con un armazón o sistema de patas que permitan ser fijados al suelo de forma segura, estable y sin desniveles. Los mismos estarán sobre un pequeño cubeto de retención que recogerá posibles fugas o derrames de los mismos y los conducirá de forma segura a un lugar para su tratamiento (más información en capítulo de instalaciones).

Los macronutrientes o nutrientes principales, se dividen en sólidos y líquidos. La dosificación de los sólidos, almacenados en trojes en la nave de almacenamiento, se realiza mediante la carga en las tolvas de la nave de proceso por medio de pala cargadora frontal. Desde las tolvas hasta los reactores por medio de cintas transportadoras controladas mediante el pesaje de los reactivos en cada reactor y variadores de frecuencia en sus motores de accionamiento (este control está recogido explícitamente en un plano para más detalles).

Los líquidos por su parte, se bombean desde un clúster de depósitos hasta los reactores. Tanto cintas transportadoras, como tolvas y bombas han sido diseñadas y calculadas para ofrecer un buen rendimiento y satisfacer las necesidades nominales y máximas (según formulaciones más demandantes) que se puedan producir durante el proceso.

Los micronutrientes, que son elementos secundarios o aditivos que complementan las sustancias fertilizantes, son vertidos de forma manual por parte de operarios directamente en reactor correspondiente o cinta transportadora, tras su pesaje y verificación.

El tiempo de fabricación de un lote varía en función del tipo de reactor, principal o secundario. De media, se estima un tiempo máximo de 90 minutos para los reactores grandes y de 60 minutos para los dos reactores pequeños o secundarios. En dichos tiempos se han considerado:

- ) Tiempo de limpieza.
- ) Tiempo de llenado de agua.
- ) Tiempo de dosificación y vertido de macronutrientes.
- ) Tiempo de dosificación de micronutrientes.
- ) Tiempo de reacción.
- ) Tiempo de vaciado del reactor.

Durante la reacción de las sustancias en los reactores, es preciso monitorizar o controlar distintas variables de la misma, tales como temperatura, pH o concentración de cierto elemento, para asegurar la buena calidad del producto. En caso de que la reacción sea satisfactoria y todos los parámetros se encuentren dentro de ciertos márgenes establecidos como buenos, se realizará la expedición del fertilizante líquido hacia los



depósitos de almacenamiento. Si por el contrario no cumple algún o algunos de estos parámetros, se evaluará la posible corrección del producto añadiendo la materia prima que requiere, o más calor o dejándolo reaccionar más tiempo. Si el producto no tiene solución posible, se bombeará a la balsa de vertidos para su posterior tratamiento.

En los planos que se adjuntan a este proyecto, pueden observarse claramente las líneas de producción, así como cada uno de los elementos de las que se componen.

### 3.4.5 Expedición

Una vez que el proceso de fabricación de una fórmula concreta ha terminado satisfactoriamente y se han tomado las muestras para el control de calidad pertinente si es necesario, se procede a su expedición.

El proceso de expedición es básicamente el vaciado de los tanques de reacción y su bombeo hacia el depósito de almacenamiento pertinente. El complejo cuenta con:

**Tabla 3.11.** Capacidad de los depósitos de almacenamiento de productos.

<b>CLÚSTER DE DEPÓSITOS</b>		
<b>Contenido</b>	<b>Capacidad nominal</b>	<b>Número de depósitos</b>
NPKs	12 m <sup>3</sup>	2
NPKs	25 m <sup>3</sup>	2
NPKs	50 m <sup>3</sup>	10*
<b>Totales</b>	<b>574** m<sup>3</sup></b>	<b>14</b>

*Fuente: Elaboración propia*

\* Dos de estos depósitos son considerados de apoyo, pudiendo almacenar tanto para almacenamiento de terminados como de materias primas.

\*\*Citar que a esta capacidad máxima de almacenamiento de productos terminados se le podría sumar una cantidad de almacenamiento en bidones paletizados de 1.000 L nada desdeñable, pues en la planta tenemos bastante sitio para ello llegado un momento de necesidad.

Estas capacidades de los tanques no han sido seleccionadas al azar. La capacidad de los mismos ha sido dada tras observar en el mercado la capacidad usual para camiones cisterna y camiones articulados con cisterna. Estos suelen encontrarse en 12 m<sup>3</sup>, 25 m<sup>3</sup> e incluso 30 m<sup>3</sup> de capacidad, dependiendo de la sustancia transportada.

Estos tanques podrán contener el resultado de 5'63 turnos de 8 horas trabajando al máximo (más de 5 días si se trabaja a turno simple, más de dos días a turno doble). Todo ello sin realizar ni una sola venta. En total, 574\* m<sup>3</sup>.

Dicho almacén podría ser vaciado por completo por 29 camiones de unos 20 m<sup>3</sup> en unas 5 horas, pues se disponen de 3 cargaderos de salida, más uno más de entrada. Como media, de 256 a 320 m<sup>3</sup> pueden cargar en un turno estos camiones.



Con todo, si un camión viene a recoger material a la planta, deberá ser pesado en la báscula tanto a su llegada como antes de su ida ya cargado, para verificar la cantidad de producto que ha sido expedida.

### **3.5 Generación de calor en la planta**

La generación y distribución de calor entre los distintos procesos de la planta serán a cargo del agua caliente producida en la caldera. Se tendrá en la planta una caldera de gas natural situada en la sala de calderas, nave anexa a la de producción, con su correspondiente depósito de combustible situado en el patio cercano a la misma. Dicha caldera suministrará agua caliente a los serpentines de acumuladores y reactores, en circuito cerrado, a fin de calentar tanto los reactivos involucrados en las distintas reacciones directamente en los reactores como agua para servicio acumulada en dos acumuladores.

Para este complejo, la caldera preseleccionada desde la dirección técnica es de la marca Ferroli, la RSH-N 1300, con una potencia térmica de 1.480 kW. Dicha caldera deberá contar con toda la valvulería y protecciones pertinentes, que pueden ser analizadas en el plano de esquema de principio de generación de calor. Además, para mover el agua en el circuito cerrado, cuenta con dos bombas en paralelo, una en activo y otra en espera.

Dichos acumuladores de agua caliente de unos 6.000 l cada uno conectados a la caldera, podrán suministrar agua caliente para ser vertida directamente a los reactores y ser usada para la formulación que así lo requiera. Para ello contará con un grupo de bombeo en paralelo independiente, una bomba en uso otra en reserva, con toda la valvulería y protecciones pertinentes. Los acumuladores preseleccionados, de la marca Lapesa (Master Inox “MXV-6000-SB”), tienen la posibilidad de añadir sendas resistencias eléctricas inmersas en el agua de los mismos y así servir como fuente de calor extra al agua.

Desde estos acumuladores y desde la caldera, a través de los intercambiadores de serpentín inmersos en los reactores, se servirá el agua caliente necesaria para aquellas formulaciones que lo requieran ya sea por época del año (temperatura del agua de servicio demasiado fría), para aumentar solubilidad de elementos, reducir tiempos de reacción, o por otra cuestión. Entre caldera y acumuladores, se tendrá una potencia térmica disponible de aproximadamente 2.292 kW. Esta potencia será más que suficiente para disolver los reactivos a la temperatura más adecuada y aumentar la misma para las formulaciones que así lo requieran.

Se han calculado tanto los intercambiadores de serpentín, como los tramos de tuberías que unen las distintas partes del sistema de generación y aporte de energía en forma de calor a los reactores, de forma que las pérdidas sean mínimas. Los serpentines serán de acero inoxidable con calidad suficiente para soportar las distintas situaciones que puedan darse en el interior de los reactores. En general, serán tuberías de diámetro nominal 100mm, formando espirales en el fondo de los reactores. Con ello se ha dotado a los serpentines de una longitud suficiente para poder ceder toda la energía que se demanda, entre 32 y 17 metros, dependiendo de si el serpentín es para un reactor grande o pequeño.

En cuanto a los tramos de tuberías de acero que unen las distintas partes del sistema de generación y distribución de energía en forma de calor en el complejo, se han dotado de un aislamiento térmico adecuado y acorde a la normativa vigente. El aislante elegido es lana de roca o “rockwool” con espesores que varían entre 3 y 4 cm dependiendo del tramo, con lo que se consigue que en los mismos no haya descensos significativos de la temperatura del fluido que recorre la tubería, en este caso agua caliente.

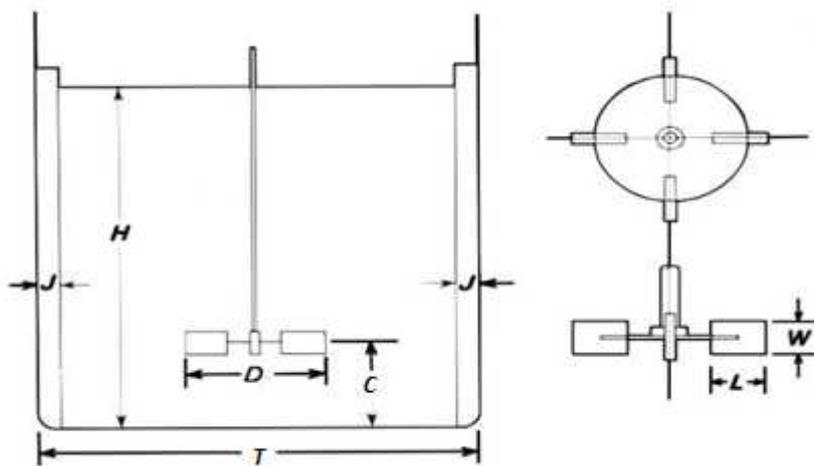
En todos las situaciones estudiadas, se ha considerado la temperatura ambiental más desfavorable = 10°C. Esto es así tras considerar que la planta se encuentra en la provincia de Sevilla, y teniendo en cuenta las estadísticas de temperaturas medias y mínimas de las épocas con mayor demanda de producto.

Para más información consultar planos de esquemas de principios de generación de calor y de control de temperatura en los reactores, así como en el Tomo II los cálculos de dimensionado y selección de esta sección y de los equipos.

### **3.6 Agitación de la mezcla**

Cada reactor cuenta con un sistema de mezclado mediante **agitadores de turbina de disco con paletas planas y deflectores**, como el que se ve en la figura 3.3.

