

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería Industrial

**Proceso de fabricación de fertilizantes
aditivados multiproducto**

Tomo II, Volumen I: Memoria justificativa y de
Cálculo

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



Departamento de
Ingeniería de la Construcción
y Proyectos de Ingeniería





ÍNDICE

❖ MEMORIA DE CÁLCULO

| | |
|--|----------|
| 1. CAPITULO 1: EL PROCESO..... | 6 |
| 1.0.Introducción de capitulo..... | 6 |
| 1.1.Productos..... | 6 |
| 1.2.Objetivo de producción..... | 7 |
| 1.3.Selección de las materias primas..... | 10 |
| 1.3.1. Macronutrientes..... | 10 |
| 1.3.2. Micronutrientes..... | 14 |
| 1.3.3. Compatibilidades..... | 18 |
| 1.3.4. Datos de interés de la selección..... | 21 |
| 1.3.5. Selección final..... | 23 |
| 1.3.6. Combinatoria de formulaciones y materias primas..... | 23 |
| 1.4.El problema de la corrosión en las instalaciones..... | 41 |
| 1.4.1. El problema de la corrosión en general..... | 41 |
| 1.4.2. La corrosión según el material..... | 41 |
| 1.4.3. Corrosividad..... | 42 |
| 1.4.4. Técnica para evitar la corrosión..... | 44 |
| 1.5.El proceso productivo..... | 46 |
| 1.5.1. Tipo de proceso..... | 46 |
| 1.5.2. Reactores..... | 47 |
| 1.5.3. Tiempo de fabricación de un lote..... | 48 |
| 1.5.4. Capacidad de producción..... | 50 |
| 1.5.5. Cronograma producción de un turno..... | 52 |
| 1.6.Agitación de la mezcla..... | 54 |
| 1.6.1. Conceptos generales..... | 54 |
| 1.6.2. Agitadores para reactores principales o grandes..... | 56 |
| 1.6.3. Agitadores para reactores secundarios o pequeños..... | 61 |
| 1.7.Generación y distribución de calor en la planta..... | 65 |
| 1.7.1. Descripción general..... | 65 |
| 1.7.2. Caldera..... | 67 |
| 1.7.3. Intercambiadores..... | 73 |
| 1.7.4. Acumuladores de agua caliente..... | 78 |
| 1.7.5. Aislamiento térmico..... | 81 |
| 1.8.Sistema de conducción y transporte de líquidos..... | 87 |



| | |
|--|------------|
| 1.8.1. Descripción de los criterios para utilizados para el dimensionado de líneas y grupos de bombeo..... | 87 |
| 1.8.2. Dimensionado de líneas y grupos de bombeo..... | 96 |
| 1.8.3. Consideraciones finales respecto a líneas y grupos de bombeo..... | 103 |
| 1.8.4. Dimensionado de los depósitos de expansión..... | 104 |
| 1.9.Sistema de conducción y transporte de material sólido..... | 108 |
| 1.9.1. Movimientos de sólidos mediante palas cargadoras..... | 108 |
| 1.9.2. Dimensionado de tolvas..... | 109 |
| 1.9.3. Cálculo de las cintas transportadoras..... | 110 |
| 1.10. Almacenamientos..... | 115 |
| 1.10.1. Almacenamiento de materias primas sólidas..... | 115 |
| 1.10.2. Almacenamiento de materias primas líquidas..... | 117 |
| 1.10.3. Almacenamiento de fertilizantes líquidos..... | 121 |
| 2. CAPITULO 2: OBRA CIVIL..... | 123 |
| 2.0.Introducción del capítulo..... | 123 |
| 2.1.Distribución general del complejo..... | 123 |
| 2.2.Trabajos previos..... | 124 |
| 2.3.Aparcamientos, viales y otros..... | 124 |
| 2.4.Descripción del procedimiento general de cálculo para las estructuras..... | 125 |
| 2.5.Nave de proceso..... | 127 |
| 2.5.1. Descripción de la estructura..... | 127 |
| 2.5.2. Compilación de resultados de la estructura..... | 130 |
| 2.6.Nave de almacenamiento..... | 135 |
| 2.6.1. Descripción de la estructura..... | 135 |
| 2.6.2. Compilación de resultados de la estructura..... | 137 |
| 2.7.Nave de usos múltiples..... | 142 |
| 2.7.1. Descripción de la estructura..... | 142 |
| 2.7.2. Compilación de resultados de la estructura..... | 145 |
| 3. CAPITULO3: INSTALACIONES Y OTROS SERVICIOS..... | 151 |
| 3.0.Introducción del capítulo..... | 151 |
| 3.1.Instalación de fontanería..... | 151 |
| 3.2.Saneamiento..... | 153 |
| 3.2.1. Descripción general de las redes de saneamiento..... | 153 |
| 3.2.2. Cálculo de las dimensiones de cubetos de contención secundaria..... | 154 |



| | |
|--|------------|
| 3.3. Protección contra incendios..... | 157 |
| 3.4. Instalaciones eléctricas..... | 160 |
| 3.5. Sistemas de control..... | 164 |
| 3.6. Sistema de aire comprimido..... | 165 |
| | |
| 4. ANEXO I: Índice de tablas, figuras y gráficos..... | 166 |
| 5. ANEXO II: Bibliografía..... | 168 |



CAPÍTULO 1: EL PROCESO

1.0 Introducción del capítulo

En el presente capítulo se van a desarrollar todos los detalles referentes al proceso productivo. En el mismo se abarcará el cálculo o justificación de distintas etapas o partes del proceso, desde la selección de nutrientes y materias primas, hasta la definición del proceso y sus equipamientos principales, reactores, tolvas, agitadores, etc.

1.1 Productos

Los productos que se fabricarán en esta planta han de recoger todas las características que desde el cliente se detallen, así como ser adecuados para el mercado al que van dirigidos, siempre teniendo en consideración la premisa de la calidad y el respeto al medio ambiente.

Los productos aquí elaborados serán principalmente fertilizantes líquidos claros. Estos 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, sobretudo 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 1.1. Principales formulaciones elaboradas en la planta.

| Formulación NPK | % en peso | | |
|-----------------|-----------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| 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.

1.2 Objetivo 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 de 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 1.2):



Tabla 1.2 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 1.3).



Tabla 1.3. 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 1.2 y 1.3, 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 1.4):

Tabla 1.4. Porcentaje de mercado de la planta a nivel provincial, 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**.

1.3 Selección de materias primas

La fabricación de fertilizantes líquidos, sobre todo si se pretende, como es usual, que contengan múltiples nutrientes, implica la mezcla de distintas materias primas que pueden producir problemas de incompatibilidades, reducciones de solubilidades, etc.

Dicha problemática debe tenerse en cuenta e intentar reducir sus efectos o evitarlos seleccionando de forma adecuada los componentes a incorporar en la reacción. Además, a la hora de elegir las materias primas que serán usadas en el proceso, precio, disponibilidad en el mercado y solubilidad, suelen ser aspectos determinantes.

En términos de solubilidades por ejemplo, nitratos y cloruros suelen presentar mayores solubilidades que sulfatos, y estos a su vez mayor que óxidos, carbonatos o bicarbonatos. Además, hay una clara incompatibilidad entre fosfatos y compuestos que contengan calcio. Por otro lado, Los quelatos son una opción muy interesante a la hora de incorporar micronutrientes a la mezcla frente a compuestos inorgánicos, ya que tienen unas elevadas solubilidades, eficiencias agronómicas y mejor comportamiento frente a incompatibilidades, lo que compensa en cierto modo su mayor coste.

Para llegar a la selección final de materias primas incorporadas al proceso, se ha dividido entre la elección de macronutrientes por un lado y micronutrientes por otro, incorporándose a dicho análisis las tablas de compatibilidades, precios y solubilidades.

1.3.1 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 (NO₃) y de



amonio (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 NO_3 aumenta el pH y a la inversa, una de 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 y 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 lineales 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.

1.3.2 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 1.5. Fuentes inorgánicas de micronutrientes.

| Fuente | Contenido | Forma química | Solubilidad |
|---|-----------|---|-------------|
| Borax | 11% B | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Ácido bórico | 20% B | $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Pentaborato de sodio | 18% B | $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Tetraborato de sodio (Fertibor®) | 21% B | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ | Soluble |
| Octaborato disódico decahidratado (Solubor®) | 21% B | $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Sulfato de cobre pentahidratado | 25% Cu | $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Sulfato de cobre monohidratado | 35% Cu | $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Sulfato férrico heptahidratado | 20% Fe | $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Sulfato de manganeso | 27% Mn | $\text{MnSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Molibdato de amonio | 54% Mo | $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Molibdato de sodio | 39% Mo | $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Sulfato de zinc Heptahidratado | 22-23% Zn | $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Sulfato de zinc monohidratado | 36-37% Zn | $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | Soluble |
| Sulfato de zinc amoniaco | 10% Zn | $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4\text{SO}_4$ | Soluble |
| Oxisulfato de zinc | 20-60% Zn | $x\text{ZnSO}_4 \cdot x\text{ZnO}$ | Soluble |

Fuente: Bell & Dell (2008)



La selección de micronutriente a ser utilizada como materia prima en formulaciones líquidas se basa 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 uso 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 (Bell y Dell, 2008).

Tabla 1.6. Quelatos y complejos utilizados como fuente de micronutrientes.

| Fuente | Formula química | % de elemento |
|------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Quelatos de cobre | Na ₂ CuEDTA | 13-14 |
| | NaCuHEDTA | 9 |
| Lignosulfonato de cobre | - | 4-5 |
| Poliflavonoides de cobre | - | 4-7 |
| Quelatos de hierro | NaFeEDTA | 5-14 |
| | NaFeHEDTA | 5-9 |
| | NaFeEDDHA | 4-6 |
| | FeEDDHMA | 4-6 |
| | FeEDDHSA | 3-6 |
| | NaFeDTPA | 10 |
| | FeEDDCHA | 6 |
| Lignosulfonato de hierro | - | 5-8 |
| Poliflavonoide de hierro | - | 9-10 |
| Quelatos de manganeso | MnEDTA | 5-12 |
| | MnDTPA | 6 |
| Lignosulfonato de manganeso | - | 5 |
| Poliflavonoide de manganeso | - | 5-8 |
| Quelatos de zinc | Na ₂ ZnEDTA | 8-14 |
| | NaZnHEDTA | 6-10 |
| | NaZnEDTA | 9-13 |
| | NaZnNTA | 9-13 |
| Lignosulfonato de zinc | - | 5-12 |
| Poliflavonoide de zinc | - | 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 repetirlas 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 P₂O₅ 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 1.7. Selección de las principales fuentes de microelementos.

| Microelemento | Fuente | Formula química |
|---------------|--------------------------------|---|
| Boro | Borax | $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ |
| Cloro | Cloruro de potasio | KCl |
| Cobre | Poliflavonoides de cobre | - |
| Hierro | Quelatos de hierro | NaFeEDTA |
| | | NaFeEDDHA |
| | | FeEDDCHA |
| | Sulfato férrico heptahidratado | $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ |
| Manganeso | Quelato de manganeso | MnEDTA |
| Molibdeno | Molibdato de amonio | $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ |
| Zinc | Quelato de zinc | Na ₂ 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”.

1.3.3 Compatibilidades

La compatibilidad de las distintas materias primas es importantísima a la hora de su selección para diseñar formulaciones factibles, para que estas sean adecuadas a las demandas del cliente, para formar parte del almacenamiento de la fábrica de forma segura, etc. Además, si se tienen diversas opciones en stock para una misma formulación, el uso o no de cierta sustancia puede estar condicionada por sus compatibilidades. Con todo, se muestran en las siguientes tablas compatibilidades de diversas materias primas para su uso en la planta.



Tablas 1.8 y 1.9. Compatibilidades entre distintos elementos.

| | Urea | Nitrato de amonio | Sulfato de amonio | Nitrato de calcio | Nitrato de magnesio | Fosfato monoamónico | Fosfato monopotásico | Nitrato de potasio | Sulfato de potasio | Cloruro de potasio | Acido fosfórico | Acido nítrico | Acido Sulfurico | Sulfatos Fe, Zn, Cu, Mn | Quelatos Fe, Zn, Cu, Mn | Sulfato de magnesio |
|-------------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| Urea | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nitrato de amonio | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sulfato de amonio | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nitrato de calcio | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| Nitrato de magnesio | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fosfato monoamónico | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fosfato monopotásico | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nitrato de potasio | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sulfato de potasio | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| Cloruro de potasio | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acido fosfórico | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acido nítrico | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acido Sulfurico | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sulfatos Fe, Zn, Cu, Mn | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Quelatos Fe, Zn, Cu, Mn | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sulfato de magnesio | | | | | | | | | | | | | | | | |

- Compaible
- Se reduce la solubilidad
- Incompatible

Fuente: www.Fertilizando.com

Precaución: Esta Tabla contiene información basada en opiniones de personas que se desempeñan en la industria de fertilizantes fluidos. La misma es solo una guía general.

■ Compatible, mezcla generalmente aceptable.
■ "Compatibilidad Limitada", compatible con límites de solubilidad
■ Compatibilidad Muy Limitada*, mezclas en general no adecuadas
■ Incompatible**, mezcla no apropiada y/o combinación peligrosa
■ Generación significativa de calor.

| Fertilizante | Nitrógeno Anhidro; 8 | Aqua Ammonia; 20-0-0 | Solución de Urea; 23-0-0 | Solución de Nitrato de Amonio | Soluciones de UAN | Soluciones de Sulfato de Amonio | Solución de Polifosfatos de Amonio | Solución de Cloruro de Amonio | Solución de Tiosulfato de Amonio | Solución de Tiosulfato de Potasio | Tiosulfato de Calcio | Tiosulfato de Magnesio | Soluciones de Calcio-Nitrato de Amonio | Calcium Nitrate Solution | Soluciones de Carbonato de Potasio | Agua | N-phuric® | N-phuric® | Acido Nitrico | Acido Fosforico (blanco) | Acido Fosforico (verde) | Acido Sulfurico | Urea | Nitrato de Amonio; 34 | Nitrato de Calcio | Cloruro de Potasio; 0-0- | Nitrato de Potasio; 13-0 | Nitrato de Magnesio | Fosfato Monoamónico | Fosfato Monopotásico | PeKacid® |
|--|----------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|--|--------------------------|------------------------------------|------|-----------|-----------|---------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|------|-----------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------|
| Nitrógeno Anhidro; 82-0-0 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Aqua Ammonia; 20-0-0 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Solución de Urea; 23-0-0 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Solución de Nitrato de Amonio; 20-0-0 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Soluciones de UAN ; 28/32-0-0 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Soluciones de Sulfato de Amonio; 8-0-0-9S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Soluciones de Polifosfatos de Amonio (APP); 10-34-0 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Solución de Cloruro de Amonio; 6-0-0-16Cl | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Solución de Tiosulfato de Amonio; TSA 12-0-0-26S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Solución de Tiosulfato de Potasio; TSP 0-0-25-17S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Tiosulfato de Calcio; TSCa, 6%Ca 10%S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Tiosulfato de Magnesio; TS Mg, 10%S 4%Mg | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Soluciones de Calcio-Nitrato de Amonio; 17-0-0 8.8Ca | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Calcium Nitrate Solution; 8-0-0-11Ca | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Soluciones de Carbonato de Potasio; 0-0-32 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| N-phuric® 28/27; 28-0-0-9S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| N-phuric® 15/49; 15-0-0-16S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| N-phuric® 10/55; 10-0-0-18S | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Agua | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Acido Nitrico | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Acido Fosforico (blanco) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Acido Fosforico (verde) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Acido Sulfurico | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Urea; 46-0-0 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Nitrato de Amonio; 34-0-0 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Nitrato de Calcio; 15.5-0-0-19Ca | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Cloruro de Potasio; 0-0-62 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Nitrato de Potasio; 13-0-46 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Nitrato de Magnesio; 10-0-0-9Mg | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Fosfato Monoamónico (grado técnico); 12-61-0 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Fosfato Monopotásico (0-52-34) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| PeKacid®(0-60-20) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Fuente: Fairweather & Leikam (2012).



Además de las tablas anteriores, siempre es conveniente la realización de un “Jar test” para comprobar las compatibilidades. Así, la evaluación de la compatibilidad de fertilizantes fluidos en recipientes pequeños (“Jar test”) es una forma práctica y sencilla de analizar la compatibilidad de fertilizantes. La ejecución del mismo es sencillo, utilizar las mismas proporciones que se utilizarán en la formulación y, si luego de un tiempo, se forman compuestos de baja solubilidad o se observa turbidez, la mezcla no es compatible. Con ello se pueden comprobar diversas formulaciones de una forma sencilla y barata, como se observa en las figuras adjuntas.

Figuras 1.1 y 1.2. Ensayo Jar test de forma manual y automatizado.



Fuente: www.ovan.es

1.3.4 Datos de interés a la hora de la selección

En la tabla que aparece debajo de estas líneas se recogen de forma general el valor de adquisición de diversas materias primas, así como solubilidades u otras características interesantes para la selección de dichas materias.



Tabla 1.10. Características de interés de las materias primas para su selección.

| Macroelementos | | | | |
|-----------------------|---|---|-----------------------------|---|
| Fertilizantes | Principales nutrientes aportados | Relación general de Solubilidad del soluto al agua | Costo de adquisición | Otros datos |
| Nitrato de potasio | N, K | 1:4 | Alto | Altamente soluble y muy puro |
| Nitrato cálcico | Ca, N | 1:1 | Medio | Altamente soluble |
| Sulfato amónico | S, N | 1:2 | Bajo | |
| Nitrato de amonio | N | 1:1 | Medio | Una excelente solubilidad y gran pureza |
| Fosfato diamónico | N, P | 1:4 | Medio | |
| Fosfato amónico | N, P | 1:4 | Bajo | |
| Cloruro potásico | K, Cl | 1:3 | Bajo, medio | Deberá utilizarse solamente en caso de que el cloro no sea nocivo para el cultivo |
| Sulfato potásico | S, K | 1:15 | Alto | Tiene una solubilidad baja, a menos que sea en agua caliente |
| Sulfato de magnesio | S, Mg | 1:2 | Bajo, medio | Excelente, barato, altamente soluble, sal pura |
| Cloruro cálcico | Ca, Cl | 1:1 | Alto | Altamente soluble, genera problemas de compatibilidades con ciertas sales |
| Sulfato cálcico | Ca, S | 1:500 | Bajo | Muy insoluble |
| Ácido fosfórico | P | Solución concentrada de ácido | Medio | Muy bueno para corregir deficiencias de fósforo |
| Urea | N | 1:2 | Bajo | Muy buena solubilidad, común, puede generar problemas de biuret |
| UAN | N | 1:2 | Medio | Excelente tanto para su venta directa como para su uso como solución madre |
| Fosfato monocálcico | P, Ca | 1:410 | Bajo | Muy difícil de obtener con buen grado de solubilidad |

Fuente: Elaboración propia.



1.3.5 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 1.11. 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 Fósfórico 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

1.3.6 Combinatoria de formulaciones y materias primas

En este apartado se ha recogido una serie de formulaciones que se podrían fabricar en el complejo, en concreto, se han cogido las 6 formulaciones de productos de fertilizantes líquidos que se van a realizar en la fábrica a modo de productos básicos, y se han elaborado todas las combinaciones para cada una de las recetas con las materias primas disponibles en la planta.

De este modo se han obtenido más de 160 recetas, no todas factibles, que podrían realizarse en el complejo. En cada línea de las siguientes tablas 1.12 se recogen: la fórmula a realizar; las fuentes de cada nutriente principal con la cantidad necesaria a incorporar al reactor; el agua que debe verterse en el reactor para diluir los nutrientes; la cantidad de energía en forma de calor que absorbe (+) o cede (-) dicha fórmula para su elaboración. Todo ello teniendo en consideración un marco de cálculo de 8.000 kg, es decir, un reactor de los grandes.

Para el caso de las tablas 1.13, son la continuación de las tablas 1.12, si se disponen en horizontal. En cada línea se recoge: la formulación de producto a realizar; la cantidad de agua necesaria para ello; la máxima cantidad de cada materia prima por nutrientes que sería posible disolver en esa cantidad de agua para esa formulación y temperatura de reacción 15°C; si la solubilidad de los nutrientes de la fórmula está



especialmente reducida por la incorporación e interacción entre materias primas en ella involucradas.

Es necesario resaltar respecto a la solubilidad de las materias primas en las distintas formulaciones que, la misma puede estar reducida y alterada por la interacción entre las distintas materias primas. Es decir, la máxima solubilidad de cada componente elemental en agua se reduce y altera al disolverse en esa misma agua otros componentes. Es por ello que deben recurrirse a triángulos de solubilidades en los que se cruzan las solubilidades de diversas materias y se corrigen las mismas. Dichos triángulos existen para ciertos componentes y no son de fácil acceso, pues suelen ser el resultado de numerosos procesos de experimentación. De forma genérica, se pueden realizar ensayos jarrest como los enunciados para corroborar las compatibilidades de las materias primas para comprobar la solubilidad de una cierta formulación si se tiene dudas de ser factible.

No obstante, al incorporar en el proceso fuentes de calor, esto permite elevar la temperatura de las mezclas, con lo que se aumenta de forma genérica las solubilidades de los componentes que se diluyen en los reactores.

Antes de sacar ningún producto es necesario también realizar un estudio de su comportamiento una vez elaborado y almacenado, por comprobar que su comportamiento ante la cristalización es el adecuado y deseable desde la dirección técnica.



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

Tablas 1.12. Formulaciones de fertilizantes líquidos a partir de nutrientes, agua y calor.

| Fórmula | Urea | Nitrato amónico | UAN32 | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Agua | Calor total |
|---------|---------|-----------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|---------|-------------|
| 4-8-12 | 695,65 | | | | | 1600,00 | 1185,19 | | | | 4519,16 | 99557,9 |
| 6-8-8 | 1043,48 | | | | | 1066,67 | 1185,19 | | | | 4704,67 | 89626,9 |
| 8-4-10 | 1391,30 | | | | | 1333,33 | 592,59 | | | | 4682,77 | 140173,7 |
| 10-6-10 | 1739,13 | | | | | 1333,33 | 888,89 | | | | 4038,65 | 152586,0 |
| 10-4-6 | 1739,13 | | | | | 800,00 | 592,59 | | | | 4868,28 | 130242,7 |
| 12-4-6 | 2086,96 | | | | | 800,00 | 592,59 | | | | 4520,45 | 150358,7 |
| 4-8-12 | 695,65 | | | | | | 1185,19 | | | 1920,00 | 4199,16 | 77713,1 |
| 6-8-8 | 1043,48 | | | | | | 1185,19 | | | 1280,00 | 4491,34 | 75063,7 |
| 8-4-10 | 1391,30 | | | | | | 592,59 | | | 1600,00 | 4416,10 | 121969,7 |
| 10-6-10 | 1739,13 | | | | | | 888,89 | | | 1600,00 | 3771,98 | 134382,0 |
| 10-4-6 | 1739,13 | | | | | | 592,59 | | | 960,00 | 4708,28 | 119320,3 |
| 12-4-6 | 2086,96 | | | | | | 592,59 | | | 960,00 | 4360,45 | 139436,3 |
| 4-8-12 | 105,86 | | | | 2086,96 | | 1185,19 | | | | 4622,00 | 147259,4 |
| 6-8-8 | 650,28 | | | | 1391,30 | | 1185,19 | | | | 4773,23 | 121427,9 |
| 8-4-10 | 899,81 | | | | 1739,13 | | 592,59 | | | | 4768,47 | 179925,0 |
| 10-6-10 | 1247,64 | | | | 1739,13 | | 888,89 | | | | 4124,34 | 192337,2 |
| 10-4-6 | 1444,23 | | | | 1043,48 | | 592,59 | | | | 4919,69 | 154093,5 |
| 12-4-6 | 1792,06 | | | | 1043,48 | | 592,59 | | | | 4571,87 | 174209,4 |

) Unidades de los nutrientes de tabla: Kg
) Unidades de agua: Litro
) Unidades de calor: Kcal

) Lotes de 8 toneladas
) En rojo fórmulas inviables
) En verde fórmulas con demandas más elevadas del componente



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Urea | Nitrato amónico | UAN32 | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Agua | Calor total |
|---------|---------|-----------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|---------|-------------|
| 4-8-12 | -303,35 | | | | 2086,96 | | | | 1882,35 | | 4334,04 | 154408,4 |
| 6-8-8 | 241,08 | | | | 1391,30 | | | | 1882,35 | | 4485,27 | 128576,9 |
| 8-4-10 | 695,21 | | | | 1739,13 | | | | 941,18 | | 4624,49 | 183499,5 |
| 10-6-10 | 940,73 | | | | 1739,13 | | | | 1411,76 | | 3908,37 | 197699,0 |
| 10-4-6 | 1239,63 | | | | 1043,48 | | | | 941,18 | | 4775,71 | 157668,0 |
| 12-4-6 | 1587,46 | | | | 1043,48 | | | | 941,18 | | 4427,89 | 177783,9 |
| 4-8-12 | 286,45 | | | | | 1600,00 | | | 1882,35 | | 4231,20 | 106706,9 |
| 6-8-8 | 634,27 | | | | | 1066,67 | | | 1882,35 | | 4416,71 | 96775,9 |
| 8-4-10 | 1186,70 | | | | | 1333,33 | | | 941,18 | | 4538,79 | 143748,2 |
| 10-6-10 | 1432,23 | | | | | 1333,33 | | | 1411,76 | | 3822,68 | 157947,7 |
| 10-4-6 | 1534,53 | | | | | 800,00 | | | 941,18 | | 4724,30 | 133817,2 |
| 12-4-6 | 1882,35 | | | | | 800,00 | | | 941,18 | | 4376,47 | 153933,2 |
| 4-8-12 | 286,45 | | | | | | | | 1882,35 | 1920,00 | 3911,20 | 84862,1 |
| 6-8-8 | 634,27 | | | | | | | | 1882,35 | 1280,00 | 4203,38 | 82212,7 |
| 8-4-10 | 1186,70 | | | | | | | | 941,18 | 1600,00 | 4272,12 | 125544,2 |
| 10-6-10 | 1432,23 | | | | | | | | 1411,76 | 1600,00 | 3556,01 | 139743,7 |
| 10-4-6 | 1534,53 | | | | | | | | 941,18 | 960,00 | 4564,30 | 122894,8 |
| 12-4-6 | 1882,35 | | | | | | | | 941,18 | 960,00 | 4216,47 | 143010,8 |

) Unidades de los nutrientes de tabla: Kg
) Unidades de agua: Litro
) Unidades de calor: Kcal

) Lotes de 8 toneladas
) En rojo fórmulas inviables
) En verde fórmulas con demandas más elevadas del componente



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Urea | Nitrato amónico | UAN32 | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Agua | Calor total |
|---------|------|-----------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|---------|-------------|
| 4-8-12 | | 941,18 | | | | 1600,00 | 1185,19 | | | | 4273,64 | 131489,2 |
| 6-8-8 | | 1411,76 | | | | 1066,67 | 1185,19 | | | | 4336,38 | 137523,8 |
| 8-4-10 | | 1882,35 | | | | 1333,33 | 592,59 | | | | 4191,72 | 204036,2 |
| 10-6-10 | | 2352,94 | | | | 1333,33 | 888,89 | | | | 3424,84 | 232414,1 |
| 10-4-6 | | 2352,94 | | | | 800,00 | 592,59 | | | | 4254,47 | 210070,8 |
| 12-4-6 | | 2823,53 | | | | 800,00 | 592,59 | | | | 3783,88 | 246152,4 |
| 4-8-12 | | 941,18 | | | | | 1185,19 | | | 1920,00 | 3953,64 | 109644,4 |
| 6-8-8 | | 1411,76 | | | | | 1185,19 | | | 1280,00 | 4123,05 | 122960,6 |
| 8-4-10 | | 1882,35 | | | | | 592,59 | | | 1600,00 | 3925,05 | 185832,2 |
| 10-6-10 | | 2352,94 | | | | | 888,89 | | | 1600,00 | 3158,17 | 214210,1 |
| 10-4-6 | | 2352,94 | | | | | 592,59 | | | 960,00 | 4094,47 | 199148,4 |
| 12-4-6 | | 2823,53 | | | | | 592,59 | | | 960,00 | 3623,88 | 235230,0 |
| 4-8-12 | | 143,22 | | | 2086,96 | | 1185,19 | | | | 4584,64 | 152118,5 |
| 6-8-8 | | 879,80 | | | 1391,30 | | 1185,19 | | | | 4543,72 | 151276,7 |
| 8-4-10 | | 1217,39 | | | 1739,13 | | 592,59 | | | | 4450,89 | 221227,4 |
| 10-6-10 | | 1687,98 | | | 1739,13 | | 888,89 | | | | 3684,00 | 249605,2 |
| 10-4-6 | | 1953,96 | | | 1043,48 | | 592,59 | | | | 4409,96 | 220385,5 |
| 12-4-6 | | 2424,55 | | | 1043,48 | | 592,59 | | | | 3939,38 | 256467,1 |

) Unidades de los nutrientes de tabla: Kg
) Unidades de agua: Litro
) Unidades de calor: Kcal

) Lotes de 8 toneladas
) En rojo fórmulas inviables
) En verde fórmulas con demandas más elevadas del componente



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Urea | Nitrato amónico | UAN32 | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Agua | Calor total |
|---------|------|-----------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|---------|-------------|
| 4-8-12 | | -410,41 | | | 2086,96 | | | | 1882,35 | | 4441,10 | 140484,5 |
| 6-8-8 | | 326,16 | | | 1391,30 | | | | 1882,35 | | 4400,18 | 139642,6 |
| 8-4-10 | | 940,57 | | | 1739,13 | | | | 941,18 | | 4379,12 | 215410,3 |
| 10-6-10 | | 1272,75 | | | 1739,13 | | | | 1411,76 | | 3576,35 | 240879,7 |
| 10-4-6 | | 1677,15 | | | 1043,48 | | | | 941,18 | | 4338,20 | 214568,5 |
| 12-4-6 | | 2147,74 | | | 1043,48 | | | | 941,18 | | 3867,61 | 250650,1 |
| 4-8-12 | | 387,54 | | | | 1600,00 | | | 1882,35 | | 4130,10 | 119855,1 |
| 6-8-8 | | 858,13 | | | | 1066,67 | | | 1882,35 | | 4192,85 | 125889,7 |
| 8-4-10 | | 1605,54 | | | | 1333,33 | | | 941,18 | | 4119,95 | 198219,2 |
| 10-6-10 | | 1937,72 | | | | 1333,33 | | | 1411,76 | | 3317,19 | 223688,5 |
| 10-4-6 | | 2076,12 | | | | 800,00 | | | 941,18 | | 4182,70 | 204253,8 |
| 12-4-6 | | 2546,71 | | | | 800,00 | | | 941,18 | | 3712,11 | 240335,4 |
| 4-8-12 | | 387,54 | | | | | | | 1882,35 | 1920,00 | 3810,10 | 98010,3 |
| 6-8-8 | | 858,13 | | | | | | | 1882,35 | 1280,00 | 3979,52 | 111326,5 |
| 8-4-10 | | 1605,54 | | | | | | | 941,18 | 1600,00 | 3853,29 | 180015,2 |
| 10-6-10 | | 1937,72 | | | | | | | 1411,76 | 1600,00 | 3050,52 | 205484,5 |
| 10-4-6 | | 2076,12 | | | | | | | 941,18 | 960,00 | 4022,70 | 193331,4 |
| 12-4-6 | | 2546,71 | | | | | | | 941,18 | 960,00 | 3552,11 | 229413,0 |

) Unidades de los nutrientes de tabla: Kg
) Unidades de agua: Litro
) Unidades de calor: Kcal

) Lotes de 8 toneladas
) En rojo fórmulas inviables
) En verde fórmulas con demandas más elevadas del componente



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Urea | Nitrato amónico | UAN32 | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Agua | Calor total |
|---------|------|-----------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|---------|-------------|
| 4-8-12 | | | | | | 1600,00 | 1185,19 | 1523,81 | | | 3691,01 | 86989,7 |
| 6-8-8 | | | | | | 1066,67 | 1185,19 | 2285,71 | | | 3462,43 | 70774,7 |
| 8-4-10 | | | | | | 1333,33 | 592,59 | 3047,62 | | | 3026,46 | 115037,4 |
| 10-6-10 | | | | | | 1333,33 | 888,89 | 3809,52 | | | 1968,25 | 121165,5 |
| 10-4-6 | | | | | | 800,00 | 592,59 | 3809,52 | | | 2797,88 | 98822,3 |
| 12-4-6 | | | | | | 800,00 | 592,59 | 4571,43 | | | 2035,98 | 112654,2 |
| 4-8-12 | | | | | | | 1185,19 | 1523,81 | | 1920,00 | 3371,01 | 65144,9 |
| 6-8-8 | | | | | | | 1185,19 | 2285,71 | | 1280,00 | 3249,10 | 56211,4 |
| 8-4-10 | | | | | | | 592,59 | 3047,62 | | 1600,00 | 2759,79 | 96833,4 |
| 10-6-10 | | | | | | | 888,89 | 3809,52 | | 1600,00 | 1701,59 | 102961,5 |
| 10-4-6 | | | | | | | 592,59 | 3809,52 | | 960,00 | 2637,88 | 87899,9 |
| 12-4-6 | | | | | | | 592,59 | 4571,43 | | 960,00 | 1875,98 | 101731,8 |
| 4-8-12 | | | | | 2086,96 | | 1185,19 | 231,88 | | | 4495,97 | 145346,9 |
| 6-8-8 | | | | | 1391,30 | | 1185,19 | 1424,43 | | | 3999,08 | 109679,4 |
| 8-4-10 | | | | | 1739,13 | | 592,59 | 1971,01 | | | 3697,26 | 163668,3 |
| 10-6-10 | | | | | 1739,13 | | 888,89 | 2732,92 | | | 2639,06 | 169796,5 |
| 10-4-6 | | | | | 1043,48 | | 592,59 | 3163,56 | | | 3200,37 | 128000,9 |
| 12-4-6 | | | | | 1043,48 | | 592,59 | 3925,47 | | | 2438,46 | 141832,7 |

-) Unidades de los nutrientes de tabla: Kg
-) Unidades de agua: Litro
-) Unidades de calor: Kcal

-) Lotes de 8 toneladas
-) En rojo fórmulas inviables
-) En verde fórmulas con demandas más elevadas del componente



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Urea | Nitrato amónico | UAN32 | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Agua | Calor total |
|---------|------|-----------------|-------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|---------|-------------|
| 4-8-12 | | | | | 2086,96 | | | -664,47 | 1882,35 | | 4695,17 | 159888,9 |
| 6-8-8 | | | | | 1391,30 | | | 528,07 | 1882,35 | | 4198,27 | 124221,5 |
| 8-4-10 | | | | | 1739,13 | | | 1522,84 | 941,18 | | 3796,86 | 170939,4 |
| 10-6-10 | | | | | 1739,13 | | | 2060,65 | 1411,76 | | 2788,45 | 180703,0 |
| 10-4-6 | | | | | 1043,48 | | | 2715,38 | 941,18 | | 3299,96 | 135271,9 |
| 12-4-6 | | | | | 1043,48 | | | 3477,29 | 941,18 | | 2538,06 | 149103,7 |
| 4-8-12 | | | | | | 1600,00 | | 627,45 | 1882,35 | | 3890,20 | 101531,8 |
| 6-8-8 | | | | | | 1066,67 | | 1389,36 | 1882,35 | | 3661,62 | 85316,7 |
| 8-4-10 | | | | | | 1333,33 | | 2599,44 | 941,18 | | 3126,05 | 122308,4 |
| 10-6-10 | | | | | | 1333,33 | | 3137,25 | 1411,76 | | 2117,65 | 132072,1 |
| 10-4-6 | | | | | | 800,00 | | 3361,34 | 941,18 | | 2897,48 | 106093,3 |
| 12-4-6 | | | | | | 800,00 | | 4123,25 | 941,18 | | 2135,57 | 119925,2 |
| 4-8-12 | | | | | | | | 627,45 | 1882,35 | 1920,00 | 3570,20 | 79687,0 |
| 6-8-8 | | | | | | | | 1389,36 | 1882,35 | 1280,00 | 3448,29 | 70753,5 |
| 8-4-10 | | | | | | | | 2599,44 | 941,18 | 1600,00 | 2859,38 | 104104,4 |
| 10-6-10 | | | | | | | | 3137,25 | 1411,76 | 1600,00 | 1850,98 | 113868,1 |
| 10-4-6 | | | | | | | | 3361,34 | 941,18 | 960,00 | 2737,48 | 95170,9 |
| 12-4-6 | | | | | | | | 4123,25 | 941,18 | 960,00 | 1975,57 | 109002,8 |

) Unidades de los nutrientes de tabla: Kg
) Unidades de agua: Litro
) Unidades de calor: Kcal

) Lotes de 8 toneladas
) En rojo fórmulas inviables
) En verde fórmulas con demandas más elevadas del componente



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Urea | Nitrato amónico | UAN32 | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Agua | Calor total |
|---------|------|-----------------|---------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|---------|-------------|
| 4-8-12 | | | 1000,00 | | | 1600,00 | 1185,19 | | | | 4214,81 | 59326,0 |
| 6-8-8 | | | 1500,00 | | | 1066,67 | 1185,19 | | | | 4248,15 | 29279,1 |
| 8-4-10 | | | 2000,00 | | | 1333,33 | 592,59 | | | | 4074,07 | 59710,0 |
| 10-6-10 | | | 2500,00 | | | 1333,33 | 888,89 | | | | 3277,78 | 52006,3 |
| 10-4-6 | | | 2500,00 | | | 800,00 | 592,59 | | | | 4107,41 | 29663,0 |
| 12-4-6 | | | 3000,00 | | | 800,00 | 592,59 | | | | 3607,41 | 29663,0 |
| 4-8-12 | | | 1000,00 | | | | 1185,19 | | | 1920,00 | 3894,81 | 37481,2 |
| 6-8-8 | | | 1500,00 | | | | 1185,19 | | | 1280,00 | 4034,81 | 14715,9 |
| 8-4-10 | | | 2000,00 | | | | 592,59 | | | 1600,00 | 3807,41 | 41506,0 |
| 10-6-10 | | | 2500,00 | | | | 888,89 | | | 1600,00 | 3011,11 | 33802,3 |
| 10-4-6 | | | 2500,00 | | | | 592,59 | | | 960,00 | 3947,41 | 18740,6 |
| 12-4-6 | | | 3000,00 | | | | 592,59 | | | 960,00 | 3447,41 | 18740,6 |
| 4-8-12 | | | 152,17 | | 2086,96 | | 1185,19 | | | | 4575,68 | 141137,2 |
| 6-8-8 | | | 934,78 | | 1391,30 | | 1185,19 | | | | 4488,73 | 83819,9 |
| 8-4-10 | | | 1293,48 | | 1739,13 | | 592,59 | | | | 4374,80 | 127885,9 |
| 10-6-10 | | | 1793,48 | | 1739,13 | | 888,89 | | | | 3578,50 | 120182,2 |
| 10-4-6 | | | 2076,09 | | 1043,48 | | 592,59 | | | | 4287,84 | 70568,6 |
| 12-4-6 | | | 2576,09 | | 1043,48 | | 592,59 | | | | 3787,84 | 70568,6 |

) Unidades de los nutrientes de tabla: Kg
) Unidades de agua: Litro
) Unidades de calor: Kcal

) Lotes de 8 toneladas
) En rojo fórmulas inviables
) En verde fórmulas con demandas más elevadas del componente



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Urea | Nitrato amónico | UAN32 | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Agua | Calor total |
|---------|------|-----------------|---------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|---------|-------------|
| 4-8-12 | | | -436,06 | | 2086,96 | | | | 1882,35 | | 4466,75 | 171952,0 |
| 6-8-8 | | | 346,55 | | 1391,30 | | | | 1882,35 | | 4379,80 | 114634,7 |
| 8-4-10 | | | 999,36 | | 1739,13 | | | | 941,18 | | 4320,33 | 143293,3 |
| 10-6-10 | | | 1352,30 | | 1739,13 | | | | 1411,76 | | 3496,80 | 143293,3 |
| 10-4-6 | | | 1781,97 | | 1043,48 | | | | 941,18 | | 4233,38 | 85976,0 |
| 12-4-6 | | | 2281,97 | | 1043,48 | | | | 941,18 | | 3733,38 | 85976,0 |
| 4-8-12 | | | 411,76 | | | 1600,00 | | | 1882,35 | | 4105,88 | 90140,8 |
| 6-8-8 | | | 911,76 | | | 1066,67 | | | 1882,35 | | 4139,22 | 60093,9 |
| 8-4-10 | | | 1705,88 | | | 1333,33 | | | 941,18 | | 4019,61 | 75117,4 |
| 10-6-10 | | | 2058,82 | | | 1333,33 | | | 1411,76 | | 3196,08 | 75117,4 |
| 10-4-6 | | | 2205,88 | | | 800,00 | | | 941,18 | | 4052,94 | 45070,4 |
| 12-4-6 | | | 2705,88 | | | 800,00 | | | 941,18 | | 3552,94 | 45070,4 |
| 4-8-12 | | | 411,76 | | | | | | 1882,35 | 1920,00 | 3785,88 | 68296,0 |
| 6-8-8 | | | 911,76 | | | | | | 1882,35 | 1280,00 | 3925,88 | 45530,7 |
| 8-4-10 | | | 1705,88 | | | | | | 941,18 | 1600,00 | 3752,94 | 56913,4 |
| 10-6-10 | | | 2058,82 | | | | | | 1411,76 | 1600,00 | 2929,41 | 56913,4 |
| 10-4-6 | | | 2205,88 | | | | | | 941,18 | 960,00 | 3892,94 | 34148,0 |
| 12-4-6 | | | 2705,88 | | | | | | 941,18 | 960,00 | 3392,94 | 34148,0 |

) Unidades de los nutrientes de tabla: Kg
) Unidades de agua: Litro
) Unidades de calor: Kcal

) Lotes de 8 toneladas
) En rojo fórmulas inviables
) En verde fórmulas con demandas más elevadas del componente



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto



Tablas 1.13. Cantidades máximas solubles de cada fertilizante para lotes de 8.000 kg

| Fórmula | Agua | Urea | UAN32 | Nitrato amónico | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Solubilidad reducida |
|---------|---------|---------|-------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|----------------------|
| 4-8-12 | 4519,16 | 5423,00 | | | 15410,34 | | 1672,09 | 23883,77 | | | | No |
| 6-8-8 | 4704,67 | 5645,60 | | | 16042,92 | | 1740,73 | 24864,18 | | | | No |
| 8-4-10 | 4682,77 | 5619,32 | | | 15968,24 | | 1732,62 | 24748,44 | | | | No |
| 10-6-10 | 4038,65 | 4846,38 | | | 13771,79 | | 1494,30 | 21344,25 | | | | No |
| 10-4-6 | 4868,28 | 5841,93 | | | 16600,82 | | 1801,26 | 25728,84 | | | | No |
| 12-4-6 | 4520,45 | 5424,54 | | | 15414,74 | | 1672,57 | 23890,58 | | | | No |
| 4-8-12 | 4199,16 | 5039,00 | | | 14319,14 | | | 22192,57 | | | 545,89 | No |
| 6-8-8 | 4491,34 | 5389,60 | | | 15315,46 | | | 23736,71 | | | 583,87 | No |
| 8-4-10 | 4416,10 | 5299,32 | | | 15058,91 | | | 23339,10 | | | 574,09 | No |
| 10-6-10 | 3771,98 | 4526,38 | | | 12862,45 | | | 19934,92 | | | 490,36 | No |
| 10-4-6 | 4708,28 | 5649,93 | | | 16055,22 | | | 24883,24 | | | 612,08 | No |
| 12-4-6 | 4360,45 | 5232,54 | | | 14869,14 | | | 23044,98 | | | 566,86 | No |
| 4-8-12 | 4622,00 | 5546,40 | | | 15761,01 | 2126,12 | | 24427,26 | | | | No |
| 6-8-8 | 4773,23 | 5727,87 | | | 16276,70 | 2195,68 | | 25226,50 | | | | No |
| 8-4-10 | 4768,47 | 5722,16 | | | 16260,47 | 2193,49 | | 25201,34 | | | | No |
| 10-6-10 | 4124,34 | 4949,21 | | | 14064,01 | 1897,20 | | 21797,16 | | | | No |
| 10-4-6 | 4919,69 | 5903,63 | | | 16776,16 | 2263,06 | | 26000,59 | | | | No |
| 12-4-6 | 4571,87 | 5486,24 | | | 15590,07 | 2103,06 | | 24162,33 | | | | No |

) Cantidad de nutrientes máximos solubles para esas cantidades de agua en kg.