**Figura 3.3.** Esquema de tanque mezclador con agitador vertical.



*Fuente: J.H. Rushton, E.W. Costich, H.J. Everett. “Power characteristics of mixing impellers”*

Los deflectores interiores tienen la función de reducir la formación del cono de agitación en su interior y favorecer el mezclado de los nutrientes. Los mismos son 4 por reactor y tienen unas medidas de diseño de  $J = 0,15$  m de ancho y longitud aproximadamente todo el reactor.

Además, en la parte superior de cada reactor se tienen sendos agitadores, los cuales han sido convenientemente diseñados y calculados, tanto en dimensión como en



potencia para poder hacer frente a las demandas de las diversas formulaciones. Para los dos tipos de reactores, principales y secundarios o grandes y pequeños, se cuenta con agitadores de turbina de disco con 6 paletas planas.

Las principales características de estos agitadores se recogen en la siguiente tabla:

- ) Distancia hasta el fondo (C).
- ) Ancho de la paleta (W).
- ) Largo de la paleta (L).
- ) Diámetro turbina (D).
- ) Diámetro del reactor (T).
- ) Altura nivel líquido (H).
- ) Potencia aproximada (P).
- ) Régimen nominal de funcionamiento (R).

**Tabla 3.12.** Características identificativas de los agitadores empleados.

REACTOR	C	W	L	D	T	H	P	R
Principal	0'67	0'13	0'17	0'67	2	2.1	23'4-5	150-90
Secundario	0'5	0'1	0'125	0'5	1'5	2'01	3'9-0'85	150-90

*Fuente: Elaboración propia*

Dimensiones en metros, potencia en kilovatios y funcionamiento en revoluciones por minuto.

Aclarar que, al haber dos reactores grandes y dos pequeños, se tienen 4 agitadores, dos de cada tipo. Los mismos cuentan con variadores de frecuencia que les permiten funcionar a revoluciones acordes a las formulaciones y materias primas empleadas en cada caso. Todos los cálculos recogidos en el Tomo II.

### **3.7 Sistemas de conducción y transporte de materia**

En este proyecto se han tenido en cuenta numerosos factores a la hora de seleccionar e implementar los distintos sistemas de conducción de material, ya sean tolvas y cintas o tuberías y válvulas, que dirigen y controlan cada parte elemental del proceso.

Además, se han considerado y adoptado diversos sistemas de control mediante lazos independientes o interconectados, que permiten al gestor de la planta tener un control óptimo, pormenorizado y en tiempo real del proceso productivo en su conjunto. Simplemente a modo de ejemplo, el control de dosificación de productos en los reactores o el control de temperatura de los mismos, son ejemplos de algunos de los lazos que controla el sistema.

#### **3.7.1 Bombeo**

En líneas generales, los sistemas de bombeo se han calculado teniendo en cuenta las pérdidas en tuberías, válvulas y otros accesorios, asegurando así el correcto



funcionamiento de las bombas, seleccionadas a través de sus curvas características caudal-altura.

Pueden observarse en el complejo varios canales de bombeo bien diferenciados, cada uno con su propio grupo, que son:

- ) Circuito de alimentación de agua fría.
- ) Circuito cerrado de generación y transporte de calor.
- ) Línea entre acumuladores de agua caliente y reactores.
- ) Cuatro líneas entre reactores y clúster de depósitos.
- ) Tres líneas entre clúster de depósitos y reactores.
- ) Tres líneas de salida de producto hacia cargaderos.
- ) Pozo de bombeo de aguas residuales.

De forma resumida, dichas líneas de bombeo tienen unas características principales que pueden analizarse a continuación:

**Tabla 3.13.** Características de las líneas principales de la fábrica.

Línea	Equipo principal	Uniones	Función principal	Caudal máximo requerido// Nominal
101	P-101 A/B	Depósitos de agua <-> Planta	Abastecer de agua los reactores, caldera, acumuladores y otros procesos	100 m <sup>3</sup> /h
102	P-102 A/B	Pozo de bombeo <-> Balsa de vertidos o planta	Recoger vertidos que no pueden ser conducidos directamente a la red de saneamiento y llevarlos a la balsa de vertidos	50 m <sup>3</sup> /h
201, 202, 203, 204, 205 y 206	P-201, P-202, P-203, P-204, P-205 y P-206	Reactores <-> Tanques de Almacén	Vaciar los reactores de producto y conducirlo a sus depósitos de almacenaje correspondiente	61 m <sup>3</sup> /h // 40-43 m <sup>3</sup> /h
301/303	P-301 A/B	Caldera <-> Reactores	Conducir el agua caliente desde la caldera a los serpentines de los reactores	45 m <sup>3</sup> /h
301/304/305	P-301 A/B	Caldera <-> Acumuladores	Conducir el agua caliente desde la caldera a los serpentines de los acumuladores	10 m <sup>3</sup> /h



302	P-302 A/B	Acumuladores <-> Reactores	Proveer de agua caliente los reactores como materia prima	90 m <sup>3</sup> /h
310 /313	P-301 A/B	Reactores <-> Caldera	Retorno del agua caliente desde los serpentines a la caldera	45 m <sup>3</sup> /h
311/ 312/ 313	P-301 A/B	Acumuladores <-> Caldera	Retorno del agua caliente desde los acumuladores a la caldera	10 m <sup>3</sup> /h
501	P-501	Camión <-> Tanque de Almacén	Cargar de materia prima líquida los depósitos	50 m <sup>3</sup> /h
518, 519 y 520	De P-524 a P-537	Tanques de Almacén <-> Camión	Sacar producto desde los tanques de almacenamiento a los camiones	50 m <sup>3</sup> /h
521, 522 y 523	P-521, P-522 y P-523	Tanques de Almacén <-> Reactores	Verter materia prima líquida en los reactores desde los depósitos de almacenamiento	15 m <sup>3</sup> /h

*Fuente: Elaboración propia*

Además, se ha previsto de lo que se conoce como reserva de presión en ciertas válvulas, para asegurar el correcto funcionamiento del complejo y asegurar la conducción de los fluidos incluso si las situaciones que se presentan son más desfavorables de las previstas.

Continuando con la anticipación de situaciones desfavorables, se ha diseñado el sistema con dos bombas en paralelos por línea en gran parte del mismo, es decir, con una bomba de reserva para casos de falla en la principal por cada una de estas. Esto, aunque pueda parecer una exageración desde algunos puntos de vista, se ha hecho así dada la propia naturaleza de la planta y su producción. Al estar esta tan concentrada en un par de meses prácticamente, con un pico de la demanda muy acusado en los mismos, esto hace que la fábrica durante estos no pueda permitirse básicamente ningún tipo de fallo e interrupción grave o duradera en la producción, pues esto se transformaría en una gran pérdida de beneficios. Además, de este modo se pueden alternar el uso de una u otra bomba para dar descansos a las mismas.

Dichas bombas de reserva podrán estar situadas bien junto al grupo, que será lo usual, o bien guardadas en algunos de los recintos de almacenamientos de piezas a la espera de ser cambiada rápidamente si fuere necesario.

Se han calculado y dimensionado los vasos de expansión de las líneas de bombeo que trabajan con agua caliente, ya que estas requieren un trato un poco especial, respecto al resto de líneas. Es decir, las del circuito caldera-reactores-acumuladores, siendo este de 235,3 litros. También el vaso de expansión de la línea que bombea agua caliente desde los acumuladores a los reactores, saliendo de 15,85 litros. Inclusive se han preseleccionado. El resto de depósitos de expansión serán los básicos que recomiendan los proveedores de grupos de bombeo.



### 3.7.2 Movimiento de sólidos

El movimiento de sólidos dentro del complejo se realiza por varios medios. Principalmente se hace uso de pala cargadora frontal para llevar el polvo desde su troje correspondiente de la nave de almacenamiento hasta la de proceso. Es allí donde son vertidos en diferentes tolvas.

La elección de dicha pala podría estar entre la Caterpillar 906M, 908M o similar. El principal condicionante para su selección es tener una capacidad de cucharón de entre  $0.6 \text{ m}^3$  y  $1.1 \text{ m}^3$ , dependiendo del material a transportar, suficiente para alimentar los distintos procesos. Mientras que la primera tiene un cucharón de unos  $0.9 \text{ m}^3$ , con un ancho de pala de  $1.89 \text{ m}$ , la segunda cuenta con un cucharón de  $2 \text{ m}$  de ancho y una capacidad de  $1.1 \text{ m}^3$ . Ambas tienen una altura de descarga suficiente,  $2.359 \text{ m}$  y  $2.463 \text{ m}$  correspondientemente.

Se ha realizado esta preselección de la pala para tener unas dimensiones iniciales aproximadas, tales como longitud ( $5.3 \text{ m}$ ) o radio de giro ( $2.5 \text{ m}$ ) y así poder realizar la distribución de los distintos edificios de la fábrica, viales, etc., adecuadamente.

En cuanto a tolvas y cintas transportadoras, las primeras serán con forma tronco piramidal, de proyección sobre el terreno cuadrangular. Las medidas aproximadas de las mismas son:  $2.5 \times 2.5 \text{ m}$  de ancho y largo en su parte de mayor área superior, y de  $0.4 \times 0.4 \text{ m}$  en su base de descarga. El alto efectivo será de aproximadamente  $1 \text{ m}$ , aunque su altura será mayor debido al tejadillo y sistema de cerramiento de la misma para disminuir el polvo que se escapa al ambiente, así como por sus patas para permitir situar debajo de ellas las cintas transportadoras. Con ello se obtiene un volumen nominal de uso de aproximadamente unos  $2.5 \text{ m}^3$ , o lo que es lo mismo, unos  $2.700 \text{ kg}$  (depende de la densidad del material que se vierta).

Las cintas transportadoras por su parte, serán nervadas y con una inclinación longitudinal de  $15^\circ$  e inclinación de la artesa de  $45^\circ$ . El ancho nominal de  $500 \text{ mm}$  nos permitirá abastecer los reactores en los casos que requieren mayor cantidad de materia prima sólida en tiempos en torno a los  $5$  minutos.

Las distintas bombas, así como más especificaciones de estas líneas están recogidas en el Tomo II. Además, en los planos pueden observarse el sistema de distribución general de la planta (PFD).



## **CAPÍTULO 4: OBRA CIVIL**

### **4.0 Introducción del capítulo**

Este capítulo trata de detallar de forma resumida las distintas soluciones estructurales que se han llevado a cabo en el complejo de la fábrica. Para más detalles de cálculos recurrir al Tomo II.

### **4.1 Introducción del capítulo**

Para dar solución y cabida a las distintas necesidades que se generaron derivadas del proceso productivo, fueron necesarias la adopción de una serie de soluciones estructurales propias.

Desde un punto de vista general, la planta se encuentra en una parcela de 11.356 m<sup>2</sup>, la cual tiene por condiciones normativas del polígono industrial en el que se encuentra, un retranqueo de 5 metros desde los límites de la parcela en los cuales no se pueden construir edificaciones.

Toda la parcela será delimitada por un cercado o valla que impida el acceso al interior del complejo de todo personal no autorizado, pudiéndose acceder al complejo a través de tres puertas. La primera de ellas es el acceso principal, el cual estará controlado para impedir que se acceda sin permiso, encontrándose éste en el noreste del complejo, concretamente con acceso a la Avenida de la Innovación. La segunda y tercera serán accesos normalmente cerrados, dando a la Avenida de la Comunicación, los cuales han sido diseñados fundamentalmente para facilitar ciertas maniobras u operaciones no rutinarias tales como: acceso de maquinaria o transportes especiales para realizar acciones específicas y puntuales en el complejo; y fundamentalmente para facilitar la evacuación en momentos de emergencia y el acceso a bomberos en caso de incendio.

Todo el complejo está formado por varias edificaciones y elementos de interés tales como:

- ) Una nave de almacenamiento.
- ) Una nave de procesos.
- ) Una nave de usos múltiples.
- ) Un edificio de oficinas.
- ) Un clúster de depósitos.
- ) Una balsa de residuos.
- ) Una zona de aparcamiento de camiones.
- ) Una zona de aparcamiento de turismos.
- ) Un área de pesaje.



Cada una de estas zonas y edificaciones tienen sus usos y características intrínsecas, las cuales se detallan en sus apartados correspondientes. En general, todas las estructuras que se recogieron en el proyecto fueron diseñadas, calculadas y comprobadas acorde a la normativa vigente e intentando amoldar las mismas a dichas necesidades productivas.

## **4.2 Trabajos previos**

Los trabajos previos son todos aquellos que hay que realizar previos al comienzo de la ejecución de las obras de edificación, principalmente desbroce, explanación y excavación.

El desbroce consiste en la retirada de la totalidad de la cubierta vegetal, compuesta por tierra vegetal, hierba y arbustos, hasta una profundidad superior a la alcanzada por las raíces. En este caso, esta profundidad va a ser de 25 cm.

Se realizará un desbroce en toda la superficie construida del complejo, además también se realizará un desbroce en las pequeñas zonas cuya finalidad sea zonas ajardinadas. En total, una superficie aproximada de 11.300 m<sup>2</sup>.

Una vez desbrozado, se procede a la explanación del terreno y excavación de todos los elementos que hagan falta, tales como zapatas, vigas de atado, zanjas para red enterrada de saneamiento, la balsa de vertidos, etc. Todo ello dará un volumen de tierras a mover de en torno a los 900 m<sup>3</sup>.

Hay que tener en cuenta la retirada de esas tierras del complejo por parte de una empresa autorizada, pudiéndose reutilizar las mismas en ciertos elementos del complejo.

## **4.3 Aparcamientos, viales y otros**

Los aparcamientos, tanto para camiones como para turismos, así como los viales son considerados el sector 1 en este proyecto.

Estos viales y aparcamientos han sido diseñados siguiendo las guías técnicas adecuadas (Neufert principalmente) para asegurar el correcto dimensionado de carriles, aparcamientos y zonas de maniobra y tránsito. Se ha provisto un área especialmente proyectada para el parking de camiones de grandes dimensiones, para así poder tener en la empresa una flota propia de reparto, así como para facilitar las esperas de los camiones que vengan al complejo a cargar o descargar mercancías. Tener a estos camiones esperando en las instalaciones y no en los viales públicos, facilita la convivencia en el polígono y mejora la reputación corporativa de la empresa.

Todos los viales se realizarán en hormigón armado, por facilitar la limpieza y evacuación de los vertidos de materiales, tanto polvos sólidos como líquidos. Dicha limpieza queda recogida en el apartado de saneamiento.

Se han reservado zonas para su ajardinamiento en la zona este del complejo, cerca del edificio de oficinas.



#### **4.4 Nave de procesos**

La nave de procesos puede considerarse el corazón de la fábrica, ya que a pesar de que todas las edificaciones son importantes para la elaboración de los productos, es en esta en donde se llevan a cabo. Esta se corresponde con el llamado sector 2, siendo el 1 los viales y zonas de aparcamientos.

La misma es un gran espacio abierto por tres de sus cuatro caras, siendo la única cerrada la que linda con la nave de usos múltiples. En general, es una nave porticada a dos aguas de 25 x 25 metros, con 7 metros de alto en su parte más baja y 8 en la superior de los pórticos. Es de estructuras metálicas y está compuesta por 6 pórticos paralelos separados entre sí 5 metros. El cerramiento que separa dicha nave con la contigua de usos múltiples se realizará teniendo en consideración dejar ciertos espacios para colocar un par de puertas y un ventanal para que se pueda controlar el proceso desde la sala de control.

Los pórticos tendrán pilares HE-300 A para todos, excepto para los pilares los del primer y último pórticos, los cuales son de HE-200 A, teniendo dichos pórticos dos pilares más intermedios, 4 pilares para cada uno de estos. Dichos pórticos primero y último, están atados al segundo y penúltimo respectivamente, mediante sendas cruces de San Andrés de cable de acero R 14. Hay dos cruces en cada vano vertical, 4 en total y otras 6 en la zona de cubierta. Esto es así para intentar que los cables de las mismas estén posicionados lo más a 45° que se pueda, para así maximizar su efectividad. Estas cruces arriostrarán la nave frente a acciones longitudinales. En dichos vanos, entre pórticos primero y segundo, penúltimo y último, también se dispondrán unos perfiles rectangulares de 120x80x4, en la mitad de la altura de los pilares y cada un tercio de la longitud de las vigas de transversales, para mejorar la respuesta del conjunto estructural.

Las vigas transversales de los pórticos serán de gran canto, IPE-500, excepto las que corresponden al pórtico primero y último, siendo para estos IPE 270. Las mismas irán sujetas a sus pilares correspondientes mediante la ayuda de sendas cartelas, las cuales ayudan a la unión y a la respuesta del pórtico ante las cargas solicitantes.

Las vigas longitudinales por su parte, es decir las que tienen orientación norte-sur y unen los pórticos en su parte superior, serán de perfil rectangular de 120x80x4.

La cubierta de la nave se proyectará en panel tipo sándwich, con su unión a las vigas mediante gancho. Las vigas longitudinales que amarran dicha cubierta son 14, de tipo IPE-160, colocadas cada 2m. Además en todas las caras abiertas, tres, se tendrán un parapeto para el viento de un metro a todo lo largo. Este parapeto también es de panel tipo sándwich, sujeto mediante dos vigas longitudinales separadas un metro y de tipo IPE-160.

Dicha nave contará con una escalera metálica de tipo zancas y mesetas que dará acceso a una pasarela metálica que recorrerá gran parte de la nave en sentido norte-sur. En concreto dicha pasarela estará situada sobre los reactores, para así poder tener acceso a la parte superior de los mimos por parte de los operarios. Esta pasarela es importante ya que permite evaluar el estado de las cintas transportadoras, serpentines, agitadores, acceder a valvulería que da servicio a vertidos de distintas materias, inclusive verter algún micronutriente de forma manual en el reactor pertinente.



El pavimento de la nave se realizará de hormigón impreso con juntas, de 20 cm de espesor. Dicha nave tendrá en la zona de debajo de los 4 reactores un pequeño cubeto de retención, de 16 x 3 metros de planta y 0,2 m de alto, para una capacidad de 9,6 m<sup>3</sup>, superior al volumen de un tanque. Dicho cubeto será impermeable y tendrá su vaciado en una de las esquinas, hacia colector de vertidos.

La cimentación de la nave es de tipo zapatas aisladas, atadas entre sí mediante vigas de atado. El dimensionado se ha realizado optimizando las cantidades de hormigón y armado de cada una de ellas, siendo este el motivo por el que hay de varias dimensiones, en los planos pueden observarse con detalle cada una de ellas.

En cuanto a dichas cimentaciones, el detalle más importante a este respecto ha sido el cálculo independiente de la cimentación para el conjunto de mezcladoras. Este se realizó a parte por su particular interés, resultando dos cimentaciones de 3 x 3 m, con un espesor de 0,45 m.

Para la información detallada, ir al tomo II de cálculos.

#### **4.5 Nave de almacenamiento**

La nave de almacenamiento es el denominado Sector 4 del complejo. Se trata de una nave cuya función principal es contener y almacenar en su interior las materias primas sólidas en trojes que las separen entre sí. Estará situada en la zona más al oeste del complejo.

Se proyectó una nave a dos aguas, orientación del largo norte-sur, de 40 m de largo x 12 m de ancho, con uno de sus laterales de 40 m completamente abierto, el que se encontrará enfrente a los trojes de almacenamiento. Los otros tres lados del perímetro con cerramiento lateral. Dichos cerramientos laterales serán de muro de hormigón armado para poder aguantar el empuje de las materias primas a granel en esta nave contenida, de unos 3 metros de altura, resto hasta la cubierta en panel tipo sándwich. Para sujetar estos paneles, se cuentan con sendas vigas CF-225x4, separadas 2 metros entre sí.

La tipología de la nave es básicamente de pórticos metálicos paralelos unidos entre sí mediante vigas. Cada pórtico está separado de su predecesor 4 metros, siendo 11 pórticos en total. Los pilares de dichos pórticos son perfiles de acero de la series HE- 180 A para los del primer y último pórticos, HE-200 A para el resto. Las vigas de los pórticos estarán unidas mediante cartelas convenientemente diseñadas, siendo la perfilera de estas vigas IPE 240 para las del primer y último pórtico e IPE 270 para el resto de pórticos.