) En **marrón** máxima cantidad de nutriente soluble para esas condiciones de agua y temperatura, insuficientes para esa formulación

) En **rojo** composiciones inviables



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto



| Fórmula | Agua | Urea | UAN32 | Nitrato amónico | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Solubilidad reducida |
|---------|---------|---------|-------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|----------------------|
| 4-8-12 | 4334,04 | 5200,85 | | | 14779,07 | 1993,66 | | | | 4334,04 | | No |
| 6-8-8 | 4485,27 | 5382,32 | | | 15294,76 | 2063,22 | | | | 4485,27 | | No |
| 8-4-10 | 4624,49 | 5549,38 | | | 15769,50 | 2127,26 | | | | 4624,49 | | No |
| 10-6-10 | 3908,37 | 4690,05 | | | 13327,55 | 1797,85 | | | | 3908,37 | | No |
| 10-4-6 | 4775,71 | 5730,86 | | | 16285,19 | 2196,83 | | | | 4775,71 | | No |
| 12-4-6 | 4427,89 | 5313,47 | | | 15099,10 | 2036,83 | | | | 4427,89 | | No |
| 4-8-12 | 4231,20 | 5077,44 | | | 14428,40 | | 1565,54 | | | 4231,20 | | No |
| 6-8-8 | 4416,71 | 5300,05 | | | 15060,98 | | 1634,18 | | | 4416,71 | | No |
| 8-4-10 | 4538,79 | 5446,55 | | | 15477,27 | | 1679,35 | | | 4538,79 | | No |
| 10-6-10 | 3822,68 | 4587,21 | | | 13035,33 | | 1414,39 | | | 3822,68 | | No |
| 10-4-6 | 4724,30 | 5669,16 | | | 16109,85 | | 1747,99 | | | 4724,30 | | No |
| 12-4-6 | 4376,47 | 5251,76 | | | 14923,76 | | 1619,29 | | | 4376,47 | | No |
| 4-8-12 | 3911,20 | 4693,44 | | | 13337,20 | | | | | 3911,20 | 508,46 | No |
| 6-8-8 | 4203,38 | 5044,05 | | | 14333,51 | | | | | 4203,38 | 546,44 | No |
| 8-4-10 | 4272,12 | 5126,55 | | | 14567,94 | | | | | 4272,12 | 555,38 | No |
| 10-6-10 | 3556,01 | 4267,21 | | | 12125,99 | | | | | 3556,01 | 462,28 | No |
| 10-4-6 | 4564,30 | 5477,16 | | | 15564,25 | | | | | 4564,30 | 593,36 | No |
| 12-4-6 | 4216,47 | 5059,76 | | | 14378,16 | | | | | 4216,47 | 548,14 | No |

-) Cantidad de nutrientes máximos solubles para esas cantidades de agua en kg.
-) En **marrón** máxima cantidad de nutriente soluble para esas condiciones de agua y temperatura, insuficientes para esa formulación
-) En **rojo** composiciones inviables



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Agua | Urea | UAN32 | Nitrato amónico | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Solubilidad reducida |
|---------|---------|------|-------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|----------------------|
| 4-8-12 | 4273,64 | | | 8205,39 | 14573,11 | | 1581,25 | 22586,18 | | | | No |
| 6-8-8 | 4336,38 | | | 8325,86 | 14787,07 | | 1604,46 | 22917,79 | | | | No |
| 8-4-10 | 4191,72 | | | 8048,10 | 14293,77 | | 1550,94 | 22153,25 | | | | No |
| 10-6-10 | 3424,84 | | | 6575,69 | 11678,69 | | 1267,19 | 18100,26 | | | | No |
| 10-4-6 | 4254,47 | | | 8168,58 | 14507,73 | | 1574,15 | 22484,85 | | | | No |
| 12-4-6 | 3783,88 | | | 7265,05 | 12903,02 | | 1400,03 | 19997,80 | | | | No |
| 4-8-12 | 3953,64 | | | 7590,99 | 13481,91 | | | 20894,98 | | | 513,97 | No |
| 6-8-8 | 4123,05 | | | 7916,26 | 14059,60 | | | 21790,32 | | | 536,00 | No |
| 8-4-10 | 3925,05 | | | 7536,10 | 13384,44 | | | 20743,91 | | | 510,26 | No |
| 10-6-10 | 3158,17 | | | 6063,69 | 10769,36 | | | 16690,93 | | | 410,56 | No |
| 10-4-6 | 4094,47 | | | 7861,38 | 13962,13 | | | 21639,25 | | | 532,28 | No |
| 12-4-6 | 3623,88 | | | 6957,85 | 12357,42 | | | 19152,20 | | | 471,10 | No |
| 4-8-12 | 4584,64 | | | 8802,50 | 15633,61 | 2108,93 | | 24229,80 | | | | No |
| 6-8-8 | 4543,72 | | | 8723,93 | 15494,07 | 2090,11 | | 24013,53 | | | | No |
| 8-4-10 | 4450,89 | | | 8545,70 | 15177,52 | 2047,41 | | 23522,93 | | | | No |
| 10-6-10 | 3684,00 | | | 7073,28 | 12562,44 | 1694,64 | | 19469,95 | | | | No |
| 10-4-6 | 4409,96 | | | 8467,13 | 15037,98 | 2028,58 | | 23306,66 | | | | No |
| 12-4-6 | 3939,38 | | | 7563,60 | 13433,27 | 1812,11 | | 20819,61 | | | | No |

-) Cantidad de nutrientes máximos solubles para esas cantidades de agua en kg.
-) En **marrón** máxima cantidad de nutriente soluble para esas condiciones de agua y temperatura, insuficientes para esa formulación
-) En **rojo** composiciones inviables



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto



| Fórmula | Agua | Urea | UAN32 | Nitrato amónico | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Solubilidad reducida |
|---------|---------|------|-------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|----------------------|
| 4-8-12 | 4130,10 | | | 7929,80 | 14083,65 | | 1528,14 | | | 4130,10 | | No |
| 6-8-8 | 4192,85 | | | 8050,27 | 14297,61 | | 1551,35 | | | 4192,85 | | No |
| 8-4-10 | 4119,95 | | | 7910,31 | 14049,04 | | 1524,38 | | | 4119,95 | | No |
| 10-6-10 | 3317,19 | | | 6369,00 | 11311,60 | | 1227,36 | | | 3317,19 | | No |
| 10-4-6 | 4182,70 | | | 8030,78 | 14263,00 | | 1547,60 | | | 4182,70 | | No |
| 12-4-6 | 3712,11 | | | 7127,25 | 12658,30 | | 1373,48 | | | 3712,11 | | No |
| 4-8-12 | 3810,10 | | | 7315,40 | 12992,45 | | | | | 3810,10 | 495,31 | No |
| 6-8-8 | 3979,52 | | | 7640,67 | 13570,15 | | | | | 3979,52 | 517,34 | No |
| 8-4-10 | 3853,29 | | | 7398,31 | 13139,71 | | | | | 3853,29 | 500,93 | No |
| 10-6-10 | 3050,52 | | | 5857,00 | 10402,27 | | | | | 3050,52 | 396,57 | No |
| 10-4-6 | 4022,70 | | | 7723,58 | 13717,40 | | | | | 4022,70 | 522,95 | No |
| 12-4-6 | 3552,11 | | | 6820,05 | 12112,70 | | | | | 3552,11 | 461,77 | No |
| 4-8-12 | 3691,01 | | | | 12586,33 | | 1365,67 | 19506,96 | 2805,16 | | | No |
| 6-8-8 | 3462,43 | | | | 11806,90 | | 1281,10 | 18298,96 | 2631,45 | | | No |
| 8-4-10 | 3026,46 | | | | 10320,21 | | 1119,79 | 15994,81 | 2300,11 | | | No |
| 10-6-10 | 1968,25 | | | | 6711,75 | | 728,25 | 10402,22 | 1495,87 | | | No |
| 10-4-6 | 2797,88 | | | | 9540,78 | | 1035,22 | 14786,81 | 2126,39 | | | No |
| 12-4-6 | 2035,98 | | | | 6942,69 | | 753,31 | 10760,15 | 1547,34 | | | No |

-) Cantidad de nutrientes máximos solubles para esas cantidades de agua en kg.
-) En **marrón** máxima cantidad de nutriente soluble para esas condiciones de agua y temperatura, insuficientes para esa formulación
-) En **rojo** composiciones inviables



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Agua | Urea | UAN32 | Nitrato amónico | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Solubilidad reducida |
|---------|---------|------|-------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|----------------------|
| 4-8-12 | 3371,01 | | | | 11495,13 | | | 17815,76 | 2561,96 | | 438,23 | Si |
| 6-8-8 | 3249,10 | | | | 11079,43 | | | 17171,50 | 2469,32 | | 422,38 | Si |
| 8-4-10 | 2759,79 | | | | 9410,88 | | | 14585,48 | 2097,44 | | 358,77 | Si |
| 10-6-10 | 1701,59 | | | | 5802,41 | | | 8992,89 | 1293,21 | | 221,21 | Si |
| 10-4-6 | 2637,88 | | | | 8995,18 | | | 13941,21 | 2004,79 | | 342,92 | Si |
| 12-4-6 | 1875,98 | | | | 6397,09 | | | 9914,55 | 1425,74 | | 243,88 | Si |
| 4-8-12 | 4495,97 | | | | 15331,27 | 2068,15 | | 23761,22 | 3416,94 | | | Si |
| 6-8-8 | 3999,08 | | | | 13636,86 | 1839,58 | | 21135,14 | 3039,30 | | | Si |
| 8-4-10 | 3697,26 | | | | 12607,67 | 1700,74 | | 19540,03 | 2809,92 | | | Si |
| 10-6-10 | 2639,06 | | | | 8999,20 | 1213,97 | | 13947,44 | 2005,69 | | | Si |
| 10-4-6 | 3200,37 | | | | 10913,26 | 1472,17 | | 16913,95 | 2432,28 | | | Si |
| 12-4-6 | 2438,46 | | | | 8315,16 | 1121,69 | | 12887,28 | 1853,23 | | | Si |
| 4-8-12 | 4695,17 | | | | 16010,51 | 2159,78 | | | 3568,33 | 4695,17 | | Si |
| 6-8-8 | 4198,27 | | | | 14316,10 | 1931,20 | | | 3190,69 | 4198,27 | | Si |
| 8-4-10 | 3796,86 | | | | 12947,29 | 1746,55 | | | 2885,61 | 3796,86 | | Si |
| 10-6-10 | 2788,45 | | | | 9508,63 | 1282,69 | | | 2119,23 | 2788,45 | | Si |
| 10-4-6 | 3299,96 | | | | 11252,88 | 1517,98 | | | 2507,97 | 3299,96 | | Si |
| 12-4-6 | 2538,06 | | | | 8654,78 | 1167,51 | | | 1928,92 | 2538,06 | | Si |

-) Cantidad de nutrientes máximos solubles para esas cantidades de agua en kg.
-) En **marrón** máxima cantidad de nutriente soluble para esas condiciones de agua y temperatura, insuficientes para esa formulación
-) En **rojo** composiciones inviables



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto



| Fórmula | Agua | Urea | UAN32 | Nitrato amónico | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Solubilidad reducida |
|---------|---------|------|-------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|----------------------|
| 4-8-12 | 3890,20 | | | | 13265,57 | | 1439,37 | | 2956,55 | 3890,20 | | No |
| 6-8-8 | 3661,62 | | | | 12486,14 | | 1354,80 | | 2782,83 | 3661,62 | | No |
| 8-4-10 | 3126,05 | | | | 10659,83 | | 1156,64 | | 2375,80 | 3126,05 | | No |
| 10-6-10 | 2117,65 | | | | 7221,18 | | 783,53 | | 1609,41 | 2117,65 | | No |
| 10-4-6 | 2897,48 | | | | 9880,40 | | 1072,07 | | 2202,08 | 2897,48 | | No |
| 12-4-6 | 2135,57 | | | | 7282,31 | | 790,16 | | 1623,04 | 2135,57 | | No |
| 4-8-12 | 3570,20 | | | | 12174,37 | | | | 2713,35 | 3570,20 | 464,13 | Si |
| 6-8-8 | 3448,29 | | | | 11758,67 | | | | 2620,70 | 3448,29 | 448,28 | Si |
| 8-4-10 | 2859,38 | | | | 9750,50 | | | | 2173,13 | 2859,38 | 371,72 | Si |
| 10-6-10 | 1850,98 | | | | 6311,84 | | | | 1406,75 | 1850,98 | 240,63 | Si |
| 10-4-6 | 2737,48 | | | | 9334,80 | | | | 2080,48 | 2737,48 | 355,87 | Si |
| 12-4-6 | 1975,57 | | | | 6736,71 | | | | 1501,44 | 1975,57 | 256,82 | Si |

-) Cantidad de nutrientes máximos solubles para esas cantidades de agua en kg.
-) En **marrón** máxima cantidad de nutriente soluble para esas condiciones de agua y temperatura, insuficientes para esa formulación
-) En **rojo** composiciones inviables



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Agua | Urea | UAN32 | Nitrato amónico | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Solubilidad reducida |
|---------|---------|------|---------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|----------------------|
| 4-8-12 | 4214,81 | | 4214,81 | | | | 1559,48 | 22275,30 | | | | No |
| 6-8-8 | 4248,15 | | 4248,15 | | | | 1571,81 | 22451,46 | | | | No |
| 8-4-10 | 4074,07 | | 4074,07 | | | | 1507,41 | 21531,48 | | | | No |
| 10-6-10 | 3277,78 | | 3277,78 | | | | 1212,78 | 17323,06 | | | | No |
| 10-4-6 | 4107,41 | | 4107,41 | | | | 1519,74 | 21707,65 | | | | No |
| 12-4-6 | 3607,41 | | 3607,41 | | | | 1334,74 | 19065,15 | | | | No |
| 4-8-12 | 3894,81 | | 3894,81 | | | | | 20584,10 | | | 506,33 | No |
| 6-8-8 | 4034,81 | | 4034,81 | | | | | 21324,00 | | | 524,53 | No |
| 8-4-10 | 3807,41 | | 3807,41 | | | | | 20122,15 | | | 494,96 | No |
| 10-6-10 | 3011,11 | | 3011,11 | | | | | 15913,72 | | | 391,44 | No |
| 10-4-6 | 3947,41 | | 3947,41 | | | | | 20862,05 | | | 513,16 | No |
| 12-4-6 | 3447,41 | | 3447,41 | | | | | 18219,55 | | | 448,16 | No |
| 4-8-12 | 4575,68 | | 4575,68 | | | 2104,81 | | 24182,49 | | | | No |
| 6-8-8 | 4488,73 | | 4488,73 | | | 2064,81 | | 23722,93 | | | | No |
| 8-4-10 | 4374,80 | | 4374,80 | | | 2012,41 | | 23120,81 | | | | No |
| 10-6-10 | 3578,50 | | 3578,50 | | | 1646,11 | | 18912,39 | | | | No |
| 10-4-6 | 4287,84 | | 4287,84 | | | 1972,41 | | 22661,25 | | | | No |
| 12-4-6 | 3787,84 | | 3787,84 | | | 1742,41 | | 20018,75 | | | | No |

-) Cantidad de nutrientes máximos solubles para esas cantidades de agua en kg.
-) En **marrón** máxima cantidad de nutriente soluble para esas condiciones de agua y temperatura, insuficientes para esa formulación
-) En **rojo** composiciones inviables



Proceso de fabricación de fertilizantes aditivados multiproducto

| Fórmula | Agua | Urea | UAN32 | Nitrato amónico | Nitrato cálcico | Nitrato potásico | Cloruro potásico | Ácido fosfórico | Sulfato amónico | 10-34-0 | Sulfato potásico | Solubilidad reducida |
|---------|---------|------|---------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|---------|------------------|----------------------|
| 4-8-12 | 4466,75 | | 4466,75 | | | 2054,71 | | | | 4466,75 | | No |
| 6-8-8 | 4379,80 | | 4379,80 | | | 2014,71 | | | | 4379,80 | | No |
| 8-4-10 | 4320,33 | | 4320,33 | | | 1987,35 | | | | 4320,33 | | No |
| 10-6-10 | 3496,80 | | 3496,80 | | | 1608,53 | | | | 3496,80 | | No |
| 10-4-6 | 4233,38 | | 4233,38 | | | 1947,35 | | | | 4233,38 | | No |
| 12-4-6 | 3733,38 | | 3733,38 | | | 1717,35 | | | | 3733,38 | | No |
| 4-8-12 | 4105,88 | | 4105,88 | | | | 1519,18 | | | 4105,88 | | No |
| 6-8-8 | 4139,22 | | 4139,22 | | | | 1531,51 | | | 4139,22 | | No |
| 8-4-10 | 4019,61 | | 4019,61 | | | | 1487,25 | | | 4019,61 | | No |
| 10-6-10 | 3196,08 | | 3196,08 | | | | 1182,55 | | | 3196,08 | | No |
| 10-4-6 | 4052,94 | | 4052,94 | | | | 1499,59 | | | 4052,94 | | No |
| 12-4-6 | 3552,94 | | 3552,94 | | | | 1314,59 | | | 3552,94 | | No |
| 4-8-12 | 3785,88 | | 3785,88 | | | | | | | 3785,88 | 492,16 | No |
| 6-8-8 | 3925,88 | | 3925,88 | | | | | | | 3925,88 | 510,36 | No |
| 8-4-10 | 3752,94 | | 3752,94 | | | | | | | 3752,94 | 487,88 | No |
| 10-6-10 | 2929,41 | | 2929,41 | | | | | | | 2929,41 | 380,82 | No |
| 10-4-6 | 3892,94 | | 3892,94 | | | | | | | 3892,94 | 506,08 | No |
| 12-4-6 | 3392,94 | | 3392,94 | | | | | | | 3392,94 | 441,08 | No |

-) Cantidad de nutrientes máximos solubles para esas cantidades de agua en kg.
-) En **marrón** máxima cantidad de nutriente soluble para esas condiciones de agua y temperatura, insuficientes para esa formulación
-) En **rojo** composiciones inviables



1.4 El problema de la corrosión en las instalaciones

1.4.1 El problema de la corrosión en general

Es usual en todo complejo que haga uso de materias en estado líquido el empleo de tuberías y bombas para conducir dichos fluidos de unas zonas a otras dentro de la fábrica. Los problemas de corrosión afectan la distribución y el manejo de los fertilizantes líquidos. La corrosividad se mide en micrones por año de disminución de espesor de una plaqueta testigo expuesta al corrosivo en estudio. Valores de 0-50 μm por año son excelentes y aquellos de más de 1200 μm por año indican corrosión muy severa. Sin embargo, existen fenómenos de corrosión puntuales (pitting –picado), que en el análisis no muestran signos de corrosión pero provocan fallas aceleradas.

1.4.2 La corrosión según el material

❖ Aluminio

El aluminio y sus aleaciones son materiales proclives a la corrosión. Si bien el aluminio se protege con una capa de óxido de aluminio hidratado, si el fertilizante destruye esta capa se produce una corrosión acelerada del metal. Por esta razón el aluminio es sensible a los ácidos y álcalis. Las aleaciones de aluminio en rangos de acidez pH 4,5 a 7,0 dan mejores resultados, pero sin embargo son sensibles al ataque con cloruros. Las aleaciones de aluminio con cobre son muy sensibles al ataque con ión amonio.

❖ Aleaciones de cobre

Estas aleaciones de las que se destaca el bronce, aleación de cobre y estaño y el latón cobre y zinc no resisten la corrosión en presencia del ión amonio, o sea que en presencia de amoníaco, oxígeno y humedad debe evitarse el uso de bronce y cobre en las instalaciones.

❖ Acero al carbono

Se utiliza en tanques por su bajo costo, y en fundición se utiliza en cuerpo de bombas y accesorios. También las cañerías de acero al carbono son extensamente usadas en la industria. Muchos fertilizantes líquidos atacan al acero al carbono, por lo que los tanques deben ser protegidos con pinturas especiales por dentro y por fuera. Ejemplos de la protección interior de los tanques son la ebonita (solución cara), epoxi, o pinturas basadas en cauchos clorados.

❖ Plásticos

Estos materiales son resistentes a la corrosión ya que la acidez, las impurezas y la presencia de oxígeno no lo afecta. Por ello se los utilizan ampliamente en fertilizantes líquidos. Sin embargo las ventajas de los plásticos se ven limitadas por las altas



temperaturas, las presiones elevadas y la baja resistencia a golpes y errores de diseño o montaje que concentren tensiones puntuales.

Los plásticos más utilizados en el almacenamiento y en el procesamiento y almacenaje de fertilizantes líquidos son el Polietileno de Alta y Media Densidad (PEAD), polipropileno (PP) para bombas, tuberías y accesorios, el cloruro de polivinilo (PVC) en tuberías y mangueras flexibles, y el Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV).

Es importante seleccionar adecuadamente el paquete de aditivos que protegen a los plásticos, ya que éstos influyen en la resistencia a la corrosión, al ataque del ambiente exterior y a la radiación solar. Definitivamente la vida útil del equipamiento de plástico depende de la aditivación incorporada.

1.4.3 Corrosividad

Desde el punto de vista de la corrosión, los fertilizantes líquidos pueden ser desde altamente corrosivos hasta prácticamente inertes.

❖ Ácido nítrico

Es muy corrosivo a las aleaciones que contienen cobre, por lo que para su manejo se utiliza acero inoxidable, AISI 304 L (la L indica bajo contenido de Carbono) para evitar la corrosión inter-granular en zonas de soldadura y de concentración de tensiones. El acero inoxidable AISI 316 que es de mayor aleación y por ende más caro sólo se puede usar a temperatura ambiente

❖ Ácido fosfórico

Se recomienda usar acero inoxidable AISI 316 y AISI 317, también el acero al carbono recubierto con PVC, caucho butílico o natural. El acero inoxidable AISI 304 puede resistir hasta 20% de P₂O₅ hasta 93°C, pero a concentraciones entre 39 y 56% se corroe.

❖ PRFV

El plástico reforzado con fibra de vidrio se puede utilizar para tanques de almacenaje, pero como se describió antes, no todos los PRFV son iguales, debiéndose hacer una cuidadosa selección según la resina empleada.

❖ Polietileno y el Polipropileno

Son aptos para manejar ácido fosfórico a temperaturas de hasta 85-90 °C y concentraciones de hasta 60/52% respectivamente.



❖ **Ácido Sulfúrico**

Este ácido tiene variadas propiedades corrosivas según su concentración. Resulta reductor por debajo del 85% y es oxidante a mayor concentración, pero desde 65% a 100% se puede usar acero al carbono si se agrega un sistema de protección catódica. Para los accesorios se debe usar acero inoxidable, prestando atención a las recomendaciones del fabricante para las aplicaciones.

En la industria se utiliza ácido sulfúrico recuperado, éstos tienen diversas impurezas, por ejemplo cloruros, que son altamente corrosivos para los aceros inoxidables.

❖ **Soluciones ácidas como fertilizantes líquidos**

El uso creciente de estos fertilizantes hace que se deba prestar cada vez mayor atención al manejo de este tipo de productos, en general son todos muy ácidos con pH debajo de 3.

Para estos productos, los materiales no metálicos tienen muy buena resistencia.

❖ **Soluciones amoniacales**

Este tipo de material, aún con concentraciones bajas de amoníaco, ataca severamente al aluminio. También provocan corrosión por tensión en los tanques de acero al carbono, por lo que para su uso se deben aplicar varias medidas preventivas, a saber:

-) Evitar contaminación con aire.
-) Presencia de agua menor a 0,2%.
-) Evitar que en la fase gaseosa del tanque se condense amoníaco.
-) Diseño y construcción bajo normas ASME y aplicar técnicas de soldadura adecuadas, radiografiando el 100% de las mismas.
-) Usar aceros de baja resistencia mecánica que resisten mejor la corrosión bajo tensión, esto resulta en mayores espesores (peso y costo) de los tanques refrigerado o de las esferas presurizadas.
-) Inspeccionar frecuentemente los almacenajes y corregir las fallas detectadas.

❖ **Fosfato de amonio y Polifosfatos**



Las soluciones de DAP (fosfato diamónico) son más corrosivas para las aleaciones de aluminio que las de MAP (fosfato monoamónico).

En cambio, la solución de polifosfato de amonio (APP) o las suspensiones, no son corrosivas para los plásticos, ni para el acero inoxidable o el caucho.

El acero al carbono no es adecuado en aplicaciones donde la velocidad de movimiento o la alta concentración agravan la corrosión. Este se corroe severamente donde el acero inoxidable tiene buen desempeño.

❖ Soluciones concentradas de cloruro de potasio

Los fertilizantes líquidos que contienen cloruros, como las mezclas NPK, resultan corrosivas para el acero inoxidable serie 300 y el acero al carbono. Los pH bajos y la temperatura aceleran este proceso. Los cloruros no sólo están presentes en las mezclas con potasio, sino que aquellas mezclas que contienen ácido fosfórico presentan mayor riesgo de corrosión debido a las impurezas provenientes del proceso de fabricación, pues la materia prima empleada los contiene como impurezas.

En estas condiciones estas mezclas son particularmente corrosivas. En cambio, las mezclas con cloruro de potasio que tienen menor acidez provocan menos daño.

❖ Herbicidas y micronutrientes

Normalmente se almacenan en recipientes plásticos y allí deben mantenerse hasta su aplicación.

1.4.4 Técnicas para prevenir la Corrosión

Estas técnicas incluyen: protección catódica, uso de inhibidores de corrosión, pintura y otros revestimientos interiores anticorrosivos, protección de equipos auxiliares.

❖ Protección catódica

Se emplea para prevenir la corrosión en el fondo exterior de los tanques metálicos. Consiste en la instalación de ánodos de sacrificio y a veces circuitos de corrientes impresas. Para el acero al carbono se instalan ánodos de sacrificio, a veces de zinc (éste método se utiliza en los termo tanques domiciliarios) que se corroen antes que el acero del tanque, pero muchas veces esta protección no es suficiente y se debe instalar un sistema de corrientes impresas y pintar adecuadamente el fondo de los tanques.

❖ Inhibidores de la corrosión

Se trata de aditivos que se incorporan a los fertilizantes líquidos para evitar que corroan a sus recipientes y a los equipos de manejo y aplicación.



Para los fertilizantes nitrogenados como el nitrato de amonio, UAN, y otros fertilizantes líquidos formulados a partir de urea, se utilizan amoníaco y/o fosfatos.

Cada uno protege de una manera diferente, el amoníaco eleva el pH de la solución a la zona neutra segura pH 7,0 a 7,5; en cambio el fosfato de amonio (hasta 0,02% P₂O₅) forma una capa protectora sobre la superficie metálica. Otros inhibidores conocidos: Tiocianato de amonio (0,1%) y tiourea (0,2%). Además hay otros inhibidores comercializados bajo fórmulas propias del vendedor y otros como el dicromato de sodio que tienen serios cuestionamientos ambientales, por lo que difícilmente se utilice.

❖ Recubrimiento de tanques

La protección interior de tanques de acero al carbono ofrece buenas posibilidades de evitar la corrosión en forma económica.

Los recubrimientos más usados son: elastómeros de caucho butílico o EPDM (Etileno Propileno Dieno), neopreno, epoxi cargado con brea, fluoelastómeros y diversos polímeros como poliuretanos, poliésteres y vinílicos.

También se puede cubrir con forros de plástico adheridos a la pared del tanque usando polietileno, polipropileno, PVC o aún teflón.

Es importante tener en cuenta para el manejo de la corrosión en instalaciones que manejan fertilizantes líquidos que las soluciones nitrogenadas y el APP resultan corrosivos para el cemento, sea por el ataque directo al mismo o por penetración en fisuras donde además de precipitar y ejercer presión agrandando y profundizándola; puede llegar hasta los hierros destruyéndolos.

Es por ello que los pisos y las bases de hormigón deben estar adecuadamente pintados. Inclusive puede ser necesario proveer un recubrimiento epoxi o un cincado (galvanizado) de las barras de acero.

Todos estos datos han sido respaldados por el “Manual de Fertilizantes Líquidos” de Melgar y Duggan.



1.5 El proceso productivo

1.5.1 Tipo de proceso

En el diseño de cualquier planta química es imprescindible determinar qué tipo de proceso es el más adecuado para los sistemas reaccionantes implicados, bajo las condiciones de trabajo establecidas. Seleccionar un modelo de operación en discontinuo o en continuo es el primer paso. En el primero los reactivos y productos se van introduciendo y extrayendo del reactor continuamente, mientras que en el reactor tipo discontinuo se añaden todos o la mayoría de los reactivos al principio y no se extrae el producto hasta que no se ha terminado con todo el proceso de reacción. Para ello se citan a continuación algunas de sus ventajas e inconvenientes para facilitar su elección:

Tabla 1.14. Procesos en continuo o discontinuo, ventajas e inconvenientes

| TIPO DE PROCESO | |
|--|---|
| Discontinuo | Continuo |
| Generalmente mejor para pequeños volúmenes de producción(V) | Mejor para producciones indefinidas de un producto o conjunto de productos (V) |
| Más flexible en operaciones multiproducto (V) | |
| Generalmente requiere un capital relativamente bajo (V) | Generalmente requiere un capital relativamente alto (D) |
| Fácil de parar y limpiar (V) | |
| Requiere un tiempo de parada inherente entre cargas (D) | No hay tal tiempo (V) pero las paradas provocadas por mantenimientos inesperados pueden ser costosas (D) |
| El Coste de operación puede ser relativamente alto (D) | Coste de operación relativamente bajo (V) |
| Estado no estacionario implica control de proceso y una uniformidad de producto más difícil de conseguir (D) | Estado estacionario implica control de proceso y una uniformidad de producto menos difícil de conseguir (V) |

Fuente: Elaboración propia

Además, también influye en la selección otros factores determinantes ya mencionados e intrínsecos de la problemática del diseño de esta fábrica, como:

-) Versatilidad.
-) Estacionalidad de la demanda.
-) Calidad de productos.
-) Gran variedad de productos y formulaciones factibles.



A tenor de estos factores y tras ser analizados en profundidad, el tipo de proceso de elaboración de los productos para el complejo se basará en el **tipo discontinuo, batch o por lotes**. Principalmente para facilitar el cambio de entre las múltiples formulaciones factibles durante la fabricación de los diversos fertilizantes. En concreto, se basará en la tecnología de reactores de tanque agitado.

1.5.2 Reactores

Para la elaboración de los diversos productos en la planta, una vez elegido el tipo de reactor, hay que dimensionar el o los mismos. Para ello es necesario seguir un proceso iterativo en el que se seleccionaron unos tamaños iniciales y se afinaron sus dimensiones y número a medida que se avanzaba en el mismo.

En primer lugar, teniendo en cuenta que se requiere tener gran versatilidad, tanto para poder elaborar varios productos al mismo tiempo, como para poder hacer frente a averías en los reactores sin interrumpir la producción de la fábrica, respondiendo así también al factor de estacionalidad de ventas, etc., se parte de la base de tener varios reactores en la planta. Es por ello que se ha decidido tener 4 reactores, dos de mayor capacidad y otros dos más pequeños, para poder fabricar tanto lotes grandes como más reducidos, según demandas. Además, contar con dos reactores de cada tamaño redonda en la idea de la versatilidad y fiabilidad de la producción.

Dichos reactores deberán hacer frente a un objetivo de producción inicial de unas 10.000 t/año. Para poder alcanzar dicha cifra, se seleccionaron unos reactores cuyas capacidades y dimensiones se detallan a continuación:

Tabla 1.15. Reactores, capacidad y dimensiones principales.

| TIPO DE REACTOR | | |
|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| Característica | Principal o grande | Secundario o Pequeño |
| Forma | Cilíndrica | Cilíndrica |
| Capacidad total | 8'17 m ³ | 4'44 m ³ |
| Capacidad útil | 6'6 m ³ (8 t) | 3'55 m ³ (4'3 t) |
| Alto | 2'6 m | 2'51 m |
| Diámetro | 2 m | 1'5 m |
| Altura máxima de llenado | 2'1 m | 2'01 m |
| Espacio libre hasta suelo | 0'2 m | 0'2 m |

Fuente: Elaboración propia

Puede observarse que se ha previsto un cierto margen entre el nivel máximo nominal de llenado y el borde superior del tanque, a fin de evitar derrames y salpicaduras en el entorno de trabajo. Además, se ha previsto la instalación de la válvula para vaciado en el fondo del mismo.

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).

1.5.3 Tiempo de fabricación de un lote

Para estos reactores seleccionados, es necesario estimar el tiempo de fabricación de un lote, el cual varía en función del tipo de reactor, principal o secundario, y así poder corroborar que las capacidades de los reactores y su cantidad son adecuadas. 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 para los reactores grandes:

-) **Tiempo de limpieza.** Es el tiempo necesario para realizar las operaciones pertinentes de limpieza en los reactores, una vez que se ha elaborado el producto y han sido vaciado su contenido. Asimismo, se aprovecha para corroborar que todo esté en orden.

Aunque no siempre será necesario limpiar un reactor entre la producción de un lote y otro, si es pertinente tener este tiempo siempre en consideración a la hora de elaborar el planteamiento diario de trabajo. En caso por ejemplo de producir lote tras lote de un mismo producto en un determinado reactor, esta limpieza puede que no se realice, ganando un tiempo extra en el cómputo total de tiempo de fabricación del producto.

Se ha estimado un tiempo para esta operación de unos **10 minutos**.

-) **Tiempo de llenado de agua.** Como su propio nombre indica es el tiempo que se tarda en llenar el reactor con toda el agua necesaria para que se lleve a cabo la elaboración del fertilizante líquido deseado.

En esta operación el agua puede provenir de los acumuladores de agua caliente y/o directamente de los depósitos de agua que posee el complejo, agua esta última a temperatura ambiente. Dependiendo de diversos factores, como pueden ser la temperatura ambiente, el calor necesario de disolución de los distintos solutos, la rapidez con la que quiera llevarse a cabo la reacción, el tipo de formulación en sí, etc., se añadirá agua caliente o no. Es conveniente dejar una cierta cantidad de agua sin verter y hacerlo al final de toda la dosificación de materias primas, justo antes de comenzar con el agitado, para así favorecer la disolución y mezcla de los distintos elemento implicados.

Tras corroborar que llenar el reactor completamente de agua, unos 6.600 litros en 10 minutos requerirá un caudal de bombeo de algo menos de 40 m³/h, cosa factible para la planta, se le ha otorgado a esta operación los **10 minutos** ya mencionados. Puntualizar que el reactor nunca lo



llenaremos completamente de agua para realizar un fertilizante, a lo sumo para la formulación más demandante de agua requeriría unos 4.900 litros, pero considerando los 6.600 litros estamos dando un cierto margen de seguridad a esta operación.

-) **Tiempo de dosificación y vertido de macronutrientes.** Esta operación tiene dos vertientes. Por un lado la dosificación de la materia prima sólida y por otro el vertido de los macronutrientes en estado sólido.

Para la dosificación de nutrientes en estado sólido, polvo principalmente, tras analizar múltiples formulaciones factibles en nuestro catálogo de productos, haciendo uso de diversas combinaciones con las materias primas disponibles, se ha llegado a la conclusión de que la máxima cantidad de un solo componente vertida en el reactor será de unos 2.500 kg de materia prima. Lo usual será dosificar en torno a 1.500, 1.600 kg, siendo este el punto nominal. Esta dosificación corre a cargo de las cintas transportadoras, estimándose un tiempo de unos 5 minutos para la actuación de cada cinta.

Por otro lado, también puede ser necesario el vertido de materias primas líquidas, cosa que será habitual a estar en este estado las principales fuentes de fósforo que serán empleadas en la planta, ácido fosfórico y el 10-34-0, además del UAN-32. Para el caso de estos vertidos de líquidos en el reactor, unos 10 minutos puede ser un tiempo adecuado. Para estos 10 minutos, teniendo en consideración la fórmula más demandante de materia prima líquida, en concreto requeriría unos 3.000 kg de UAN-32, daría un bombeo de en torno a 15 m³/h, siendo lo habitual entre 700 y 800 kg, punto nominal.

En conclusión, el tiempo de dosificación y vertido ha sido estimado en unos **20 minutos**.

-) **Tiempo de dosificación de micronutrientes.** Los micronutrientes son componentes muy minoritarios en las distintas formulaciones de fertilizantes líquidos. De forma orientativa, a lo sumo un 2 % p/p de la formulación corresponde a los mismos, siendo usual porcentajes mucho menores, lo que conlleva que para los reactores de unas 8 t la forma de preparación y dosificación de los mismos sea manual por parte de los operarios del complejo. Estos micronutrientes, podrán ser dosificados directamente en el reactor o en alguna de las cintas que a él llegan o inclusive ser pre-disueltos y bombeados.

Para ello se le otorga **5 minutos**.

-) **Tiempo de reacción.** Lo normal para este tipo de procesos es de 15 a 20 minutos. Se ha sobreestimado y considerado un tiempo de residencia en el reactor de **30 minutos**, para tener en cuenta rectificaciones en el producto por posibles fallas en el mismo. Este tiempo de reacción es el



necesario para diluir y mezclar todos los componentes del fertilizante líquido hasta alcanzar los porcentajes idóneos.

- J) **Tiempo de vaciado del reactor.** Como es obvio, es el tiempo que hace falta para vaciar completamente el reactor de producto y conducirlo hacia los depósitos de almacenamiento correspondientes.

El tiempo necesario para completar esta operación se ha calculado en **10 minutos**, dando lugar a unos caudales de bombeo de en torno a 40 m³/h.

Con todo, en total para los reactores grandes tenemos en torno a 85 minutos, dando 5 minutos extra como margen el cómputo total asciende a los **90 minutos** anteriormente mencionados. Para los reactores más pequeños, los tiempos son respectivamente: 10, 5, 10, 5, 15 y 5. Y añadiendo unos 10 minutos extra todo ello asciende a **60 minutos**.

Aclarar que el orden en el que se realizan estas operaciones puede variar en función de múltiples factores, aunque en general este sea el orden más adecuado para llevar a cabo la fabricación de un producto.

1.5.4 Capacidad de producción

Con estos tiempos de fabricación y estos tamaños de reactores, se puede obtener la producción diaria estimada. No obstante, antes de realizar dicho cálculo habría que considerar un factor reductor de esta capacidad productiva. Ello es así para tener en cuenta paradas, retrasos y fallos en las líneas de producción.

Estas paradas leves o retrasos son bastante inevitables y ocurren en la mayoría de plantas. Pueden ser causados por múltiples causas, tanto humanas como mecánicas o químicas, que escapan un poco al control del proceso, como por ejemplo que un operario no cargue en su momento la tolva, que se atasque una cinta transportadora o que la reacción no sea completa y se necesite más tiempo de mezclado. Ignorar dichos retrasos puede causar problemas a la hora de cumplir los objetivos productivos de la planta.

Para una estimación inicial y tras acudir a la bibliografía, se ha considerado dicho **factor de corrección de la producción** igual a **0,8**, lo que significa que sólo el ochenta por ciento de la jornada laboral es productiva. Una buena coordinación del equipo de operación hace que con el tiempo dicho factor pueda ser reducido.

Con todo, para un turno de 8 horas se puede hacer la siguiente operación:

$$C = \left(n^{\circ} \frac{d}{l} \frac{g}{e} \frac{t_1}{t_2} * \frac{t}{l} + n^{\circ} \frac{d}{l} \frac{g}{e} \frac{t_1}{t_2} * f \right) * f \quad \text{ón}$$

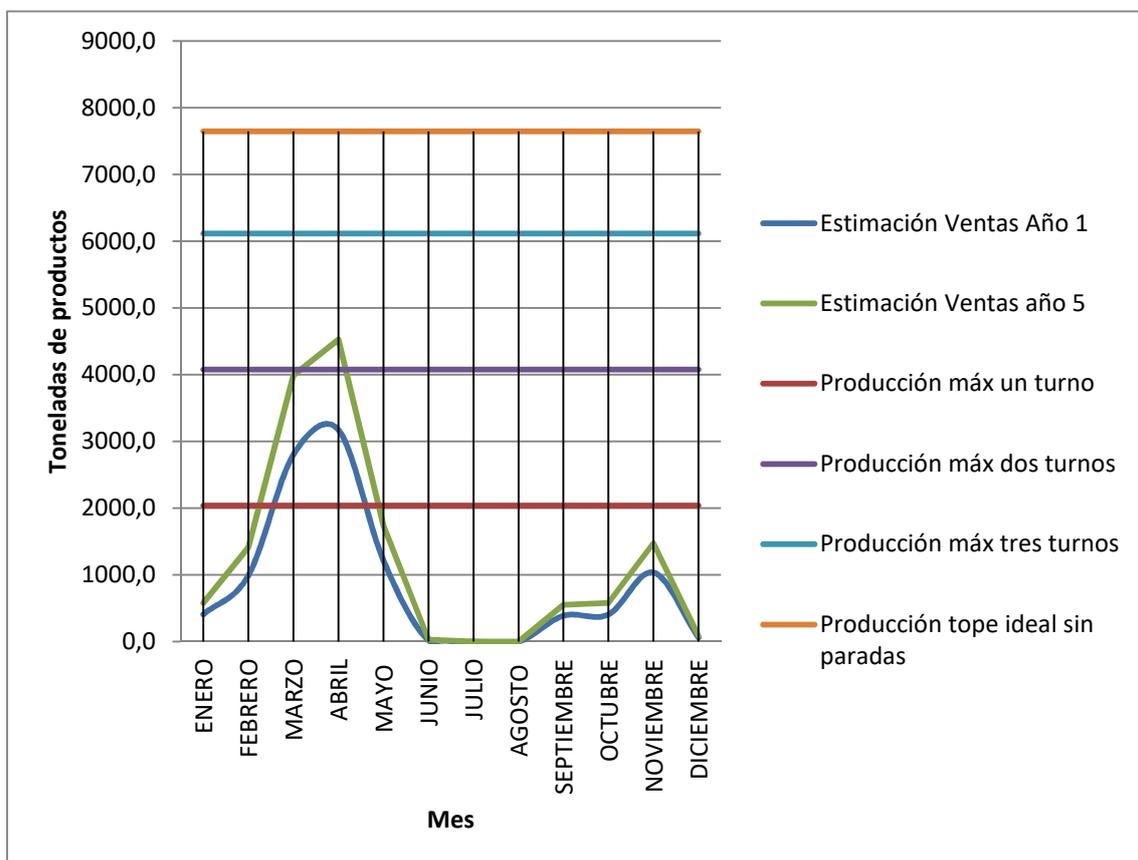
$$C = \left(10 * \frac{8}{l} + 16 * \frac{4.3}{l} \right) * 0.8 \approx 1 \quad t/t$$



Donde el número de lotes grandes en un turno es el número de lotes capaz de fabricar cada reactor grande, por 2 reactores de este tipo, $5^3 * 2 = 10^7$, tomándose la aproximación sin decimales, 10. Para los lotes pequeños se sigue exactamente el mismo procedimiento, sólo que los mismos ya se aproximan directamente a la unidad, $8 * 2 = 16$. Todo ello teniendo en cuenta los tiempos de fabricación anteriormente estudiados.

Esta capacidad de producción por turno, que se puede considerar de entre **100 a 120 t/turno**, si se extrapolan a un mes y se enfrentan en un gráfico a las ventas esperadas para la planta, se obtiene:

Gráfico 1.1. Comparativa: Evolución anual del mercado, actual y estimada a 5 años, con producción de la planta



Fuente: Elaboración propia

A la vista de este gráfico se dimensionaron lo equipos de forma que son capaces de responder a los vaivenes del mercado de forma adecuada. Se observa que entre los meses de febrero y mayo la producción a un solo turno no sería suficiente, teniendo que incrementar a doble o triple turno inclusive llegado el caso.

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 y cumplir los objetivos previstos.

1.5.5 Cronograma producción de un turno

Para poder entender un poco la dinámica de producción del complejo, se ha realizado un ejemplo de cronograma genérico de fabricación en un turno. En el mismo se muestran todos los pasos explicados en sub-apartados anteriores para la elaboración de fertilizantes líquidos multiproducto en la fábrica, separando cada una de las líneas de mezclado correspondientes a cada reactor.

Tabla 1.16. Cronograma de un turno.

| Reactores | R1 | R2 | r3 | r4 |
|---------------|----|----|-----|-----|
| 10 min | A | | a/m | c |
| 10 min | C | A | c | a/m |
| 10 min | C | C | r | r |
| 10 min | M | C | r | r |
| 10 min | R | M | v | v |
| 1h | R | R | l | l |
| | R | R | a/m | c |
| | V | R | c | a/m |
| | L | V | r | r |
| | A | L | r | r |
| | C | A | v | v |
| 2h | C | C | l | l |
| | M | C | a/m | c |
| | R | M | c | a/m |
| | R | R | r | r |
| | R | R | r | r |
| | V | R | v | v |
| 3h | L | V | l | l |
| | A | L | a/m | c |
| | C | A | c | a/m |
| | C | C | r | r |
| | M | C | r | r |
| | R | M | v | v |
| 4h | R | R | l | l |
| | R | R | a/m | c |
| | V | R | c | a/m |



| | | | | |
|-----------|---|---|----------|----------|
| | L | V | r | r |
| | A | L | r | r |
| | C | A | v | v |
| 5h | C | C | l | l |
| | M | C | a/m | c |
| | R | M | c | a/m |
| | R | R | r | r |
| | R | R | r | r |
| | V | R | v | v |
| 6h | L | V | l | l |
| | A | L | a/m | c |
| | C | A | c | a/m |
| | C | C | r | r |
| | M | C | r | r |
| | R | M | v | v |
| 7h | R | R | l | l |
| | R | R | a/m | c |
| | V | R | c | a/m |
| | L | V | r | r |
| | | L | r | r |
| | | | v | v |
| 8h | | | l | l |

Elaboración Propia

Siendo:

-) L: Limpieza de reactor
-) A: Vertido de agua
-) C: Dosificación de Componentes
-) M: Dosificación de micronutrientes
-) R: Reacción
-) V: Vaciado
-) Mayúsculas: reactores grandes
-) Minúsculas: reactores pequeños
-) Negrita: finalización del turno.

Destacar que en dicha planificación se han dispuesto cada una de las operaciones intentando que no coincidan o lo hagan lo menos posible, para así optimizar tiempos y reducir equipos/personal. A modo de ejemplo, si hay que limpiar todos los reactores a la vez, se necesitarán 4 operarios, mientras que si se evita esta situación, con uno basta. No obstante, es cierto que en el cronograma anterior esa y otras situaciones desfavorables tienen lugar, sin embargo, eso no es ningún problema ya que el mismo es sólo un ejemplo genérico de uso de las instalaciones. Es pertinente citar que no siempre es necesario ni mucho menos limpiar exhaustivamente un reactor entre lote y lote, si por ejemplo se sigue fabricando el mismo producto o uno semejante, esta limpieza puede ser reducida y dejar la más profunda para otro momento.



1.6 Agitación de la mezcla

1.6.1 Conceptos generales

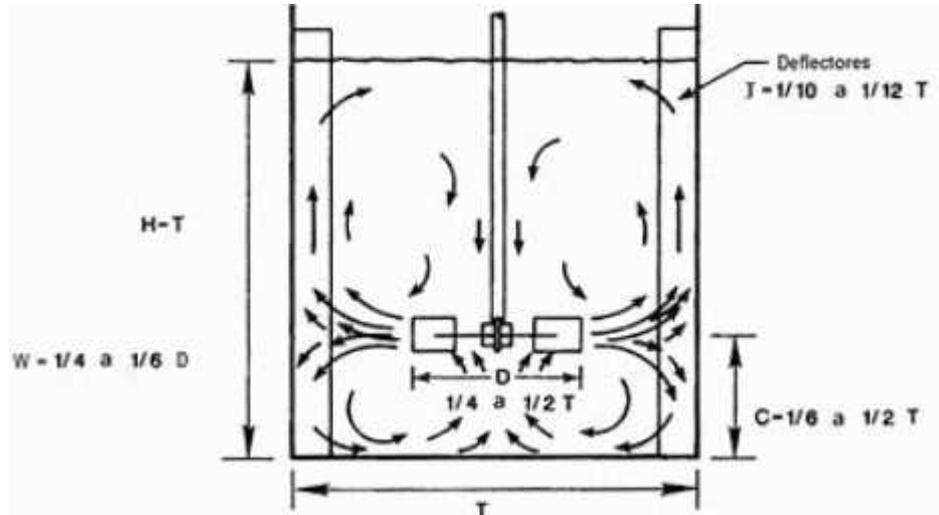
En líneas generales, la agitación puede definirse como una operación utilizada en los procesos para acelerar la transferencia de calor y de masas. Mediante esta operación se consigue la introducción de energía en el volumen del fluido, o sea, que la energía cinética que posee el impelente se transfiere al fluido provocando su movimiento. En el mundo del diseño de tanques agitados, los impelentes suelen ser clasificados en función del tipo de flujo que generan en el fluido, teniendo agitadores de flujo axial y de flujo radial.

Conocer y seleccionar la geometría del reactor-impelente, su interacción con el fluido y la hidrodinámica a la que responde el mismo, es fundamental para un buen funcionamiento del reactor. Dichas relaciones e interacciones han sido objeto de estudio durante años, sobre todo a partir de la década de los 40 y aún hoy en día se siguen analizando. A modo de ejemplo, se sabe que para equipos que pretenden la suspensión de sólidos en el seno del fluido, el punto de diseño fundamental es el fondo del tanque, mientras que para mezclas claras el tamaño relativo entre tanque e impelente requieren una mayor dedicación.

Existen múltiples estudios sobre configuraciones geométricas estándar que permiten diseñar un proceso de agitado conociendo el fluido y el volumen a tratar, obteniendo resultados bastante satisfactorios. Para el tipo de proceso que atañe a esta memoria, los agitadores con impelentes radiales son los más usuales, siendo el más utilizados en la industria el impelente de turbina de disco con paletas planas, con o sin deflectores.

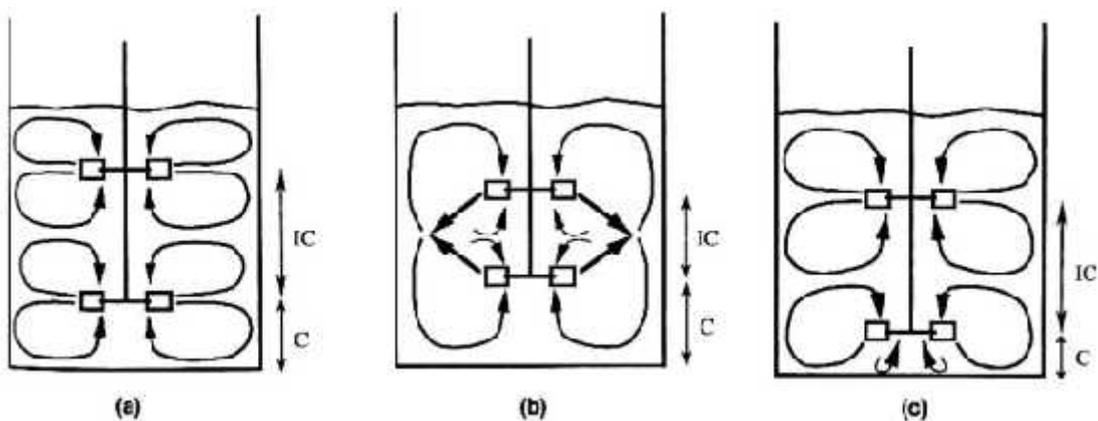
Con frecuencia estos tanques agitados se diseñan de tal forma que las turbulencias en él generadas favorezcan el mezclado del fluido. Para turbinas de disco con paletas planas, se pueden tener el impelente con una o dos turbinas de disco, generando patrones de flujo diferentes:

Figura 1.3. Configuración geométrica estándar para mezclado en régimen turbulento con impelente de flujo radial.



Fuentes: D.García-Cortés, U.Jáuregui-Haza, “Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas planas”.

Figura 1.4. Patrones de flujo en sistema de agitación con dos turbinas: a) Patrón de flujos paralelos; b) Patrón de flujos mezclados; c) Patrón de flujos divergentes.



Fuentes: D.García-Cortés, U.Jáuregui-Haza, “Hidrodinámica en tanques agitados con turbinas de disco con paletas planas”.

Cada uno de estos patrones tiene sus ventajas e inconvenientes, aunque se ha llegado a un cierto consenso en otorgar al patrón de flujos mezclados un tiempo de agitación en torno a un 20% menor que los otros patrones de flujo. No obstante, para el caso concreto de la fábrica de fertilizantes líquidos en diseño, se hará uso de impelentes con una sola turbina, ya que la amplia gama de viscosidades, componentes en mezclado, solubilidades etc. hacen que este impelente un poco más genérico sea el más adecuado.



Por otro lado, hay que considerar el consumo de potencia, pues efectuar un diseño que maximice la eficiencia del agitado y minimice su gasto energético es fundamental. Se puede considerar que el consumo de potencia de un fluido durante el proceso de agitación no es más que la disipación de la energía mecánica proveniente del impelente en el fluido por medio de la fricción entre las capas del fluido. En el estado estacionario de agitación, la potencia suministrada por el impelente es igual a la potencia consumida por el fluido.

El consumo de potencia de un agitador con líquidos newtonianos se puede predecir con bastante exactitud a partir del número de potencia. Este número adimensional forma parte de múltiples correlaciones existentes en la bibliografía que versa sobre agitación, y describe la hidrodinámica de un sistema agitado.

$$N_p = f(Fr, Re, \text{“relaciones geométricas simples”})$$

Siendo:

-) N_p = Número de potencia.
-) Fr = Número de Freud.
-) Re = Número de Reynolds.

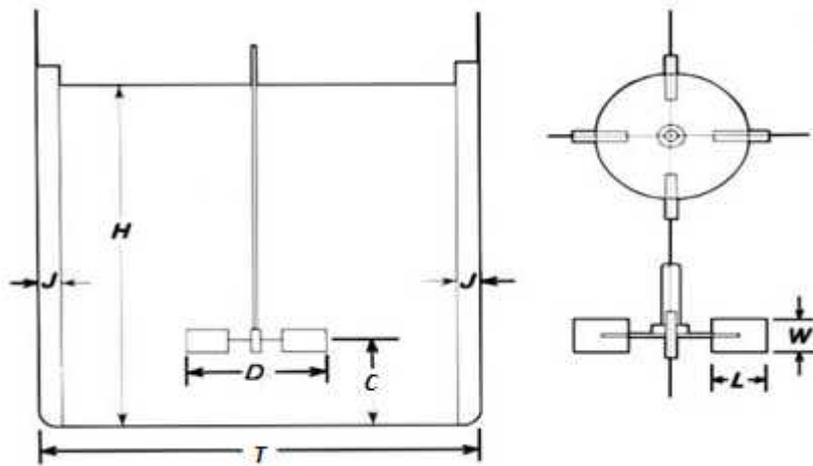
Esta función puede despreciar la influencia de la gravedad sobre el sistema, siempre que el tanque tenga deflectores.

Finalmente, para realizar el dimensionado de los agitadores hay que diferenciar entre los agitadores para los dos reactores o mezcladoras grandes, y los de las otras dos mezcladoras más pequeñas.

1.6.2 Agitadores para reactores principales o grandes

Los dos reactores más grandes que funcionarán en esta planta serán iguales de tamaño, con un volumen nominal de $8'17 \text{ m}^3$ y un volumen útil de aproximadamente $6'6 \text{ m}^3$. Los mismos tendrán un sistema de mezclado mediante **agitadores de turbina de disco con 6 paletas planas**, parecidos a como se ven en la figura adjunta, por ser estos los más extendidos en la industria para estos casos y su conocimiento es por tanto más exacto.

Figura 1.5. Esquema de tanque mezclador con agitador vertical.



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

Por su lado, el agitador de turbina es accionado mediante su correspondiente motor eléctrico, que es el encargado de dar la potencia requerida para poder remover la mezcla en sí.

Los deflectores interiores tienen la función de reducir la formación del cono de agitación en su interior y favorecer el mezclado de los nutrientes. Además, permite despreciar el efecto de la gravedad en los cálculos de potencia. 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, siendo del mismo ancho tanto para los tanques principales como para los pequeños.

Para poder dimensionar tanto deflectores como agitadores, hay que comprobar y seleccionar una serie de parámetros, siendo los de mayor importancia la relación entre las dimensiones de la vasija del reactor e impelente, así como los materiales que en ellos se van a mezclar. Tanto para reactores grandes como pequeños, se van a utilizar los estudios realizados por Rushton y colaboradores, los cuales consiguieron unas correlaciones entre las distintas geometrías del tanque y del impelente, que permiten tener en cuenta la influencia, no sólo del número de Reynolds y de Freud, sino también de factores geométricos en el cálculo del número de potencia. Así se obtienen agitadores que reducen el consumo, homogenizan el fertilizante y favorecen tiempos de mezclados cortos. Con todo, se adecuaron las dimensiones del impelente y deflectores a dicha correlación, siendo las principales características de estos agitadores recogidas en la siguiente tabla:

-) Distancia hasta el fondo (C).
-) Ancho de la paleta (W).
-) Largo de la paleta (L).
-) Diámetro total (T).



-) Diámetro del reactor (D).
-) Altura nivel líquido (H).
-) Potencia aproximada (P).
-) Régimen nominal de funcionamiento (R).
-) Número de deflectores (N_B).
-) Número de paletas (N_L).
-) Ancho de deflector (J).

Tabla 1.17. Características identificativas de los agitadores para reactores principales.

| REACTOR | C | W | L | D | T | H | P | R |
|-----------|------|------|------|------|---|-----|----------------|----------------|
| Principal | 0'67 | 0'13 | 0'17 | 0'67 | 2 | 2.1 | Entre 23'4 y 5 | Entre 150 y 90 |

Fuente: *Elaboración propia*

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

Aclarar que, al haber dos reactores grandes, se tienen 2 agitadores de este tipo. Los mismos cuentan con variadores de frecuencia en sus motores de accionamiento que les permiten funcionar a revoluciones acordes a las formulaciones y materias primas empleadas en cada caso.

La correlación de *Rushton y colaboradores*, a la cual se ha hecho referencia y que ha servido de guía en el diseño es:

$$N_p = 6,3 * \left(\frac{4L}{D}\right)^{1,5} * \left(\frac{10J}{3D}\right)^{0,3} * \left(\frac{N_L}{6}\right)^{0,8} * \left(\frac{N_B}{4}\right)^{0,4}$$

Sustituyendo obtenemos el número de potencia:

$$N_p = 6,3 * \left(\frac{4 * 0,17}{0,67}\right)^{1,5} * \left(\frac{10 * 0,15}{3 * 0,67}\right)^{0,3} * \left(\frac{6}{6}\right)^{0,8} * \left(\frac{4}{4}\right)^{0,4} = 5,9$$

Esta correlación para el cálculo del número de potencia es válida en los intervalos de las variables:



| Correlación | Agitador seleccionado | Cumple |
|---------------------|-----------------------|--------|
| L/W = 1,25; | 1,25 | ✓ |
| 0,18 L/D 3; | 0,25 | ✓ |
| 2 T/D 7; | 3 | ✓ |
| 0,7 C/D 1,6; | 1 | ✓ |
| C/T = 0,333; | 0.33 | ✓ |
| 3 N _L 6; | 6 | ✓ |
| 2 H/D 4; | 3,13 | ✓ |
| 2 N _B 4; | 4 | ✓ |
| 0,1 J/D 0,5; | 0,22 | ✓ |
| 0,22 T 2,44. | 2 | ✓ |

En el caso del agitador seleccionado para este tipo de reactor, se cumplen todos esos intervalos de variables.

La potencia ha sido calculada gracias al citado número de potencia, haciendo uso de la siguiente expresión:

$$P \quad (W) = N_p * \rho * R^3 * D^5$$

Siendo ρ la densidad del fluido en agitación en kg/m³, R las revoluciones por segundo a las que gira el impelente y D el diámetro de este en metros.

Sustituyendo para el caso que atañe a esta memoria:

$$P \quad (W) = 5.9 * 1880 * 2,5^3 * 0,67^5 = 23.399 W$$

$$P \quad (W) = 5.9 * 1880 * 1,5 * 0,67^5 = 5.054 W$$

Para este cálculo se han tomado dos velocidades de giro usuales, 150 y 90 rpm, así como se ha tenido en consideración la densidad de una de las formulaciones más densas, con un valor de 1.880 kg/m³. En el caso de producir fertilizantes menos densos, la potencia y el régimen de giro serán menores.



Es muy importante corroborar el número de Reynolds (Re) y así asegurar la presencia del régimen turbulento en el seno del fluido. El régimen laminar está aproximadamente delimitado por $Re < 10$, y el turbulento para valores de $Re > 10.000$, así:

$$R = \frac{D^2 * R * \rho}{\mu}$$

En el caso que nos atañe, siendo μ la viscosidad del fluido en Pa·s, y las otras magnitudes las citadas con anterioridad, si se sustituye la fórmula:

$$R = \frac{0,67^2 * 2,5 * 1.880}{0.046} = 45.865$$

Si estas turbulencias son excesivas, siempre se puede bajar las revoluciones del impelente gracias al variador de frecuencia en el motor de agitación incorporado. Probando a 90 rpm (1,5 rps):

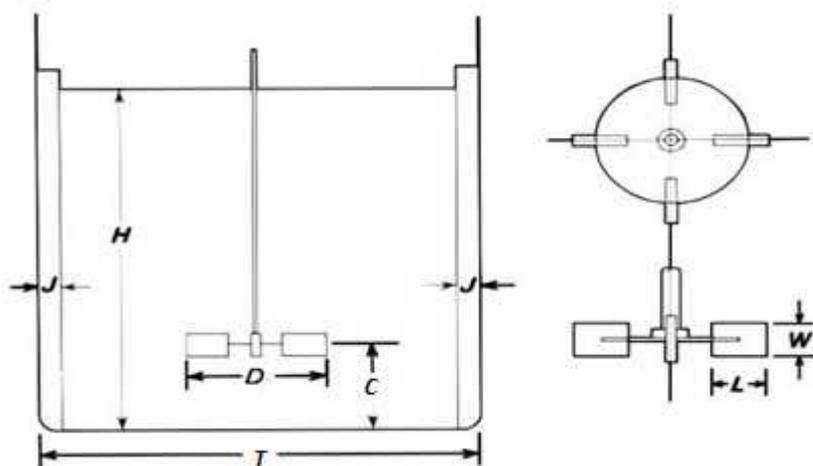
$$R = \frac{0,67^2 * 1,5 * 1.880}{0.046} = 27.519$$

Hay que considerar que los regímenes de revolución, densidades, viscosidades y otros parámetros que aquí intervienen van a variar bastante entre las múltiples formulaciones que en la fábrica serán efectuadas, alterando con ello las potencias consumidas y tiempos de reacción. Como Estimación de diseño, se considerará la potencia de estos agitadores entre 23,4 kW y 5 kW.

1.6.3 Agitadores para reactores secundarios o pequeños

Los dos reactores más pequeños que funcionarán en esta planta serán iguales de tamaño, con un volumen nominal de $4'44 \text{ m}^3$ y un volumen útil de aproximadamente $3'55 \text{ m}^3$. Los mismos tendrán un sistema de mezclado mediante **agitadores de turbina de disco con 6 paletas planas**, parecidos a como se ven en la figura adjunta, por ser estos los más extendidos en la industria para estos casos y su conocimiento es por tanto más exacto.

Figura 1.6. Esquema de tanque mezclador con agitador vertical.



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

Por su lado, el agitador de turbina es accionado mediante su correspondiente motor eléctrico, que es el encargado de dar la potencia requerida para poder remover la mezcla en sí.

Los deflectores interiores tienen la función de reducir la formación del cono de agitación en su interior y favorecer el mezclado de los nutrientes. Además, permite despreciar el efecto de la gravedad en los cálculos de potencia. Los mismos son 4 por reactor y tienen unas medidas de diseño de $J = 0'15 \text{ m}$ de ancho y longitud aproximadamente todo el reactor, siendo del mismo ancho tanto para los tanques principales como para los pequeños.

Para poder dimensionar tanto deflectores como agitadores, hay que comprobar y seleccionar una serie de parámetros, siendo los de mayor importancia la relación entre las dimensiones de la vasija del reactor e impelente, así como los materiales que en ellos se van a mezclar. Tanto para reactores grandes como pequeños, se van a utilizar los estudios realizados por Rushton y colaboradores, los cuales consiguieron unas correlaciones entre las distintas geometrías del tanque y del impelente, que permiten tener en cuenta la influencia, no sólo del número de Reynolds y de Freud, sino también de factores geométricos en el cálculo del número de potencia. Así se obtienen agitadores que reducen el consumo, homogenizan el fertilizante y favorecen tiempos de mezclados



cortos. Con todo, se adecuaron las dimensiones del impelente y deflectores a dicha correlación, siendo las principales características de estos agitadores recogidas en la siguiente tabla:

-) Distancia hasta el fondo (C).
-) Ancho de la paleta (W).
-) Largo de la paleta (L).
-) Diámetro total (T).
-) Diámetro del reactor (D).
-) Altura nivel líquido (H).
-) Potencia aproximada (P).
-) Régimen nominal de funcionamiento (R).
-) Número de deflectores (N_B).
-) Número de paletas (N_L).
-) Ancho de deflector (J).

Tabla 1.18. Características identificativas de los agitadores para reactores principales.

| REACTOR | C | W | L | D | T | H | P | R |
|------------|-----|-----|-------|-----|-----|------|------------------|----------------|
| Secundario | 0'5 | 0'1 | 0'125 | 0'5 | 1'5 | 2'01 | Entre 3'9 y 0'03 | Entre 150 y 30 |

Fuente: *Elaboración propia*

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

Aclarar que, al haber dos reactores secundarios, se tienen 2 agitadores de este tipo. Los mismos cuentan con variadores de frecuencia en sus motores de accionamiento que les permiten funcionar a revoluciones acordes a las formulaciones y materias primas empleadas en cada caso.

La correlación de *Rushton y colaboradores*, a la cual se ha hecho referencia y que ha servido de guía en el diseño es:

$$N_p = 6,3 * \left(\frac{4L}{D}\right)^{1,5} * \left(\frac{10J}{3D}\right)^{0,3} * \left(\frac{N_L}{6}\right)^{0,8} * \left(\frac{N_B}{4}\right)^{0,4}$$

Sustituyendo obtenemos el número de potencia:

$$N_p = 6,3 * \left(\frac{4 * 0,125}{0,5}\right)^{1,5} * \left(\frac{10 * 0,15}{3 * 0,5}\right)^{0,3} * \left(\frac{6}{6}\right)^{0,8} * \left(\frac{4}{4}\right)^{0,4} = 6,3$$

Esta correlación para el cálculo del número de potencia es válida en los intervalos de las variables:



| Correlación | Agitador seleccionado | Cumple |
|---------------------|-----------------------|--------|
| L/W = 1,25; | 1,25 | ✓ |
| 0,18 L/D 3; | 0,25 | ✓ |
| 2 T/D 7; | 3 | ✓ |
| 0,7 C/D 1,6; | 1 | ✓ |
| C/T = 0,333; | 0.33 | ✓ |
| 3 N _L 6; | 6 | ✓ |
| 2 H/D 4; | 4 | ✓ |
| 2 N _B 4; | 4 | ✓ |
| 0,1 J/D 0,5; | 0,3 | ✓ |
| 0,22 T 2,44. | 1,5 | ✓ |

En el caso del agitador seleccionado para este tipo de reactor, se cumplen todos esos intervalos de variables.

La potencia ha sido calculada gracias al citado número de potencia, haciendo uso de la siguiente expresión:

$$P \quad (W) = N_p * \rho * R^3 * D^5$$

Siendo ρ la densidad del fluido en agitación en kg/m³, R las revoluciones por segundo a las que gira el impelente y D el diámetro de este en metros.

Sustituyendo para el caso que atañe a esta memoria:

$$P \quad (W) = 5.9 * 1275 * 2,5^3 * 0,67^5 = 3.900 W$$

$$P \quad (W) = 5.9 * 1275 * 1,5 * 0,67^5 = 0,847 W$$

Para este cálculo se han tomado dos velocidades de giro usuales, 150 y 90 rpm, así como se ha tenido en consideración la densidad de otra de las formulaciones más densas, con un valor de 1.275 kg/m³. En el caso de producir fertilizantes menos densos, la potencia y el régimen de giro serán menores.



Es muy importante corroborar el número de Reynolds (Re) y así asegurar la presencia del régimen turbulento en el seno del fluido. El régimen laminar está aproximadamente delimitado por $Re < 10$, y el turbulento para valores de $Re > 10.000$, así:

$$R = \frac{D^2 * R * \rho}{\mu}$$

En el caso que nos atañe, siendo μ la viscosidad del fluido en Pa·s, y las otras magnitudes las citadas con anterioridad, si se sustituye la fórmula:

$$R = \frac{0,5^2 * 2,5 * 1.275}{0.005} = 159.375$$

Si estas turbulencias son excesivas, siempre se puede bajar las revoluciones del impelente gracias al variador de frecuencia en el motor de agitación incorporado. Probando a 90 rpm (1,5 rps):

$$R = \frac{0,5^2 * 1,5 * 1.275}{0.005} = 95.625$$

Incluso se puede seguir bajando la frecuencia a por ejemplo 30 rpm:

$$R = \frac{0,5^2 * 0,5 * 1.275}{0.005} = 31.875$$

Hay que considerar que los regímenes de revolución, densidades, viscosidades y otros parámetros que aquí intervienen van a variar bastante entre las múltiples formulaciones que en la fábrica serán efectuadas, alterando con ello las potencias consumidas y tiempos de reacción. Como Estimación de diseño, se considerará la potencia de estos agitadores entre 4 kW y 0,03 kW.



1.7 Generación y distribución de calor en la planta

1.7.1 Descripción general

La necesidad de entregar energía en forma de calor a las mezclas, a parte de la aportada por los agitadores, nace de varias necesidades. Por un lado, hay formulaciones que requieren un mínimo de temperatura para poder disolver sus componentes y la misma no siempre es inferior a la ambiental, eso sin contar que la mayoría de materias primas empleadas en la elaboración de fertilizantes líquidos disminuye la temperatura de la mezcla. Además, al mezclar varios componentes solubles en agua, la solubilidad de los mismos tiene la posibilidad de que se reduzca, haciendo necesario un aporte extra de energía y normalmente de temperatura para poder ser disueltos. Todo ello sin olvidar que ciertas formulaciones necesitan alcanzar un cierto nivel de temperatura para poder adquirir las características deseadas para la misma, como por ejemplo una cierta temperatura de cristalización.

Otro punto a considerar, es el incremento de producción y reducción de tiempos de fabricación en lotes con un cierto aporte de temperatura, cosa de gran interés e importancia dada la naturaleza profundamente estacional del mercado. Es por estas razones por las cuales se ha decidido desde la dirección técnica incluir en el proyecto un sistema de generación y distribución de energía en forma de calor.

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.

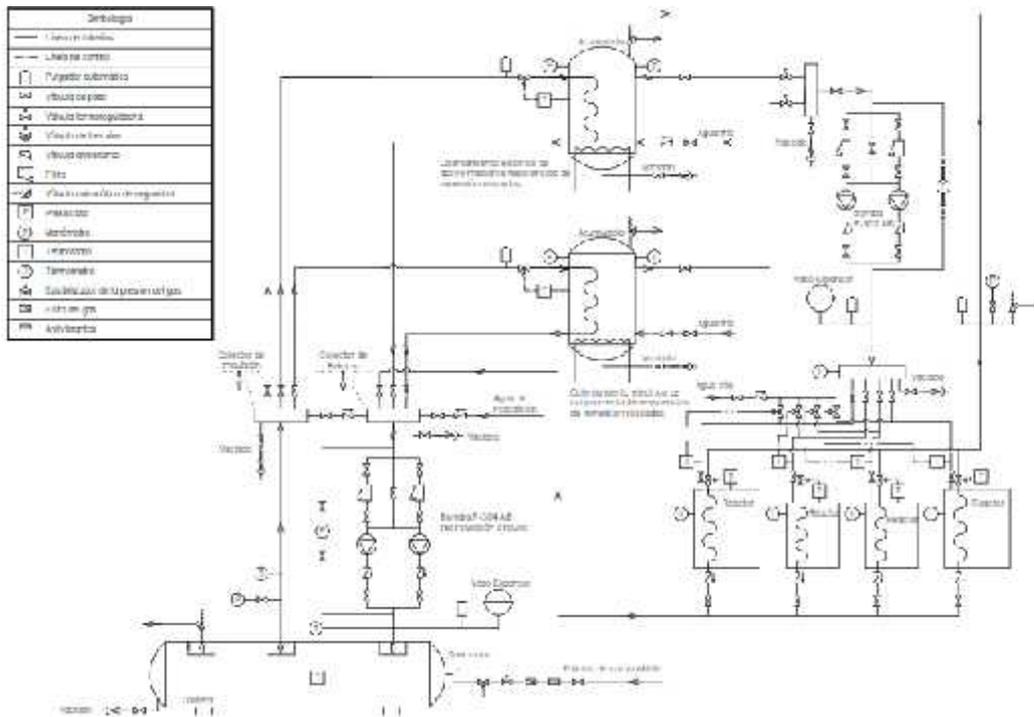
Los acumuladores de agua caliente de unos 6.000 l cada uno, estarán conectados a la caldera por medio de un circuito cerrado, pudiendo suministrar agua caliente para ser vertida directamente a los reactores y ser usada para la formulación que así lo requiera. Para ello contará con un grupo de bombeo 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, haciendo uso 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.

En todos los siguientes sub-apartados, 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 ampliar la información de este apartado, se pueden consultar planos de esquemas de principios de generación de calor y de control de temperatura en los reactores, así como los anexos con las hojas de los equipos. Se incluye bajo estas líneas un fragmento del plano de esquema de principios de generación y distribución de calor.

Figura 1.7. Esquema de principios de la generación y distribución de calor.



Fuente: Elaboración propia



1.7.2 Caldera

La caldera es el núcleo central alrededor del cual gira toda la generación y distribución de calor de la planta anteriormente explicada. Para su selección, se tuvieron en consideración las seis formulaciones básicas que se tendrán en stock, con todas las posibles combinaciones de materias primas almacenadas en el complejo que pueden dar lugar a ellas y se analizaron los calores de reacción necesarios para que estas se llevaran a cabo. Con ello, se obtuvieron una serie de datos recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 1.19. Calores demandados por formulaciones de la planta.

| Estudio de calor requerido | | | |
|-----------------------------|--|----------------------------|--------------------------|
| Tipo de reactor | Característica | Calor de disolución (kcal) | Calor de disolución (kJ) |
| Principal o grande | Nº Total de Fórmulas estudiadas | 144 | |
| | Máximo calor requerido | 256.467,1 | 1.073.776,5 |
| | Media de calor requerido | 123.694,345 | 517.822 |
| | Nº de formulaciones Mayores que la Media | 72 | |
| | Nº de formulaciones Mayores 200.000 kcal | 19 | |
| Secundario o pequeño | Nº Total de Fórmulas estudiadas | 144 | |
| | Máximo calor requerido | 137.851 | 577.016,7 |
| | Media de calor requerido | 66.502,15 | 278.364,7 |
| | Nº de formulaciones Mayores que la Media | 72 | |

Fuente: Elaboración propia

De la misma, puede obtenerse un valor previo de la potencia máxima estimada para la caldera, para tener así un punto de inicio en la selección de ella. Esta potencia inicial se calculó haciendo uso de las necesidades máximas y media de aporte calórico en la anterior tabla recogidas, para los 4 reactores a la vez, suponiendo que dicho aporte se realiza de forma ideal, sin descenso de la temperatura del fluido y durante un periodo de tiempo de 30 minutos, se obtiene:

$$Q_{\text{máx}} = 3.301.586,4 \text{ kJ aportados en } 30 \text{ min} \Rightarrow P_{\text{máx}} \quad 1.800 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{medio}} = 1.592.373,3 \text{ kJ aportados en } 30 \text{ min} \Rightarrow P_{\text{media}} \quad 880 \text{ kW}$$

Donde:

$$\left. \begin{array}{l}) \quad Q, \text{ Calor necesario para la reacción.} \\) \quad P, \text{ Potencia de la caldera.} \end{array} \right\}$$

Este dato permite buscar en el mercado y seleccionar una caldera que se amolde a tal circunstancia. La caldera preseleccionada desde la dirección técnica es de la marca



Ferrolí, en concreto la RSH-N 1300, con una potencia térmica de 1.480 kW. Si bien la potencia es inferior a la necesidad inicial máxima, puede demostrarse que es suficiente por la siguiente argumentación. En primer lugar, ese aporte de calor a las mezclas en muy raras ocasiones ocurriría, pues ello implicaría que se está usando la formulación con las materias primas que absorben del entorno del sistema la mayor cantidad de energía de todas las opciones factibles para realizar esa misma fórmula y en los 4 reactores al mismo tiempo, sabiendo eso, y con la gran cantidad de alternativas para aportar un mismo nutriente, el gestor de la fábrica sólo tendría que hacer uso de otras materias o alternar entre los reactores en el cronograma del turno la elaboración de este fertilizante en concreto para evitar esta situación. De las 144 formulaciones estudiadas, sólo en unas 19 se superarían las 200.000 kcal y son pocas las que causarían esta “falta” de potencia en la caldera respecto a lo demandado por las fórmulas. Puede observarse que la potencia media de la caldera según los cálculos anteriores sería inferior a la de la caldera.

En segundo lugar, no se puede olvidar que en dicho cálculo de potencia se ha supuesto que la temperatura a la que se encuentra la mezcla es la adecuada y que todo el calor aportado revierte directamente en la disolución de los nutrientes, sin que se produzca un descenso en la temperatura de la misma. Dicho descenso si se produjese no implicaría nada grave, siempre que la temperatura sea superior a la que se requiere para tener las cualidades en el fertilizante deseadas, a lo sumo aumentaría el tiempo de agitación. No obstante si es aconsejable en ocasiones subir esta temperatura para obtener estas características específicas o aumentar la solubilidad de cierta materia prima, por lo que una potencia extra de la caldera respecto a la media si es una buena señal para poder aumentar cuando se requiera la temperatura del reactor.

En tercer lugar, hay que tener en cuenta que dicha caldera no sólo suministrará calor a los reactores haciendo uso de los serpentines en ellos integrados, sino que mientras no esté funcionando a pleno rendimiento con los mismos puede aportar calor a los acumuladores de agua que la fábrica posee. Echando un vistazo al ejemplo de cronograma de fabricación de un turno, se ve que hay múltiples lapsos de tiempo en los que la caldera podría estar en espera o funcionando a un nivel bajo, siendo estos los momentos idóneos para calentar agua en los acumuladores. Estos acumuladores actuarán como una reserva extra de energía, pudiendo verter dicha agua caliente directamente en cualquiera de los reactores, lo que supone un aporte extra de energía a los mismos. Estos acumuladores de agua caliente serán de unos 6.000 l cada uno, como ya se adelantó con anterioridad y estarán conectados a la caldera por medio de un circuito cerrado. Los acumuladores preseleccionados, de la marca Lapesa (Master Inox “MXV-6000-SB”), en conjunto con la caldera, sumarán una potencia máxima en el complejo de 2.292 kW, más que suficiente para cubrir las necesidades del mismo y quedando cerrada la argumentación sobre la selección de la caldera.

Una vez que tenemos la caldera seleccionada, se incide un poco más en el proceso de generación y transferencia de energía en forma de calor desde la caldera a los reactores. Para ello hace falta presentar la siguiente fórmula:



$$Q = m * C * \Delta T$$

Donde:

-) Transferencia de energía en forma calorífica entre el sistema y su entorno aportado en kcal (Q).
-) Masa del fluido o sistema en kg (m).
-) Calor específico medio para esas temperaturas, en kcal/kg·K supuesto constante (Cp).
-) Incremento de temperatura, en K (ΔT).

Hay que tener en consideración antes de aplicar ninguna fórmula que la transferencia de calor se hace en dos zonas fundamentalmente, la primera entre la propia caldera con el agua que la atraviesa y la segunda en el seno de los reactores entre el agua que recorre los serpentines y la mezcla que contienen los mismos. Esto es posible despreciando las pérdidas que se producen en los trayectos de tuberías y accesorios entre caldera y reactores, como se justificará en el apartado de aislamiento térmico de tuberías. Además, se supone ideal la transferencia de calor en los serpentines es decir, todo el calor que pierde el agua en los mismos es ganado directamente por el fluido fertilizante. Esta idealización es factible debido a la gran cantidad de formulaciones que se van a llevar a cabo en dichos reactores, haciendo que el análisis exacto de cada proceso quede a cargo del gestor una vez estudie en profundidad cada formulación y se haya realizado la puesta en marcha de la fábrica. En análisis de los serpentines es tema de próximos apartados. Se considera régimen permanente en la transferencia de calor y se desprecia el aporte de energía por parte del agitador. Así:

$$Q_{\text{Perdido por el sistema}} = Q_{\text{Ganado por el entorno}}$$

Se ha tomado para el agua un calor específico constante $C_p = 1 \text{ kcal/kg}\cdot\text{K}$ y una densidad $\rho = 1 \text{ kg/l}$. ΔT es el salto de temperatura, el signo (-) indica descenso y sin signo aumento de temperatura. Con todo se han formulado y calculado los siguientes datos y resultados sobre el funcionamiento del sistema Caldera-Reactores, recogidos de forma ordenada en la tabla bajo estas líneas:

Tabla 1.20. Sistema Caldera-Reactores.

| Datos previos | | | |
|---|----------------|---------------|---------|
| Elemento | Cp (kcal/kg·K) | ρ (kg/l) | |
| Agua | 1 | 1 | |
| Abono | 1,21 | 1,2 | |
| Nº Reactores \ Calor de disolución (kcal) | | Máximo | Medio |
| 4 Reactores | | 788.636 | 380.392 |
| 2 Grandes 1 Pequeño | | 650.785 | 313.698 |
| 1 Grande 2 Pequeños | | 532.169 | 256.698 |
| 1 Grande 1 Pequeño | | 394.318 | 190.196 |



| | | | |
|---------------------|------------------------|--|---------|
| | 1 Grande | 256.467 | 123.694 |
| | 1 Pequeño | 137.851 | 66.502 |
| 1 cal = 4,1868 J | $Q = m * C * \Delta T$ | Q Perdido por el sistema = Q Ganado por el entorno | |

Estudio del intercambio de energía en el sistema

| Elemento | Característica | Valor ¹ | | |
|--|---|--------------------|-----------|-----------|
| Caldera | Potencia Útil Máxima | 1.480 kW | | |
| | Minutos aportando calor desde caldera a reactores | 10 | 20 | 30 |
| | Máxima energía aportada (kcal) | 212.095 | 424.190 | 636.285 |
| | Máxima energía aportada (kJ) | 888.000 | 1.776.000 | 2.664.000 |
| | Salto Térmico en la caldera (K) | 10* | 15* | 30* |
| | Caudal de agua que atraviesa la caldera (l/s) | 35,35 | 23,57 | 11,78 |
| | Caudal de agua que atraviesa la caldera (m ³ /h) | 127,3 | 84,8 | 42,4 |
| Reactores | Caudal por el interior serpentín 1 reactor (m ³ /h) | 127,3 | 84,8 | 42,4 |
| | Caudal simultáneo entre 4 (m ³ /h) | 31,8 | 21,2 | 10,6 |
| | Caudal simultáneo entre 3 (m ³ /h) | 42,4 | 28,3 | 14,1 |
| | Caudal simultáneo entre 2 (m ³ /h) | 63,6 | 42,4 | 21,2 |
| | ΔT Agua en serpentín 1 reactor Fórmula Máx. ² | -4,03 | -6,05 | -12,09 |
| | ΔT Agua en serpentín 4 reactores Fórmula Máx. ² | -16,12 | -24,18 | -48,37 |
| | ΔT Agua en serpentín 3 reactores Fórmula Máx. ² | -12,09 | -18,14 | -36,28 |
| | ΔT Agua en serpentín 2 reactores Fórmula Máx. ² | -1,94 | -2,92 | -5,83 |
| | ΔT Agua en serpentín 1 reactor Fórmula Media ² | -1,94 | -2,92 | -5,83 |
| | ΔT Agua en serpentín 4 reactores Fórmula Media ² | -7,78 | -11,66 | -23,33 |
| | ΔT Agua en serpentín 3 reactores Fórmula Media ² | -5,83 | -8,75 | -17,50 |
| | ΔT Agua en serpentín 2 reactores Fórmula Media ² | -3,89 | -5,83 | -11,66 |
| | Calor sobrante una vez aportado el necesario para la disolución, 1 reactor Fórmula Máx. (kcal) ³ | 379.818 | 379.818 | 379.818 |
| | Calor sobrante una vez aportado el necesario para la disolución, 2 reactores Fórmula Máx. (kcal) ³ | -97.395 | -97.395 | -97.395 |
| | Calor sobrante una vez aportado el necesario para la disolución, 3 reactores Fórmula Máx. (kcal) ³ | -44.371 | -44.371 | -44.371 |
| | Calor sobrante una vez aportado el necesario para la disolución, 4 reactores Fórmula Máx. (kcal) ³ | 61.675 | 61.675 | 61.675 |
| | Calor sobrante una vez aportado el necesario para la disolución, 1 reactor Fórmula Media (kcal) ³ | 512.591 | 512.591 | 512.591 |
| Calor sobrante una vez aportado el necesario para la disolución, 2 reactores Fórmula Media (kcal) ³ | 35.377 | 35.377 | 35.377 | |
| Calor sobrante una vez aportado el necesario para la disolución, 3 reactores Fórmula Media (kcal) ³ | 88.401 | 88.401 | 88.401 | |
| Calor sobrante una vez aportado el necesario para la disolución, 4 reactores Fórmula Media (kcal) ³ | 194.448 | 194.448 | 194.448 | |

Fuente: Elaboración propia

*Caudales para los saltos térmicos del agua que recorre la caldera de su misma columna, al igual que para los saltos térmicos en el reactor.