Además, el primer pórtico y el último están atados al segundo y penúltimo respectivamente, mediante sendas cruces de San Andrés de cable de acero R 12. Hay dos cruces en cada vano vertical, 4 en total y otras 4 en la zona de cubierta. Esto es así para intentar que los cables de las mismas estén posicionados lo más a 45° que se pueda, para así maximizar su efectividad. Estas cruces arriostrarán la nave frente a acciones longitudinales. En dichos vanos, entre pórticos primero y segundo, penúltimo y último, también se dispondrán unos perfiles rectangulares de 120x80x4, en la mitad de la altura de los pilares y en mitad de las vigas de cubierta para mejorar la respuesta del conjunto estructural.



En cuanto a las vigas longitudinales que atan la parte de arriba de los pórticos, serán de perfiles cuadrados de 120x80x4.

La cubierta de la nave se proyectará en panel tipo sándwich, con su unión a las vigas mediante gancho. Las vigas longitudinales que amarran dicha cubierta son 6, de tipo CF-225x4, colocadas cada 2,5m. Además en la parte frontal de la nave se tiene un parapeto para el viento de un metro a todo lo largo, en la parte de la nave abierta que da acceso a los trojes, este parapeto también es de panel tipo sándwich, sujeto mediante dos vigas longitudinales separadas un metro y de tipo CF-225x4.

Dicha nave, contará con una altura suficiente para el fácil manejo de una pala cargadora en su interior, 8 m en la cúspide de la cubierta y 7 metros en su parte más baja, lo que facilitará también la descarga de camiones con las materias primas en polvo

Suelo de hormigón. Tejado de panel tipo sándwich. Cruces de San Andrés convenientemente situadas para resistir cargas externas longitudinales. Cimentación en zapatas, con sus atados y dimensiones corroboradas.

El pavimento de la nave se realizará de hormigón, teniendo que ser este adecuado para el paso de camiones durante la descarga de material, así como para el tránsito de la pala cargadora frontal.

La cimentación de la nave es de dos tipos. Por un lado se encuentran las zapatas aisladas de los pilares frontales, es decir, los que se encuentran en el lado abierto de la nave, las cuales irán arriostradas mediante sendas vigas de atado. Por otro lado se encuentran la cimentación de trojes, muro de fondo y pilares que corresponden a dicho fondo. Esta cimentación se realiza mediante zapata corrida, quedando la cimentación de dichos pilares embebida en la del muro de fondo. Tanto los muros interiores y el longitudinal de fondo de los trojes, como el resto de las cimentaciones, han sido calculadas y pueden observarse en los planos de forma detallada.

Para más información, recurrir a memoria de cálculo y planos.

#### **4.6 Nave de usos múltiples**

La nave de usos múltiples es el denominado Sector 3 del complejo. Esta tiene como su propio nombre indica usos múltiples, por un lado contener la sala de calderas, con el resto de equipos recogidos en la sección de generación y distribución de calor, mientras que por el otro se usará también para almacenamiento de piezas, pequeño laboratorio, aseo, sala de control de proceso e inclusive pequeño taller. Estará situada en la zona central-sur del complejo, junto a la nave de procesos, con uno de sus laterales pegado a esta.

Se trata de una nave sencilla a dos aguas, orientación del largo este-oeste, de 25 m de largo x 10 m de ancho, con accesos principales tanto por el este como por el oeste. Los 4 lados del perímetro con cerramiento lateral. Dichos cerramientos laterales serán de panel tipo sándwich hasta la cubierta. Para sujetar estos paneles, se cuentan con sendas vigas IPE-100, separadas 1,5 metros entre sí, 8 correas en total.



La tipología de la nave es básicamente de pórticos metálicos paralelos unidos entre sí mediante vigas. Cada pórtico está separado de su predecesor 5 metros, siendo 6 pórticos en total. Los pilares de dichos pórticos son perfiles de acero de la series HE- 120 A para los del primer y último pórticos, HE-100 A para el resto. Las vigas de los pórticos se corresponden a la perfilera de IPE 270 para todas.

Además, el segundo pórtico y el penúltimo están atados al tercero y antepenúltimo respectivamente, es decir, los vanos pares, mediante sendas cruces de San Andrés de cable de acero R 10. Hay una cruz en cada vano vertical, 2 en total y otras 4 en la zona de cubierta. Esto es así para intentar que los cables de las mismas estén posicionados lo más a 45° que se pueda, para así maximizar su efectividad. Estas cruces arriostrarán la nave frente a acciones longitudinales y mejoran la respuesta del conjunto estructural.

En cuanto a las vigas longitudinales que atan la parte de arriba de los pórticos, serán de perfiles cuadrados de 80x70x1,5.

La cubierta de la nave se proyectará en panel tipo sándwich, con su unión a las vigas mediante gancho. Las vigas longitudinales que amarran dicha cubierta son 8, de tipo IPE-120, colocadas cada 1,5m.

Dicha nave, contará con una altura suficiente para el fácil manejo de una carretilla elevadora en su interior, 5 m en la cúspide de la cubierta y 4 metros en su parte más baja, lo que facilitará también la instalación de la distinta maquinaria en la sala de calderas.

El pavimento de la nave se realizará de hormigón, teniendo que ser este adecuado para el tránsito puntual de la carretilla elevadora.

La cimentación de la nave es de zapatas aisladas de todos los pilares, las cuales irán arriostradas mediante sendas vigas de atado. Todas las cimentaciones han sido calculadas y pueden observarse en los planos de forma detallada.

Para más información, recurrir al Tomo II de cálculo y Tomo III planos.



## CAPÍTULO 5: INSTALACIONES Y OTROS SERVICIOS

### 5.0 Introducción del capítulo

El capítulo que comienza en estas líneas versa sobre la solución inicial que se ha dado a las distintas instalaciones que dan servicio al complejo. Entre ellas se encuentran: fontanería, saneamiento, protección contra incendios, aire comprimido, instalación eléctrica, clima y otros, todo ello desde un punto de vista del alcance de proyecto básico. Se ha realizado un pre-diseño que fije las bases del diseño final de las mismas.

Aclarar que todas las instalaciones que hacen referencia al edificio de oficinas no han sido estimadas, al igual que sucede con su cálculo estructural, ya que se ha considerado la necesidad de realizar un estudio independiente de dicha edificación por su importancia especial para la empresa. Solamente se cuenta de la misma con un pre-diseño arquitectónico y de las acometidas principales que requerirían.

### 5.1 Instalación de fontanería

La fontanería del complejo debe cumplir con los requisitos establecidos en el Código Técnico de la Edificación, sección HS 4, así como la normativa propia de la empresa que dé suministro a la red pública.

Los recorridos de los ramales secundarios de las redes de tuberías, así como su dimensionamiento pormenorizado, queda pendiente de ejecución.

Dicha instalación de fontanería se basa en redes básicas separadas y bien definidas.

Por un lado se encuentra la red que da servicio al edificio de oficinas, la cual contará con su propio contador y acometida independiente a la red pública de abastecimiento existente en el polígono industrial. De esta red se surten los vestuarios del edificio, el laboratorio, los aseos y el comedor, así como algún punto extra para baldeo. Dicha acometida se situará en las proximidades de dicho edificio, en la zona noreste del complejo, en concreto el entronque a la red general se realizará en la Avenida de la Innovación.

Por otro lado se encuentra la otra red, que se divide a su vez en dos líneas. Esta red partirá de su propio contador y acometida a la red pública. Dicha acometida principal se encontrará en la calle opuesta a la anterior, es decir, en la Avenida de la Comunicación, al suroeste del complejo y se divide como se ha dicho en dos ramales principales:

- ) Abastecimiento de los depósitos de procesos.
- ) Abastecimiento de red de servicio.

El abastecimiento de los depósitos de procesos es, como su propio nombre indica, un ramal que mantiene el nivel de los dos depósitos de agua de 100 m<sup>3</sup> al nivel necesario para el correcto funcionamiento de la fábrica. De estos depósitos se suministra agua tanto para los reactores, como para los acumuladores de calor y el llenado automático del circuito de la caldera, todo ello sin olvidar una pequeña reserva para contraincendios.



Dicho ramal de abastecimiento de los depósitos se estima en una tubería de polipropileno PPR-90, suficiente para poder rellenar un depósito completamente en 8 horas, con una velocidad del agua de 3,7 l/s. Se considera suficiente la presión de red para evitar disponer de un grupo de bombeo para llenado.

El abastecimiento de la red de servicio será un ramal que se dividirá en varios para proveer de agua a varios servicios:

- ) En la nave de almacenamiento: en la esquina sureste de la misma, se dispondrá de una toma para baldeo. Cercana a esa toma, se dispondrá de otra para una ducha y lavajos de emergencia, correctamente señalizada.
- ) En la nave de usos múltiples: se dispondrá de un grifo en la zona de almacenaje de piezas y equipos, así como otro más en el laboratorio. Además de las dos tomas correspondientes para un lavabo y un inodoro que dicha nave contiene.
- ) En la nave de procesos: se dispondrá de un grifo situado en la pared divisoria con la nave de usos múltiples, cercano al aseo de dicha nave por facilidad constructiva, para baldeo.
- ) En el clúster de depósitos: se preverá la instalación de una toma para baldeo en la esquina suroeste del mismo, así como otra con el mismo fin en la esquina noreste.

Dicho ramal de abastecimiento de la red de servicio se estima en una tubería de polipropileno PPR-40 suficiente para poder dar caudal a los sub-ramales que de ella saldrán, normalmente en PP-25. Se considera suficiente la presión de red para evitar disponer de un grupo de bombeo para este fin.

Sumando los caudales de ambos ramales, la tubería de acometida de estará en PPR-90.

De forma general, todas las tuberías empleadas para la instalación de fontanería, sea cual sea la red a la que da servicio, se llevarán a cabo en tubería de polipropileno PP, debido a su coste, buen funcionamiento y la versatilidad de sus uniones.

Se intentará sectorizar en la medida de lo posible dicha red mediante válvulas de paso para evitar el corte de la red completa si hiciera falta alguna reparación en cualquiera de sus ramales. Especialmente importante separar el ramal de servicios y el de abastecimiento de los depósitos.

## **5.2 Saneamiento**

### **5.2.1 Descripción general de las redes de saneamiento**

Para la red de saneamiento, se ha previsto que los vertidos a la red pública se harán de acuerdo a la normativa vigente de la zona, siempre teniendo en cuenta la máxima del respeto al medio ambiente. Hay que considerar que dicho polígono tiene un sistema de depuración propio que permite garantizar la calidad de estos vertidos.



En líneas generales, se tendrá en el complejo varias redes de saneamiento bien diferenciadas, con sus propios entronques a la red pública. Por un lado se proyectará la red para el edificios de oficinas, cuya posición en el complejo hará recomendable un acceso a la red pública en el lado norte de la parcela, lo más cercano posible al propio edificio.

También se tendrá una red para la evacuación de las aguas pluviales. Dicha red estará dividida en dos, una para toda el área “limpia” del complejo y otra para la “sucias”. Esta área limpia se corresponde con toda la mitad este del complejo, es decir, la zona que va desde aproximadamente tres metros del borde este del clúster de depósitos hasta la linde de la parcela este. En dicha zona se encuentra el edificio de oficinas, las zonas de aparcamientos de camiones y turismos, así como la báscula para vehículos pesados y algunas partes ajardinadas. En ella se estima que la cantidad de vertidos sucios al suelo serán ínfimos, pequeñas perdidas de polvo por parte de los camiones tal y como sucede en los trayectos en los viales públicos, y debido a las materias primas empleadas en la fábrica no suponen riesgo para los cauces de saneamiento del polígono. Es por todo ello por lo que esta agua de lluvia será recogida mediante imbornales y conducida por canalizaciones enterradas de PVC hacia el entronque de conexión con la red pública.

Por otro lado se encuentra la red de pluviales “sucias”, es decir, aquella que recoge el agua de toda la zona oeste del complejo, desde el clúster de depósitos hasta la linde oeste de la parcela. En dicha área se encuentran las naves de almacenamiento y procesos, por lo que serán propensas a estar sucias con polvos fertilizantes derramados y otras sustancias. A pesar de que estos polvos de forma genérica no suponen un especial riesgo para las redes de saneamiento público, se ha previsto que la recogida de agua pluvial de esta zona pase por un sistema de recolección de las mismas. Este sistema consta simplemente de la red normal de recogida mediante sumideros y tuberías de PVC enterradas, con sus arquetas correspondientes, las cuales conducen las aguas hasta un pozo de bombeo. En dicho pozo se encuentra un grupo de bombeo el cual verterá dichas aguas en una balsa de vertidos. Para el caso de lluvias torrenciales durante periodos de tiempo continuados, el pozo de bombeo contará con un rebosadero con conexión a la red pública, ya que estas lluvias limpian suficientemente el terreno como para permitir el vertido directo.

A este pozo de bombeo también llegará un colector enterrado que conduce vertidos provenientes del cubeto del clúster de depósitos y del pequeño cubeto de retención de la nave de procesos.

La balsa de vertidos se situará en la esquina noroeste de la planta y estará efectuada mediante excavación de 2,5 metros de profundidad, en un área de 11 x 18 metros, resultando un volumen total de aproximadamente 480 m<sup>3</sup>. Dicha excavación, tras realizar los trabajos de relleno y compactación pertinentes para dar el volumen nominal anterior, será cubierta con una lona de un tejido de geo-membranas poliméricas que permitan el almacenamiento de líquidos en su interior de forma segura e impermeable para el resto del terreno circundante.

El contenido de la balsa tendrá el tratamiento por parte del gestor de la planta que considere oportuno, bien contratando un servicio de recogida de vertidos, bien instalando un tratamiento adecuado en la misma, bien analizando el contenido periódicamente y



comprobando si es factible su vertido a la red pública o su reutilización en distintos servicios de la propia fábrica.

Todas las redes enterradas tendrán una pendiente mínima del 2%, con arquetas cada 15 metros como máximo y con la conexión oportuna a la red pública según normativas de la empresa suministradora del servicio. Por norma general, se instalarán una arqueta desarenadora, otra quita grasas y una de toma de muestras, tanto antes del pozo de bombeo como antes de las salidas a los pozos de la red pública.

Además, se tendrá una pequeña red para la evacuación de las aguas fecales del aseo de la nave de usos múltiples, la cual evacua a la red pública en un pozo al sur del complejo, lo más cerca posible de dicha nave.

### **5.2.2 Cubetos de retención de vertidos**

Toda planta de despacho de fertilizantes fluidos en donde se utilizan tanques de almacenamiento requiere un cubeto de contención con capacidad para contener el posible derrame del volumen del tanque de mayor capacidad. Es decir, los tanque-depósitos en los que los fertilizantes líquidos se almacenan deben estar ubicados dentro de estructuras de contención cerradas hechas de hormigón que tienen más capacidad que la del propio tanque-depósito mayor o una décima parte del volumen total de los depósitos allí dispuestos.

Estas estructuras son un sistema de almacenamiento de emergencia temporal, diseñada para retener pérdidas o derrames de tanques que contienen sustancias peligrosas.

Cuando se utilizan estructuras de contención secundarias, las distancias mínimas requeridas entre tanques y demás instalaciones de la planta pueden reducirse.

El objetivo primordial es evitar que ocurran pérdidas de los fertilizantes almacenados (ya sea debido a fugas o derrames derivados de sobrellenos o caídas de recipientes) y que los mismos puedan alcanzar y contaminar el ambiente. Además, son necesarios para evitar que se mezclen productos químicos incompatibles con las consecuencias económicas que esto acarrea. Las pérdidas económicas serán tanto más importantes cuanto mayor sea el precio del producto perdido. De aquí que los medios de contención sirvan también para recuperar el producto derramado y permitir su tratamiento y re-uso.

Un sistema de contención secundario debe estar equipado con un sistema de detección de pérdidas capaz de detectar un fallo, ya sea en la estructura de contención primaria (el propio tanque contenedor) o secundaria, dentro de las 24 h o en el menor tiempo practicable. Estos sistemas pueden ser de diferentes tipos: sensores de conductividad térmica; de resistividad eléctrica o detectores de vapores. Una inspección visual diaria puede ser un recurso eficaz y sencillo para la detección de problemas.

La forma de contención más utilizada es un muro perimetral rodeando a uno o a un conjunto de tanques de almacenamiento, construidos de material impermeable, resistente al contacto con las sustancias a retener y de suficiente robustez para que resista la presión lateral a la altura máxima del líquido que puede retener. El material de construcción más usado es el hormigón, revestido o no con membranas sintéticas.



Debe poder contener al menos el 100 % o hasta el 125% (según la regulación que existiera) del contenido del tanque más grande que existe dentro de sus límites o el 10% del volumen total allí almacenado.

Cuando varios tanques grandes están dentro del mismo muro de contención, pueden instalarse opcionalmente paredes intermedias entre los tanques, para que pequeños derrames no afecten a los tanques anexos. Asimismo, si hubiera sustancias incompatibles almacenadas, los tanques o recipientes que las contengan deberán estar separados dentro de diques independientes. Es importante que el suelo sea también impermeable y que exista un sellado impermeable entre el suelo y las paredes del muro de contención.

Se puede construir de hormigón recubiertos por un material impermeable tanto para evitar pérdidas hacia el exterior como también la infiltración del agua hacia el interior.

En el caso de esta fábrica, se contarán con dos cubetos. El principal y más grande es el que contiene el clúster de depósitos, el cual tendrá unas medidas aproximadas de 40 m de largo y 13,5 de ancho, con una altura del murete de 0,5 m. con ello se tendrá un volumen de retención muy superior al necesario por normativa, cosa que se considera adecuada para prever posibles imprevistos. De dicho cubeto se conduce previo paso por arqueta para acceso a válvula de control, hacia el colector enterrado que lleva los vertidos hacia el pozo de bombeo.

También se tiene en la nave de procesos otro pequeño cubeto, de 16 x 3 m y altura de 0,2 m, el cual con un volumen de 9,6 m<sup>3</sup> es suficiente para recoger pequeñas pérdidas o el vertido completo de un reactor de los grandes (6,6 m<sup>3</sup>). Dicho cubeto estará conectado con el mismo colector enterrado que discurre de este a oeste, entre el clúster de depósitos y el pozo de bombeo.

Las áreas de carga son con frecuencia sitios de salpicaduras. Dado que es imposible evitarlas deben proveerse condiciones para capturar el material antes que alcance el suelo, contaminando el ambiente. La carga y descarga de producto debe hacerse sobre un suelo impermeabilizado, donde los derrames puedan recogerse. Los paños de carga y descarga se realizarán con pendiente a un sitio donde se pueda recogerse el eventual derrame, en concreto hacia la arqueta que dirige el colector al pozo de bombeos de vertidos.

### **5.3 Protección contraincendios**

Este complejo contará con las medidas contraincendios adecuadas según la normativa vigente. En concreto se ha realizado un pre-diseño por encima de la instalación contraincendios siguiendo el “Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales”. Con ello se pretende hacer un tanteo de las necesidades que dicha instalación conlleva, no siendo vinculante ni pormenorizado dicho pre-diseño, entrando en los aspectos más relevantes.

Según dicha normativa, anexo I, se clasificaron los establecimientos industriales por su configuración y ubicación con relación a su entorno, así:



- ) Nave de procesos, es el considerado sector 2, ya que el 1 se considera la parte de viales. Tiene una clasificación según dicha norma Tipo C.
- ) Nave de usos múltiples, sector 3. Tipo B.
- ) Nave de almacenamiento, sector 4 y Tipo C.
- ) Clúster de depósitos, sector 5 y Tipo E.
- ) Edificio de oficinas, sector 6 (éste queda fuera del alcance de esta memoria).

Una vez clasificados, se procedió a evaluar el nivel de riesgo intrínseco de cada área o sector de incendio, calculando la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de dicho sector o área de incendio:

Según la tabla 1.3 de dicho reglamento, por las densidades de fuego ponderadas y corregidas, el nivel de riesgo intrínseco tanto de cada sector como del establecimiento en su conjunto es Bajo.