¹Los valores de los saltos térmicos en los reactores si están en rojo significa que dicho salto no es posible para el salto de temperatura en la caldera fijado, por lo que o bien el salto en la caldera es mayor o bien se evita esa situación o la mezcla de fertilizantes reducirá su temperatura respecto a la ambiental, requiriéndose según el caso el aporte de agua caliente desde acumuladores para solventar situaciones semejantes.

²" ΔT Agua en serpentín 1 reactor Fórmula Máx", con ello se hace referencia al descenso (-) de temperatura del agua que recorre el interior del serpentín inmerso en el reactor, para así aportar la energía necesaria a la mezcla de fertilizante para que esta se disuelva completamente sin variar su temperatura, para el caso de la fórmula que demanda más energía, o para una formulación cuya demanda es la media de las estudiadas. Además, se cita el número de reactores a los que se está sirviendo agua caliente a la vez.

³En la tabla anterior, las celdas dedicadas al "calor sobrante una vez aportado el necesario para la disolución, (...)", hace constatar la energía que puede aportar de más el serpentín o serpentines siempre que su signo sea positivo, dependiendo del número de reactores con los que se esté trabajando y el tipo de formulaciones en ellos fabricadas, ya sean de demandas calóricas para su disolución medias o máximas. Si el signo es negativo (-), indica la cantidad de energía que le falta a la mezcla para alcanzar su disolución completa. El salto de temperatura en el serpentín en ese caso es el máximo que le permite la caldera y esa energía o bien conllevará un descenso de la temperatura inicial de la mezcla, o bien es aportada por la agitación o por los acumuladores en forma de agua caliente de servicio.

Los datos aportados en la tabla anterior muestran que para los saltos térmicos del agua de la caldera de 10, 15 y 30 grados, se producen con unos caudales de agua como los que se recogen. Estos caudales al ser divididos entre uno, 2, 3 o 4 reactores necesitan unos saltos térmicos del agua que recorren los serpentines como se detallan, para poder proveer la energía necesaria para la disolución de las formulaciones con demandas medias y máximas de energía. Puede observarse que sería irrelevante el régimen de salto térmico en la caldera que se eligiese, pues variando su caudal aportaría la misma energía a la mezcla y la energía sobrante o que faltaría para alterar la temperatura de las mezclas serían las mismas. Esto no es del todo cierto pues en esta tabla se han realizado una serie de idealizaciones y se han despreciado una serie de pérdidas que alteran los regímenes de energía. No obstante, para un estudio inicial del sistema caldera-reactor puede ser totalmente factible, tomando estos resultados con un cierto margen de incertidumbre. Para dimensionar el sistema de bombeo, cosa que se hará en sucesivos apartados, podría tomarse estos valores de caudales, entre 40 y 20 m³/h, y calcular los niveles de presión necesarios.



En las tablas siguientes se recogen y calculan otras conclusiones importantes que se pueden obtener de todo lo anterior:

Tabla 1.21. Conclusiones de máxima demanda de energía por parte de los rectores vs máximo calor aportado por la caldera.

| Sistema Caldera-Reactor | | |
|--|----------------------------|----------------------|
| Minutos aportando calor desde caldera a reactores | | 30 min |
| Elemento | Característica | Valor |
| 4 Reactores a la vez | Calor de disolución Máximo | 788.636 kcal |
| Caldera | Máxima energía aportada | 636.285 kcal |
| | <i>Diferencia</i> | <i>-152.351 kcal</i> |

Fuente: Elaboración propia

De esta tabla se deduce lo ya adelantado al principio del apartado, que la caldera a priori no sería capaz de aportar toda la energía necesaria en el caso más desfavorable. Sin embargo, como ya se argumentó, esta situación no es problema por lo ya razonado e incluso podría solventarse fácilmente con el aporte extra de energía por parte de los acumuladores de agua caliente. Además, se ha despreciado a priori para estos cálculos el aporte energético que realiza el agitador, que no es nada desdeñable.

Tabla 1.22. Conclusiones sobre incrementos de temperaturas máximos en las mezclas de los distintos reactores para distintas configuraciones de funcionamiento de la caldera y demandas caloríficas.

| Sistema Caldera-Reactor | | |
|--------------------------------|--|---|
| Nº de reactores | ΔT en la mezcla para Fórmula cuya demanda de calor es Máx. | ΔT en la mezcla para Fórmula cuya demanda de calor es Media |
| 1 G | 39,24 | 52,95 |
| 1 P | 73,00 | 98,52 |
| 1 G 1 P | 4,14 | 13,07 |
| 1 G 2 P | -2,21 | 4,40 |
| 2 G 1 P | -1,81 | 3,60 |
| 2 G 2 P | -3,27 | 1,19 |
| 2 G | 3,19 | 10,04 |
| 2 P | 5,93 | 18,69 |

Fuente: Elaboración propia

Siendo “G” reactor grande o principal y “P” reactor pequeño o secundario.

Tanto en esta tabla como en las anteriores se han tenido en cuenta solo algunas de las múltiples situaciones y combinaciones de formulaciones que podrían darse en la elaboración de los fertilizantes líquidos, para tener un conocimiento de la dinámica del sistema caldera-reactores.



En concreto, en esta última tabla puede observarse que tomando como referencia la energía que “sobra” o falta, dependiendo del caso, de los serpentines respecto a la necesaria para la disolución de la mezcla en el reactor, y haciendo uso de las fórmulas:

$$Q = m * C * \Delta T$$

$$Q_{\text{Perdido por el sistema}} = Q_{\text{Ganado por el entorno}}$$

Con el C_p supuesto constante de los fertilizantes líquidos, las idealizaciones tomadas para toda esta sección y unos lotes medios de 8.000 kg para reactores grandes y de 4.300 kg para reactores pequeños, se obtuvieron los incrementos o descensos de temperatura en las mezclas de los reactores recogidas en la tabla. Citar que dicho ΔT es el máximo que se podría dar en la mezcla, dependiendo dicho valor en la realidad de: la diferencia de temperatura entre serpentín y reactor; si se alcanza o no el régimen permanente en la transferencia de calor; en nivel turbulento o no de los medios fluidos; el diseño del intercambiador de serpentín entre otros.

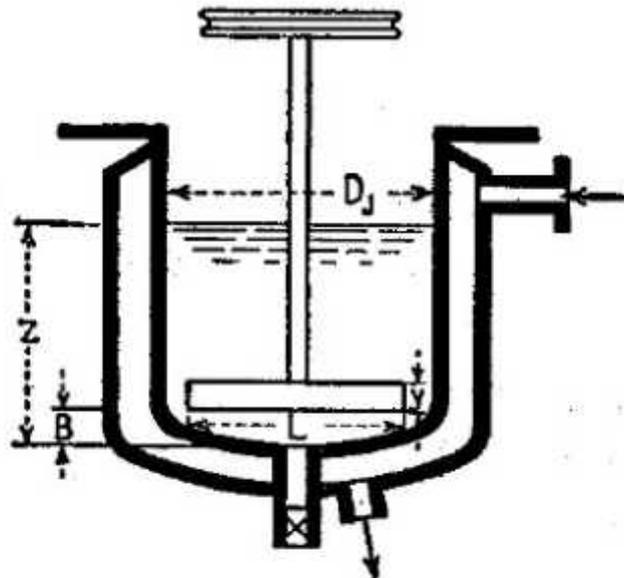
1.7.3 Intercambiadores

En el complejo se contará con varios intercambiadores de calor, principalmente los serpentines internos que traen de fábrica los acumuladores y que no son objeto de estudio en esta memoria, y los que se usarán para ceder energía en forma de calor desde el agua calentada en la caldera a los reactores.

El primer paso en el diseño de los intercambiadores es seleccionar el tipo de cambiador que se va a emplear. En este caso, tras estudiar los requerimientos del proceso y analizar múltiples opciones se estrechó la selección entre dos opciones, recipientes encaquetados y serpentines sumergidos.

Por un lado, los reactores encaquetados son básicamente un tanque en el interior de otro con una cierta separación entre ambos por la que circula el fluido calefactor, ya sea vapor, agua caliente, algún aceite térmico, etc. Este tipo de intercambiadores son utilizados con frecuencia cuando las mezclas producidas en los reactores son bastante sucias y se requiere de una cierta limpieza en profundidad del tanque, así como en recipientes en los que no es viable la colocación de serpentines por cualquier motivo. En su favor, a parte de la facilidad de limpieza, también se encuentra la de tener un coeficiente global de transferencia de calor mejor que el de los serpentines. No obstante, el área de dicha transferencia está muy limitada, impidiendo o dificultando posibles cambios o ampliaciones de la misma, así como producir en el seno del fluido desigualdades en sus características en el interior de la camisa.

Figura 1.8. Esquema de tanque mezclador enchaquetado.

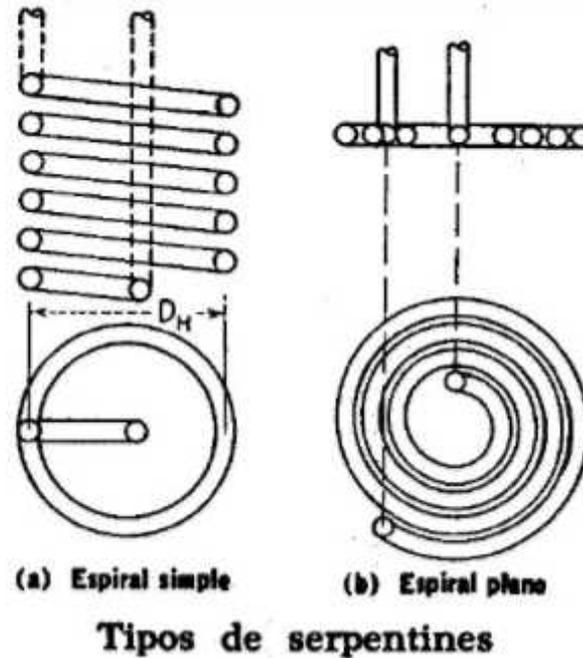


Recipiente enchaquetado

Fuente: Kern, Donald Q. Procesos de transferencia de calor.

Por su lado, los serpentines de tubo son la elección que finalmente se ha tomado en la dirección técnica. Son cambiadores de calor sencillos empleados ampliamente en la industria para calentamiento o enfriamiento, se usan mucho como parte de los alambiques, reactores y ollas de cocción. Generalmente, los cambiadores de calor de serpentín están por lo general provistos de equipo de agitación para mejorar los coeficientes, como es el caso. Esencialmente, son tubos enrollados en espiral que se colocan en el interior de los tanques a los que se desea calentar o enfriar, en esta ocasión serán realizados en un acero inoxidable ya que debe soportar un entorno con un cierto grado de corrosión por las sustancias químicas empleadas en la elaboración de los fertilizantes. Pueden colocarse en un lateral, en el fondo, o en todo el borde interno de los laterales de los reactores. Por lo general por el interior del serpentín se introduce el agua de enfriamiento o el vapor de calentamiento. Es conveniente asegurarse de que el líquido que circula por el interior es un fluido limpio para evitar obstrucciones innecesarias.

Figura 1.9. Esquema de tipo de serpentines.



Fuente: Kern, Donald Q. *Procesos de transferencia de calor.*

Para el diseño de dichos serpentines, es conveniente aclarar los términos en los que han sido calculados:

-) U es constante en toda la superficie y para el proceso completo.
-) El flujo de líquido de calefacción es constante.
-) Los calores específicos son constantes.
-) La temperatura de entrada constante del medio calefactor.
-) No se tienen cambios parciales de fase.
-) Las pérdidas de calor son despreciables.

Para un serpentín en aparte delo anterior, cabe aclarar que la agitación aumenta los coeficientes de película y por ende disminuye el tiempo requerido cuando se calienta o enfrían líquidos a partir de serpentines en un tanque.

En los serpentines, como en otros muchos cambiadores de calor, la ecuación general de diseño es:

$$P = U * A * \Delta T_{lm}$$

Siendo:

-) Uo el coeficiente total de transferencia de calor.
-) Ao el área de transferencia.
-) ΔT_{lm} la diferencia de temperatura media logarítmica.



En esos cambiadores el coeficiente total de transferencia de calor basado en el área externa es:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R + \frac{x * D}{k * D} + \frac{D}{D * h_i} + \frac{R * D}{D}}$$

En donde:

-) h_o es el coeficiente de transferencia de calor individual externo.
-) R_o la resistencia externa por ensuciamiento.
-) R_i la resistencia interna por ensuciamiento.
-) h_i es el coeficiente individual interno.
-) D_o el diámetro externo del tubo.
-) D_i el diámetro interno del tubo.
-) x el espesor del tubo.
-) k_w la conductividad térmica del material con el que está fabricado el tubo.
-) D_w es el diámetro medio del tubo.

En general, este coeficiente dependerá del fenómeno que se produzca:

- a) Convección forzada sin cambio de fase.
- b) Convección con cambio de fase (Condensación).

Realizando los cálculos pertinentes, puede obtenerse un valor próximo a $U_o = 1.100 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. No obstante, para una estimación inicial también puede recurrirse a correlaciones para obtener este parámetro, obteniéndose valores razonablemente parecidos a lo que se obtiene de forma exacta.

El ΔT_{ti} se calcula haciendo uso de:

$$\Delta T_{ti} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{l_1 \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Con ΔT_1 y ΔT_2 son las diferencias de temperaturas a la entrada y a la salida del cambiador, suponiendo para este caso que se encuentra en invierno con una temperatura de ambiente de 10°C y se quiere aumentar un valor medio de $t = 20^\circ\text{C}$, por lo que se tiene:

$$\Delta T_{ti} = \frac{(90 - 10) - (w - t)}{l_1 \frac{(90 - 10)}{(w - t)}}$$



Siendo “w” la temperatura con la que sale el agua del serpentín, que dependerá del régimen de funcionamiento que se esté haciendo uso en ese momento en la caldera, pudiendo ser dicho valor = 60°C, 75°C o 80°C.

Si se toma el caso más desfavorable, es decir, la temperatura de retorno a la caldera es de 60°C, se tiene valor del incremento de temperatura de entre $\Delta T_{li} = 5, 7$.

Con estas consideraciones, aplicando la fórmula:

$$P = U \quad A \quad T_{li}$$

Teniendo en cuenta que el fluido en el interior de los reactores tiene un Cp constante $C_p = 1,21 \text{ kcal/kg}\cdot\text{K}$, que se van a considerar formulaciones con necesidades de energía para disolución medias y retomando las energías de disolución de fertilizantes del apartado de calderas:

Potencias medias necesarias para disolución en cada tipo de reactor, para un tiempo de reacción de 30 minutos,

$$P_{Grande1} \quad 287\text{kW}; P_{Pequeño1} \quad 155\text{kW}, \text{ (ver apartado calderas).}$$

Potencias para calentar el fertilizante 20 °C,

$$P_{Grande2} \quad 450\text{kW}; P_{Pequeño2} \quad 242\text{kW}.$$

En total sumando ambas potencias para cada reactor,

$$P_{Grande} \quad 287+450 = 737\text{kW}; P_{Pequeño} \quad 155+242 = 397\text{kW}.$$

Con todo lo anterior se obtienen unos serpentines cuyas áreas de transferencia y longitudes serán:

$$A = P / (U \quad T_{li})$$

$$L = A / 0,358$$



Tabla 1.23. Calculo de la longitud de los serpentines intercambiadores de calor.

| Sistema Serpentin-Reactor | | |
|----------------------------------|----------------------------------|--------------|
| Tipo de reactor | Para T en la mezcla de 20 °C | |
| ----- | Área Necesaria (m ²) | Longitud (m) |
| Grande | 11,5 | 32 |
| Pequeño | 6,25 | 17 |

Fuente: Elaboración propia

Se han seleccionado serpentines fabricados en acero inoxidable de **diámetro nominal 100mm**, con lo que se tiene un área por metro de longitud de tubería de 0,358m²/m.

Si se toma la configuración de serpentín de fondo, puede calcularse fácilmente que, para los diámetros de reactores considerados, el número de espirales en el fondo de cada reactor será:

-) Para reactores principales o grandes, 3 espirales en el fondo de 6 vueltas cada una.
-) Para reactores secundarios o pequeños, 1 espiral y media en el fondo, de 6 vueltas cada una.

Esta disposición de los serpentines, así como el propio tipo de intercambiador queda sujeto a posibles modificaciones en la fase de proyecto de ejecución.

1.7.4 Acumuladores de agua caliente

La acumulación de energía térmica en forma de agua caliente u otro fluido es un proceso en el que se guarda y mantiene en espera una cantidad de materia, a cierta temperatura, para ser utilizado más adelante cuando las necesidades del proceso de fabricación así lo requieran.

El primer paso para seleccionar la acumulación adecuada, es decidir si se va a mantener en espera un fluido calefactor para luego calentar otro recipiente mediante, por ejemplo una recirculación del mismo, o si por el contrario es el propio fluido caliente una posible materia prima del proceso. En el caso que ocupa este proyecto se ha elegido la segunda opción, es decir, mantener agua caliente para poder ser vertida posteriormente en cualquiera de los rectores como materia prima en la elaboración de los fertilizantes líquidos.



Esta acumulación puede tomar múltiples formas, como por ejemplo:

-) *Sólo acumulación*, lo que significa que el agua es calentada en otro aparato, por ejemplo un intercambiador, y el recipiente acumulador sólo la mantiene caliente indefinidamente o durante un tiempo determinado.
-) *Acumulación con producción*, o lo que es lo mismo, el agua es calentada en el interior del propio acumulador.

A su vez, si el acumulador también tiene producción, esta puede ser originada de múltiples formas, por ejemplo:

-) *Calentamiento eléctrico*, son unas resistencias eléctricas situadas dentro del acumulador las que producen el calor necesario y mantienen el fluido en ese estado. Suelen consumir grandes cantidades de energía eléctrica.
-) *Producción mediante serpentines*, el calor es cedido al fluido a calefactar mediante sendos intercambiadores de serpentín inmersos en el seno del fluido. Por el interior de dichos serpentines pueden fluir tanto algunos aceites térmicos como agua caliente, vapor, etc. Además, el origen del calor de este fluido caliente para acumuladores comerciales, puede ser la energía solar, la generada en una caldera, o algunos otros generadores.

Como ya se adelantó en la descripción general de este apartado sobre la generación de calor, para este proceso en concreto se ha seleccionado acumuladores con producción de calor mediante serpentines sumergidos. Por el interior de dicho serpentines circulará agua caliente proveniente de la caldera que posee el complejo.

Para calcular el volumen de agua de dichos acumuladores así como su potencia para poder acudir al mercado y preseleccionar un modelo, es necesario seguir una serie de pasos. En primer lugar, hay que ver cuál va a ser la cantidad de agua acumulada, y para ello hay que elegir a cuantos de los 4 reactores se quiere suministrar agua caliente desde la acumulación al mismo tiempo. Desde la dirección técnica se ha considerado oportuno poder verter agua caliente a dos reactores simultáneamente, ya sean estos principales grandes o secundarios más pequeños o uno grande y uno pequeño, una vez analizados tiempos de reacción, cronogramas estimados de producción por reactor y necesidades de uso de agua caliente como materia prima disolvente en la producción de los fertilizantes líquidos.

Con ello se planteó la necesidad de cubrir una demanda de agua en punta, que dependerá también de la formulación que requiera más agua para diluir sus nutrientes, siendo esta demanda en concreto para un reactor principal de unos 4.910 litros de agua por lote. Esta cantidad, multiplicada por dos reactores grandes, que será lo más desfavorable, da un requerimiento de agua a cubrir de aproximadamente:

$$V_t = 4.910 \cdot 2 = 9.820 \text{ litros}$$



Si retomamos la tabla “Conclusiones de máxima demanda de energía por parte de los reactores vs máximo calor aportado por la caldera” del sub-apartado de caldera y la ampliamos pasando las energías a potencias:

Tabla 1.24. Conclusiones de máxima demanda de potencia por parte de los reactores vs máxima potencia aportada por la caldera.

| Sistema Caldera-Reactor | | | |
|--|-------------------------------------|----------------------|----------------|
| Minutos aportando calor desde caldera a reactores | | | 30 min |
| Elemento | Característica | Valor | |
| 4 Reactores a la vez | Calor/potencia de disolución Máxima | 788.636 kcal | 1.835 kW |
| Caldera | Máxima energía/potencia aportada | 636.285 kcal | 1.479 kW |
| | <i>Diferencia</i> | <i>-152.351 kcal</i> | <i>-354 kW</i> |

Fuente: Elaboración propia

Es esta falta de potencia la que se quiere paliar con el aporte de energía en forma de agua caliente por parte de los acumuladores. Contando con ello y el volumen de acumulación requerido, se seleccionaron dos acumuladores de la marca Lapesa (Master Inox “MXV-6000-SB”). Estos tienen una capacidad de acumulación nominal de agua caliente de unos 6.000 litros, con lo cual pueden aportar agua a los dos reactores principales a la vez e incluso sobrarían unos 2.000 litros para verter si es necesario a alguno de los otros dos reactores pequeños.

Además, dichos acumuladores seleccionados cuentan con unas potencias de servicio de entre 200 y 400 kW cada uno, con lo que sería suficiente para cubrir los 354 kW de diferencia entre la potencia suministrada por la caldera en punta y lo demandado por los reactores en el momento más crítico.

Entre caldera y acumuladores se alcanzaría una potencia de los equipos de generación de la planta de unos 2.292 kW. Esto, junto a acudir a dos acumuladores de 6.000 l en vez de uno mayor de 10.000 o 12.000 litros, corre todo en la dirección de la mayor versatilidad de la fábrica a fin de maximizar la producción de una forma lo más eficiente y sin paros posibles en las épocas de máximas demandas de productos.

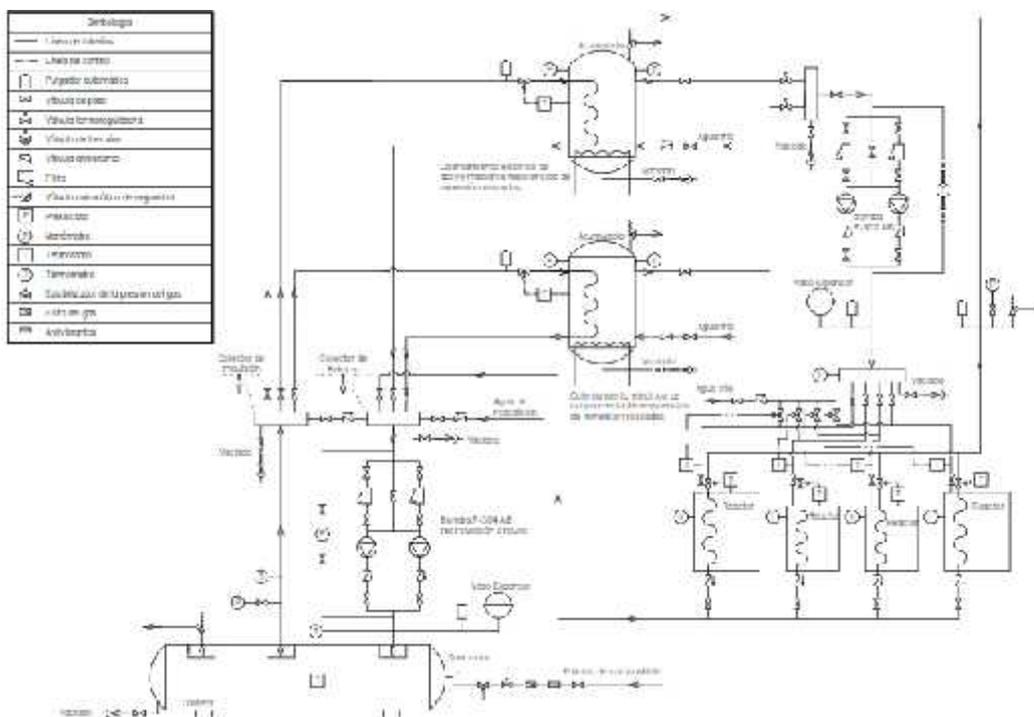
Para finalizar, citar que estos acumuladores estarán conectados a la caldera por medio de un circuito cerrado, pudiendo suministrar agua caliente para ser vertida directamente a los reactores y ser usada para la formulación que así lo requiera. Para ello contará con un grupo de bombeo en paralelo independiente, 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 si en un futuro fuera necesario.

1.7.5 Aislamiento térmico

Tener un sistema con un aislamiento térmico adecuado, que minimice pérdidas innecesarias de calor y maximice el intercambio energético en el proceso, aumentando así la eficiencia del mismo, es un punto siempre a tener en cuenta en el diseño de cualquier complejo industrial.

Si se retoma la figura sobre el esquema de principios de la generación y distribución de calor, se puede observar claramente cuáles son las líneas que deben tener un especial trato en cuanto al tratamiento de aislamiento térmico:

Figura 1.7. Esquema de principios de la generación y distribución de calor.



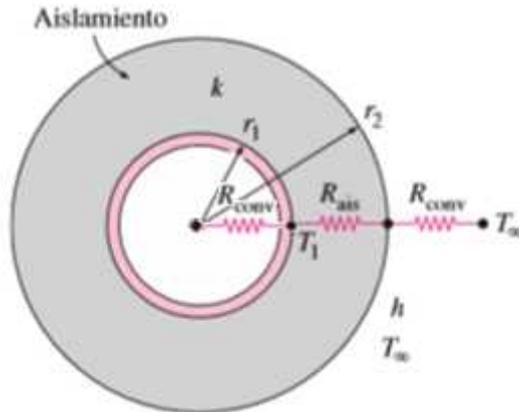
Fuente: Elaboración propia

Dichas líneas pueden dividirse para su tratamiento en dos conjuntos:

-) Las correspondientes al circuito cerrado del sistema caldera-reactores y caldera-acumuladores, siendo en este conjunto también factible a distinción entre la impulsión y el retorno.
-) Las correspondientes al sistema acumuladores- reactores, cuyo circuito es abierto con origen en dichos acumuladores y final en los reactores.

De forma genérica, el calor se transmite a través de las tuberías aisladas hacia el exterior siguiendo un esquema semejante al siguiente:

Figura 1.10. Esquema de transmisión de calor para tuberías aisladas.



Fuente: Elaboración propia

Donde:

-) r_1 es el radio interno de la tubería.
-) r_2 es el radio externo de la tubería.
-) T_1 es la temperatura en el interior de la tubería.
-) T_2 es la temperatura en el exterior de la tubería.
-) R_{conv} es la resistencia por convección.
-) R_{ais} es la resistencia por conducción.
-) K es la conductividad térmica del material aislante.
-) H es el coeficiente de convección o de película.

Para un sistema como el que se muestra, los principales mecanismos de transmisión de calor en dichas tuberías son varios, comenzando por la convección en el interior de la tubería, seguido de la conducción del mismo a través del espesor de la tubería, después la conducción por el aislante, para terminar de nuevo en convección entre la cara externa del aislamiento y el aire, así como la radiación desde esta superficie con el entorno.

Si se empieza por el cálculo del aislante en la impulsión del sistema caldera-reactores, se tienen los siguientes datos:



Tabla 1.25. Datos para el cálculo del aislamiento de la tubería de impulsión caldera-reactores.

| Sistema Caldera-Reactor | | | |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Elemento | Tipo | Característica | Valor |
| Tubería | Acero DN-125 (DIN 2448) | Longitud | 30 m |
| | | Diámetro exterior | 139,7 mm |
| | | Diámetro interior | 131.7 mm |
| | | Conductividad térmica | 60,5 W/m·K |
| | | | |
| Fluido interior | Agua | Velocidad | 2,6 m/s |
| | | Pérdida de presión interior | 1,1986 bar |
| | | Caudal | 128 m ³ /h |
| | | Temperatura | 90 °C |
| | | | |
| Aislante | Lana de roca (Rockwool) | Conductividad térmica | 0,04 W/m·K |
| Entorno | Al aire en interior de nave | Temperatura | 10 °C |

Fuente: Elaboración propia

En estas condiciones, habría que aplicar las siguientes fórmulas para el cálculo del flujo de calor desde el interior hacia el exterior de la tubería, según el mecanismo de transmisión:

$$Q_c = h \pi 2 r_2 (T_2 - T_A)$$

$$Q_c = \frac{2 \pi k (T_1 - T_2)}{2,3 \log\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}$$

$$Q_T = \frac{\pi (T_1 - T_A)}{\left(\frac{2,3}{2k} \log\left(\frac{D_2}{D_1}\right)\right) + \frac{1}{h D_2}}$$

En la conclusión para llegar a la fórmula anterior sobre el calor total transmitido, se han considerado varias simplificaciones:

-) Se supone que el fenómeno de radiación hacia el exterior es insignificante en comparación con los otros mecanismos de transmisión de calor.



-) Se toma como la temperatura de la cara interna de la tubería la misma que la del fluido que por ella circula.
-) La temperatura en todos los puntos de fluido en una misma sección de tubería es constante.

Cabe destacar que todos los anteriores mecanismos o formas de transmisión de calor que están presentes en la tubería, tienen a priori su papel y relevancia en dicha transmisión, siendo necesario su consideración para un cálculo exacto de la pérdida de temperatura a lo largo del recorrido de la tubería por parte del fluido. Si bien para el caso que se ocupa en este momento es fácilmente demostrable que la principal resistencia al paso del calor y la forma de evitar que el calor escape de la tubería al entorno es a través de un correcto espesor de aislante, pudiéndose centrar los cálculos en el mismo. Además, si sólo se considera esta resistencia térmica, la del aislante, despreciando fenómenos de convección, radiación y conducción a través del acero de la tubería, se encuentra el diseño desde el lado de la seguridad. Así, se llega a la siguiente fórmula:

$$Q_P = \frac{2\pi k (T_1 - T_A)}{\ln(1 + \frac{e}{r_1})}$$

Siendo en este caso:

-) “r₁” el radio interno de la capa de aislante, es decir, el radio externo de la tubería de acero en m.
-) “e” el espesor de la capa de aislamiento térmico en m.
-) “k” la conductividad térmica del aislante, para lana de roca = 0,04 W/m·K.
-) “T₁” la temperatura del fluido interior = temperatura en superficie interna del aislante.
-) “T_{Ambiente}” la temperatura del ambiente, siendo la diferencia entre esta y la anterior una media.
-) “ln” el logaritmo neperiano.

Pues bien, si se considera el espesor de forma inicial igual a 3 cm se obtiene:

$$Q_P \text{ z c a} = \frac{2\pi \cdot 0,04 \cdot (90 - 10)}{\ln(1 + \frac{0,03}{0,06985})} = 56,27W/m$$

Teniendo en cuenta que la tubería tiene unos 30 metros de largo:

$$P_P \text{ z c a} = 56,27 \cdot 30 = 1,688k$$

Lo que supondría una bajada en la temperatura del fluido a la entrada de los reactores, pasando de 90°C a 89,88°C, prácticamente nada. Sin embargo, si se recurre a



la normativa, el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE) contempla los siguientes espesores mínimos de aislante según la temperatura del fluido, el diámetro de tubería y el ambiente:

Tabla 1.26. Resumen de las tablas 1.2.4.2.1, 1.2.4.2.2, 1.2.4.2.3 y 1.2.4.2.4 del RITE sobre espesores mínimos de aislante.

| Espesores mínimos de aislamiento de tuberías que transportan fluidos por el interior de edificios | | | | | | |
|---|--------------|-------------|--------------|------------|---------------|----------------|
| Diámetro exterior | > -10 a 0 °C | > 0 a 10 °C | > 10 a 40 °C | 40 a 60 °C | > 60 a 100 °C | > 100 a 180 °C |
| D < 35 | 30 | 25 | 20 | 25 | 25 | 30 |
| 35 < D ≤ 60 | 40 | 30 | 20 | 30 | 30 | 40 |
| 60 < D ≤ 90 | 40 | 30 | 30 | 30 | 30 | 40 |
| 90 < D ≤ 140 | 50 | 40 | 30 | 30 | 40 | 50 |
| 140 < D | 50 | 40 | 30 | 35 | 40 | 50 |

| Espesores mínimos de aislamiento de tuberías que transportan fluidos por el exterior de edificios | | | | | | |
|---|--------------|-------------|--------------|------------|---------------|----------------|
| Diámetro exterior | > -10 a 0 °C | > 0 a 10 °C | > 10 a 40 °C | 40 a 60 °C | > 60 a 100 °C | > 100 a 180 °C |
| D < 35 | 50 | 45 | 40 | 35 | 35 | 40 |
| 35 < D ≤ 60 | 60 | 50 | 40 | 40 | 40 | 50 |
| 60 < D ≤ 90 | 60 | 50 | 50 | 40 | 40 | 50 |
| 90 < D ≤ 140 | 70 | 60 | 50 | 40 | 50 | 60 |
| 140 < D | 70 | 60 | 50 | 45 | 50 | 60 |

Fuente: Elaboración propia

Seguindo dicha instrucción técnica, se aumenta el espesor de aislamiento a **4 cm**, lo que implica:

$$Q_P = \frac{2\pi \cdot 0,04 \cdot (90 - 10)}{\ln\left(1 + \frac{0,04}{0,06985}\right)} = 44,4 \text{ W/m}$$

$$P_P = 44,4 \cdot 30 = 1,332 \text{ k}$$

Suponiendo lo anterior que el agua caliente llega a los reactores a una temperatura de **89,99°C**.

Seguindo un procedimiento análogo al anterior para calcular las otras líneas mencionadas al comienzo de este sub-apartado, se obtienen los espesores de aislamiento recogidos a continuación:

**Tabla 1.27.** Espesores de aislante para las principales líneas del sistema de generación y distribución de calor.

| Aislamientos | | | |
|--|---|-------------------------|----------------|
| Todo el aislamiento en lana de roca (Rockwool), Conductividad térmica 0,04 W/m·K | | | |
| Parte | Tipo | Característica | Valor |
| Impulsión caldera a reactores | Tubería de Acero DN-125 (DIN 2448) | Longitud | 30 m |
| | | Diámetro exterior | 139,7 mm |
| | | Diámetro interior | 131,7 mm |
| | | Conductividad térmica | 60,5 W/m·K |
| | | Espesor aislante | 4 cm |
| Retorno reactores a caldera | Tubería de Acero DN-125 (DIN 2448) | T en la tubería | 0,01°C |
| | | Longitud | 30 m |
| | | Diámetro exterior | 139,7 mm |
| | | Diámetro interior | 131,7 mm |
| | | Conductividad térmica | 60,5 W/m·K |
| Impulsión caldera a cada acumulador | Tubería de Acero DN-50 (DIN 2440) | Espesor aislante | 4 cm |
| | | T en la tubería | 0,01°C |
| | | Longitud | 10 |
| | | Diámetro exterior | 59,6 mm |
| | | Diámetro interior | 56,1 mm |
| Retorno desde cada acumulador a caldera | Tubería de Acero DN-50 (DIN 2440) | Conductividad térmica | 60,5 W/m·K |
| | | Espesor aislante | 3 cm |
| | | T en la tubería | 0,009°C |
| | | Diámetro exterior | 59,6 mm |
| | | Diámetro interior | 56,1 mm |
| Impulsión acumuladores a reactores | Tuberías de Acero DN-100//80 (DIN 2440) | Conductividad térmica | 60,5 W/m·K |
| | | Espesor aislante | 3//4 cm |
| | | T en la tubería | 0,008°C |
| | | Longitud | 10 |
| | | Diámetro exterior | 88//113,1 mm |
| Impulsión reactores a caldera | Tuberías de Acero DN-100//80 (DIN 2440) | Diámetro interior | 84//108,5 mm |
| | | Conductividad térmica | 60,5 W/m·K |
| | | Espesor aislante | 3//4 cm |
| | | T en la tubería | 0,03°C |
| | | Longitud | 30 m |

Fuente: Elaboración propia

En los retornos del circuito cerrado, tanto en la parte caldera-reactores como en caldera-acumuladores, el salto térmico depende de la temperatura de retorno y por ende del caudal de la tubería. No obstante, tras realizar los cálculos, se ha comprobado que dicho salto, para los espesores de aislamiento seleccionados, no varía apenas 0,005°C entre uno y otro régimen de funcionamiento en la caldera.



Con todo, este aislamiento térmico asegura un tratamiento eficiente de la energía en forma de calor generada en la fábrica y empleada en los distintos procesos de elaboración de fertilizantes líquidos.

1.8 Sistemas de conducción y transporte de líquidos

En la mayoría de complejos industriales en los que se realiza alguna actividad productiva, el estudio del transporte y conducción de los distintos materiales y productos entre los distintos pasos del proceso y secciones de fabricación, es un punto fundamental de estudio. Una mala planificación y ordenamiento de las partes motoras del proceso pueden causar auténticas catástrofes en la planta y llegar a hacer inviable la elaboración de productos, de ahí la importancia de este apartado.

En este proyecto en concreto, 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.

Se ha comenzado el estudio de dichos sistemas afrontando uno de los principales problemas de diseño, que es la selección de los materiales a utilizar para hacer frente a la corrosión que pueda producirse como consecuencia de la actividad de la planta en las distintas partes del proceso. Este problema, pese a estar enmarcado dentro de apartados anteriores, es un factor determinante en la selección de estos elementos, así como de otros muchos, tales como reactores, depósitos de almacenamiento, etc. Una vez afrontado el mismo, se analizan y calculan las tuberías y bombas, así como cintas y tolvas.

1.8.1 Descripción de los criterios utilizados para el dimensionado de líneas y grupos de bombeo

Es usual en todo complejo que haga uso de materias en estado líquido el empleo de tuberías y bombas para conducir dichos fluidos de unas zonas a otras dentro de la fábrica.

En general, existen tres modos básicos para mover fluidos de un tanque a otro: gravedad; aire comprimido o por bombeo. El flujo por gravedad es el sistema más simple y usa el peso del fertilizante como fuerza motriz, pero es ineficiente ya que a medida que el tanque se vacía la presión cambia. El segundo tipo emplea mucha energía y por ello son más eficientes las bombas. Éstas pueden ser de varios tipos, de pistón, de engranaje, de diafragma, pero las más populares y más eficientes en la industria son las centrifugas, que sirven para movilizar grandes volúmenes y con alta presión.



Las bombas centrífugas deben su nombre al hecho de que elevan el líquido por la acción de la fuerza centrífuga, que la imprime un rotor colocado en su interior, el cual es accionado por un motor eléctrico o de otro tipo. La elección de una bomba, su material de construcción y su fuerza motriz depende principalmente del material a bombearse, la capacidad o volumen requerido por unidad de tiempo, y las preferencias personales. Los elementos constructivos de las bombas centrífugas son:

- a) una tubería de aspiración.
- b) el impulsor o rodete, formado por una serie de alabes de diversas formas que giran dentro de una carcasa circular.
- c) una tubería de impulsión.
- d) un estator que empaqueta el rodete.

Los alabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, de forma que abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia al eje. La carcasa o estator, (voluta), está dispuesta en forma de caracol, de tal manera, que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior; la separación va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. En algunas bombas existe, a la salida del rodete, una directriz de alabes que guía el líquido a la salida del impulsor antes de introducirlo en la voluta.

En líneas generales, los sistemas de bombeo se han calculado para este complejo 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.

A continuación se introducen las principales las fórmulas que se harán uso para el cálculo tanto de las bombas como de las tuberías que conectan los distintos elementos del sistema, ya que el diseño de ambas va un poco de la mano.

Se empiezan mostrando las empleadas para el cálculo de las tuberías:

$$D = \sqrt{\frac{4 Q}{3600 v \pi}}$$
$$p = \frac{\mu l v^2 \rho S}{2 D}$$

Siendo:



-) D: diámetro interno de la tubería (m).
-) Q: rango de flujo del líquido que circula por la tubería (m³/h).
-) v: la velocidad del fluido (m/s).
-) p: caída de presión (Pa).
-) l: longitud de tubería (m).
-) μ : Coeficiente de fricción interna.
-) ρ : densidad del líquido (kg/m³).
-) S : la gravedad específica del líquido.