Con este dato, se comprueban que las superficies máximas construidas cumplen las exigencias y no superan ni mucho menos los límites establecidos.

La estabilidad ante el fuego de los elementos estructurales portantes serán R-30, EF-30, salvo para el caso de la nave de usos múltiples, que serán R-60 y EF-60.

Los elementos de los cerramientos EI-120.

En todos los casos se cumplen las longitudes de recorrido de evacuación.

No es necesaria sistemas de evacuación de humos por la tipología de las edificaciones.

No es exigible sistemas automáticos de detección de incendios.

Es necesario la implantación de pulsadores manuales de alarma de incendio en todas las naves, a distancia de 25 m como mucho del punto más alejado.

Hay que implantar un sistema de comunicación de incendios o alarma en todos los sectores, por la tipología y dimensiones del establecimiento industrial.

La implantación de sistema de hidrantes, se instalarán dos por seguridad, una a cada lado de la nave de procesos, para poder dar servicio a esta y las otras naves. 500 l/min durante 30 minutos es la estimación para el cálculo del volumen de agua de servicio de las mismas, por lo que se reservará de los depósitos existentes de 100.000 litros cada uno, este volumen para abastecer a las hidrantes.

En cuanto a extintores, se situarán los siguientes:

- ) Nave de procesos: 2 extintores de eficiencia mínima 21 A.



- ) Nave de usos múltiples: 2 extintores de eficiencia mínima 21 A, uno en la sala de calderas y otro en la zona de almacenamiento de piezas, laboratorio y control.
- ) Nave de almacenamiento: 1 extintor de eficiencia mínima 21 A en el pilar central del lado este.
- ) Clúster de depósitos: 2 extintores portátiles de 50 kg de polvo ABC, uno en la esquina noreste y otro en la esquina suroeste.

En cuanto a BIE, se preverá una en el área próxima al depósito de combustible, DN-50.

Dicho depósito de combustible estará situado en la cara oeste de la nave de usos múltiples, cerca de la sala de caldera. El mismo está dispuesto con un vallado perimetral que impida su acceso, y una separación entre este y el depósito en sí de mínimo 1,25 metros. La distancia a la linde sur de la propiedad es 5 metros, adecuado a normativa. Dentro del vallado se situará un extintor portátil de 50 kg ABC. Se seguirán las normativas especiales para este tipo de depósitos y las recomendaciones de los principales proveedores de combustible para constatar un funcionamiento seguro de la fábrica.

#### **5.4 Instalaciones eléctricas**

En cuanto al tema eléctrico en la planta, se ha previsto la implantación de una red eléctrica en el complejo que satisfaga las necesidades de consumo del mismo, así como respete la normativa vigente.

Se ha de tener especial cuidado en el posicionamiento de cuadros, cableado y sobretodo luces u otras fuentes de calor para evitar riesgos de incendio o deterioro de las materias primas empleadas durante el proceso de fabricación.

Así, a modo de ejemplo, las luminarias deben estar situadas a suficiente distancia de los montones almacenados a granel para prevenir riesgos, en este caso se situarán a unos 3 metros sobre la cúspide de los montones, más que suficiente.

De forma general, se situará un centro de transformación para el complejo en el área reservada a tal fin en la distribución del polígono industrial, cítese, en la mitad de la linde oeste de la parcela (Avenida de la Ciencia). Dicho centro de transformación estará emplazado muy cerca de la nave de almacenamiento.

Es por esa situación del centro de transformación, pegado a la nave de almacenamiento, por lo que en dicha nave se situará el cuadro general del complejo. Este cuadro estará posicionado en la zona del primer troje, es decir, el situado más al sur de la nave y cuyo uso es fundamentalmente para paletizados. Dicho cuadro contará con todas las protecciones necesarias, tanto de instalación eléctrica como física para evitar un mal uso del mismo.

De este cuadro general salen 14 circuitos independientes:



- ) Los 9 primeros se corresponden a servicios de iluminación y fuerza de la propia nave.
- ) El 10 alimenta el grupo de aguas residuales P-102 A/B, con una potencia de 3.800 W.
- ) El 11 da energía al cuadro secundario de la nave de procesos, con una estimación de demanda para la misma en torno a los 125.000 W.
- ) El 12 da servicio al cuadro secundario de la nave de usos múltiples, con una demanda para la misma de aproximadamente 31.000 W.
- ) El 13 por su parte alimenta al cuadro secundario del clúster de depósitos, con una punta de potencia cercana a los 36.000 W.
- ) Por último el circuito 14, el cual da energía eléctrica al cuadro secundario del edificio de oficinas. Previsión de potencia de 18.000 W.

En la nave de procesos se tendrá un cuadro secundario, ya mencionado circuito 11 del cuadro general, el cual dará servicio a:

- ) Cintas transportadoras. Son los 12 primeros circuitos, agrupados de 3 en 3. Cada uno con una potencia según ficha de equipos de las cintas de 2.700 W.
- ) Agitadores. Los circuitos 13 y 15 dan servicio a los de mayor potencia, 10.000 W, mientras que los 14 y 16 a los de agitadores para reactores más pequeños, 3.900 W.
- ) Grupos de bombeo. El circuito 17 suministra energía al grupo triple (dos bombas independientes más uno en reserva) de 30.000 W (15.000 W x 2). P-201, P-202 y P-203.
- ) Grupos de bombeo. El circuito 18 suministra al grupo triple (dos bombas independientes más uno en reserva) de 30.000 W (15.000 W x 2). P-204, P-205 y P-206.
- ) Alumbrado, emergencia y línea de fuerza se corresponden con los circuitos del 19 al 25.

La nave de usos múltiples, circuito del cuadro principal número 12, tiene también su propio cuadro secundario, con:

- ) Alumbrado, emergencia y línea de fuerza se corresponden con los circuitos del 1 al 6.
- ) Circuitos 7, 8 y 9 son para líneas de fuerza.
- ) Grupos de bombeo. El circuito 10 suministra energía al grupo de dos bombas (uno más uno en reserva) de 11.000 W. P-101A/B.



- ) Grupos de bombeo. El circuito 11 suministra energía al grupo de dos bombas (uno más uno en reserva) de 4.000 W. P-301A/B.
- ) Grupos de bombeo. El circuito 12 suministra energía al grupo de dos bombas (uno más uno en reserva) de 7.500 W. P-302A/B.

El siguiente circuito principal que sale del cuadro general es el 13, que corresponde con el cuadro secundario del clúster de depósitos. Dicho cuadro estará situado en una caseta dentro del propio clúster. Este Dicho cuarto tendrá la función principal de resguardar y proteger los grupos de bombeo que dan servicio a esta área de trabajo. Volviendo al tema eléctrico, este cuadro secundario está dividido por su parte en los siguientes circuitos:

- ) Circuitos del 1 al 6 para alumbrado y emergencia.
- ) Circuito 7, para alimentar el grupo de bombeo P-A/B, con potencia nominal de 7.500 W.
- ) Circuito 8, para dar suministro al grupo P-518A/B, de 5.500 W.
- ) Circuito 9, para dar suministro al grupo P-519A/B, de 5.500 W.
- ) Circuito 10, para dar suministro al grupo P-520A/B, de 5.500 W.
- ) Circuitos 11, 12 y 13, para dar suministro eléctrico a los grupos P-507A/B, 508A/B y 509A/B de 3.000 W cada uno.

Por último se encuentra en el cuadro general el ramal que sale hacia el cuadro secundario del edificio de oficinas. De forma meramente orientativa, tras analizar las previsiones arquitectónicas de dicho edificio, se ha pre-diseñado su cuadro unifilar con los siguientes circuitos:

- ) Circuito 1: alumbrado de aseos y vestuarios.
- ) Circuito 2: Alumbrado de despachos y comedor.
- ) Circuito 3: Emergencia.
- ) Circuitos 4, 5 y 6: ídem a los tres anteriores respectivamente.
- ) Circuitos 7, 8 y 9: ídem a los tres anteriores respectivamente.
- ) Circuitos del 10 al 15: 6 líneas para fuerza, con repartos según diseño.

Se reitera que en los planos pueden observarse unos unifilares en los que se detallan tanto el cuadro general como los secundarios de cada edificio. En cada cuadro se han recogido unas previsiones de potencias de todos los servicios que requieran de energía eléctrica, tales como:



- ) Alumbrado.
- ) Enchufes.
- ) Grupos de bombeo.
- ) Agitadores.
- ) Cintas transportadoras.
- ) Líneas de fuerza.
- ) Báscula de camiones.
- ) Otros equipos.

Las previsiones de potencia se han realizado en función de las hojas y fichas técnicas de los equipos preseleccionados.

Se han pre-dimensionado secciones de cable y protecciones en los unifilares de los planos.

Se ha realizado un diseño unifilar de cada una de las áreas intentando dividir las mismas en circuitos independientes, a fin de que aseguren un correcto funcionamiento y sectorización de cada uno de los servicios que de él se alimentan.

Se ha previsto una iluminación básica de emergencia en distintas zonas del complejo por razones de seguridad.

Aclarar que cuando en un grupo de bombeo se indica A/B, generalmente se ha hecho referencia de este modo a que es un grupo de bombeo formado por dos bombas o conjunto de ellas exactamente iguales, siendo su régimen de funcionamiento una en marcha otra en reserva.

## **5.5 Sistemas de control**

Se han previsto la instalación de múltiples y diferentes sistemas de control, operados y controlados tanto in situ, como a distancia desde ordenador de control y/o automáticos que protejan, controlen y gobiernen todos los pasos del proceso productivo.

Dichos sistemas de control tendrán actuadores tanto neumáticos como eléctricos, con sensores de diferentes clases, fundamentalmente de temperatura y presión, y algunos caudalímetros, células de carga, medidores de pH, etc.

La zona en la que se han centrado principalmente los esfuerzos de diseño del control es en los reactores. En los planos de lazos de control se detallan, para cada uno de los reactores, los actuadores, sensores y controladores necesarios para un correcto funcionamiento del proceso. Pueden observarse en los mismos cuatro lazos de control,



control de nivel alto, control de dosificación de sólidos, control de vertido de líquidos y control de temperatura.

Pues bien, el lazo correspondiente al control de nivel alto, es un sistema de seguridad consistente en un sensor-transmisor de nivel y controlador en sala de control. Este sensor se activará cuando el nivel de líquidos en el reactor alcance una cierta altura, el cual puede ser indicativo de funcionamiento anómalo en el reactor y envía la orden de paro a todos los actuadores y servicios que en él actúen, desde cerrar todas las válvulas de vertido y serpentines, como parar cintas transportadoras y agitación. Este funcionamiento anómalo del reactor puede ser resultado de múltiples causas, tales como una válvula defectuosa que se ha quedado abierta, la dosificación continua de sólidos desde las cintas, reacciones no esperadas de los reactivos, etc. Con ello se evitan males mayores y se informa al operario pertinente de que debe revisar esa área del proceso.

El control de dosificación de sólidos por su parte regula la cantidad de materia prima en estado sólido que se vierte al reactor, su orden e incluso su caudal másico aproximado. Para ello se sirve de sendos variadores de frecuencia instalados en los motores de accionamiento de las cintas, así como del sensor-transmisor de peso que posee cada reactor. Mediante la recopilación del peso que contiene el reactor en tiempo real, teniendo en consideración posibles efectos de inercia generados por la caída de material, el controlador puede ir variando la velocidad con la que la cinta lo dosifica al reactor y así obtener un control bastante preciso de la cantidad de masa de cada elemento de la formulación a producir.

El vertido de líquidos en los reactores también tiene su propio lazo de control. Este hace uso del sensor-transmisor de pesaje que poseen los reactores para controlar la cantidad de materia líquida que cae en el reactor, teniendo en consideración posibles efectos de inercia generados por la caída de material, ya sea ésta agua fría, agua caliente o materias primas provenientes de cualquiera de los depósitos cuya función es almacenarlas. Una vez se selecciona las cantidades de cada elemento que deben verterse en el reactor y su orden, el controlador va ordenando a la válvula correspondiente, generalmente de globo, que se abra y cuando se acerca al peso estipulado que vaya cortando el flujo. Con ello se consigue un control preciso y adecuado del sistema.

Por último, el control de temperatura en el reactor. Este es un poco más complejo debido a que en él intervienen varios factores, por lo que en su diseño ha causado varias revisiones. Este lazo se centra en controlar la temperatura en el interior del reactor, para ello se instala un sensor de temperatura dentro de los mismos, el cual previo paso por su correspondiente transmisor envía la información al controlador de la sala de control. A este controlador también llega información de la temperatura ambiental, la de la entrada y salida de los serpentines y la del agua de proceso. Dependiendo de si se va a llenar el reactor con agua, o está ya en funcionamiento, el controlador actúa sobre la válvula que sea necesario, ya sea esta la de los serpentines o la de mezcla y vertido de agua fría y caliente, consiguiendo así adecuar la temperatura a lo establecido en la formulación.

Recordar que en la nave de usos múltiples se sitúa la sala principal de control de procesos, la cual tiene un ventanal para que el operario pertinente pueda controlar desde allí todo lo que ocurre en la nave de proceso.



---

## **5.6 Sistemas de aire comprimido**

Se ha previsto una red de aire comprimido para bastecer tanto mangueras para herramientas, como para valvulería automática u otros sistemas.

Este sistema de aire comprimido tendrá su compresor en la sala de la caldera, saliendo de allí el reparto hacia la nave de procesos fundamentalmente.

**ANEXO I: HOJA RESUMEN DE LA PLANTA****I.0 Introducción del anexo**

En este anexo se describe de forma resumida las principales características de la planta de fabricación de fertilizantes. (Tabla I.1).

**I.1 Hoja resumen**

**Tabla I.1.** Hoja resumen de la planta.

<b>Concepto</b>	<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Producto</b>	En general	Fertilizantes líquidos de amplia gama, incluyéndose preparación de fórmulas a medida.
	En concreto	NPK 4-8-12; NPK 6-8-8; NPK 8-4-10 NPK 10-6-10; NPK 10-4-6; NPK 12-4-6
<b>Objetivo de producción</b>	Inicial	Unas 10.500 t de producto al año. 20 t/h
	5 años vista	Alcanzar unas 15.000 t de producto al año.
<b>Principal rasgo distintivo</b>	Versatilidad	Que se adapte rápida y fácilmente a distintas situaciones, como por ejemplo: incrementos de demanda, variación en gustos de productos, escasez de ciertas fuentes de nutrientes, fallo en alguno de sus puntos de producción o maquinaria, etc.  Todo ello causado por un mercado fuertemente estacional y concentrado en pocos meses, en los cuales se debe parar la producción lo menos posible.
<b>Localización</b>	Emplazamiento	La factoría se situará en la provincia de Sevilla, concretamente en el polígono industrial El Cádiz III, en el término municipal de La Rinconada.  Parcelas 371 y 372
	Parcela	La parcela seleccionada es la unión de dos terrenos, con referencia catastral: 1224601TG4512S0001YE y 1224602TG4512S0001GE. En su conjunto cuentan con una superficie de 11.356 m <sup>2</sup> , siendo su forma rectangular con esquinas achaflanadas.  Se cuenta con la ventaja añadida de ser accesible desde las cuatro calles que lo rodean.



<b>Localización (cont.)</b>	Infraestructuras básicas P.I. El Cádiz III	<p>Red de alumbrado público: Sí</p> <p>Sistema de depuradoras: Sí</p> <p>Red de agua potable: Sí</p> <p>Viales y accesos: Sí</p> <p>Red de hidrantes contra incendios: Sí</p> <p>Red de alcantarillados: Sí</p> <p>Recogida de basura: Sí</p> <p>Vigilancia: Sí</p>
<b>Materias primas</b>	Macronutrientes sólidos	Urea, Cloruro Potásico (KCl), Nitrato Amónico, Nitrato Potásico, Sulfato Potásico, Nitrato Cálcico, Sulfato de Amonio y Sulfato de Magnesio.
	Macronutrientes líquidos	Ácido Fósforo, NPK 10-34-0 y UAN32.
	Micronutrientes	Borax, Poliflavonoides de cobre, Quelatos de hierro (NaFeEDTA, NaFeEDDHA, FeEDDCHA), Sulfato férrico heptahidratado, Quelato de manganeso, Molibdato de amonio y Quelato de zinc.
<b>Almacenaje materia prima</b>	Macronutrientes sólidos	A granel en trojes de hormigón armado y/o bigbags. Nave de almacenamiento. Sector 1.
	Macronutrientes líquidos	En depósitos al aire, situados en cubeto junto a los depósitos de NPKs. Sector 5.
	Micronutrientes	En sacos o bidones situados en la nave de almacenamiento. Sector 1.
	Tiempo degradación nutrientes	Para estas materias primas, los tiempos hasta que comienzan a ser inservibles para su uso, siempre que se sigan unas buenas prácticas de almacenamiento, suelen ser de meses o años.
	Capacidad trojes	<p>8 Trojes para graneleo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 6 de los cuales admiten un volumen nominal de 45'5m<sup>3</sup> ( 50 t), máximo de 95 m<sup>3</sup> ( 100 t).</li> <li>- 2 de 42 m<sup>3</sup> ( 46 t), máximo 60 m<sup>3</sup> ( 72 t).</li> </ul> <p>2 Trojes para paletizados, el primero y el último, para unos 10 palets por troje a una altura (posibilidad de posicionar a más alturas).</p>



<b>Almacenaje materia prima (cont.)</b>	Capacidades depósitos	<p>Ácido fosfórico: 1 depósito de 100 m<sup>3</sup>.</p> <p>UAN32: 1 depósito de 100 m<sup>3</sup>.</p> <p>NPK 10-34-0: 1 depósito de 100 m<sup>3</sup>.</p>
	Estimación tasa reposición	Se ha considerado una tasa de reposición semanal para las materias primas.
	Base de cálculo	Se han estimado la capacidad de almacenamiento haciendo uso de las formulaciones más demandantes para cada sustancia, a pleno funcionamiento una semana en esa fórmula y ponderando la demanda entre el número de fuentes para cada nutriente en concreto. Así queda sobredimensionado el almacenamiento, cosa que permite tener cierto juego con el almacén.
<b>Almacenaje de agua</b>	Capacidad	2 Depósitos de 100 m <sup>3</sup> cada uno.
	Tiempo de trabajo sin suministro	Se ha considerado un requerimiento máximo de agua para el funcionamiento de la fábrica de 100 m <sup>3</sup> al día, por lo que dos días es el tiempo de trabajo sin suministro a pleno rendimiento.
<b>Vertido en reactores</b>	Macronutrientes sólidos	Carga en tolvas mediante pala cargadora frontal. Desde las tolvas hasta los reactores por medio de cintas transportadoras.
	Macronutrientes líquidos	Bombeo desde depósitos hasta reactores.
	Micronutrientes	Vertido manual por parte de operarios directamente en reactor correspondiente o cinta transportadora.
<b>Proceso</b>	Tipo	Procesos discontinuos tipo batch o por lotes.
	Producción	Mezclado en reactores de ciertas materias primas sólidas y líquidas con agua, haciendo uso de agitadores y con adicción o no de calor mediante agua caliente y/o intercambiadores de calor.
	Reactores	<p>2 Reactores principales de unos 6´6 m<sup>3</sup> ( 8 t).</p> <p>2 Reactores secundarios de 3´55 m<sup>3</sup> (4´3 t).</p>
	Tiempo de fabricación de un lote	De media, se estima un tiempo máximo de 90 minutos para los reactores grandes y de 60 minutos para los dos reactores pequeños secundarios.
<b>Agua caliente</b>	Caldera	Se tendrá en la planta una caldera situada en la sala de calderas, sector 3. Su depósito de combustible estará en el patio anejo a la misma. Dicha caldera suministra agua caliente a los serpentines de acumuladores y reactores.