La gravedad específica es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua: La gravedad Específica = ρ De la sustancia / ρ Del agua. La gravedad específica es adimensional y numéricamente coincide con la densidad. Para los líquidos y los sólidos, la densidad de referencia habitual es la del agua líquida a la presión de 1 atm y la temperatura de 4 °C. En esas condiciones, la densidad absoluta del agua es de 1000 kg/m³

La pérdida de carga que tiene lugar en una conducción representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto del rozamiento. Puede decirse que es la medida de la resistencia que ofrece la tubería al paso del fluido por su interior, teniendo en cuenta accesorios tales como codos, te, válvulas, etc.

Las fórmulas anteriores son de ámbito general, pero no siempre son aplicables ya que en ocasiones se desconocen algunos de los datos, como por ejemplo el coeficiente de fricción interna de la tubería. En este complejo, se harán uso tanto de tuberías de acero, principalmente para líneas que transporten líquidos calientes a altas temperaturas, como de PPR o polipropileno y PVC.

Para estos últimos tipos de tubería también puede usarse la fórmula de *Veronesse-Datei*, que dice:

$$\rho_P - P = 9,2 \cdot 10^{-4} \cdot L \cdot \frac{Q^{1,8}}{D^{4,8}}$$

Siendo:

-) D: diámetro interno de la tubería (m).
-) Q: rango de flujo del líquido que circula por la tubería (m³/s).
-) p: caída de presión o pérdida de carga (m.c.d.a).



) l: longitud de tubería (m).

Pudiéndose contrastar esas caídas de presión mediante las tablas de selección rápida siguientes y comprobar que los cálculos están en el rango correcto:

Tabla 1.28. Pérdidas de carga para tubería de PVC, polietileno o PPR.

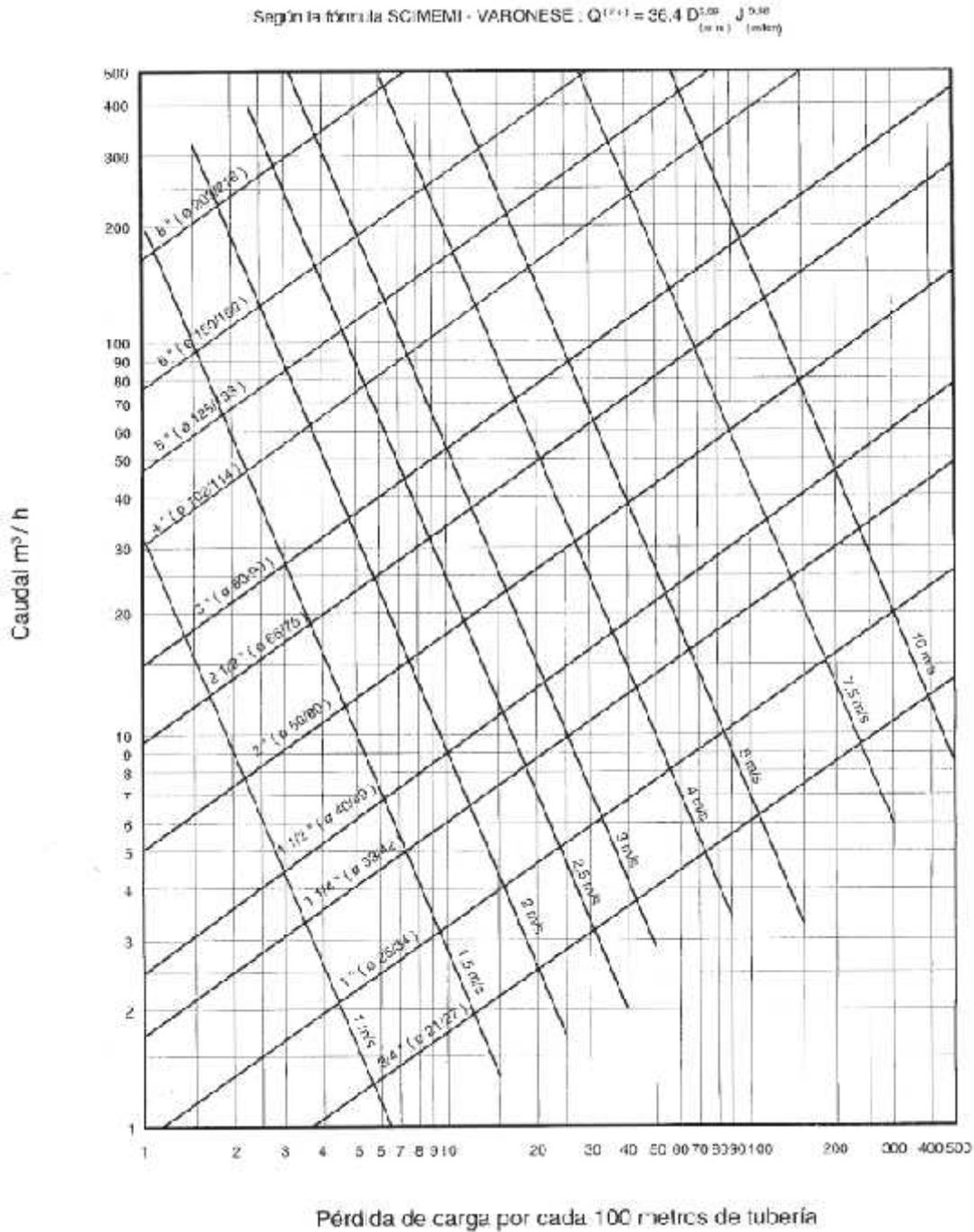
En metros por cada 100 metros de tubería
In meters per 100 meters of pipe

| l/h | Ø Interior tubería / Inside pipe / Intérieur conduite (mm) | | | | | | | | | | |
|--------|--|------|--------|--------|------|--------|------|--------|-----|------|-----|
| | 19 | 25 | 32 | 36 | 50 | 63 | 75 | 89 | 100 | 125 | 150 |
| | Ø interior tubería / inside pipe / Intérieur conduite (P") | | | | | | | | | | |
| | 3/4" | 1" | 1 1/4" | 1 1/2" | 2" | 2 1/2" | 3" | 3 1/2" | 4" | 5" | 6" |
| 500 | 2.1 | 0.6 | | | | | | | | | |
| 800 | 4.7 | 1.3 | 0.4 | | | | | | | | |
| 1000 | 7.0 | 1.9 | 0.6 | | | | | | | | |
| 1500 | 14.7 | 3.9 | 1.2 | 0.5 | | | | | | | |
| 2000 | 23.5 | 6.4 | 2.0 | 0.9 | | | | | | | |
| 2500 | | 9.4 | 2.9 | 1.3 | 0.4 | | | | | | |
| 3000 | | 13.0 | 4.0 | 1.8 | 0.5 | 0.7 | | | | | |
| 3500 | | 17.0 | 5.3 | 2.3 | 0.6 | 0.2 | | | | | |
| 4000 | | 21.5 | 6.6 | 2.8 | 0.8 | 0.3 | 0.1 | | | | |
| 4500 | | | 9.2 | 3.6 | 1.0 | 0.3 | 0.1 | | | | |
| 5000 | | | 9.8 | 4.3 | 1.2 | 0.4 | 0.2 | | | | |
| 5500 | | | 13.0 | 5.1 | 1.4 | 0.5 | 0.2 | | | | |
| 6000 | | | 13.5 | 6.0 | 1.6 | 0.5 | 0.2 | | | | |
| 6500 | | | 15.0 | 6.9 | 1.9 | 0.6 | 0.3 | | | | |
| 7000 | | | 17.7 | 7.6 | 2.1 | 0.7 | 0.3 | | | | |
| 8000 | | | 22.4 | 9.9 | 2.7 | 0.9 | 0.4 | 0.2 | | | |
| 9000 | | | | 12.1 | 3.3 | 1.1 | 0.5 | 0.2 | | | |
| 10000 | | | | 14.0 | 4.0 | 1.3 | 0.6 | 0.3 | 0.1 | | |
| 12000 | | | | 20.1 | 5.5 | 1.8 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | | |
| 15000 | | | | 29.7 | 8.1 | 2.7 | 1.2 | 0.5 | 0.3 | | |
| 18000 | | | | | 11.1 | 3.7 | 1.6 | 0.7 | 0.4 | 0.1 | |
| 20000 | | | | | 13.3 | 4.5 | 1.9 | 0.9 | 0.5 | 0.2 | |
| 25000 | | | | | 19.7 | 6.6 | 2.9 | 1.3 | 0.7 | 0.3 | |
| 30000 | | | | | | 9.0 | 4.0 | 1.3 | 1.0 | 0.5 | 0.1 |
| 35000 | | | | | | 11.8 | 5.2 | 2.3 | 1.3 | 0.5 | 0.2 |
| 40000 | | | | | | 15.0 | 6.5 | 2.9 | 1.7 | 0.6 | 0.2 |
| 45000 | | | | | | 18.4 | 8.0 | 3.8 | 2.3 | 0.7 | 0.3 |
| 50000 | | | | | | | 9.7 | 4.3 | 2.5 | 0.9 | 0.4 |
| 60000 | | | | | | | 13.3 | 5.9 | 3.1 | 1.2 | 0.5 |
| 70000 | | | | | | | | 7.7 | 4.4 | 1.5 | 0.6 |
| 80000 | | | | | | | | 10.4 | 5.8 | 1.9 | 0.8 |
| 90000 | | | | | | | | 12.8 | 7.3 | 2.4 | 1.0 |
| 100000 | | | | | | | | | 0.3 | 2.9 | 1.2 |
| 125000 | | | | | | | | | | 4.5 | 1.8 |
| 150000 | | | | | | | | | | 6.3 | 2.6 |
| 175000 | | | | | | | | | | 8.4 | 3.5 |
| 200000 | | | | | | | | | | 10.7 | 4.4 |

Fuente: Catálogo de bombas Hasa 2015-2016.

En cuanto a las tuberías de acero, pueden comprobarse los cálculos haciendo uso del siguiente ábaco:

Figura 1.11. Pérdidas de carga para tubería de acero.



Fuente: Catálogo de bombas Hasa 2015-2016.

Además de las pérdidas de carga por rozamiento, se producen otro tipo de pérdidas que se originan en puntos singulares de las tuberías (cambios de dirección,



codos, juntas...) y que se deben a fenómenos de turbulencia. La suma de estas pérdidas de carga accidentales o localizadas más las pérdidas por rozamiento dan las pérdidas de carga totales.

Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico (K):

$$P_a = k \frac{v^2}{2g}$$

Siendo:

) k: coeficiente empírico adimensional.

) v: velocidad media del flujo (m/s).

) P_a : caída de presión o pérdida de carga en los accesorios (m.c.d.a).

) g: gravedad (m/s²).

El coeficiente "k" depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería. En la siguiente tabla se resumen los valores aproximados de "k" para cálculos rápidos:



Tabla 1.29. Valores del coeficiente “k” para el cálculo de la pérdida de carga en los accesorios de las tuberías.

| Accesorios en tuberías, valor de “k” | | |
|--|----------|------------|
| Elemento | k | L/D |
| Válvula esférica (totalmente abierta) | 10 | 350 |
| Válvula en ángulo recto (totalmente abierta) | 5 | 175 |
| Válvula de seguridad (totalmente abierta) | 2,5 | - |
| Válvula de retención (totalmente abierta) | 2 | 135 |
| Válvula de compuerta (totalmente abierta) | 0,2 | 13 |
| Válvula de compuerta (abierta 3/4) | 1,15 | 35 |
| Válvula de compuerta (abierta 1/2) | 5,6 | 160 |
| Válvula de compuerta (abierta 1/4) | 24 | 900 |
| Válvula de mariposa (totalmente abierta) | - | 40 |
| T por salida lateral | 1,80 | 67 |
| Codo a 90° de radio corto (con bridas) | 0,90 | 32 |
| Codo a 90° de radio normal (con bridas) | 0,75 | 27 |
| Codo a 90° de radio grande (con bridas) | 0,60 | 20 |
| Codo a 45° de radio corto (con bridas) | 0,45 | - |
| Codo a 45° de radio normal (con bridas) | 0,40 | - |
| Codo a 45° de radio grande (con bridas) | 0,35 | - |

Fuente: Elaboración propia

A todo lo anterior, añadir que los materiales más comunes para la conducción de los fertilizantes fluidos son el PVC, PP, acero al carbono y el aluminio. El PVC ofrece varias características deseables, es liviano, fácil de manipular y de instalar y es casi inerte a los fertilizantes fluidos hasta 65°C. Su resistencia a la tracción y al impacto son sus principales ventajas. También puede reforzarse con fibra de vidrio o polietileno de alta densidad.



En el caso de este complejo, los materiales más empleados en las tuberías serán:

-) Acero, sobre todo para conducciones de agua caliente.
-) PVC, para todo el saneamiento y algunas conducciones de fertilizantes.
-) PP o PPR, para conducciones de agua a temperatura ambiente y transporte de fertilizantes líquidos.

Las tuberías de Polietileno, y en sus variantes PEX, tienen las desventajas con respecto al Polipropileno en el tipo de unión. Mientras que el Polipropileno tiene una unión por termo-fusión (fusión del accesorio y el tubo), el Polietileno presenta uniones mecánicas, muy propensas a sufrir fugas de agua con el paso del tiempo, debido a las dilataciones y contracciones de los materiales. Las uniones mecánicas provocan que el sistema de polietileno sea menos económico que el polipropileno, siendo más competitivo en los diámetros pequeños. Las tuberías de Polipropileno y Polibutileno (PB), al igual que las de PE, son aptas para la aplicación de Agua caliente y fría sanitaria (fontanería), pero en su conjunto la instalación con Polibutileno es casi tres veces más costosa. También presenta una dilatación muy superior a la tubería de Polipropileno, por estos motivos el PPR es el material seleccionado.

Las mangueras no metálicas son un elemento vital para la operación de fertilizantes fluidos, para transferir un líquido de un tanque a otro. Las mangueras poseen en general múltiples capas o paredes de plástico, que son reforzadas con uno o más de los siguientes materiales: alambre de acero, hélice plástica y fibras trenzadas. El interior de la manguera debe resistir la acción de los compuestos químicos y la corrosión, mientras que el exterior debe resistir las inclemencias climáticas como así también permitir el fácil movimiento a través del terreno, en especial superficies rústicas. Las mangueras más livianas son fáciles de usar pero su baja resistencia mecánica a la tracción limita su uso. De los materiales plásticos, los fluoelastómeros son satisfactorios para los fertilizantes en general y los ácidos (sulfúrico, nítrico y fosfórico). Los de PVC, poliamida y poliéster, son en general adecuados para todos los fertilizantes neutros (pH6, 5 a 7,5). De éstas, solo el poliéster es recomendado para soluciones de urea.

El criterio de diseño que se ha seguido para el dimensionamiento de las tuberías es, una vez establecido el material, así como el caudal que se necesita que circule a través de la línea, se fija la velocidad adecuada de circulación por la tubería y se comprueba que la pérdida de carga que genera la misma, incluidos accesorios, no es excesiva.

Esta velocidad de diseño puede fijarse para locales de uso industrial en valores superiores a si estuviesen en otro tipo de usos de la edificación. Velocidades de 3 m/s y superiores son aceptables en procesos de bombeo industriales, cosa que es impensable para uso no industrial.

Es interesante citar que la elección del diámetro de la tubería que ha de emplearse en una instalación es un problema técnico-económico. Dimensionando en exceso la tubería se consigue reducir las mencionadas pérdidas de carga, sin embargo esta reducción puede no compensar el costo de la misma. Por el contrario, al seleccionar



una tubería de poco diámetro se aumentan considerablemente las pérdidas y por ende la altura manométrica y el costo del grupo de bombeo.

La elección de una tubería con pérdidas de carga elevadas implica además un gasto superior constante de energía que en ocasiones pudiera amortizar la instalación. El diámetro que haga mínima la suma de los gastos anuales de energía y los de amortización de la tubería es el más adecuado para una cierta velocidad seleccionada con unos márgenes.

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.

Para los sistemas de bombeo, la principal fórmula a emplear será:

$$H = H_g + \rho + \frac{P_{ti} - P_a}{\rho g} \frac{\dot{m}}{\rho g}$$

Siendo:

-) H: La altura manométrica que debe vencer la bomba (m).
-) H_g : la altura geométrica, que es el desnivel existente entre el nivel mínimo de aspiración y el punto más alto de impulsión (m).
-) ρ : caída de presión por pérdidas de carga en las tuberías y accesorios.
-) $\frac{P_{ti} - P_a}{\rho g} \frac{\dot{m}}{\rho g}$: La diferencia de presión sobre las superficies del líquido en impulsión y aspiración, dividido entre la densidad del líquido y la constante gravitatoria.



Para limpiar las líneas, se tendrán conectadas algunas tuberías con ciertos puntos de accesos a la red de agua fría desde la aspiración de las bombas, para limpiar las líneas con agua. También se podrá disponer de limpieza por aire a presión de las mismas.

1.8.2 Dimensionado de líneas y grupos de bombeo

En primer paso para dimensionar las tuberías es calcular las necesidades de caudal que requiere cada línea de bombeo. 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 1.30. 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 ³ /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 ³ /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 ³ /h // 40-43 m ³ /h |
| 301/303 | P-301 A/B | Caldera <-> Reactores | Conducir el agua caliente desde la caldera a los serpentines de los reactores | 45 m ³ /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 ³ /h |
| 302 | P-302 A/B | Acumuladores <-> Reactores | Proveer de agua caliente los reactores como materia prima | 90 m ³ /h |
| 310/313 | P-301 A/B | Reactores <-> Caldera | Retorno del agua caliente desde los serpentines a la caldera | 45 m ³ /h |
| 311/312/313 | P-301 A/B | Acumuladores <-> Caldera | Retorno del agua caliente desde los acumuladores a la caldera | 10 m ³ /h |
| 501 | P-501 | Camión <-> Tanque de Almacén | Cargar de materia prima líquida los depósitos | 50 m ³ /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 ³ /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 ³ /h |

Fuente: Elaboración propia



❖ Línea 101

Para la **línea 101**, que provee de agua el proceso, la demanda ha sido estimada teniendo en cuenta la formulación de fertilizante líquido más demandante de agua, que en este caso requiere 4.910 litros de agua para un reactor principal o grande y 3.100 para secundario o pequeño. Para el caso de que los cuatro reactores demanden agua simultáneamente, la necesidad de agua sería:

$$\text{Demanda de agua máxima} = 4.910 \text{ l} + 3.100 \text{ l} = 8.010 \text{ l}$$

Para el caso de que sean los acumuladores los que requieran llenarse simultáneamente, estos requerirían en torno a 12.000 litros.

Considerando las anteriores demandas de agua, y teniendo en cuenta que se querría llenar los reactores en un tiempo de en torno a 10 minutos, el caudal que necesita proveer el grupo de bombeo y por ende pasar por las tuberías son unos 90 m³/h, aumentándose el mismo a **100 m³/h** para cubrir posible imprevistos.

Será una tubería de PPR o acero, en función de conveniencia en la contratación. Si es de PPR, se selecciona PPR-160, de la serie SDR9 con una pérdida de carga de 2,3 bar y una velocidad del agua de 1,1 m/s. En el caso de que por motivos de contratación fuere más barato la tubería de acero, se tendría DN-100, con una velocidad del agua de 3,08 m/s y una pérdida de carga incluyendo accesorios de 2,03 bar.

El grupo de bombeo, deberá dar el caudal anteriormente mencionado, con una altura manométrica de aproximadamente 2,5 bar (unos 25,5m.c.d.a.), incluyendo altura geométrica y pérdidas de carga.

❖ Línea 102

La línea 102 es la encargada de bombear residuos producidos por derrames, productos defectuosos o de cualquier otro origen de líquidos sucios, que no pueden ser conducidos directamente a la red de saneamiento del polígono industrial, a la balsa de vertidos para así ser almacenada de forma segura. Desde ese almacenamiento, podrá tener esos líquidos el uso que se les quiera dar o se les pueda dar, como por ejemplo ser usado como agua de proceso, o simplemente ser almacenado hasta su posterior tratamiento o recogida por parte de un gestor de residuos cualificado y certificado para ello.

Como fuere, se ha considerado un caudal de bombeo de **50 m³/h**, suficiente para cargar un camión de 25 m³ en 30 minutos o para vaciar un derrame en un tiempo relativamente corto. La altura de la bomba será de unos 1,65 bar (10,5 m.c.d.a.), teniendo en cuenta que la tubería será de PPR-110, (serie SDR-9). Esta tubería y caudal implica un rango de velocidades de 2,69 m/s y pérdida de carga de 0,64 bar.



❖ Líneas 201, 202, 203, 204, 205 y 206

Estas líneas son las encargadas de vaciar los reactores de producto terminado y bombearlo hasta los depósitos de almacenamiento correspondientes. Las 201, 202 y 203 dan servicio al reactor R-201 y R-202, que son un reactor principal y uno secundario respectivamente, mientras que las 204, 205 y 206 se lo dan a los reactores R.203 y R-204, que son también un reactor grande y otro pequeño.

El régimen de funcionamiento de estas líneas es similar, se explica la terna 201, 202 y 203. Estas líneas tienen asignadas 3 bombas, una por cada línea, para vaciar dos tanques, teniendo la posibilidad de conectarse dichas líneas y así poner en funcionamiento la bomba asignada a otra línea. Ello es así para tener siempre una bomba en reserva en el grupo de 3s, que puede dar servicio en caso de falla en la principal.

El régimen de funcionamiento de las bombas para estas líneas estará en torno a los **40-43 m³/h**, 40 para vaciar un tanque grande en 10 minutos y 43 para vaciar uno pequeño en 5 minutos. El régimen máximo de funcionamiento para estas bombas se encontraría en los **63 m³/h**, correspondientes a vaciar un reactor grande y uno pequeño a la vez a través de un solo grupo de bombeo. Para seleccionar las bombas incluir la altura manométrica a vencer, en torno a 50 m.c.d.a., que corresponden a unos 43 m.c.d.a. de pérdidas y el resto altura geométrica a vencer.

Estas líneas, si se recurre a los planos, pueden verse que son 4 ramales principales y dos secundarios para la reserva. Los principales conducen el fertilizante líquido desde su correspondiente reactor asignado hacia un colector. Un colector por línea, 4 en total. Desde cada uno de esos colectores se encauza el producto a un grupo de depósitos de almacenaje del clúster. Cada colector tiene asignado una serie de depósitos, entre 3 y 4 por colector. Cada sub-línea que parte de estos colectores estarán telecomandadas, para así poder seleccionar el tanque específico al que se quiere verter el producto.

Dichos colectores estarán interconectados, para así tener la posibilidad de conducir producto desde un reactor, con su bomba asignada, a un depósito asignado a otro colector. De este modo desde cualquier reactor se puede verter a cualquiera de los depósitos para almacenaje disponibles en el complejo.

Finalizar este sub-apartado, citando que las líneas generales y ramales serán de PPR-110, alcanzándose velocidades de en torno a los 3,8 m/s.

Todo lo anterior diseñado teniendo en cuenta las consideraciones de corrosión oportunas, ya que pueden mover materias primas corrosivas.



❖ Líneas 301, 303, 310 y 313

Estas conducen agua caliente a temperaturas en torno a los 80-90°C desde la caldera a los reactores, concretamente a los serpentines de los mismos para así proveer de energía en forma de calor a las formulaciones y retornan dicha agua a menor temperatura de nuevo a la caldera.

En concreto, la línea 301 es la que sale de la caldera, desembocando en un colector de reparto. Desde este colector se divide el caudal en 3 salidas, en función de la necesidad que quiera cubrir en ese momento la caldera, bien los reactores, bien los acumuladores. Además, hay otra salida de recirculación que conecta directamente con el colector de retorno. La elección de qué salida abrir en cada momento se realiza desde el control del proceso haciendo uso de la valvulería y sensores (temperatura y presión principalmente) necesarios.

La 303 es la línea que desde dicho colector de impulsión abastece al colector de reparto de los distintos serpentines de los reactores de agua caliente. Las líneas que unen dicho colector con cada serpentín reciben el nombre de 303-A, 303-B, 303-C y 303-D.

Las 310 y 313 corresponden al retorno. En concreto la 310 viene desde el colector de retorno de los serpentines hasta el colector de retorno principal. La 313 por su parte, es el entronque principal de tramo de tubería desde el colector principal de retorno y la caldera, y es en este tramo dónde se sitúa el grupo de bombeo con todas las válvulas, filtros, y aparataje correspondiente.

En el colector de retorno principal es donde se realiza el llenado automático del agua del circuito cuando sea necesario. Dicha línea de llenado contará con su correspondiente válvula antirretorno y un sistema adecuado que asegure mantener la cantidad de agua en el circuito más o menos constante. Dicho sistema podrá ser por ejemplo una válvula automática de presión que actúe abriéndose cuando cae la presión de cierto valor.

El agua del circuito cerrado tendrá un proceso de descalcificación para evitar atascos en el sistema. En concreto un equipo dúplex de 100 litros de resina por cada botella.

Todas estas líneas serán realizadas en de acero DIN 2448, DN-125. Con ello se ha estimado un caudal para bombeo de en torno a **20-45 m³/h**, según lo calculado en los apartados de serpentines y calderas. La altura que deberá superar este grupo será de en torno a los 25 m.c.d.a. La longitud del tramo más desfavorable será de unos 70 metros con unas velocidades de en torno a 1,38 m/s. los 3,8 m/s.



❖ Líneas 301, 304, 305, 311, 312 y 313

Estas líneas son las otras que completan el circuito de generación y distribución de calor en la planta junto a las anteriores.

Las líneas 304 y 305 parten desde el colector principal de impulsión de la caldera hacia los acumuladores, una línea por cada acumulador.

Las 311 y 312 por su parte, hacen el camino contrario, es decir, parten desde los acumuladores hacia el colector principal de retorno de la caldera.

Estas 4 líneas, junto con las 301 y 313 pueden cerrar el circuito de generación y distribución de agua caliente al igual que lo hiciera con las 303 y 310.

Se dimensionarán en acero DIN 2448, con diámetro DN-50 y unas longitudes aproximadas de 20 metros, velocidad 1,19m/s. El grupo de bombeo por su parte, es el mismo que el usado en las líneas del sub-apartado anterior. .

❖ Líneas 302, 306, 307 y 308

Estas líneas parten de los acumuladores, 306 y 307, se juntan en un colector, 308 y desembocan de los reactores previo paso por equipo de bombeo, 302. La línea de la impulsión, 302, termina en un colector que la divide en la 302-A, 302-B, 302-C y 302-D, distribuyendo así el caudal al reactor que lo requiera.

El caudal que debe proveer dicha bomba se estima en **90 m³/h**, suficiente para verter el agua de los dos acumuladores en los reactores en un tiempo estimado de entre 8 y 10 minutos. Asimismo, la altura de la bomba, teniendo en cuenta las pérdidas en los tramos de tuberías y accesorios, así como la altura geométrica (unos 3,5 metros), será de 12,65 m.c.d.a.

La misma tiene un tramo de tubería de acero DN-100, hasta colector de reparto de la línea 302, y otro de DN-65 desde este colector hasta los reactores. En el primer tramo se alcanzarán velocidades en el líquido de en torno a 2,77 m/s, mientras que en el segundo la velocidad será de 2,86 m/s.

A modo de ejemplo de la reserva de presión mencionada para las válvulas, en estas líneas el grupo de bombeo preseleccionado sería capaz de dotar las mismas con una presión de en torno a los 36,5 m.c.d.a., si la altura a vencer para el régimen de funcionamiento que da el caudal de 90 m³/h es de 12,65 m.c.d.a., se obtendrá una reserva de presión de unos 16,14 m.c.d.a.

Este dato de la reserva de presión ha de tenerse en consideración a la hora de seleccionar los equipos, para así poder tener ciertos márgenes de presión en el conjunto de válvulas.



❖ Línea 501

Esta línea tiene como objetivo descargar los camiones de los proveedores de materias primas líquidas en los depósitos de almacenamiento. En concreto en los tanques de almacenamiento: TK.501, TK.502, TK-503 y los tanques de almacenamiento de producto o materia prima TK-504 y TK.505.

EL caudal de bombeo necesario para esta línea se calcula en función de los camiones que harán uso de la misma y el tiempo de descarga del mismo. Se tiene en consideración un camión tipo de carga 50 m³ de volumen nominal y un tiempo de descarga de 30 minutos, así:

$$Q = 25/30 \quad 60 = 50m^3/h$$

Con este caudal de 50 m³/h y una altura de 28 m.c.d.a., se diseñará la bomba. Todo ello teniendo en cuenta las consideraciones de corrosión oportunas, ya que pueden mover materias primas corrosivas tales como ácido fosfórico.

La tubería será de PPR-90, con una velocidad del fluido de en torno a 3,57 m/s.

❖ Líneas 518, 519 y 520

Son líneas para salida de producto. Cada una da servicio a una serie de depósitos de almacenamiento, los cuales están conectados mediante un colector de recogida o salida, interconectándose los tres colectores de salida por si hiciera falta en algún caso hacer esa maniobra. En concreto, tenemos para cada línea:

-) 518: da servicio de salida de producto desde los tanques de almacenamiento TK-510, TK-511, TK-512, TK-513 y TK-515.
-) 519: da servicio de salida de producto desde los tanques de almacenamiento TK-507, TK-508, TK-509, TK-516 y TK-517.
-) 520: da servicio de salida de producto desde los tanques de almacenamiento TK-501, TK.502, TK-503, TK-504, TK-505, TK-506 y TK-514.

Para estas líneas, si bien cada tanque tiene su propia bomba de salida de producto, que van desde la P-524 a la P-537, estas se diseñan exactamente igual que la 501. Es por ello por lo que sus parámetros principales son: caudal de 50 m³/h y una altura de 20 m.c.d.a. Se diseñarán las bombas teniendo en cuenta las consideraciones de corrosión oportunas, ya que pueden mover materias primas corrosivas. Es cierto que hay tanques de almacenamientos más pequeños, pero con estos grupos de bombeo, siendo todos iguales, se consigue tener menos tipos de bombas y por ello mayor facilidad de cambio y repuestos, son bombas además relativamente baratas y con ellas un tanque de los más pequeños se vacía en 15 minutos.



Al haber 14 bombas de este tipo iguales, se recurre a poner una sola en cada línea, manteniendo un stock de 7 bombas en reserva guardadas en algunos de los recintos de almacenamientos de piezas a la espera de ser cambiada rápidamente si fuere necesario.

Las tuberías serán de PPR-90, con unas velocidades del fluido de en torno a 3,57 m/s.

❖ Líneas 521, 522 y 523

Son líneas cuya función es principalmente proveer de materias primas líquidas los reactores. Cada una se encarga de uno de los tres depósitos de los grandes de 100 m³, en los cuales se encuentran el ácido fosfórico, el UAN-32 y el APP-10-34-0 (TK-501, TK-502 y TK-503).

Además, cada línea tiene acceso también a los depósitos TK.504 y TK-505, los cuales serán usados tanto para almacenar productos terminados como materias primas, en función de las necesidades del complejo.

Estas líneas, moverán unos caudales de aproximadamente **15 m³/h**, suficiente para cargar un reactor grande de la máxima cantidad de materia prima requerida para un lote según la formulación más demandante de las estudiadas con anterioridad. Todo ello teniendo en cuenta un tiempo de vertido en el reactor de 10 minutos.

Los grupos de bombeo, que serán 3, uno por línea, deberán dar ese caudal y una altura de 30,6 m.c.d.a. teniendo en cuenta las consideraciones de corrosión oportunas, ya que pueden mover materias primas corrosivas.

Las líneas serán de PPR-63, moviéndose el líquido por su interior a velocidades de 2,85 m/s.

1.8.3 Consideraciones finales respecto a líneas y grupos de bombeo

Todos los grupos de bombeo estarán conectados a sus correspondientes tuberías mediante manguito anti-vibraciones, para así evitar que estas se transmitan a las tuberías y demás elementos del sistema.

Las bombas estarán adecuadamente niveladas y fijadas firmemente a una bancada de hormigón u otro tipo de material que garantice la suficiente masa e inercia al conjunto e impida la transmisión de ruidos y vibraciones a los edificios.

Todos los grupos de bombeo, a excepción de los que traten aguas sucias, estén compuestos por una, dos o más bombas individuales, tendrán en su conexión a la línea:

-) Válvulas de cierre antes y después de las bombas, para así poder desmontarlas sin ser necesario el corte completo de la línea.



-) Filtro con válvulas de cierre antes y después del mismo, de fácil acceso por parte del operario encargado de su mantenimiento y con un by-pass que permita seguir en funcionamiento la bomba aun estando este en limpieza.
-) Válvula antirretorno a la salida de la bomba.

Ciertas líneas en las que en incluyan sistemas de bombeo, irán protegidas con un sistema de depósitos de expansión independiente, para proteger contra sobrepresiones producidas por el golpe de ariete. El cálculo de estos depósitos de expansión irá en un apartado posterior.

Puede que resulte conveniente, en función del grado de calidad, rotación de productos, tiempo en espera en los depósitos de almacenamiento de los fertilizantes líquidos, etc., la instalación de una columna de filtrado o filtros en paralelo, tres filtros por línea y un by-pass a la salida de los reactores y de tanques de almacenamiento. Esto facilitaría los trabajos de mantenimiento de los mismos.

Se situarán purgadores automáticos en zonas estratégicas de ciertas líneas, normalmente en los puntos más elevados, para permitir la salida de aire del sistema y proteger así la instalación.

Se recomienda acudir a los planos para ampliar y consolidar la información aquí mostrada.

1.8.4 Dimensionado de depósitos de expansión

El sistema de expansión tiene la función de absorber las variaciones de volumen del fluido contenido en un circuito cerrado al variar su temperatura, manteniendo la presión entre límites preestablecidos e impidiendo, al mismo tiempo, pérdidas y reposiciones de la masa de fluido. Es especialmente importante su función en circuitos cerrados que trabajen con agua caliente, ya que cuando el agua del circuito se calienta, se expande, aumentando de volumen y por tanto aumentando también su presión. El vaso de expansión se instala para evitar que el aumento de presión dañe las tuberías u otros componentes del sistema.

Hay vasos de expansión de dos tipos:

-) Abiertos: se situaban siempre en el punto más alto de la instalación y constaban de un depósito de agua, un rebosadero y un sistema de llenado automático que introducía agua en el circuito cuando el nivel bajaba, por el motivo que fuese. Eran dispositivos muy sencillos que tenían varios problemas: podían congelarse, o podían perder agua por evaporación, contribuían a la oxidación de los componentes del circuito... Hace varios años que su instalación no está permitida por el RITE.
-) Cerrados: generalmente metálicos, son un recipiente hermético que consta de dos compartimentos separados por una membrana elástica; en



uno de ellos hay aire o gas a presión, y al otro llega el agua del circuito. La presión de la cámara de aire es regulable desde una válvula situada en el exterior del vaso.

El funcionamiento responde a un esquema básico, al expandirse el agua hace presión contra la membrana, comprimiendo el aire que contiene; de esta forma, es el aire el que absorbe ese aumento de presión y en el circuito siempre se mantiene una presión de funcionamiento estable.

Los límites de trabajo de un depósito a presión en cuanto se refiere a esta última y temperatura, serán establecidos por el fabricante proveedor.

Generalmente, el diseño de estos depósitos y su selección está sujeta a la normativa RITE, Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios. En la misma, apartado 1.3.4.2.4 en adelante, se cita lo siguiente:

“1. Los circuitos cerrados de agua o soluciones acuosas estarán equipados con un dispositivo de expansión de tipo cerrado, que permita absorber, sin dar lugar a esfuerzos mecánicos, el volumen de dilatación del fluido.

*2. Es válido el diseño y dimensionado de los sistemas de expansión siguiendo los criterios indicados en el capítulo 9 de la **norma UNE 100155. 95***

– IT 1.3.4.2.5. Circuitos cerrados

1. Los circuitos cerrados con fluidos calientes dispondrán, además de la válvula de alivio, de una o más válvulas de seguridad. El valor de la presión de tarado, mayor que la presión máxima de ejercicio en el punto de instalación y menor que la de prueba, vendrá determinado por la norma específica del producto o, en su defecto, por la reglamentación de equipos y aparatos a presión. Su descarga estará conducida a un lugar seguro y será visible.

2. En el caso de generadores de calor, la válvula de seguridad estará dimensionada por el fabricante del generador.

3. Las válvulas de seguridad deben tener un dispositivo de accionamiento manual para pruebas que, cuando sea accionado, no modifique el tarado de las mismas.

4. Son válidos los criterios de diseño de los dispositivos de seguridad indicados en el apartado 7 de la norma UNE 100155.

5. Se dispondrá un dispositivo de seguridad que impida la puesta en marcha de la instalación si el sistema no tiene la presión de ejercicio de proyecto o memoria técnica”.

Todo ello se ha tenido en consideración en el diseño de las instalaciones, especialmente en la sección de generación y distribución de energía en forma de calor.



En los planos pueden observarse la disposición de purgadores automáticos, válvulas de alivio de seguridad, vasos de expansión, etc.

Retomando un poco el tema del depósito de expansión, el primer paso para dimensionar el mismo es conocer los datos que lo definen, así como el procedimiento para calcularlo. Se seguirá lo expuesto en la normativa UNE UNE 100155:2004.

Pues bien, en dicha normativa se dispone que el volumen de dicho vaso responde a la siguiente formula:

$$V_t = V * C_e * C_p$$

Siendo:

-) V_t , el volumen total del vaso de expansión.
-) V , el volumen total del agua contenida en el circuito.
-) C_e , el coeficiente de dilatación del fluido.
-) C_p , el coeficiente de presión del gas.

❖ Depósito de expansión del circuito caldera-reactores-acumuladores

El cálculo del agua contenida en el sistema, puede estimarse mediante formulaciones que lo aproximan, estilo: $V = P * 15 / 1,16$, con P igual a la potencia del generador en kW; o mediante el sumatorio de todo el agua del sistema, sumando el volumen contenido en tuberías, calderas, intercambiadores, colectores, accesorios, etc. Si se comienza por ejemplo con el cálculo del depósito de expansión situado en el **circuito de la caldera-reactores-acumuladores**, se ha estimado sumando:

-) Caldera: el agua contenida en la misma = 2.930 l.
-) Tuberías: el agua en las tuberías = 9.197 l.
-) Serpentes: el agua contenida en los serpentines = 1.046 l.
-) Accesorios: el agua contenida en diversos accesorios que hay en el circuito = 100 l.

Con todo, el volumen total de agua contenida en el sistema se estima en unos $V=5.000$ litros.

El segundo paso consiste en calcular el coeficiente de expansión. Este es siempre positivo y menor que la unidad y representa la relación entre el volumen útil del vaso de expansión, que debe ser igual al volumen de fluido expansionado, y el volumen de



fluido contenido en la instalación ($C_e = V_u / V$). Se puede calcular con la siguiente fórmula para temperaturas entre 70°C y 140°C:

$$C_e = (-33,48 + 0,738t) \cdot 10^{-3}$$

Para este vaso de expansión $C_e = 0,03294$

También se podría hacer uso de la fórmula del RITE:

$$C_e = (3,24 \cdot t^2 + 102,13 \cdot t - 2708,3) \cdot 10^{-6}$$

Saliendo un valor de C_e casi idéntico. La temperatura seleccionada ha sido la del lado de la impulsión, pues es superior a la del retorno y con ello está dimensionado desde el lado de la seguridad.

Como fuere, $V_u = C_e \cdot V = 164,7$ litros.

Por último, el coeficiente de presión para el cálculo del volumen total de los vasos de expansión cerrados sin trasiego de fluido al exterior del sistema se halla partiendo de la ecuación de estado para gases perfectos, considerando que la variación de volumen tenga lugar a temperatura constante (ley de Boyle y Mariotte). Este coeficiente, positivo y mayor que la unidad, representa la relación entre el volumen total y el volumen útil del vaso de expansión ($C_p = V_t / V_u$). Se calcula con la fórmula:

$$C_p = P_M / (P_M - P_m)$$

Donde:

) P_M es la presión máxima = Presión de tarado + Presión atmosférica.

) P_m es la presión mínima (presión estática) = Presión manométrica + Presión atmosférica.

Para el caso que nos ocupa, la presión de tarado se sitúa en 10 bar y la manométrica en 2 bar, con lo que se consigue:

$$C_p = 11 / (11 - 3) = 1,375 \text{ (según RITE)}$$

$$C_p = 10 / (10 - 3) = 1,4286 \text{ (según UNE 100-155)}$$

Finalmente, para el depósito de expansión del **circuito cerrado caldera-reactores-acumulación**, se tiene un volumen total del vaso de expansión:

$$V_t = V \cdot C_e \cdot C_p$$

$$V_t = 5.000 \cdot 0,0329 \cdot 1,375 \text{ (o } 1,4286) = \mathbf{225,5 \text{ litros (235,3 litros).}$$



Hay que tener en cuenta para este circuito de dotarlo de un vaciado y purga de DN-40 mínimo, por la potencia que se maneja en el mismo.

Ha modo de ejemplo, se ha preseleccionado para este depósito uno de la marca Ibaiondo, en concreto el 350 CMR.

❖ Vaso de expansión de la línea de bombeo acumuladores-reactores

Para este caso, siguiendo el procedimiento de cálculo explicado con anterioridad, se tienen:

$$) V = 600 \text{ l.}$$

$$) \text{ Temperatura del agua} = 60^{\circ}\text{C.}$$

$$) C_e = 0.0151.$$

$$) C_p = 1,75.$$

$$) P_M = 6+1 = 7 \text{ bar.}$$

$$) P_m = 2+1 = 3 \text{ bar.}$$

$$) V_t = \mathbf{15,85 \text{ litros.}}$$

Se puede preseleccionar un vaso de expansión de la marca Ibaiondo 18 CMR.

Para los otros grupos de bombeo, que trabajan con líquidos a temperaturas bajas, los propios depósitos de compensación que recomiendan las marcas de los grupos de bombeo seleccionados serán adecuados.

1.9 Sistemas de conducción y transporte de material sólido

1.9.1 Movimiento de sólidos mediante palas cargadoras

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 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 m) o radio de giro (2´5 m) y así poder realizar la distribución de los distintos edificios de la fábrica, viales, etc., adecuadamente.

Todos los materiales empleados, en cualquiera de los distintos elementos para realizar los movimientos de sólidos deberán ser adecuados a las características de las materias transportadas. Con ello se pretende reducir interferencias entre elementos transportadores y transportados, así como reducir fallos, o deterioros excesivos debidos a un descuido en la selección de los materiales empleados.

1.9.2 Dimensionado de tolvas

Para el dimensionado de las tolvas y cintas transportadoras se ha tenido en consideración las necesidades de alimentación de los reactores, en función de las formulaciones que demandan más materias primas y para cada una de estas. Así queda recogido en la siguiente tabla:

Tabla 1.31. Demandas máximas y nominales de materias primas sólidas para cada reactor principal.

| Material | kg para fórmula más demandante | kg para fórmula nominal |
|------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Urea | 2.087 | 1.204 |
| Sulfato amónico | 4.572 | 2.638 |
| Cloruro potásico | 1.600 | 1.156 |
| Nitrato amónico | 2.824 | 1.629 |
| Nitrato potásico | 2.087 | 1.455 |
| Sulfato potásico | 1.920 | 1.387 |

Fuente: Elaboración propia

Se fijó la cantidad de material a mantener en la tolva hasta su uso en torno a los 2.700 kg, para así tener asegurada la dosificación en las cintas de todo o casi todo el material que requieran los reactores en un lote. Puede apreciarse que con esa cantidad de material estaría un poco corto para formulaciones que usasen como principal fuente de nitrógeno el sulfato amónico, no obstante esto no sería problema ya que dicha materia prima no será usual su empleo con esa función, más bien se usará como fuente alternativa o complementaria a otras principales tales como nitrato amónico, urea o UAN-32, dando aporte a la fórmula de azufre. Además, si para una formulación se requiere más cantidad de material del almacenado en la tolva, no hay más que verter más desde la pala cargadora a la misma.

Con todo ello, se diseñaron las tolvas, que serán con forma tronco piramidal, de proyección sobre el terreno cuadrangular. Las medidas aproximadas de las mismas son: 2´5 x 2´5 m de ancho y largo en su parte de mayor área superior, y de 0´4 x 0´4 m en su base de descarga. El alto efectivo será de aproximadamente 1 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 m³, o lo que es lo mismo, unos 2.700 kg (depende de la densidad del material que se vierta).

Tabla 1.32. Características de las tolvas.

| TOLVAS | | | | | | |
|---|----------------------|-----------|------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------|
| Altura (m) | Base superior | | | Base inferior de descarga | | |
| | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m ²) | Largo (m) | Ancho (m) | Área (m ²) |
| 1 | 2'5 | 2'5 | 6'25 | 0'4 | 0'4 | 0'16 |
| Densidad media materiales utilizados 1,1 t/m ³ | | | | | | |
| Volumen | 2'47 m3 | | | Peso aproximado | 2.717 kg | |

Fuente: Elaboración propia

No existirá distinción entre tolvas que den servicio a reactores principales o grandes y secundarios o pequeños. Esto se ha hecho así para facilitar el uso de las palas cargadoras, además de contar siempre con la posibilidad de intercambiar de lugar algunas tolvas entre sí por el motivo que sea sin complicaciones añadidas.

En total, se contarán con 12 tolvas, nombradas desde la T-201 a la T-212. Cada reactor estará alimentado por tres tolvas, dos en un lateral de la nave de procesos y la otra en el lateral opuesto, para así facilitar el entronque de las cintas al reactor.

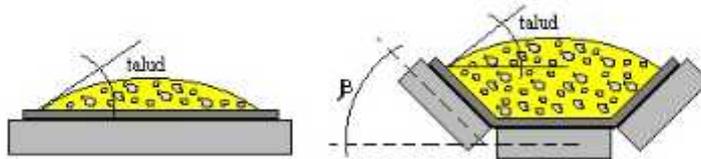
1.9.3 Cálculo de las cintas transportadoras

En el complejo se tendrá un conjunto de cintas transportadoras para conducir y dosificar la materia prima en polvo desde las tolvas hasta los reactores correspondientes. Cada cinta tiene asociado un reactor, y cada reactor 3 cintas, en total se contará con 12 cintas o bandas transportadoras para todo el proceso. Las mismas estarán nombradas desde la C-201 a la C-212.

La capacidad de transporte de una banda transportadora depende básicamente del ancho y la velocidad de la banda. Otros factores que interviene son: el ángulo de artesa, el ángulo de talud natural del material, su densidad y la inclinación del transporte, con la corrección que se estime por las posibles irregularidades en la carga del material. La base del cálculo está en la superficie ocupada por el material sobre la banda que, en función de la velocidad da el volumen transportado.

Se parte de la capacidad teórica Qm, que corresponde a un transporte horizontal en condiciones de alimentación y distribución del material totalmente regular. Como se refiere a m³/h y a una velocidad de 1 m/s, habrá que multiplicar este valor por la velocidad v y por el peso específico aparente del material d.

Figura 1.12. Esquema de configuración de las bandas transportadoras, plana y artesa.



Fuente: Kuman

Este valor se corrige en función de la inclinación del transporte según el coeficiente “k” y el ángulo de talud natural del material. Por último, se reduce el resultado en el porcentaje que se estime por irregularidad de la carga (oscila normalmente entre 0% y el 50%). Dicho factor puede observarse en manuales de bandas transportadoras, en concreto para este caso se ha recurrido al manual Kuman.

Para el caso que ocupa esta memoria, las cintas transportadoras se han seleccionado nervadas y con una inclinación longitudinal de 15° e inclinación de la artesa de 45°. Esto se ha hecho así para facilitar la conducción del polvo por las mismas, reduciendo posibles caídas de material, además, se implementará siempre que fuera posible un cerramiento o cubrición de las cintas para evitar la expulsión de polvo al ambiente.

Para seleccionar el ancho de las bandas, hace falta analizar la capacidad de transporte de las mismas. Si se vuelve a recurrir a las tablas de combinaciones de las formulaciones, se obtiene que la máxima cantidad de material en polvo que se requiere dosificar en un reactor de los grandes es de aproximadamente 4.572 kg. Si se quiere que dicho vertido se realice en un tiempo de unos 5 minutos, se obtiene:

$$\text{Cantidad de material a mover} = \frac{4,572}{5} \cdot 60 = 54.86 \text{ t/h} \quad 50 \text{ m}^3/\text{h}$$

El **ancho nominal de 500 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, ya que permite mover un flujo másico de material de hasta 96 m³/h. dicho valor, hay que multiplicarlo por un factor de corrección en función de la inclinación de la banda, para este caso:

$$\text{Inclinación} = 15^\circ \Rightarrow \text{“k”} = 0,9$$

Además, también hay que reducir el valor anterior multiplicándolo por un factor corrector por el ángulo de talud del material a transportar. Para este complejo se mueven fertilizantes sólidos en polvo, por lo que se puede considerar un ángulo de talud de 20°. Con ello:

$$\text{Ángulo de talud} = 20^\circ \Rightarrow \text{“b”} = 1$$

Resumiendo y aplicando lo anterior, el flujo másico Q_t que podrá transportar cada banda será:



$$Q_t = 96 \cdot 1 \cdot 0,9 = 86,4 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Esta cantidad máxima de movimiento de material permitiría reducir la dosificación incluso a tan sólo 3 minutos. No obstante, se empleará regímenes de funcionamiento un poco más bajos para no forzar tanto la maquinaria.

Todas las bandas del complejo serán de este ancho nominal, para así tener posibilidad de cambiar las posiciones fácilmente entre ellas si lo requiriera el proceso sin perjudicar ni intervenir de manera alguna en el mismo.

En cuanto a la potencia de accionamiento, esta se calcula desglosándola en cuatro componentes:

N1.- Potencia necesaria para mover la banda descargada. Depende de las partes móviles, el coeficiente de fricción en los rodillos de apoyo, la longitud, la inclinación y la velocidad de la banda. Su valor en CV, viene dado por:

$$N1 = \frac{C \cdot f \cdot L \cdot v \cdot G}{75} = \frac{C \cdot f \cdot L \cdot v}{75} \cdot (2 \cdot G_g \cdot \cos + G_s + G_i)$$

$$N1 = \frac{4,2 \cdot 0,018 \cdot 11,2 \cdot 55}{7} \cdot (2 \cdot 57,37 \cdot 160 + 50 + 50) = 1,8$$

N2.- Potencia necesaria para vencer las resistencias de rozamiento al movimiento de la carga. Depende de los mismos factores del apartado anterior, con la diferencia de que sólo se considerará el peso de la carga a transportar. Su valor en CV, viene dado por:

$$N2 = \frac{C \cdot f \cdot L \cdot Q \cdot c_1}{270}$$

$$N2 = \frac{4,25 \cdot 0,018 \cdot 11,2 \cdot 55 \cdot 3}{270} = 0,17$$

N3.- Potencia necesaria para elevar la carga. Dependerá de la cantidad de material a transportar, la velocidad y la (\pm) altura. La propia banda no se considera, ya que compensa la parte ascendente con la descendente. Su valor en CV, viene dado por:

$$N3 = \pm \frac{Q \cdot H}{270}$$

$$N3 = \frac{55 \cdot 3}{270} = 0,61$$

Nt.- Potencia necesaria para accionar descargas intermedias (“tripper”)

La altura de elevación del “tripper” ha de sumarse a la de transporte en los cálculos anteriores. Además, se añadirán las potencias indicadas en la siguiente tabla.



Tabla 1.33. Potencia absorbida por el tripper.

| Potencia Absorbida por el “TRIPPER” Nt, en CV | | |
|---|--------------|---------------|
| Ancho de la Banda | Tripper fijo | Tripper móvil |
| Hasta 650 | 1,00 | 1,70 |
| De 650 a 800 | 1,70 | 2,70 |
| De 1000 a 1200 | 2,90 | 4,30 |
| De 1200 a 1600 | 4,70 | 6,80 |
| De 1600 a 2000 | 6,00 | 8,60 |
| De 2000 a 2400 | 7,30 | 10,00 |

Fuente: kuman

$$\text{Potencia Total Necesaria} = N1 + N2 + N3 + Nt$$

Finalmente la Potencia Total Necesaria es

$$P = 1,7 + 0,1 + 0,6 + 1 = 3,5 C = 2,6 k$$

En estas fórmulas aparece un coeficiente “C” que tiene por objeto compensar algunos efectos tales como el aumento de las resistencias por suciedad en cojinetes y rodamientos, resistencias imprevistas, etc. Sus valores se resumen en la siguiente tabla. Los valores son empíricos.

Tabla 1.34. Tablas de coeficientes para el cálculo de bandas transportadoras.

| Tabla VI.- Valores del Coeficiente “C” (L, longitud de transporte, en metros) | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|
| L | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 |
| C | 9 | 7,6 | 6,6 | 5,9 | 5,1 | 4,5 | 4 | 3,6 | 3,2 | 2,9 | 2,6 | 2,4 |
| L | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 1000 |
| C | 2,2 | 2 | 1,85 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,05 | 1,05 |

| Tabla VII.- Coeficientes de Fricción en los Rodillos (f) | | |
|--|--------------|---------------|
| Tipo de Cojinete | Estado | Valor de f |
| Rodamiento | Favorable | 0,018 |
| | Normal | 0,020 |
| | Desfavorable | 0,023 – 0,030 |
| Fricción | | 0,050 |

Fuente: Kuman

Siendo en las fórmulas anteriores:



N1.- Potencia necesaria para mover la banda descargada (CV)

N2.- Potencia necesaria para vencer las resistencias al movimiento de la carga (CV)

N3.- Potencia necesaria para elevar la carga (CV)

Nt.- Potencia necesaria para accionar descargas intermedias (“tripper”) (CV)

C.- Coeficiente según la longitud de transporte

f.- Coeficiente de rozamiento en rodillos

L.- Longitud del transporte en metros

v.- Velocidad de la banda (m/s)

Gm.- Peso de las partes móviles (= $2 \cdot Gg \cdot \cos \alpha + Gs$) en Kg/m

Gg.- Peso por metro lineal de banda en Kg/m

α .- Ángulo de inclinación del transporte en grados.

Gs.- Peso de las partes giratorias de los rodillos soporte en el ramal superior, en Kg/m.

Gi.- Peso de las partes giratorias de los rodillos soporte en el ramal inferior, en Kg/m.

Qt.- Capacidad real de transporte (Tm/h)

H.- Altura vertical de transporte, en metros.

Para la estimación del peso de la banda textil, se ha hecho uso del peso por metro de una banda textil lisa, pudiéndose estimarse este de una forma aproximada, aplicando la siguiente fórmula, en la que se aumenta el valor del espesor en 1 mm por ser nervada:

$$G = B \cdot (1,15 \cdot e + P \cdot z)$$

$$G = 0,5 \cdot (1,15 \cdot 5,5 + 2,65 \cdot 3) = 29,7$$

Siendo:

Gg-peso de la banda en Kg/m. B-ancho de la banda en metros. Pi- Peso por m² de cada capa textil. e- espesor total de los recubrimientos en mm. z- número de capas textiles.



Todas las cintas son idénticas como ya se ha mencionado, EP-400, con un recubrimiento adecuado para el tipo de materias primas que deben transportar.

1.10 Almacenamientos

1.10.1 Almacenamiento de materias primas sólidas

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. El almacenamiento en trojes de hormigón es un sistema barato, versátil, que permite múltiples usos y combinaciones, además de ser un material adecuado para el tipo de materias primas que se van a almacenar. En concreto, se disponen de:

Tabla 1.35. Capacidad de los trojes de almacenamiento.

| NAVE DE ALMACENAMIENTO | | | | |
|-------------------------------|--|---|-----------------------------------|-------------------------|
| Tipo de nutrientes | Forma | Capacidad nominal | Capacidad máxima | Número de trojes |
| Macronutrientes | Graneleo | 45´5m ³ (50 t) | 95 m ³ (100 t) | 6 |
| Macronutrientes | Graneleo | 42 m ³ (46 t) | 60 m ³ (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 |
| Totales | - | 565 m³ (616 t) | 730 m³ (784 t) | 10 |

Fuente: Elaboración propia

Estos volúmenes se han calculado recurriendo de nuevo a las tablas de formulaciones y viendo los consumos de materias primas máximos por lotes y medios. Además, se han considerado también el número de lotes por turno de cada tipo de reactor y se ha establecido una tasa de reposición en época de demanda máxima semanal para las materias primas. A tenor de todo lo anterior se ha elaborado la siguiente tabla:



Tabla 1.36. Cálculos para la capacidad de los trojes de almacenamiento.

| NAVE DE ALMACENAMIENTO | | | | |
|-------------------------------|----------------------|--|---|--|
| Tipo de nutrientes | Materia prima | kg usados al día (8 horas) fórmulas más demandantes | Toneladas demandadas a la semana | M³ demandados a la semana ponderados |
| N | Urea | 42.933,3 | 214,7 | 265,3 |
| K, Cl | KCl | 29.866,7 | 149,3 | 124,4 |
| N | Nitrato Amónico | 52.714,7 | 263,6 | 219,6 |
| N, K | Nitrato potásico | 38.957,3 | 194,8 | 177,1 |
| S, K | Sulfato potásico | 350840,0 | 179,2 | 179,2 |
| N, Ca | Nitrato cálcico | 9.333,3 | 46,7 | 44,9 |
| S, N | Sulfato de Amonio | 85.344,0 | 426,7 | 77,6 |
| S, Mg | Sulfato de Magnesio | 9.333,3 | 46,7 | 29,2 |
| | SUMA | 103.413,3 | 517,1 | 470,1 |

Fuente: Elaboración propia

En estos cálculos se han tenido en consideración un factor de ponderación a la hora de pasar de las toneladas semanales demandadas máximas a los metros cúbicos estimados semanales. Dichos factores son simplemente dividir el volumen máximo estimado para cada materia prima por el número de materias primas que pueden proveer dicho nutriente. Con ello se ha querido recoger que, la cantidad necesaria a almacenar está más que cubierta con la capacidad otorgada a los trojes.

Pese a todo, la capacidad máxima de almacenamiento se ha sobredimensionado por tres razones fundamentalmente:

-) En primer lugar, para prever que durante una semana se esté haciendo uso a destajo de una misma formulación que demande necesariamente el uso de cierta materia prima por el motivo que fuere. Poder hacerse cargo de esta situación.
-) En segundo lugar, anticipar posibles ampliaciones futuras del complejo.
-) En tercer lugar, considerar que el abastecimiento de materias primas se interrumpe de los plazos preestablecidos y se necesita poder continuar con el funcionamiento de la fábrica. 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 ciertos retrasos en las entregas de dichas materias por parte de los proveedores sin que tenga porque ser necesariamente un punto de paro de producción.



1.10.2 Almacenamiento de materias primas líquidas

Los tanques son un componente fundamental en el proceso logístico que comprende desde la producción y/o importación hasta el despacho al productor agrícola, sirviendo para el almacenamiento de las soluciones fertilizantes en las diferentes etapas del proceso de abastecimiento.

Se utilizan muchas clases de materiales para la construcción de estos tanques multiusos. Los materiales utilizados más frecuentemente para los tanques son acero al carbono, acero inoxidable, aluminio, fibra de vidrio y plásticos o poliolefinas, (polietileno, PVC, etc.), estos últimos reforzados por fibra de vidrio o fibras de poliéster. Cada tipo de material tiene sus ventajas y desventajas, y su elección dependerá del balance entre las mismas, además de la disponibilidad local, ya que el transporte de estas unidades es costoso. Vale la pena comentar que las relaciones de costos de cada material son amplias: un tanque de acero inoxidable cuesta el triple que uno de plástico con fibra de vidrio, mientras uno de acero al carbono recubierto cuesta un 50% más.

Cuánto más grande es el tanque menor es su costo por unidad de volumen. Los tanques deben tener un agujero de hombre para acceso por mantenimiento y limpieza, dos válvulas de descarga, una de ellas operativa y la otra instalada más abajo para extraer precipitados, residuos y suciedad que se deposita en el fondo del tanque.

Un elemento importante de los tanques de almacenamiento es un dispositivo que debe instalarse en el techo del tanque para descargar el aire en el proceso de llenado y evitar la formación de vacío durante el vaciado. Numerosos tanques han colapsado por falta o fallo de este dispositivo. El mismo puede ser una simple tubería con la descarga apuntando al suelo o preferentemente una válvula de alivio de presión vacío. Es conveniente inspeccionar periódicamente dichas válvulas porque las avispas y las abejas e inclusive aves las utilizan para anidar obstruyendo el pasaje de aire y provocando el colapso del tanque.

Un factor importante a tener en cuenta es que las soluciones fertilizantes tienen una densidad que puede alcanzar 1,32 kg/L (e.g. UAN 32) o superior, determinando que la columna de líquido sea mucho más pesada que el agua, lo que genera mayores esfuerzos sobre la pared de los tanques, provocando fallos, en algunos casos catastróficos, en tanques de polietileno mal soportados o diseñados originalmente para agua. El manejo de tanques de acero al carbono recuperado diseñado para combustibles líquidos debe ser muy cuidadoso. En estos tanques la presión sobre la pared cercana al fondo del tanque soportaría una presión estática 60% a 70% superior que cuando se almacena gasoil o nafta. Por lo tanto, un tanque para hidrocarburos destinado a fertilizantes líquidos solo podría llenarse al 55 a 60% de su nivel.

❖ Tanques metálicos

Los tanques de acero al carbono que se utilizan presentan un tamaño de 9 m³ a 140 m³, pueden ser tanques horizontales o verticales de techo cónico y fondo plano. Los verticales, son los más populares, éstos suelen ser más económicos, pero están más



expuestos a daños por efecto del viento cuando se encuentran vacíos. Para evitar esto, es necesario prever un anclaje adecuado a la base de hormigón armado en la que se asienta el tanque.

Los accesorios de los tanques de acero al carbono deben tener conexiones y accesorios de roscadas de acero inoxidable o de plástico para prevenir la corrosión. Mantener los tanques de acero al carbono llenos a su máxima capacidad o con una capa de aceite flotante en la parte superior del líquido puede prolongar su vida útil. Si estos depósitos se utilizaran para almacenar fertilizantes ácidos, se requiere un revestimiento de goma.

Los tanques de aluminio son satisfactorios para el almacenamiento de soluciones nitrogenadas. Sin embargo, fertilizantes que contengan fosfatos almacenados en tanques de aluminio acortarán la vida útil del tanque. No es necesaria una capa protectora si se almacenan soluciones nitrogenadas.

❖ **Tanque no metálicos**

Los tanques de plástico reforzados con fibra de vidrio (PRFV) y los de polietileno de alta densidad (PEAD) bi-capa fabricados por moldeo rotacional se utilizan cada vez más para el almacenamiento de fertilizantes líquidos, aplicando nuevos y mejores materiales, como así también el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación, tanto para los tanques de polietileno como los de PRFV. El uso de resinas más resistentes y técnicas de aplicación de la fibra de vidrio han permitido mejorar tanto la resistencia mecánica como la resistencia a la corrosión, prolongando considerablemente la vida útil.

Los PRFV suelen llegar a una capacidad de 130 m³. El PRFV es un polímero formado por una matriz plástica reforzado por fibra de vidrio. La fibra es un material de bajo peso y robusto. Su resistencia mecánica es menor a la de la fibra de carbono e inclusive menos rígido, es mucho menos quebradizo y mucho más económica. Sus propiedades, medidas por unidad de volumen se comparan favorablemente con las de los metales, y resulta muy fácil darle la forma apropiada de acuerdo al molde elegido. La matriz plástica puede ser epoxi, o un plástico termoestable como el poliéster.

El laminado dual o bi-capa es un proceso por el cual la capa interior se puede hacer con un material de diferentes propiedades, para resistir mejor el ataque del líquido contenido. Esta capa es rica en polímero y utiliza un tipo de fibra de vidrio diferente. Su espesor llega a 2,3 mm, y no contribuye a la resistencia mecánica del tanque.

Para la construcción de tanques se utilizan resinas termoestables (no se deforman con el calor). Las resinas más usadas son basadas en epoxi, poliéster, ésteres vinílicos y furanos. La fibra de vidrio puede agregarse a varios tipos de plástico, se ha visto que para fertilizantes líquidos se utiliza como refuerzo del poliéster y del polipropileno.

La resistencia mecánica de estos materiales es directamente proporcional a la carga de fibra de vidrio y a la longitud de dichas fibras. En tanto la resistencia a la corrosión y al ambiente, depende del tipo y la concentración de la resina.



Los tanques de fibra de vidrio pueden almacenar ácido fosfórico, mezclas líquidas y otros materiales corrosivos sin problemas. Si se almacenan ácidos, debe consultarse al fabricante sobre las resinas utilizadas con la fibra de vidrio.

Para tamaños menores se utilizan los tanques de Polietileno de Alta Densidad (PEAD), roto moldeados con capacidades de 25 a 26 m³. En el caso de los tanques de polietileno, el desarrollo de resinas y paquetes de aditivos, como la técnica de moldeo rotacional bi-capa, la determinan que los tanques de polietileno constituyan la primera opción económica para tanques de tamaño mediano, hasta 30.000 L.

Tienen una relación altura/diámetro baja y un suncho reforzador. El medidor de nivel tiene lectura correcta, esto significa que cuando el tanque está lleno el indicador está al tope evitando errores operativos por confusión. Los accesorios son de acero inoxidable.

Estos tanques son de bajo costo, aunque tienen una vida útil limitada a 7 u 8 años. La ubicación de estos tanques es muy versátil, pudiéndose colocar en las plantas de distribución, o en sectores estratégicos de los establecimientos agropecuarios, solo se necesita un terreno liso, con leve pendiente hacia la descarga y accesos apropiados. Tienen además facilidades para moverlos de acuerdo a las necesidades del productor agropecuario.

Para prevenir roturas de los tanques es muy importante un buen anclaje para evitar daños por acción de vientos fuertes, cuando los tanques están vacíos, para ello se utilizan las agarraderas de elevación.

Para el caso de la materia prima líquida en la planta, 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 1.37. Capacidad de los depósitos de almacenamiento de materias primas.

| CLÚSTER DE DEPÓSITOS | | |
|----------------------|--------------------------|---------------------|
| Nutrientes | Capacidad nominal | Número de depósitos |
| Ácido fosfórico | 100 m ³ | 1 |
| UAN-32 | 100 m ³ | 1 |
| NPK 10-34-0 | 100 m ³ | 1 |
| Totales | 300 m³ | 3 |

Fuente: Elaboración propia

Para calcular los volúmenes necesarios de almacenamiento, se han realizado una serie de cálculos:



Tabla 1.38. Cálculos para la capacidad de los trojes de almacenamiento.

| CLÚSTER DE DEPÓSITOS | | | | |
|----------------------|-----------------|---|----------------------------------|---------------------------------------|
| Tipo de nutrientes | Materia prima | kg usados al día (8 horas) fórmulas más demandantes | Toneladas demandadas a la semana | M ³ demandados a la semana |
| P | Ácido Fosfórico | 22.138,7 | 110,7 | 55,3 |
| N, P | 10-34-0 | 35.149,3 | 175,7 | 87,9 |
| N | UAN32 | 56.000,0 | 280,0 | 46,7 |

Fuente: Elaboración propia

En estos cálculos se no han tenido en consideración un factor de ponderación a la hora de pasar de las toneladas semanales demandadas máximas a los metros cúbicos estimados semanales. Esto es así por la importancia de dichas materias en el proceso y la necesidad de tener un almacenamiento suficiente de las mismas.

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, por lo que no habría que preocuparse en exceso si sobran componentes entre campañas. Una simple recirculación o removido del interior de los tanques por si se han formado partículas sólidas puede ser suficiente.

Se ha considerado una tasa de reposición en época de demanda máxima semanal para las materias primas. Puede observarse como con 100 m³ de capacidad de los depósitos la demanda semanal queda más que cubierta. Además, 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.

El material del que serán fabricados estos depósitos será 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.

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 m³ 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 m³ 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. Los mismos también será, construidos en PRFV.



1.10.3 Almacenamiento de fertilizantes líquidos

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 1.39. Capacidad de los depósitos de almacenamiento de productos terminados.

| CLÚSTER DE DEPÓSITOS | | |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Contenido | Capacidad nominal | Número de depósitos |
| NPKs | 12 m ³ | 2 |
| NPKs | 25 m ³ | 2 |
| NPKs | 50 m ³ | 10* |
| Totales | 574** m³ | 14 |

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 los bidones paletizados o IBC de 1.000 l, nada desdeñable teniendo en cuenta que en la planta se tiene bastante sitio para ello llegado un momento de necesidad.

En el complejo se harán uso de los conocidos como tanques canasta, bidones paletizados o IBC 's (del inglés: Intermediate Bulk Container) también llamados GRG's (Gran recipiente para mercancías a granel) son un embalaje transportable rígido o flexible de capacidad intermedia, entre 0,5 y 3 m³ con muchas ventajas.

Son generalmente de forma cúbicas y por lo tanto, puede transportar más material en un mismo espacio que los envases de formas cilíndricas y mucho más de lo que podría ser enviado en el mismo espacio si se empaquetan en bidones. Los IBC's están concebidos para una manipulación mecánica, pueden tener bases como plataforma para que el montacargas auto elevador pueda moverlos por cualquiera de sus cuatro caras.

Los IBC's varían en tamaño, pero generalmente son entre 0,7 y 2,0 m y entre 1,17 a 1,32 m de altura. Los más comunes son de 1 m³. La longitud y anchura de un IBC depende generalmente de la norma de dimensión de la plataforma de cada país.

En general se fabrican en polietileno de alta resistencia protegido con aditivos y estabilizadores a la radiación ultravioleta, realizados en una sola pieza, sin uniones ni costuras, evitando el riesgo de roturas y pérdidas. Son químicamente estables e inalterables.



Su construcción está diseñada de tal manera que puedan resistir los esfuerzos que se producen durante la manipulación y el transporte. La estructura metálica es en acero o hierro cincado o galvanizado con tratamiento anticorrosivo que permite estibarlos o apilarlos verticalmente en hasta tres niveles.

Los IBC pueden ser llenados y descargados con una variedad de sistemas. Normalmente tienen una boca de carga con tapas a rosca de 5 a 25 cm, precintable con juntas que asegura la estanqueidad de la misma. Poseen una válvula de descarga en PVC o metálica, normalmente de 2 a 3" tipo mariposa, o roscable con tapón precintable. Pueden tener una escala graduada de 100 en 100 L que permite una visualización del contenido.

Los mismos además pueden ser una buena forma de ampliar el almacenamiento temporal en caso de que fuera necesario por cualquier tipo de razón.

Figura 1.13. Tanque canasta o IBC.



Fuente: Desconocida

Estas capacidades de los tanques no han sido seleccionadas al azar. La capacidad de los depósitos ha sido dada tras observar en el mercado la capacidad usual para camiones cisterna y camiones articulados con cisterna. Estos suelen encontrarse en 12 m³, 25 m³ e incluso 30 m³ 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* m³.

Dicho almacén podría ser vaciado por completo por 29 camiones de unos 20 m³ en unas 5 horas, pues se disponen de 3 cargaderos de salida, más uno más de entrada. Como media, de 256 a 320 m³ 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.



CAPÍTULO 2: OBRA CIVIL

2.0 Introducción del capítulo

En el presente capítulo se van a desarrollar todos los detalles referentes a la obra civil de la planta. Se detallarán y justificarán las soluciones arquitectónicas y constructivas obtenidas para cada zona del complejo. En lo referente al diseño estructural de los diferentes edificios, en este documento se recoge la solución al proceso de cálculo, estando todas las justificaciones y comprobaciones obtenidas contenidas en el anexo de cálculo.

2.1 Distribución general del complejo

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 m², 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.

2.2 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 m².

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 nos dará un volumen de tierras a mover de en torno a los 900 m³.

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.

2.3 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.



Concretamente, las plazas de aparcamiento de camiones tendrán 3,65 m de ancho como mínimo y 15 m de largo, para poder estacionar en los mismos camiones formados por cabina tractora más remolque. Además, el espacio libre por delante de cada plaza debe ser de otros 15 metros, para así facilitar las maniobras de los camiones. Las plazas de aparcamiento para coches serán de 5 metros de largo por 2,5 m de ancho.

Se ha tenido especial cuidado de dejar un espacio suficiente entre el clúster de depósitos y la nave de procesos, ya que en dicha área podrán circular camiones que vayan a recoger o entregar materias primas o productos en estado líquido, así como la pala cargadora frontal. Es por ello que se ha estimado una distancia adecuada, 18 metros, para mantener un camión en un cargadero, mientras pasa por al lado otro que ya haya cargado y aun así pueda operar perfectamente la pala cargadora sin ningún tipo de problemas ni interacción con los anteriores.

También se ha dotado una separación importante, en torno a 20 metros, entre la nave de almacenamiento y la de procesos. Esto es así ya que en dicho patio deben poder maniobrar los camiones que transportan las materias primas sólidas a granel para así descargar las mismas en dicha nave de almacén.

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.

2.4 Descripción del procedimiento general de cálculo para las estructuras

Para realizar el cálculo de las estructuras se ha hecho uso del programa informático Cype 2017, en concreto de los módulos de estructuras metálicas, generador de pórticos y muros de contención.

En el caso del cálculo de las estructuras metálicas, para cada nave, se siguieron una serie de pasos hasta obtener el diseño final de la misma. El primero de dichos pasos fue generar el pórtico estándar de la misma, introduciendo los datos generales de la obra y todas aquellas dimensiones y características importantes de los mismos.

Una vez que se tiene el pórtico pre-dimensionado, se exporta al programa de 3D. En este se introducen los datos generales de la obra en el cuadro semejante a tal y como se muestra a continuación:

Figura 1.14. Datos generales de la obra

The screenshot shows a software window titled 'Datos generales' (General Data) with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Normas:** Código Técnico de la Edificación - EHE-98
- Perfiles:** A series of dropdown menus for 'Acero laminado' (S275), 'Acero conformado' (S235), 'Madera' (Aserrada, procedente de cortiteras o...), 'Aluminio' (EN AW-5083 - F), and 'Hormigón' (HA-25, Control Estadístico).
- Hormigón armado:** A section for 'Hormigón para elementos de cimentación' (HA-25, Control Estadístico), 'Acero de barras' (B 400 S, Control Normal), and 'Características del anillo' (30 mm). It includes buttons for 'Recubrimientos' and 'Normas de acero'.
- Acciones:** A section with a checkbox 'Con sismo dinámico' and buttons for 'Resistencia al fuego', 'Estados límite (combinaciones)', 'Hipótesis adicionales', and 'Cimentación'.
- Opciones:** Buttons for 'Cimentación' and 'Uniones'.
- Terreno de cimentación:** A section with a checkbox 'Verificar deslizamiento de zapatas', 'Adherencia (s)' (0.000 kg/cm²), 'Ángulo de rozamiento (según zapata (s))' (25.00 grados), 'Situaciones persistentes' (2.00 kp/cm²), and 'Situaciones sísmicas y accidentales' (3.00 kp/cm²).
- Ambiente:** A section with a dropdown menu 'Incapitas' and a button 'Ila'.

At the bottom center, there is a button labeled 'Aceptar'.

Fuente: Cype

En el caso de este complejo, se han realizado los cálculos suponiendo la hipótesis inicial de intraslacionalidad de la estructura, ya que lo que se pretende con estos cálculos es tener un dato previo de la estructura, no su definición definitiva.

Se fueron introduciendo cada una de las distintas tipologías de cada uno de los edificios, barras y nudos hasta tener la estructura, comprobando las dimensiones de las mismas. Con ello se definió la geometría de la nave.

Una vez definida la geometría, se introdujeron las cargas pertinentes que debían ser modificadas o introducidas manualmente respecto a las generadas de forma automática por el programa. En concreto, se han considerado principalmente las siguientes cargas:

-) Peso propio.
-) Nieve.
-) Viento.
-) Sobrecargas de uso.

Las cargas que han ido generando más problemas fueron las de viento, por la tipología de las naves con grandes huecos y aberturas, así como los parapetos superiores, la interacción entre ellas, etc. Es por ello por lo que en muchos casos fueron borradas las generadas directamente por el programa e introducidas manualmente en las



zonas a las que afectaban realmente. Dicho cálculo manual se basó en lo estipulado en el Código Técnico de la Edificación.

Se analizaron y definieron para todas las barras de cada estructura las longitudes de pandeo, así como los datos pertinentes para las comprobaciones de pandeo lateral.

Se fijaron las flechas máximas de cada barra en función de su tipo, pilar o viga siguiendo las recomendaciones de la normativa.

Se comprobaron que todos los resultado obtenidos, tanto de dimensionado como de esfuerzos, estaban dentro de los límites aceptados.

En los anexos de cálculo pueden analizarse al detalle cada definición, hipótesis de carga y comprobación de todos los elementos estructurales que componen cada una de las naves del complejo.

2.5 Nave de procesos

2.5.1 Descripción de la estructura

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.

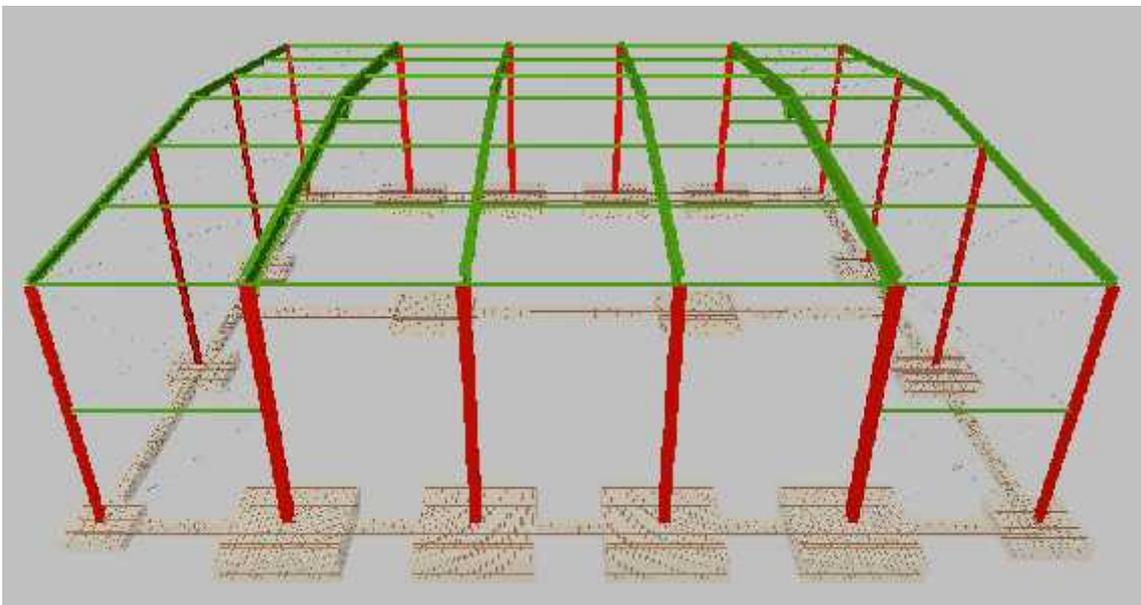
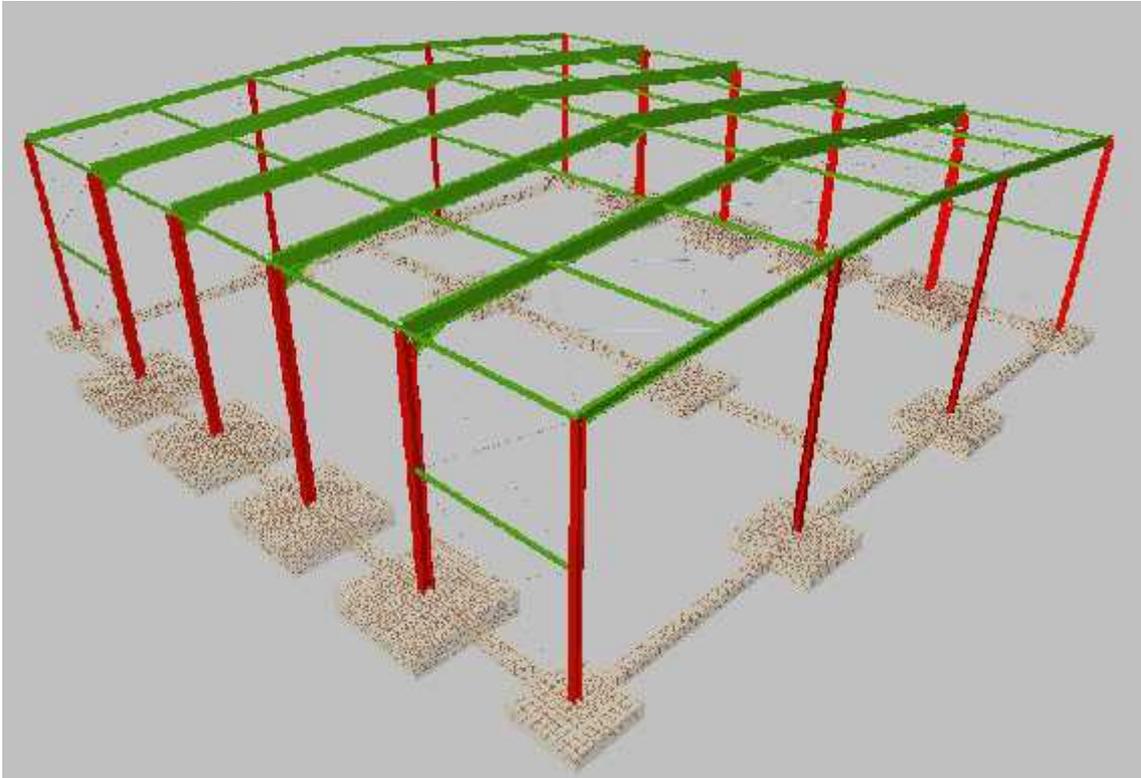
El pavimento de la nave se realizará de hormigón impreso con juntas, de 20 cm de espesor. Dicha nave tendrá en la zona de debajo de los 4 reactores un pequeño cubeto de retención, de 16 x 3 metros de planta y 0,2 m de alto, para una capacidad de 9,6 m³, superior al volumen de un tanque. Dicho cubeto será impermeable y tendrá su vaciado en una de las esquinas, hacia colector de vertidos.

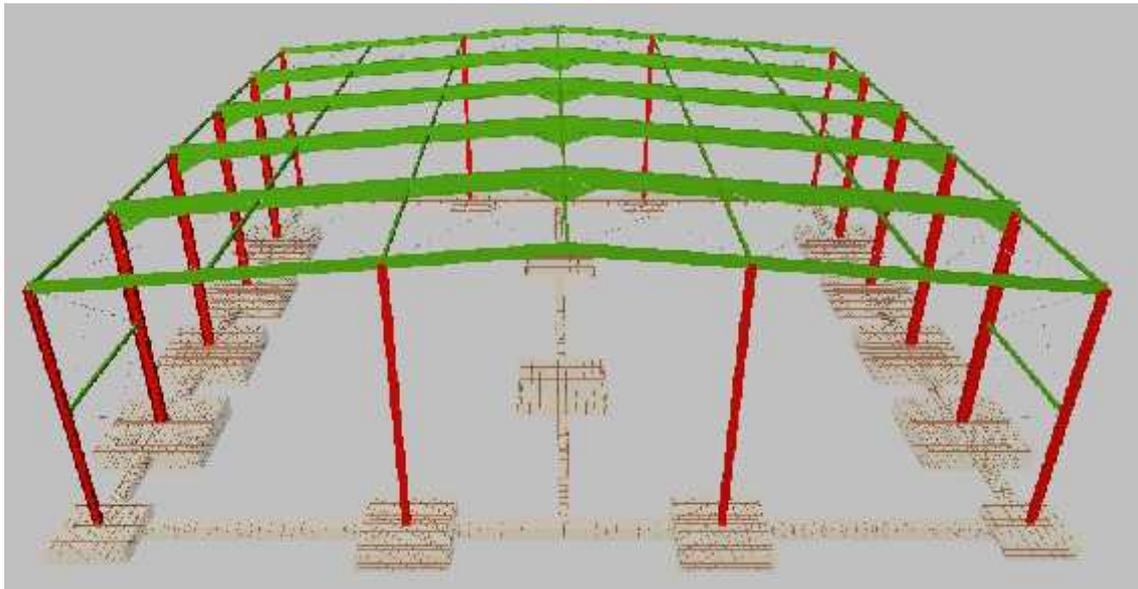
La cimentación de la nave es de tipo zapatas aisladas, atadas entre sí mediante vigas de atado. El dimensionado se ha realizado optimizando las cantidades de hormigón y armado de cada una de ellas, siendo este el motivo por el que hay de varias dimensiones, en los planos pueden observarse con detalle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

A continuación se muestran unas imágenes del diseño final adoptado:

Figuras 1.15, 1.16 y 1.17. Nave de procesos, vistas 3D.