<b>Agua caliente (cont.)</b>	Acumuladores	<p>Se tendrán 2 acumuladores de agua caliente de unos 6.000 l cada uno conectados a la caldera, así como a la red de suministro de agua fría y a los reactores.</p> <p>Desde estos acumuladores se servirá el agua caliente necesaria para aquellas formulaciones que lo requieran ya sea por época del año (temperatura del agua de servicio demasiada fría), para aumentar solubilidad de elementos, reducir tiempos de reacción, o por otra cuestión.</p>
	Capacidad	Entre caldera y acumuladores, se tendrá una potencia térmica disponible de entre 1.000 y 1.300 kW.
<b>Almacenaje productos</b>	Tránsito	Bombeo desde reactores a depósitos almacén del sector 5
	Capacidades depósitos	<p>2 Tanques de almacenamiento de 12m<sup>3</sup>.</p> <p>2 Tanques de almacenamiento de 25m<sup>3</sup>.</p> <p>10 Tanques de almacenamiento de 50m<sup>3</sup>. Dos de estos depósitos son considerados de apoyo, tanto para almacenamiento de terminados como de materias primas.</p>
	Capacidad total	<p>Estos tanques podrán contener el resultado de 4'23 turnos de 8 horas trabajando al máximo (más de 4 días si se trabaja a turno simple, dos días a turno doble). Todo ello sin realizar ni una venta.</p> <p>Se le podría sumar la capacidad de almacenamiento en bidones paletizados de 1.000 L.</p>
<b>Cubeto</b>	Vertido	<p>El cubeto de contención de vertidos, sector 5, será de unas dimensiones suficientes como para poder albergar el contenido del mayor tanque en el recogido, así como de un 10% del contenido de todo el clúster de depósitos.</p> <p>Una vez realizado el vertido, se dispondrán de las medidas adecuadas para su vaciado, bien para reutilización o bien para su neutralización.</p> <p>De hormigón, con ligero desnivel hacia zona de recogida.</p>
	Capacidad	Unos 206 m <sup>3</sup> . Rodeado de un muro de contención de 40 m x 13,5 m, con una altura de 0'5 metros.



<b>Cubeto de Proceso</b>	Vertido	En la nave de procesos otro pequeño cubeto, suficiente para recoger pequeñas pérdidas o el vertido completo de un reactor de los grandes (6,6 m <sup>3</sup> ). Dicho cubeto estará conectado con el mismo colector enterrado que discurre de este a oeste, entre el clúster de depósitos y el pozo de bombeo.
	Capacidad	Volumen de 9,6 m <sup>3</sup> rodeado por un muro de 16 x 3 m y altura de 0,2 m.
<b>Saneamiento</b>	Vertido	Los vertidos a la red pública se harán de acuerdo a la normativa vigente de la zona, siempre teniendo en cuenta la máxima del respeto al medio ambiente.
<b>Saneamiento (cont.)</b>	Control y reutilización	Se proyectará un tanque de recogida de aguas pluviales y de deshecho de las zonas más sensibles, previo paso por arqueta desarenadora y arqueta quita grasas.  Asimismo, se planteará la reutilización de estas aguas para tareas de limpieza o inclusive para proceso, siempre previo análisis de las mismas.  En caso de no poder ser reutilizadas, se llevarán a cabo las actuaciones pertinentes para su posterior vertido a cauce público.
<b>Balsa de vertidos</b>		Se situará en la esquina noroeste de la planta y estará efectuada mediante excavación de 2,5 metros de profundidad, en un área de 11 x 18 metros, resultando un volumen total de aproximadamente 480 m <sup>3</sup> .
<b>Fontanería</b>		Dos redes separadas, una para el edificio de oficina y otra para el abastecimiento de proceso.
<b>Control</b>	Proceso	Se han diseñado sistemas de control de: temperatura en el proceso; de nivel alto; de dosificación de sólidos y de vertido de materia prima líquida.
<b>Sistema eléctrico</b>		Se ha diseñado el cuadro principal y los secundarios de cada edificio.
<b>Contraincendios</b>	Sector 1	Viales y aparcamientos.
	Sector 2	Nave de proceso. Tipo C, riesgo bajo.
	Sector 3	Nave de usos múltiples. Tipo B, riesgo bajo
	Sector 4	Nave de almacenamiento. Tipo C, riesgo bajo
	Sector 5	Clúster de depósitos. Tipo E, riesgo bajo.
	Sector 6	Edificio de oficinas.
<b>Aire comprimido</b>		Se dotará de aire comprimido la instalación para uso de válvulas neumáticas y herramientas.

Fuente: Elaboración propia

**Anexo II: Índice de tablas, figuras y gráficos.**

Tabla nº	Título	Página
1.1	Primeros estadios del uso de fertilizantes fluidos durante el siglo XIX	5
1.2	Consumo de fertilizantes en España en nutrientes	7
1.3	Comparativa de consumo de fertilizantes en España y Andalucía.	9
1.4	Infraestructuras básicas del P.I. El Cádiz III.	10
1.5	Factores de conversión entre algunos elementos nutrientes.	19
1.6	Clasificación ambiental de la planta según GICA.	25
2.1	Contenidos medios de micronutrientes en suelos.	34
2.2	Unidades empleadas usualmente en España para expresar la riqueza de nutrientes.	39
2.3	Equivalencia de conversión entre algunos elementos nutrientes y sus óxidos.	40
2.4	Abonos con nutrientes principales y/o secundarios que contienen micronutrientes (contenidos mínimos).	40
2.5	Variación de la solubilidad de varios fertilizantes sólidos con la temperatura.	42
2.6	Influencia de la temperatura en la humedad relativa crítica.	43
2.7	Variación de la CE al variar la concentración de nutrientes	45
2.8	Índice salino de fertilizantes usuales en el mercado.	45
2.9	Propiedades químicas del UAN.	49
3.1	Principales formulaciones elaboradas en la planta.	55
3.2	Principales cultivos en la provincia de Sevilla, según hectáreas dedicadas a ellos, necesidades de abonado y meses en los que se fertiliza	56
3.3	Consumos de abonos en el mercado sevillano, andaluz y español.	57
3.4	Porcentajes de mercado de la planta a nivel provincial, andaluz y español.	58
3.5	Fuentes inorgánicas de micronutrientes	63
3.6	Quelatos y complejos utilizados como fuente de micronutrientes.	64
3.7	Selección de las principales fuentes de microelementos.	66
3.8	Materias primas empleadas.	67
3.9	Capacidad de los trojes de almacenamiento	70
3.10	Capacidad de los depósitos de almacenamiento de materias primas.	71
3.11	Capacidad de los depósitos de almacenamiento de productos terminados.	73
3.12	Características identificativas de los agitadores empleados	76
3.13	Características de las líneas principales de la fábrica.	77



<u>Figura</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1,1 y 1.2	Emplazamiento del P.I. El Cádiz III y la planta.	11
1.3	Formación de biuret en la urea.	13
2.1	Esquema básico de la nutrición de los cultivos.	32
2.2	Composición media de una planta (% de materia seca).	32
2.3	Ley de los rendimientos decrecientes.	37
3.1	Esquema general de diseño.	68
3.2	Diagrama de flujo general de la planta.	69
3,3	Esquema de tanque mezclador con agitador vertical.	75

<u>Gráfico</u>	<u>Título</u>	<u>Página</u>
1.1	Consumo de fertilizantes en España en nutrientes	7
1.2	Consumo agrícola de fertilizantes en España por productos.	8
1.3	Histórico del consumo total de fertilizantes en España.	8 y 29
3.1	Evolución anual del mercado actual, estimada a 5 años y producción de la planta.	59



## Anexo III: Bibliografía

- Bell, RW & B Dell. 2008. Types of micronutrient fertilizer products: Advantages and disadvantages of the different types. In: Micronutrients for sustainable food, feed, fiber and bioenergy production. IFA (International Fertilizer Industry association). 53-66 p.
- Fairweather, T & D Leikam. 2012. Fluid Journal. Careful, when blending fluid fertilizers. In: Fluid Journal (20) (3) issue 77. 11p.
- Dowdle, S. 2000. Fluid fertilizers. Proceedings of Productions and International Trade. Shanghai, China, 17-19 October. IFA. 27 p.
- [www.lapesa.com](http://www.lapesa.com) página de depósitos acumuladores y equipos para agua caliente sanitaria, depósitos y equipos para almacenamiento y transporte de gases, combustibles líquidos, productos químicos y fluidos en general.
- Palgrave. DA. 1991. History of Fluid Fertilizers. En: Palgrave, DA (Ed.) Fluid Fertilizer, Science and Technology. Marcel Dekker, New York. 633 p.
- Fertilizer Manual. 1998. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Centre (IFDC). 615 p.
- [www.anffe.com](http://www.anffe.com). Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes.
- [www.ine.es](http://www.ine.es). Instituto Nacional de Estadística. Todas las estadísticas relacionadas con fertilizantes y meteorología.
- [www.juntadeandalucia.es](http://www.juntadeandalucia.es). Junta de Andalucía, en especial todas las páginas referentes a fertilizantes, normativas y estadísticas.
- [www.tecnicoagricola.es](http://www.tecnicoagricola.es). Sobre todo tema de riquezas de elementos.
- Manual of fertilizer processing, edited by Francis T. Nielsson. 1987. Fertilizer science and technology series – volume 5.
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). [www.ipni.net](http://www.ipni.net)



- [www.fertiberia.com](http://www.fertiberia.com). Espacio dedicado a contenidos especializados sobre el mundo agrícola.
- Capítulo 1. Caracterización de los fertilizantes, y su calidad agronómica, Mónica B. Rodríguez y Martín Torres Duggan.
- J.H. Rushton, E.W. Costich, H.J. Everett. “Power characteristics of mixing impellers”.
- [www.prodetur.es](http://www.prodetur.es) página de la diputación de Sevilla, para las características de la localización.
- [www.ferroli.es](http://www.ferroli.es)
- Nelson, L.B. 1990. History of the US fertilizer industry. Tennessee Valley Authority 522 p.
- [www.ibaiondo.es](http://www.ibaiondo.es) página dedicada a diseño, fabricación y distribución de recipientes a presión.
- [www.wilo.es](http://www.wilo.es) página dedicada a fabricación de bombas.
- [www.grupohastinik.com](http://www.grupohastinik.com) página de tuberías en acero inoxidable y accesorios. Aleaciones especiales, tubería en acero al carbono y accesorios, tornillería en acero inoxidable, fijaciones insertables y accesorios para chapa metálica.
- [www.culligan.es](http://www.culligan.es) página de descalcificadoras.