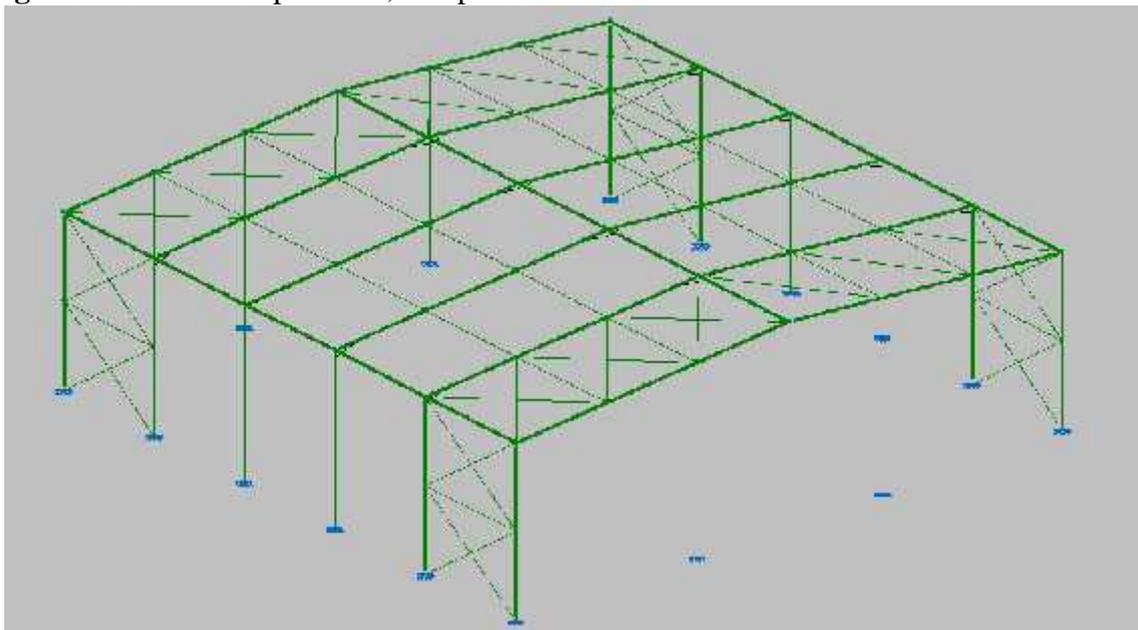
Fuente: Cype

Para la información detallada, ir al anexo de cálculos.

2.5.2 Compilación de resultados de la estructura

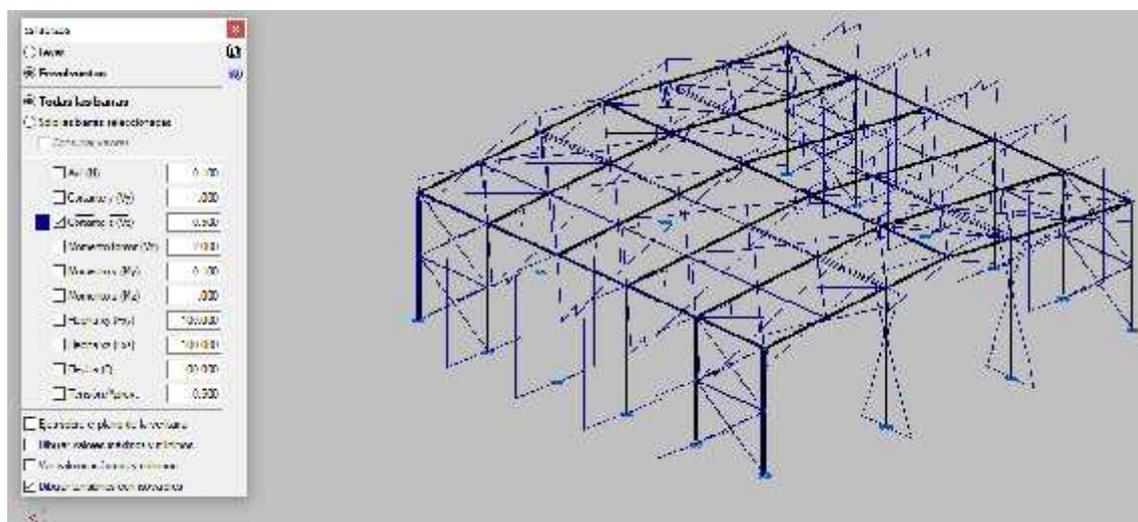
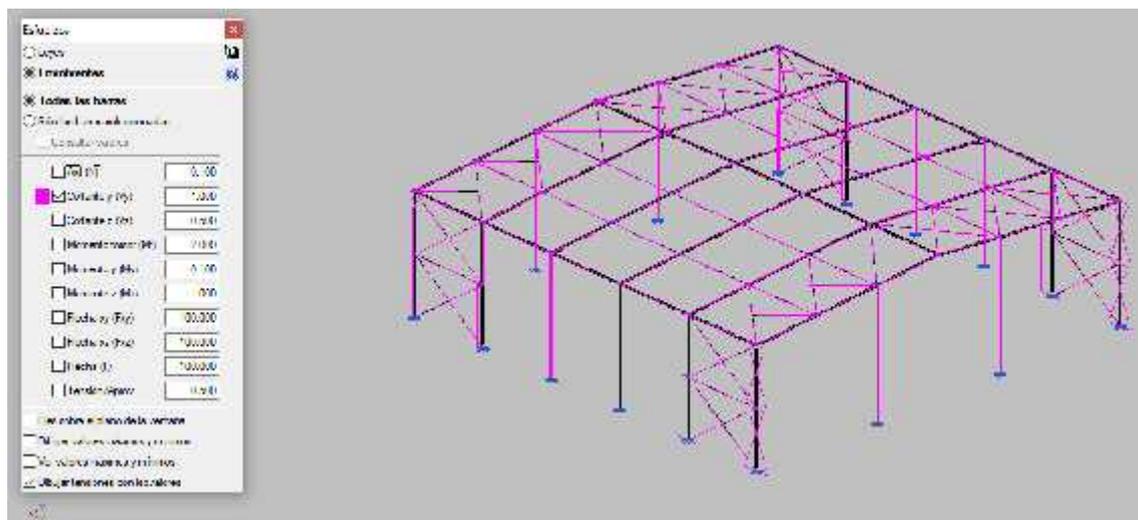
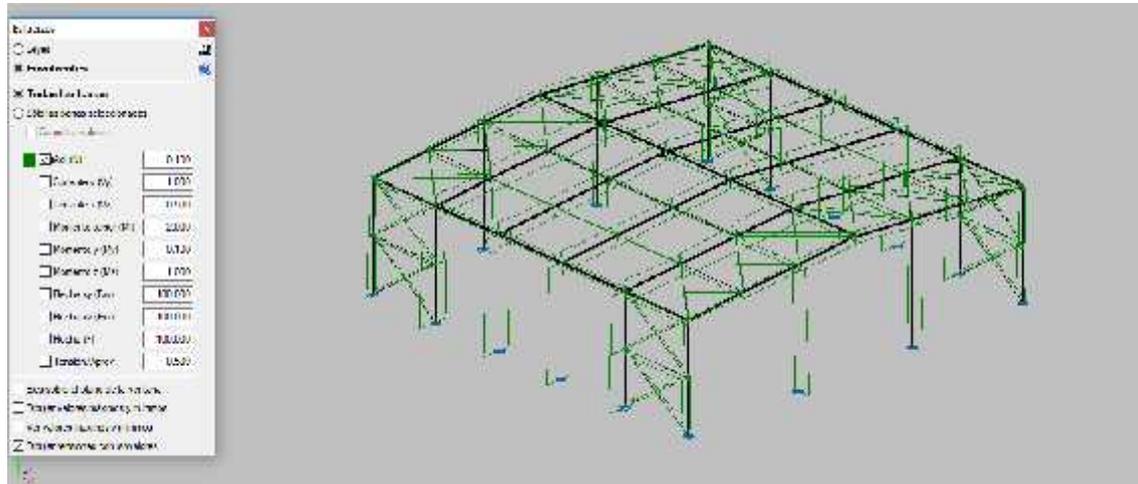
A continuación se recoge una serie de imágenes sacadas del propio programa Cype, a fin de tener una visualización de los resultados obtenidos, los cuales se dieron para los perfiles anteriormente recopilados, empezando por la comprobación de todo correcto:

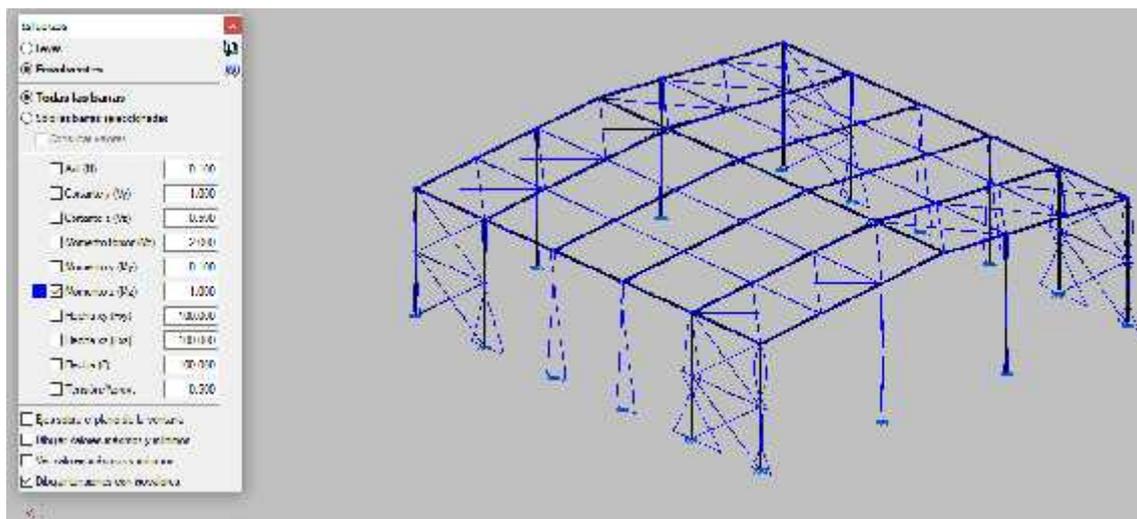
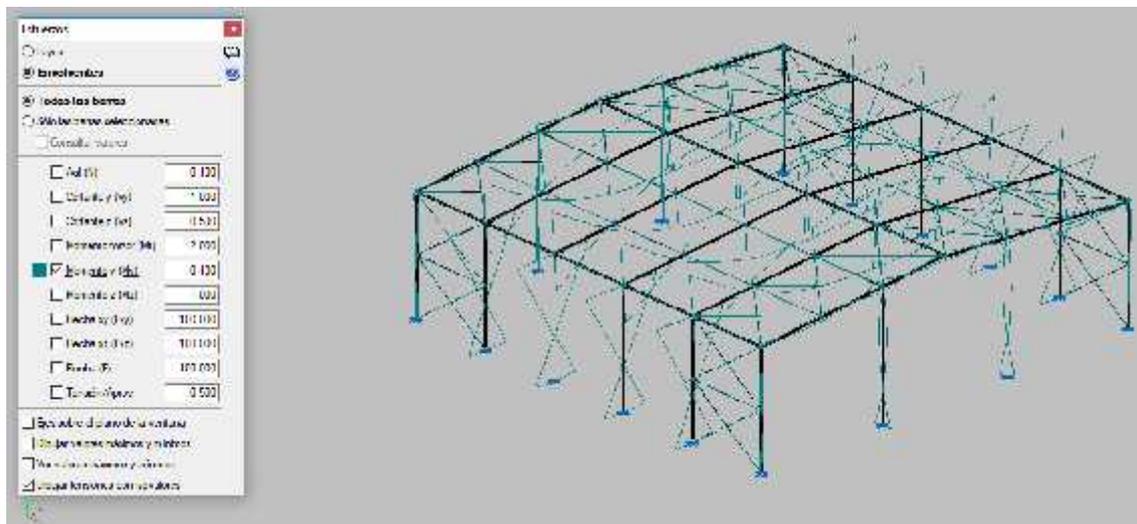
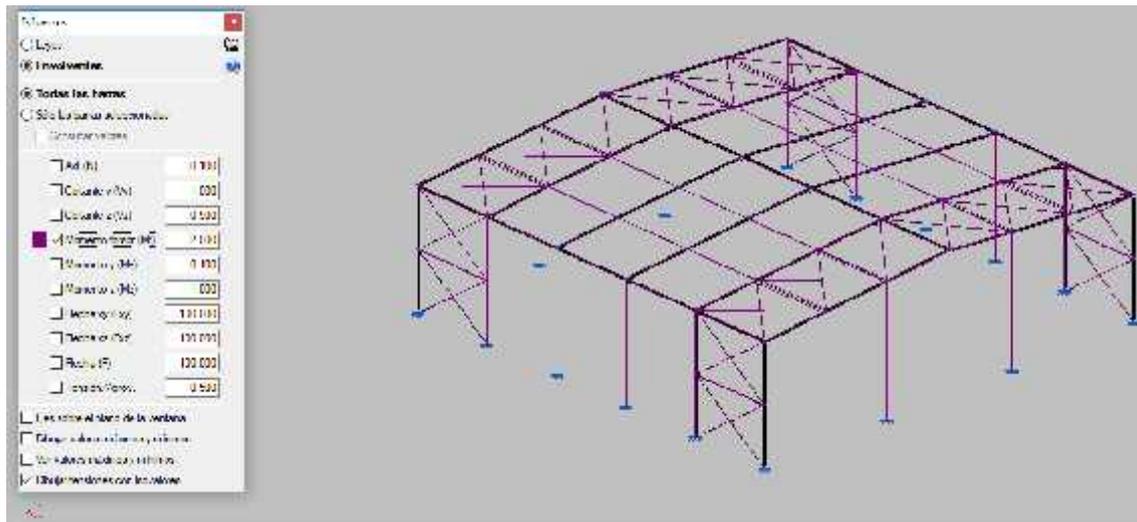
Figura 1.18. Nave de procesos, comprobación.



Fuente: Cype

Figuras 1.19, 1.20, 1.21, 1.22, 1.23 y 1.24. Nave de procesos, envolventes de los esfuerzos.

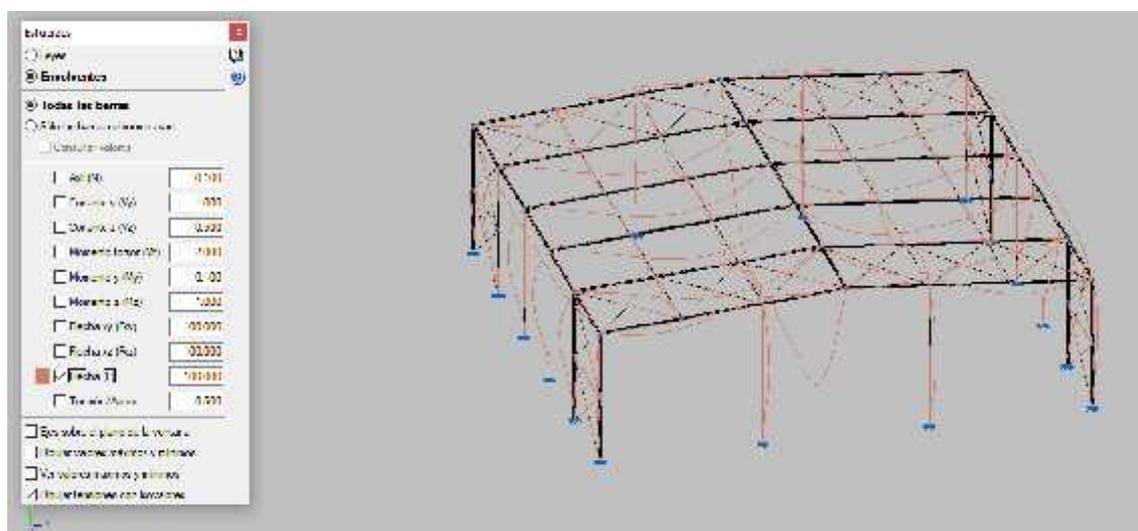
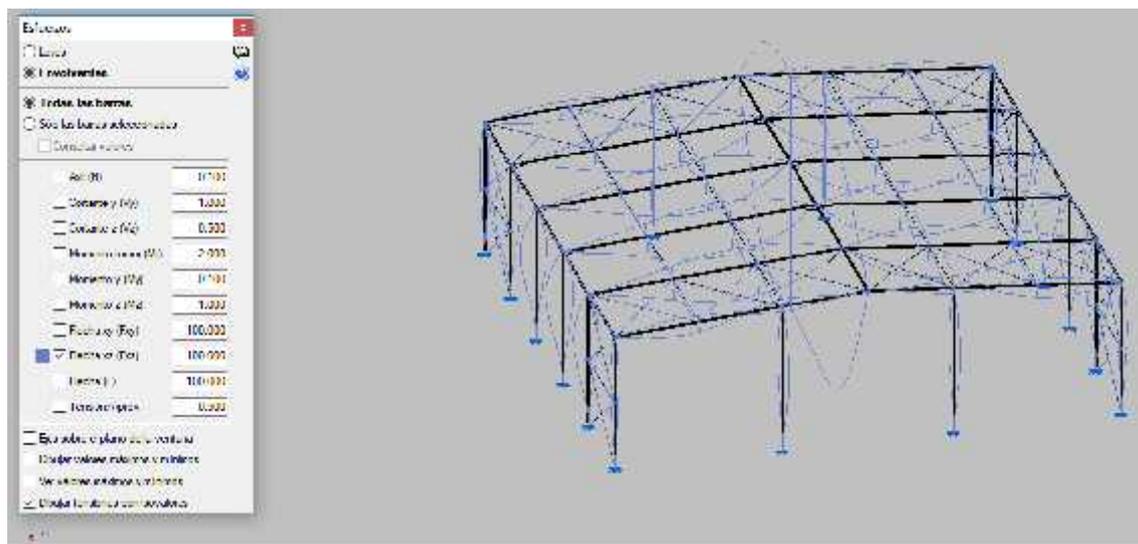
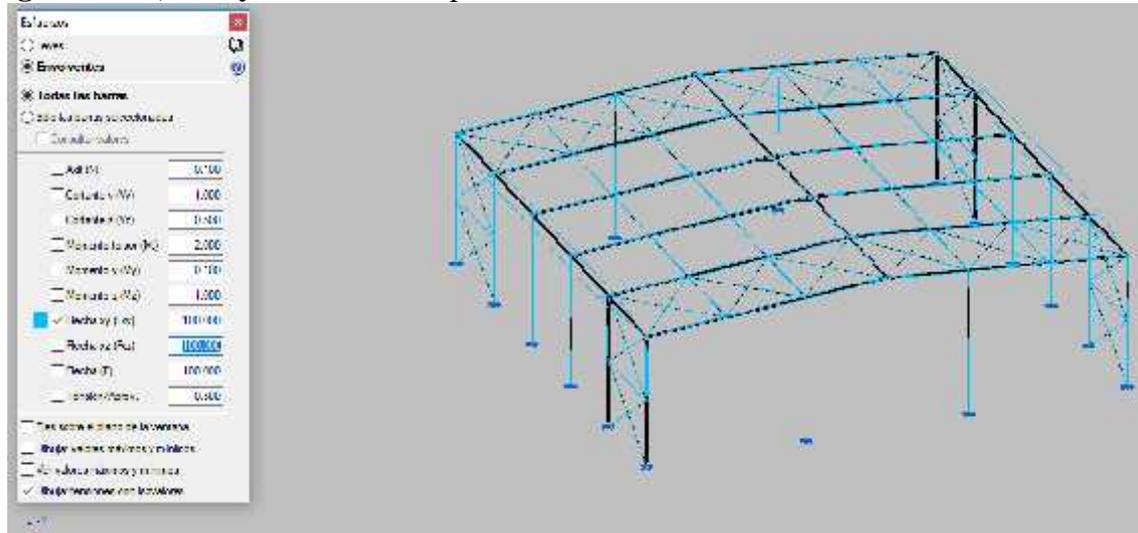




Fuente: Cype

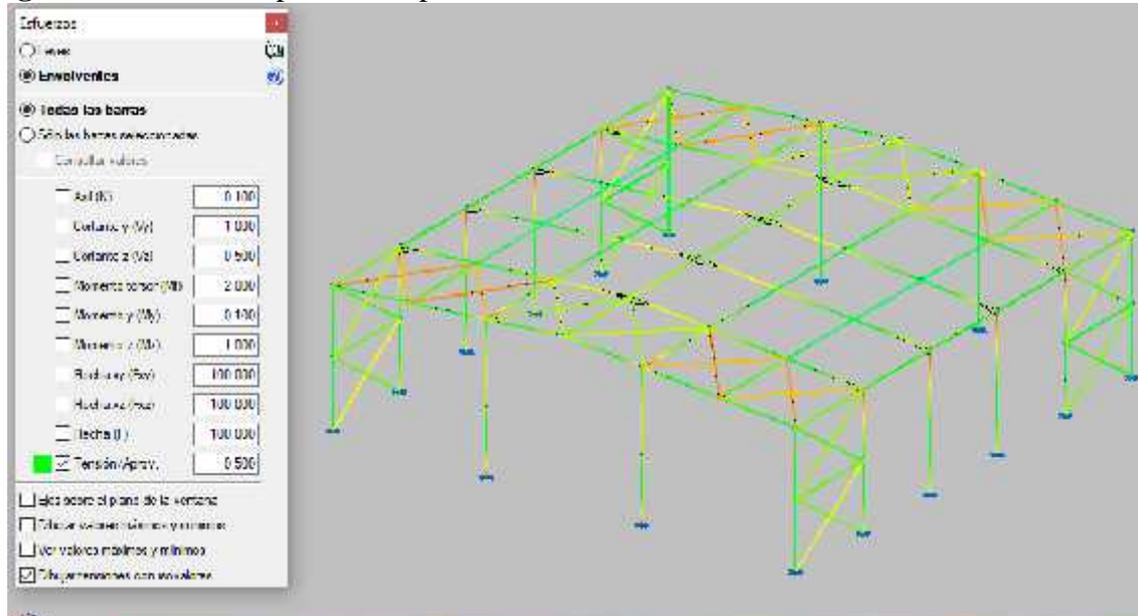
En las siguientes imágenes se muestran las flechas obtenidas:

Figuras 1.25, 1.26 y 1.27. Nave de procesos, flechas.



A continuación el aprovechamiento:

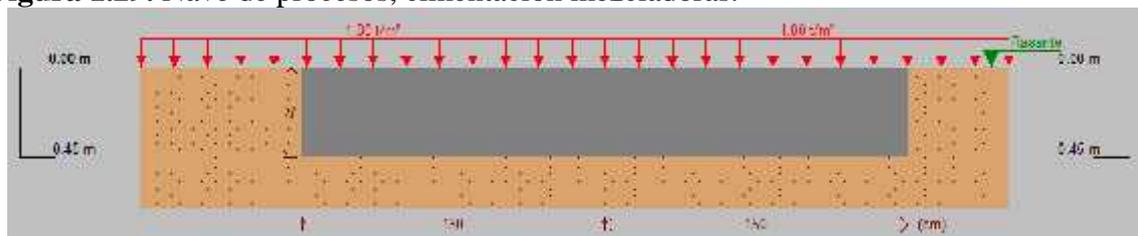
Figura 1.28. Nave de procesos, aprovechamiento.



Fuente: Cype

Por último, se adjunta la imagen del cálculo de la cimentación de los reactores: aprovechamiento:

Figura 1.29. Nave de procesos, cimentación mezcladoras.



Fuente: Cype



2.6 Nave de almacenamiento

2.6.1 Descripción de la estructura

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 enfrentado 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 perfilería 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

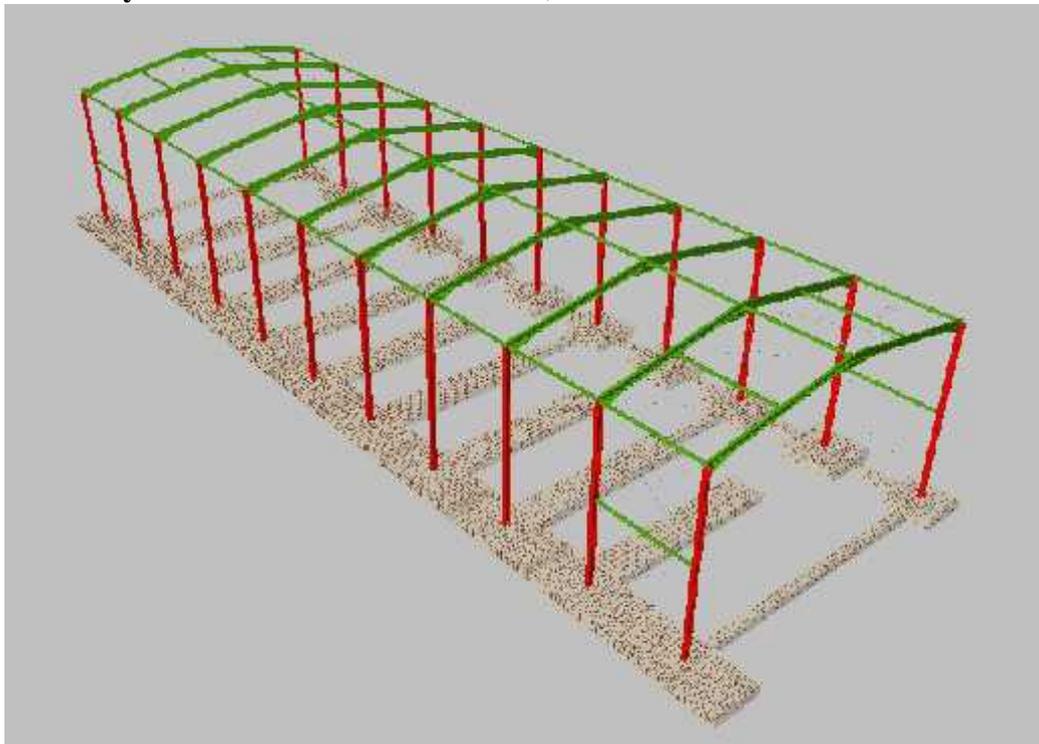
El pavimento de la nave se realizará de hormigón, teniendo que ser este adecuado para el paso de camiones durante la descarga de material, así como para el tránsito de la pala cargadora frontal.

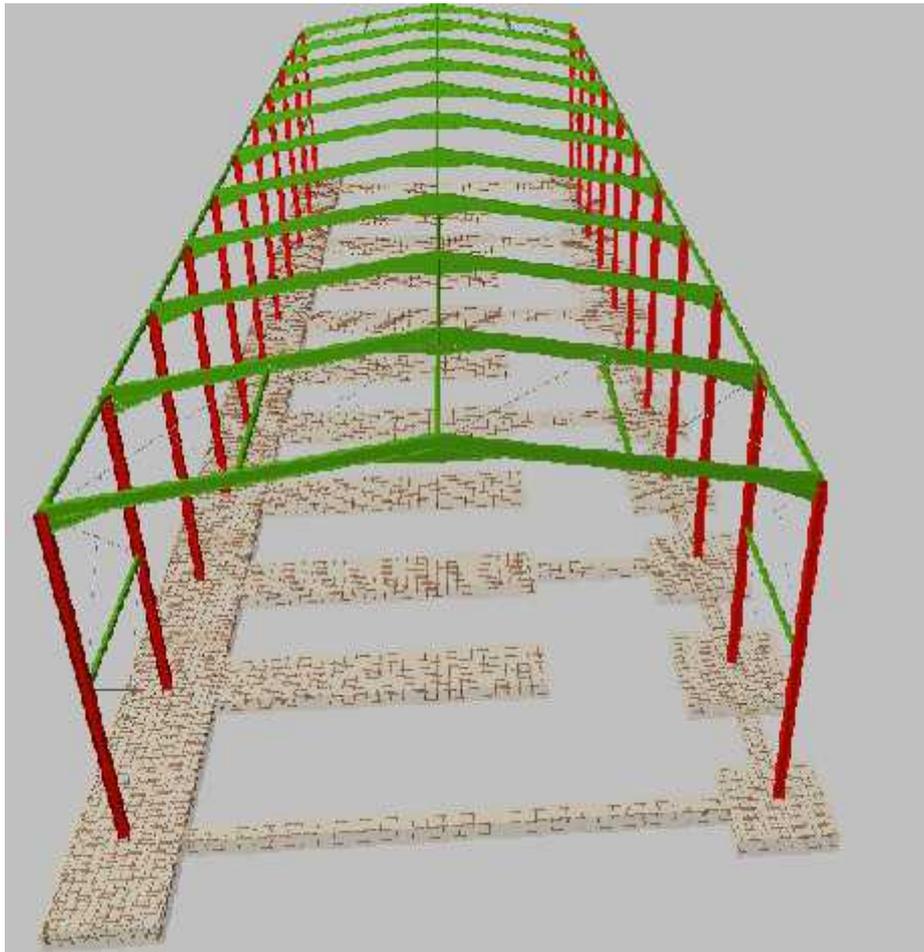
La cimentación de la nave es de dos tipos. Por un lado se encuentran las zapatas aisladas de los pilares frontales, es decir, los que se encuentran en el lado abierto de la nave, las cuales irán arriostradas mediante sendas vigas de atado. Por otro lado se encuentran la cimentación de trojes, muro de 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 al anexo de cálculo y planos.

A continuación se muestran unas imágenes del diseño final adoptado:

Figuras 1.30 y 1.31. Nave de almacenamiento, vistas 3D.



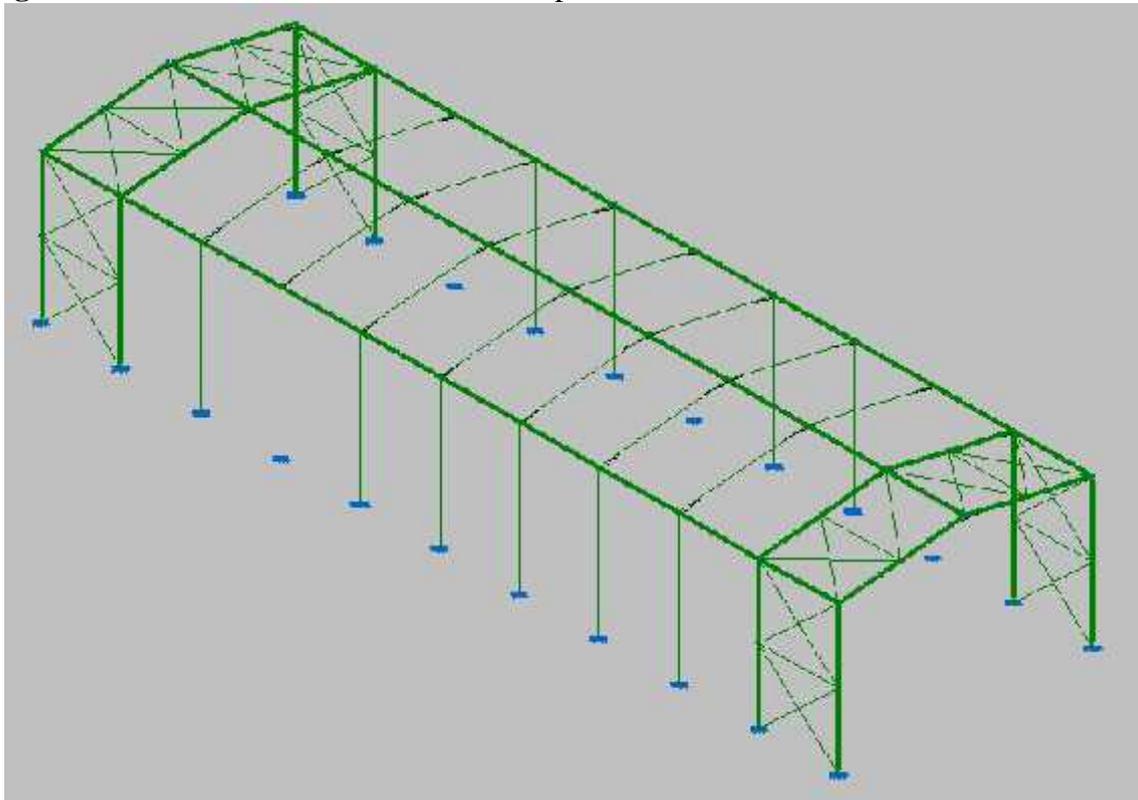


Fuente: Cype

2.6.2 Compilación de resultados de la estructura

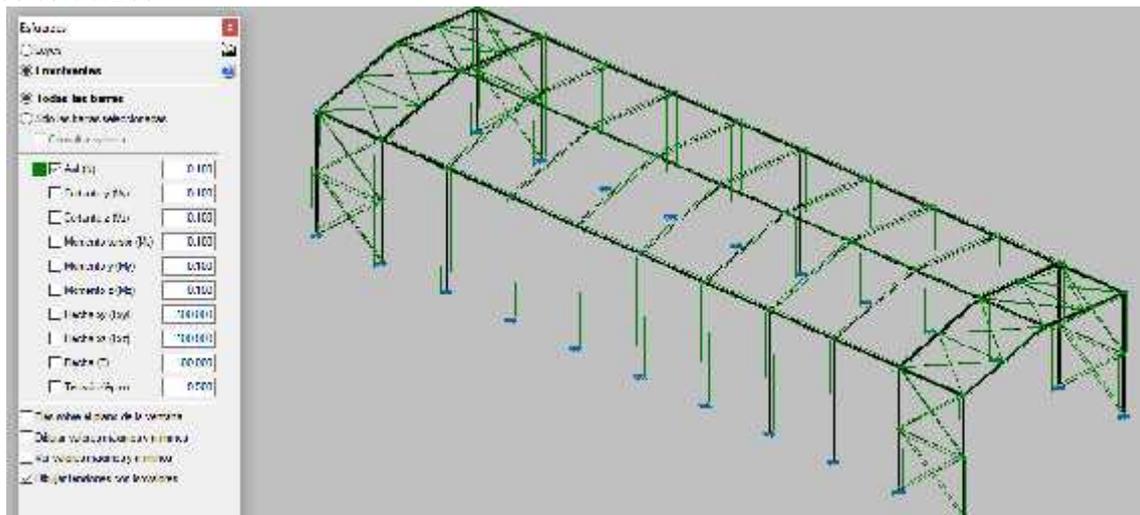
A continuación se recoge una serie de imágenes sacadas del propio programa Cype, a fin de tener una visualización de los resultados obtenidos, los cuales se dieron para los perfiles anteriormente recopilados, empezando por la comprobación de todo correcto:

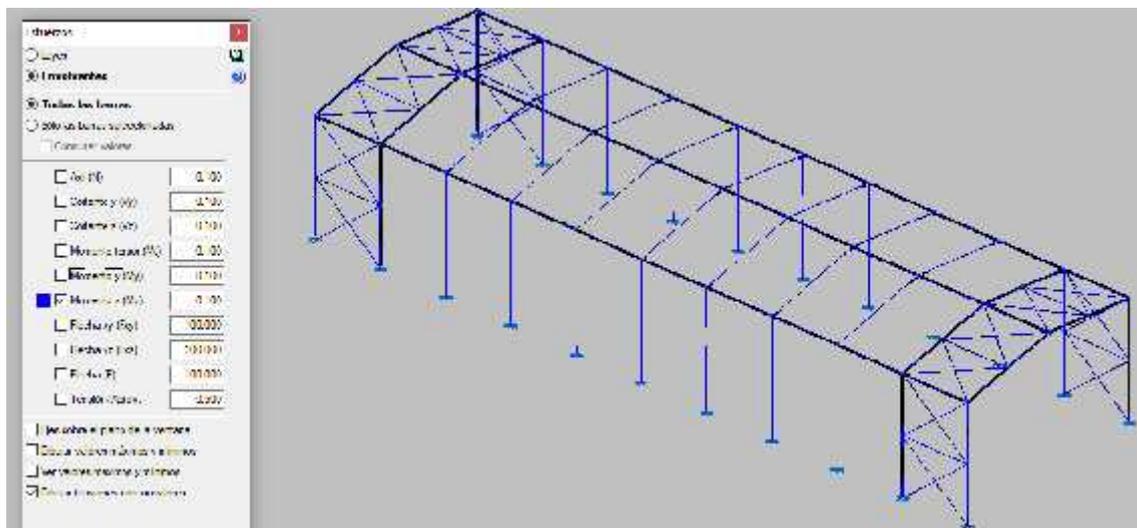
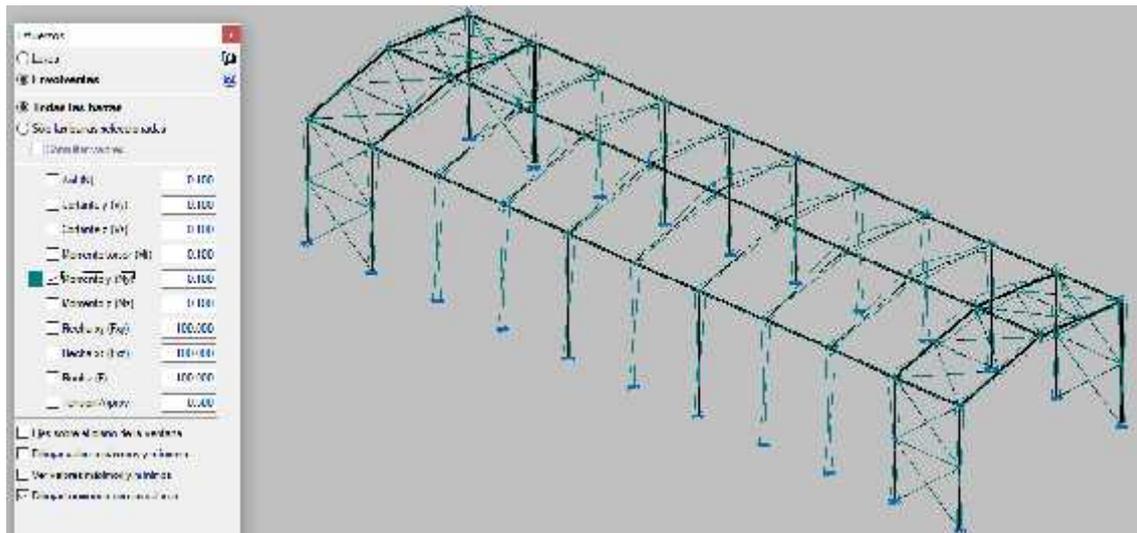
Figura 1.32. Nave de almacenamiento, comprobación.



Fuente: Cype

Figuras 1.33, 1.34, 1.35, 1.36, 1.37 y 1.38. Nave de almacenamiento, envolventes de los esfuerzos.

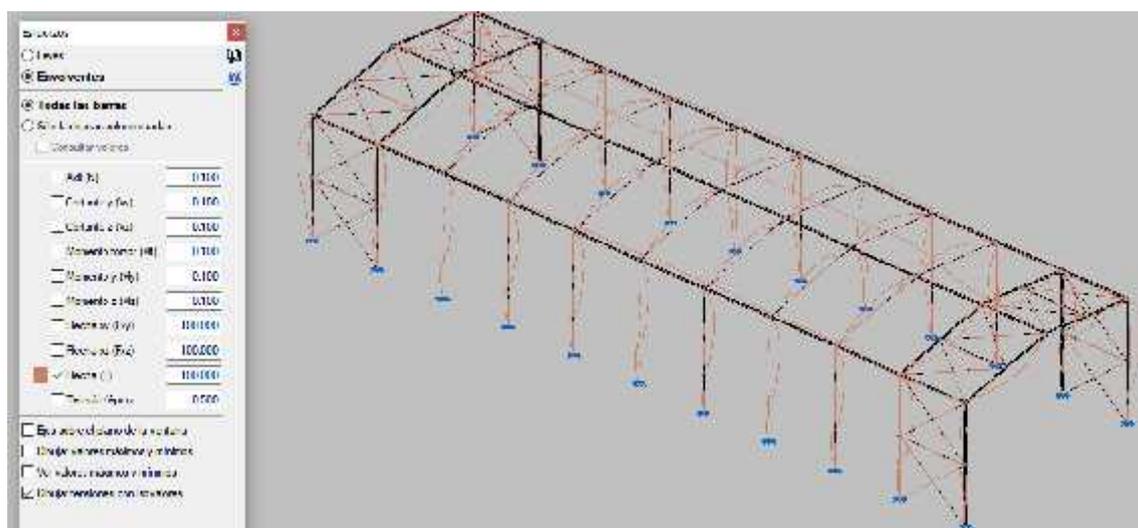
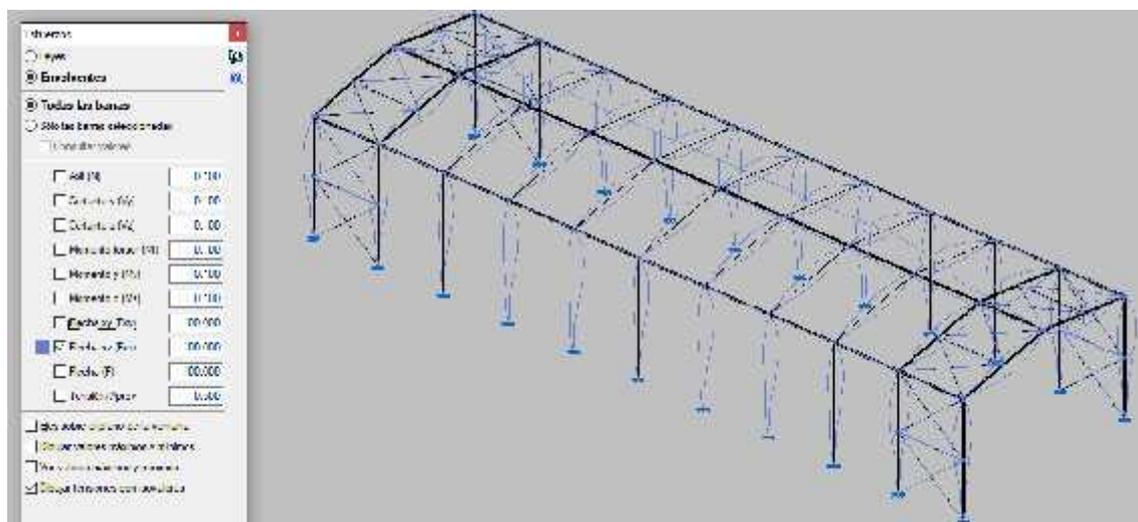
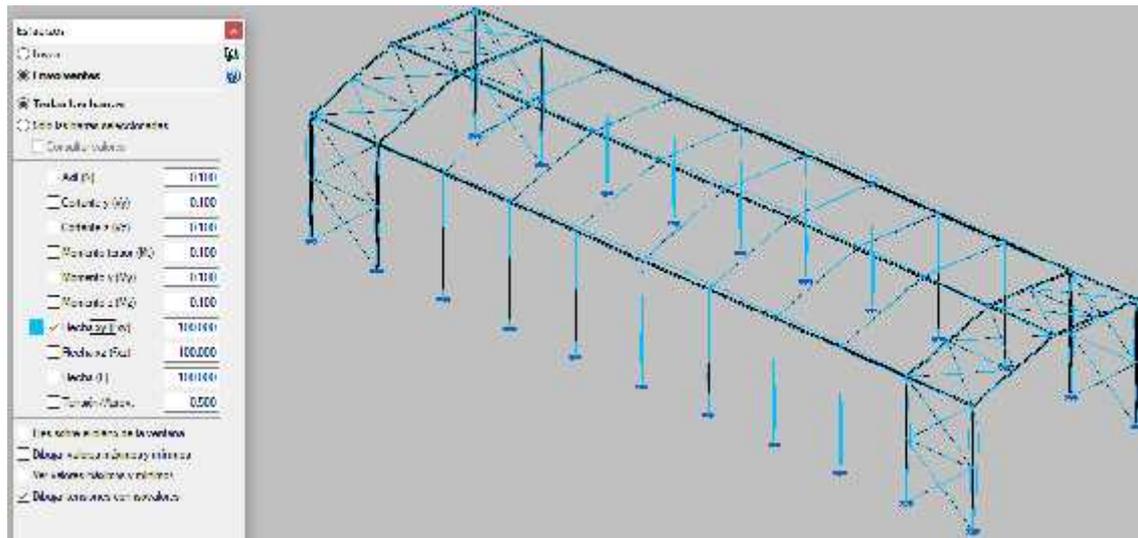




Fuente: Cype

En las siguientes imágenes se muestran las flechas obtenidas:

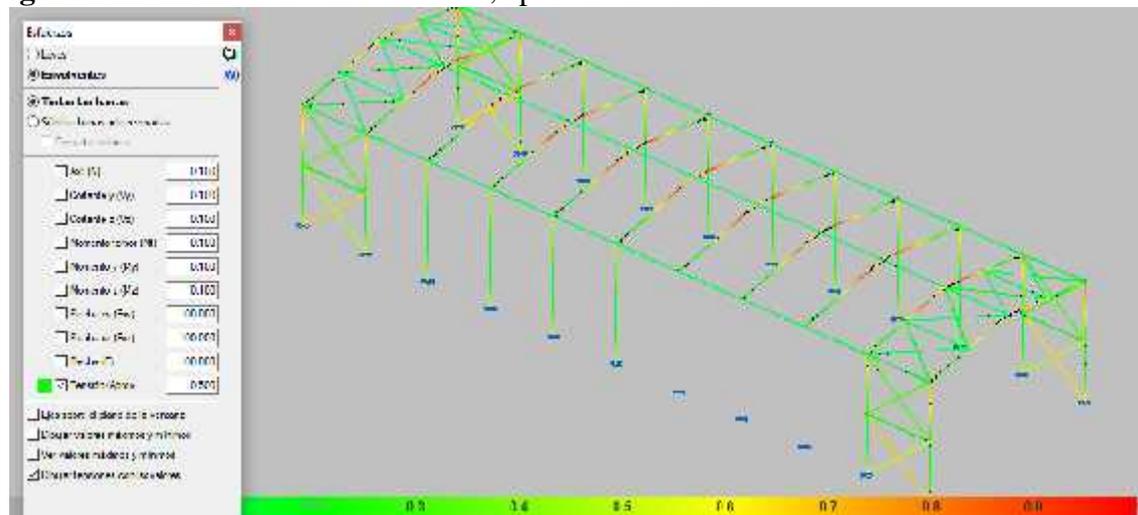
Figuras 1.39, 1.40 y 1.41. Nave de almacenamiento, flechas.



Fuente: Cype

A continuación el aprovechamiento:

Figura 1.42. Nave de almacenamiento, aprovechamiento.



Fuente: Cype

2.7 Nave de usos múltiples

2.7.1 Descripción de la estructura

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 perfilería 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.

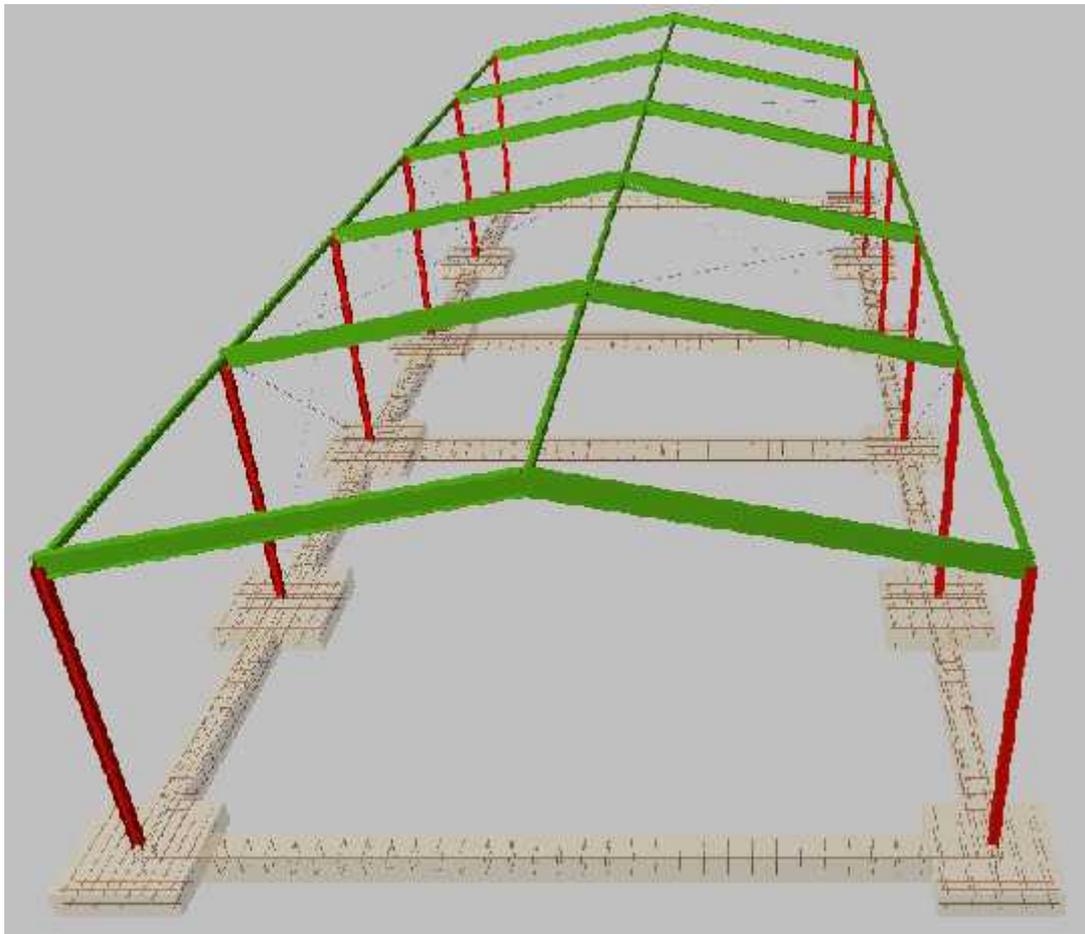
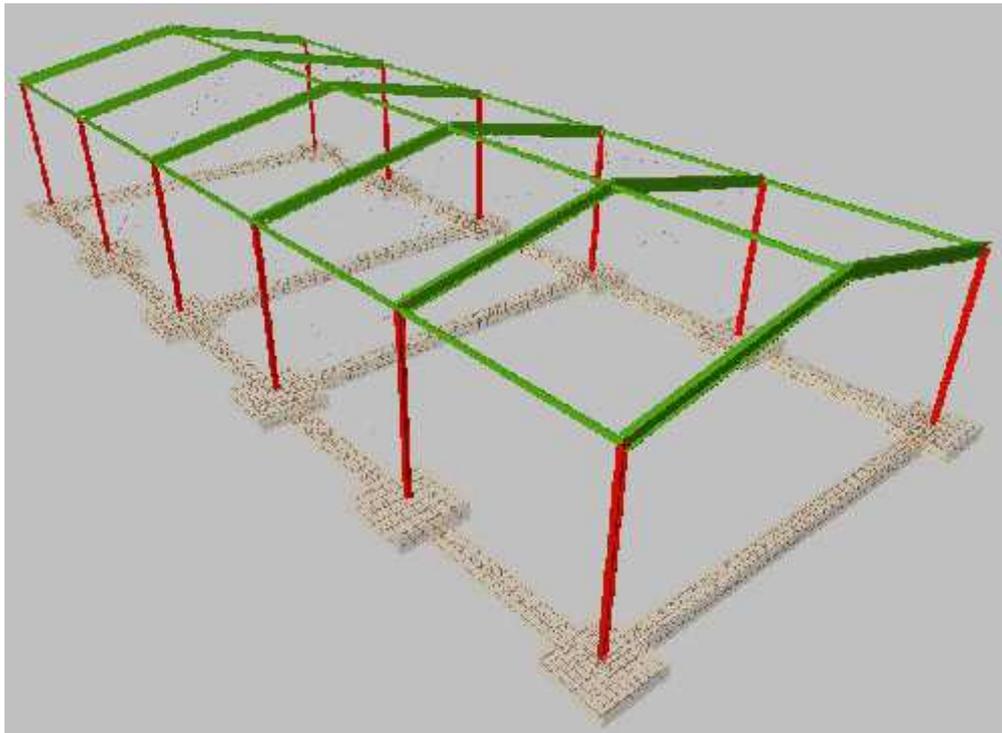
El pavimento de la nave se realizará de hormigón, teniendo que ser este adecuado para el tránsito puntual de la carretilla elevadora.

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 anexo de cálculo y planos.

A continuación se muestran unas imágenes del diseño final adoptado:

Figuras 1.43 y 1.44. Nave de usos múltiples, vistas 3D.

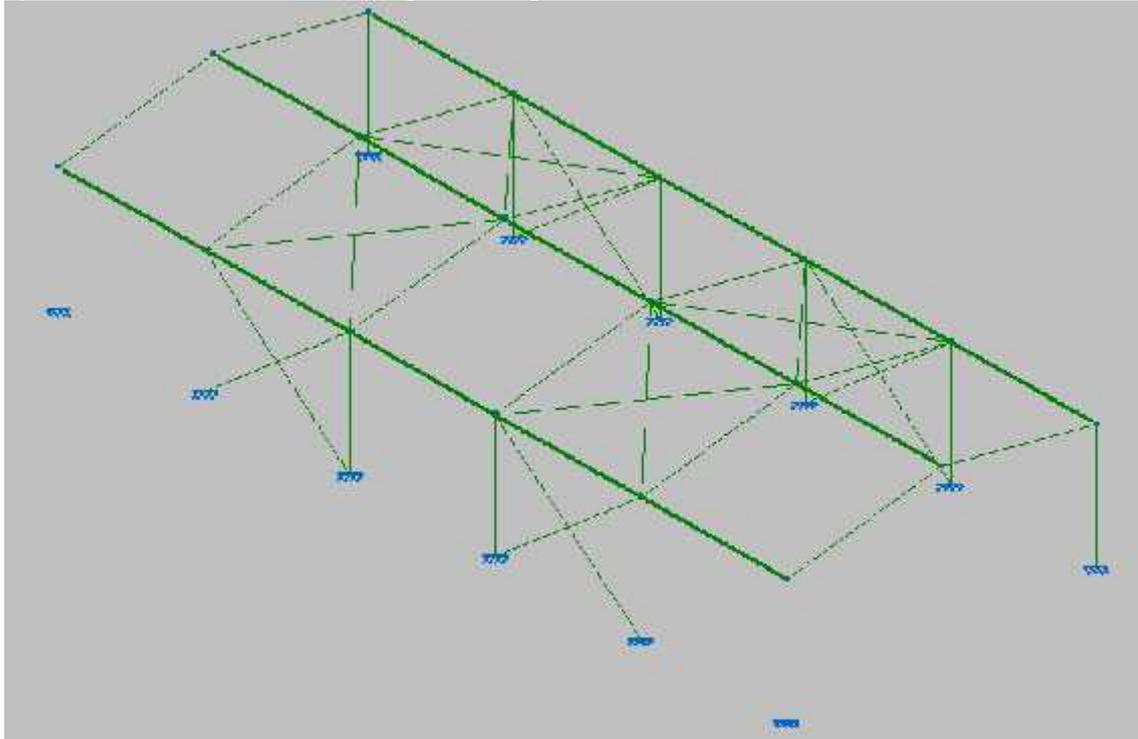


Fuente: Cype

2.7.2 Compilación de resultados de la estructura

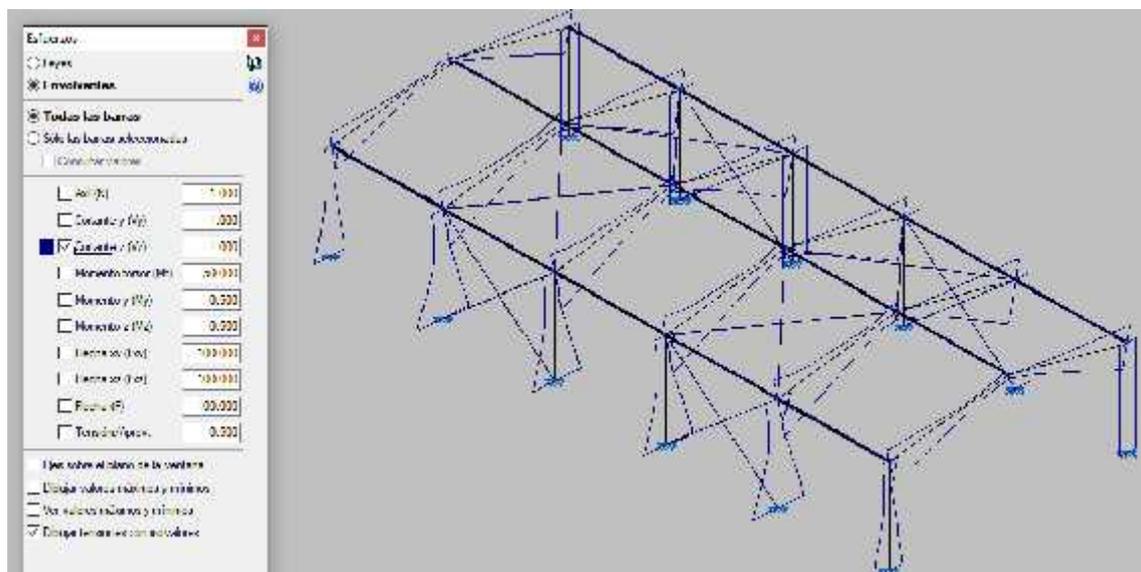
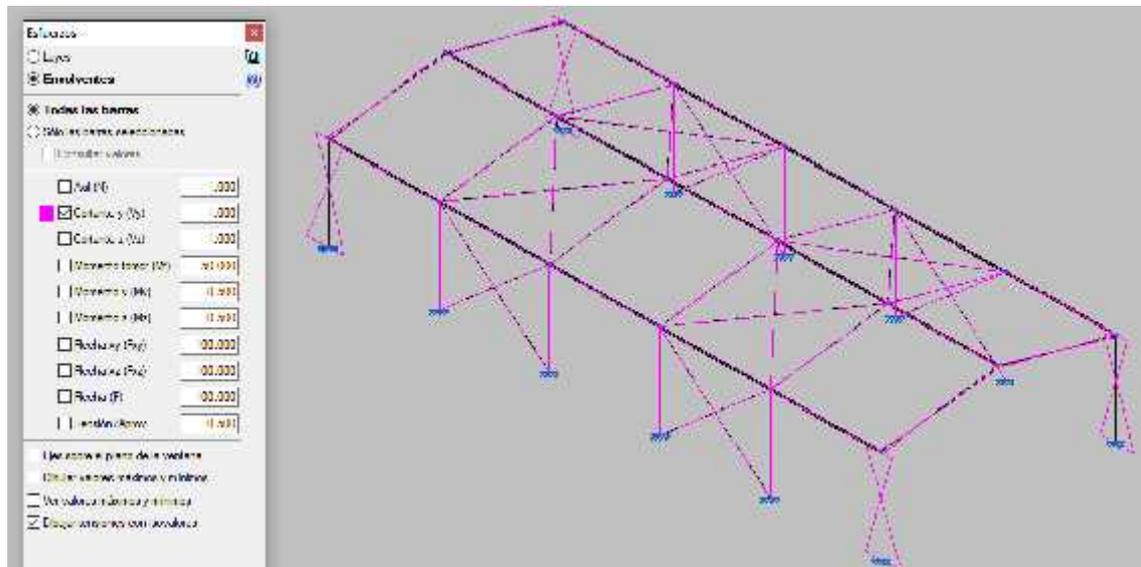
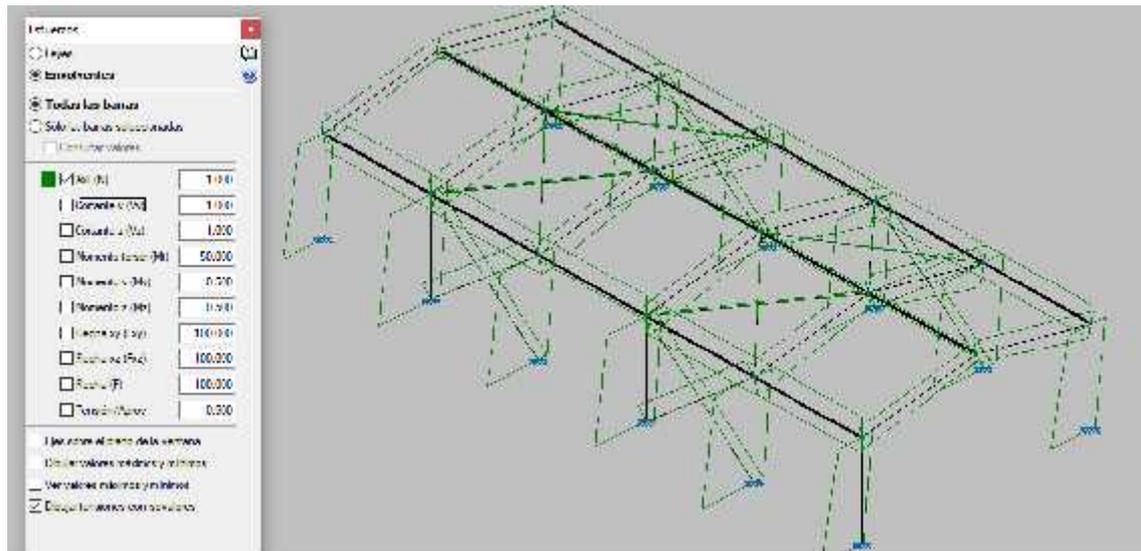
A continuación se recoge una serie de imágenes sacadas del propio programa Cype, a fin de tener una visualización de los resultados obtenidos, los cuales se dieron para los perfiles anteriormente recopilados, empezando por la comprobación de todo correcto:

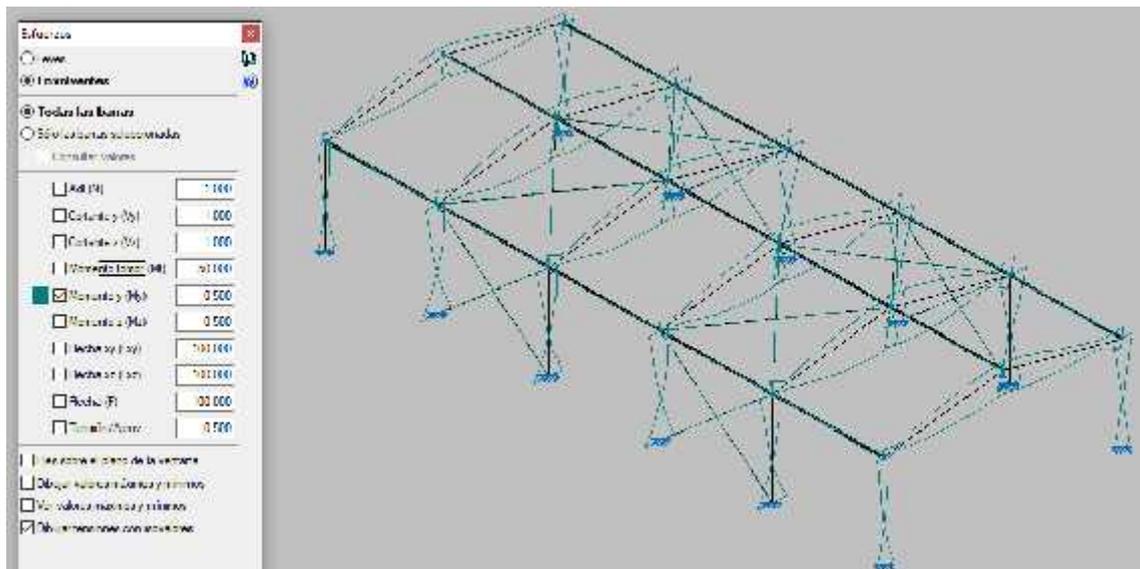
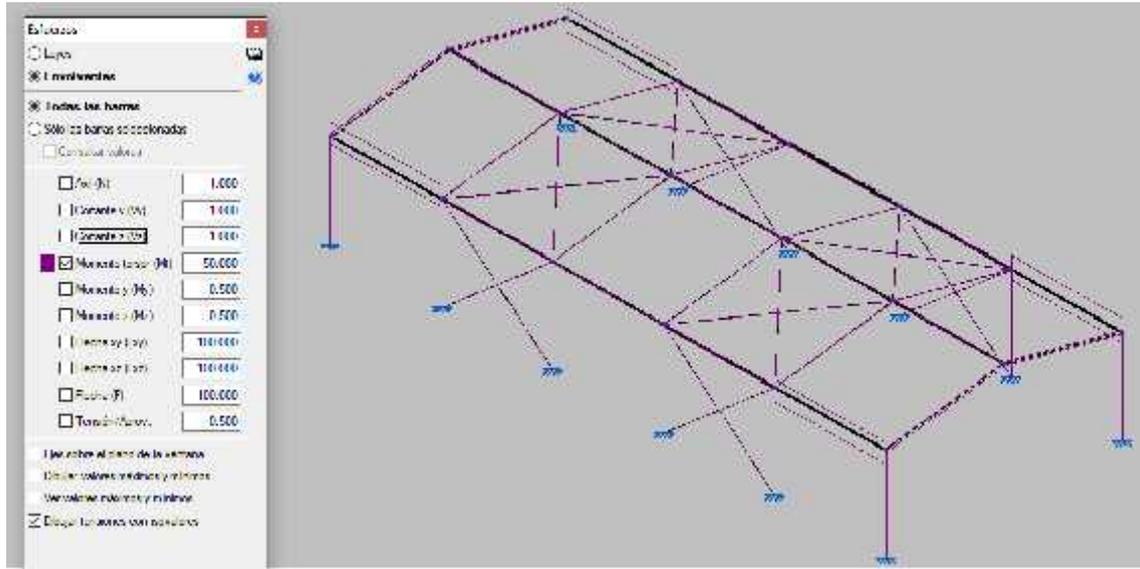
Figura 1.45. Nave de usos múltiples, comprobación.

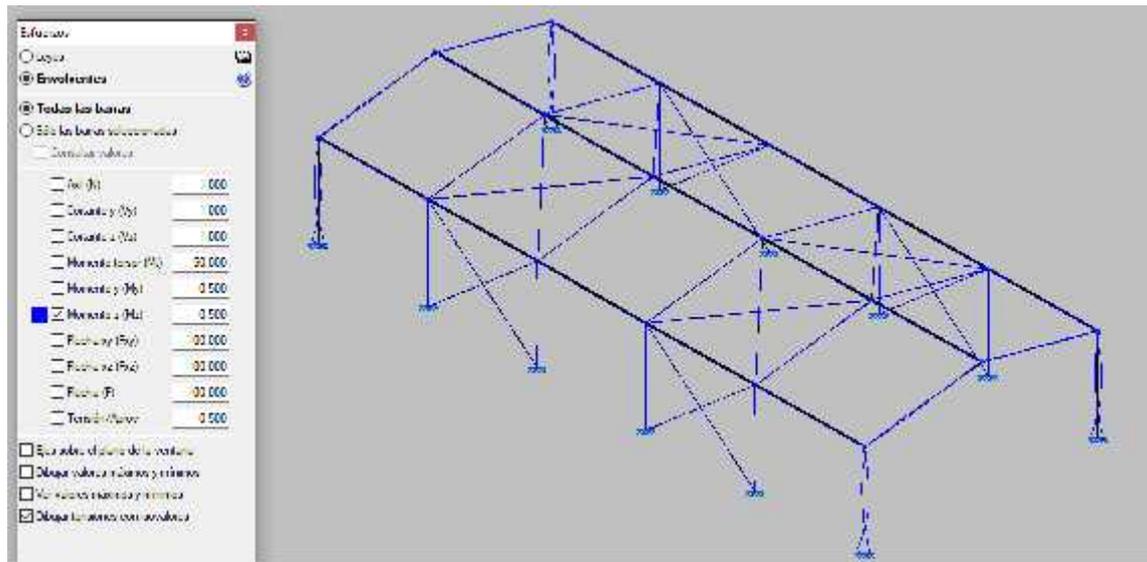


Fuente: Cype

Figuras 1.46, 1.47, 1.48, 1.49, 1.50 y 1.51. Nave de usos múltiples, envolventes de los esfuerzos.







Fuente: Cype

En las siguientes imágenes se muestran las flechas obtenidas:

Figuras 1.52, 1.53 y 1.54. Nave de usos múltiples, flechas.

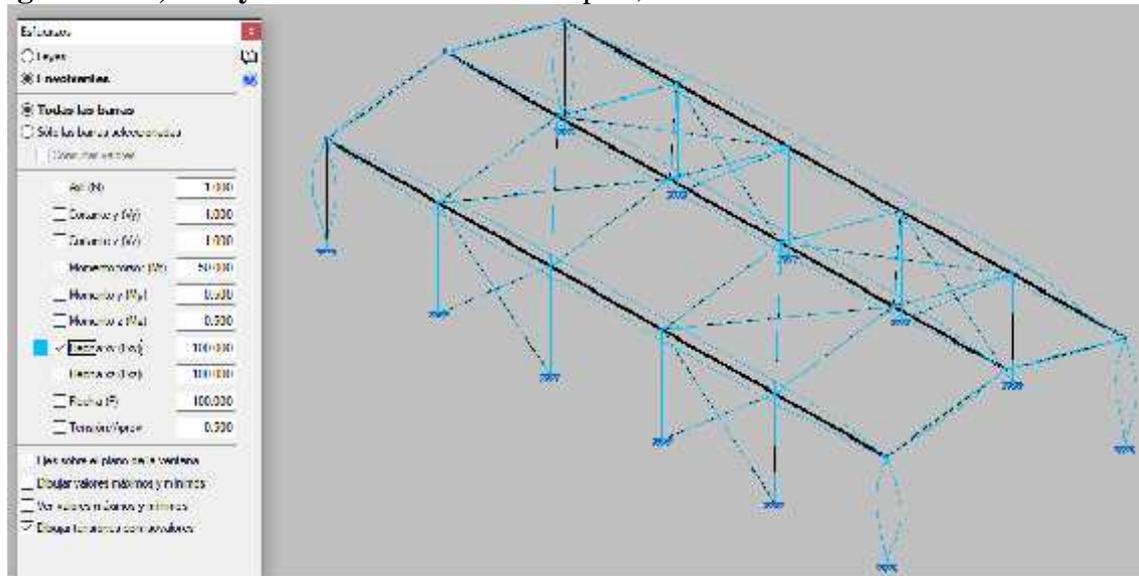
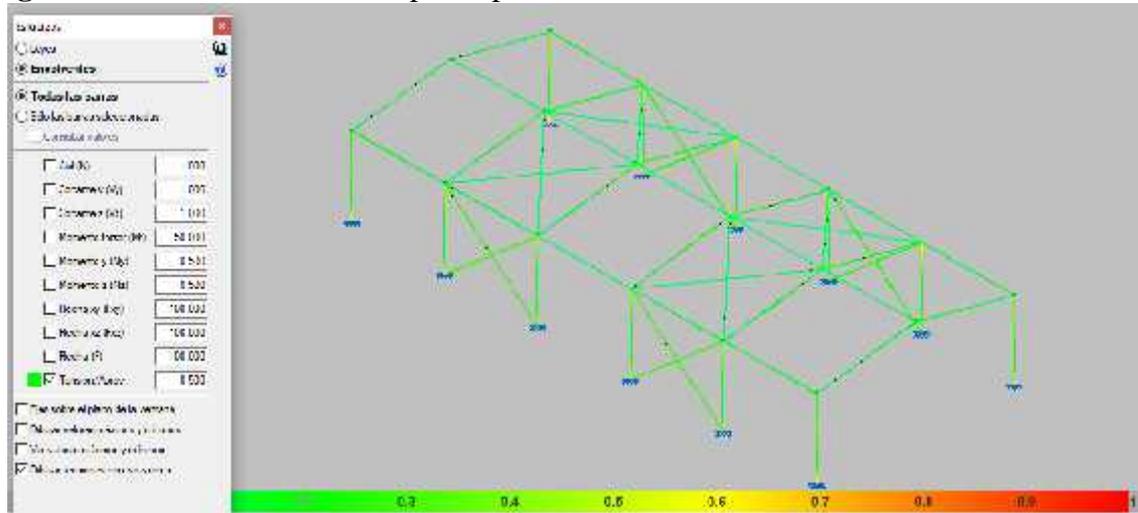


Figura 1.55. Nave de usos múltiples, aprovechamiento.



Fuente: Cype

Todas estas estructuras que se han detallado aquí de forma resumida, tienen todos los cálculos y comprobaciones pertinentes realizadas, como pudieran ser: Comprobaciones de flecha, estados límites últimos de resistencia, estados límites últimos de rigidez, pandeo, pandeo lateral, etc. recogidos en los anexos de cálculo del proyecto.



CAPÍTULO 3: INSTALACIONES Y OTROS SERVICIOS

3.0 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.

3.1 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 m³ 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.



3.2 Saneamiento

3.2.1 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 pérdidas 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 m³. 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.

3.2.2 Cálculo de las dimensiones de cubetos de contención secundaria

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.

El suelo normalmente tiene pendiente hacia un sumidero o bandeja donde el líquido puede bombearse hacia otro tanque o fuera de la instalación.

Una instalación típica tiene los tanques agrupados en uno o más grupos. Si fuera posible, los tanques deberían consolidarse en un clúster o grupo. Esto en general reduce al mínimo la altura del muro, ya que el volumen de la contención se basa en un solo tanque, el más grande. Si hay un espacio adecuado entre los tanques disminuirá la altura de la pared. En general, la mayor altura práctica para un muro de contención secundario es de 1,20 m. Paredes de mayor altura pueden resultar más baratas debido a la reducción en la superficie, pero ya alturas mayores a 1,20 m impiden el acceso del personal, aumentan el problema de flotación de los tanques, y exponen a un riesgo mayor a los empleados que trabajen dentro de la estructura.

El primer paso para diseñar el tamaño de esta estructura secundaria consiste en determinar el volumen requerido. Debe hacerse un dibujo a escala de los tanques y la contención. La zona de contención neta debe determinarse restando el área de la base de



todos los tanques del área total de la zona de contención. La altura de la pared de contención se determina dividiendo el volumen requerido por la zona de contención neta. Si la pared de contención es mayor que el deseado, debe ampliarse la zona de contención. En el caso del complejo estudiado, el clúster de depósitos se pre-diseña rodeado de un muro de contención de 40 m x 13,5 m, así:

Área de contención neta (ACN) = área total - área de los tanques

$$ACN = 540 - 128,02 = 411,98m$$

Volumen requerido (VR) = volumen total 574 m³ x 10% = 57,4 m³

El volumen que puedo almacenar es de 206m³

Altura de contención de la pared = VR/ACN

$$\text{Altura muro mínima} = 57,4 / 411,98 = 0,14m$$

La altura de pared requerida para este diseño es 0,14 m. Se considera una altura del muro de 0,5 m, estando de este modo del lado de la seguridad y pudiéndose así tener un volumen mucho mayor, en concreto 206 m³, por si hiciese falta por el motivo que fuera.

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 m³ es suficiente para recoger pequeñas pérdidas o el vertido completo de un reactor de los grandes (6,6 m³). 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.

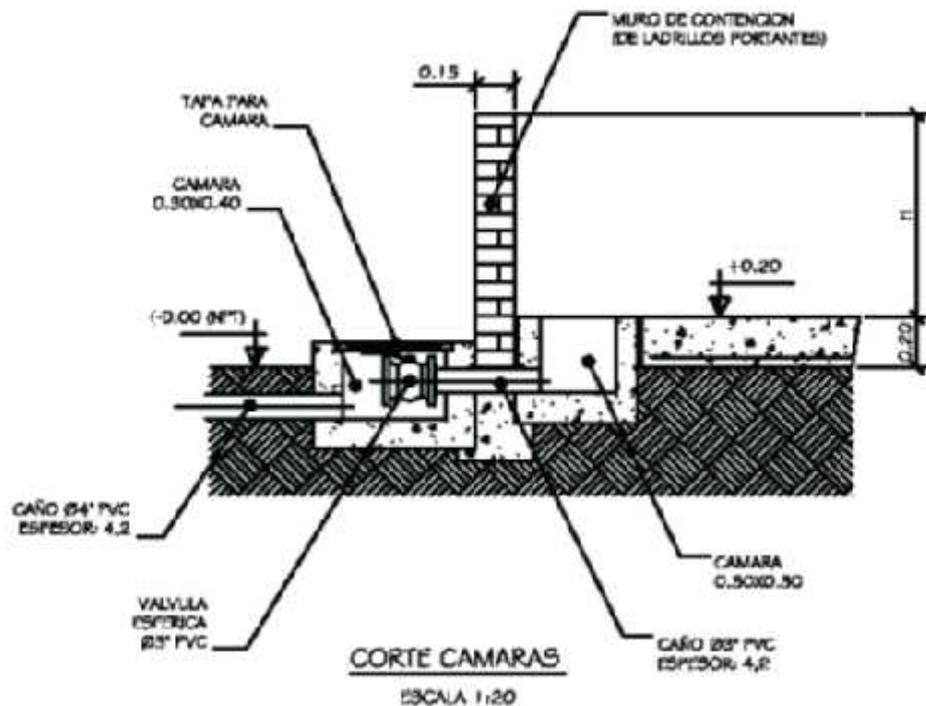
En los sistemas de contención secundaria, las cañerías deben pasar por encima y no a través de la pared de contención. Si las tuberías tuvieran que atravesar la pared de contención debería lograr un buen sellado entre los tubos y la pared. No se debe ver comprometida la integridad estructural de la pared, ni tampoco la capacidad de retención del líquido.

El agua proveniente de la acumulación de las lluvias debe bombearse con una bomba controlada manualmente. Los desagües deben utilizarse con una válvula de cierre y evitar estrictamente la liberación involuntaria del fertilizante.

Los medidores visuales externos para controlar los niveles de los fluidos en los tanques son una fuente frecuente de problemas debido a que se dañan o rompen fácilmente, liberando así el contenido del tanque. Los medidores a la vista sólo deben utilizarse si se instala una válvula de acero inoxidable, normalmente cerrada, entre la parte inferior del tanque y del tubo de medición.

La figura debajo de estas líneas muestra un detalle de construcción de cubetos, donde se indican el colector interno y la cámara para la disposición final. .

Figura 1.56. Detalle cubeto de retención.



Fuente: Desconocida

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.

3.3 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 siguiente expresión que determina la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de dicho sector o área de incendio:

$$Q_s = \frac{\sum_i G_i q_i C_i}{A} R_a \text{ (MJ / m}^2 \text{) o (Mcal / m}^2 \text{)}$$

Donde:

QS =densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m² o Mcal/m².

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

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

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

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

Cuando existen varias actividades en el mismo sector, se tomará como factor de riesgo de activación (Ra) el inherente a la actividad de mayor riesgo de activación, siempre que dicha actividad ocupe al menos el 10 por ciento de la superficie del sector o área de incendio.

A = superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m².



Los valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad, C_i , de cada combustible pueden deducirse de la tabla 1.1, del Catálogo CEA de productos y mercancías, o de tablas similares de reconocido prestigio cuyo uso debe justificarse.

Los valores del coeficiente de peligrosidad por activación, R_a , pueden deducirse de la tabla 1.2 de dicho reglamento y los valores del poder calorífico q_i , de cada combustible, pueden deducirse de la tabla 1.4 también del mismo.

En este caso, el nivel de riesgo intrínseco de cada sector quedaría:

-) Nave de procesos: $Q_s = 112,5 \text{ MJ/m}^2$.
-) Nave de usos múltiples: $Q_s = 48 \text{ MJ/m}^2$.
-) Nave de almacenamiento: $Q_s = 327 \text{ MJ/m}^2$.
-) Clúster de depósitos: $Q_s = 335,4 \text{ MJ/m}^2$.
-) Edificio de oficinas, sector 6 (éste queda fuera del alcance de esta memoria).

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.

3.4 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.



3.5 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 para 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.

3.6 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: Índice de tablas, figuras y gráficos.

| Tabla nº | Título | Página |
|----------|--|--------|
| 1.1 | Principales formulaciones elaboradas en la planta | 6 |
| 1.2 | Principales cultivos en la provincia de Sevilla, ha. Abonado y meses | 8 |
| 1.3 | Consumos de abonos en mercado regional, andaluz y español | 9 |
| 1.4 | Porcentaje de mercado de la planta a nivel provincial, andaluz y español | 9 |
| 1.5 | Fuentes inorgánicas de micronutrientes | 14 |
| 1.6 | Quelatos y complejos utilizados como fuente de micronutrientes | 15 |
| 1.7 | Selección de las principales fuentes de microelementos | 18 |
| 1.8 | Compatibilidades entre distintos elementos | 19 |
| 1.9 | Compatibilidades entre distintos elementos | 20 |
| 1.10 | Características de interés de las materias primas para su selección | 22 |
| 1.11 | Materias primas empleadas | 23 |
| 1.12 | Formulaciones de fertilizantes líquidos a partir de nutrientes, agua y calor | 25 |
| 1.13 | Cantidades máximas solubles de cada fertilizante para lotes de 8.000 kg | 33 |
| 1.14 | Procesos en continuo o discontinuo, ventajas e inconvenientes | 46 |
| 1.15 | Reactores, capacidad y dimensiones principales | 47 |
| 1.16 | Cronograma de un turno | 52 |
| 1.17 | Características identificativas de los agitadores para reactores principales | 58 |
| 1.18 | Características identificativas de los agitadores para reactores principales (2) | 62 |
| 1.19 | Calores demandados por formulaciones de la planta | 67 |
| 1.20 | Sistemas caldera-reactores | 69 |
| 1.21 | Conclusiones de máxima demanda de energía por parte de los reactores vs máximo calor aportado por la caldera | 72 |
| 1.22 | Conclusiones sobre incrementos de temperaturas máximas en las mezclas de los distintos reactores para distintas configuraciones de la caldera y demandas caloríficas | 72 |
| 1.23 | Cálculo de la longitud de los serpentines intercambiadores de calor | 78 |
| 1.24 | Conclusiones de máxima demanda de potencia por parte de los reactores vs máxima potencia aportada por la caldera | 80 |
| 1.25 | Datos para el cálculo del aislamiento de la tubería de impulsión caldera-reactores | 83 |
| 1.26 | Resumen de tablas,, del RITE sobre espesores mínimos de aislante | 85 |
| 1.27 | Espesores de aislante para las principales líneas del sistema de generación y distribución de calor | 86 |
| 1.28 | Pérdidas de carga para tubería de PVC, polietileno o PPR | 90 |
| 1.29 | Valores del coeficiente "k" para el cálculo de la pérdida de carga en los accesorios de las tuberías | 93 |
| 1.30 | Características de las líneas principales de la fábrica | 97 |
| 1.31 | Demandas máximas y nominales de materias primas sólidas para cada reactor principal | 109 |
| 1.32 | Características de las tolvas | 110 |
| 1.33 | Potencia absorbida por el tripper | 113 |
| 1.34 | Tablas de coeficientes para el cálculo de bandas transportadoras. | 113 |
| 1.35 | Capacidad de los trojes de almacenamiento | 115 |



| | | |
|------|---|-----|
| 1.36 | Cálculos para la capacidad de los trojes de almacenamiento. | 116 |
| 1.37 | Capacidad de los depósitos de almacenamiento de materias primas | 119 |
| 1.38 | Cálculos para la capacidad de los trojes de almacenamiento. | 120 |
| 1.39 | Capacidad de los depósitos de almacenamiento de productos terminados. | 121 |

| <u>Figura</u> | <u>Título</u> | <u>Página</u> |
|---------------|--|---------------|
| 1.1 y 1.2 | Ensayo Jar test de forma manual y automatizado | 21 |
| 1.3 | Configuración geométrica estándar para mezclado en régimen turbulento con impelente de flujo radial. | 55 |
| 1.4 | Patrones de flujo en sistema de agitación con dos turbinas..... | 55 |
| 1.5 | Esquema de tanque mezclador con agitador vertical | 57 |
| 1.6 | Esquema de tanque mezclador con agitador vertical (2) | 61 |
| 1.7 | Esquema de principios de la generación y distribución de calor | 66 y 81 |
| 1.8 | Esquema de tanque mezclador enchaquetado | 74 |
| 1.9 | Esquema de tipo de serpentines | 75 |
| 1.10 | Esquema de transmisión de calor para tuberías aisladas | 82 |
| 1.11 | Pérdida de carga para tubería de acero. | 91 |
| 1.12 | Esquema de configuración de las bandas transportadoras, plana y artesana. | 111 |
| 1.13 | Tanque canasta o IBC | 122 |
| 1.14 | Datos generales de la obra | 126 |
| 1.15 | Nave de proceso, vista 3D | 129 |
| 1.16 | Nave de proceso, vista 3D | 129 |
| 1.17 | Nave de proceso, vista 3D | 130 |
| 1.18 | Nave de proceso, comprobación | 130 |
| 1.19 | Nave de proceso, envolventes de los esfuerzos | 131 |
| 1.20 | Nave de proceso, envolventes de los esfuerzos | 131 |
| 1.21 | Nave de proceso, envolventes de los esfuerzos | 131 |
| 1.22 | Nave de proceso, envolventes de los esfuerzos | 132 |
| 1.23 | Nave de proceso, envolventes de los esfuerzos | 132 |
| 1.24 | Nave de proceso, envolventes de los esfuerzos | 132 |
| 1.25 | Nave proceso, flechas | 133 |
| 1.26 | Nave proceso, flechas | 133 |
| 1.27 | Nave proceso, flechas | 133 |
| 1.28 | Nave de proceso, aprovechamiento | 134 |
| 1.29 | Nave de proceso, cimentación mezcladora | 134 |
| 1.30 | Nave de almacenamiento, vista 3D | 136 |
| 1.31 | Nave de almacenamiento, vista 3D | 137 |
| 1.32 | Nave de almacenamiento, comprobación | 138 |
| 1.33 | Nave de almacenamiento, envolventes de los esfuerzos | 138 |
| 1.34 | Nave de almacenamiento, envolventes de los esfuerzos | 139 |
| 1.35 | Nave de almacenamiento, envolventes de los esfuerzos | 139 |
| 1.36 | Nave de almacenamiento, envolventes de los esfuerzos | 139 |



| | | |
|------|--|-----|
| 1.37 | Nave de almacenamiento, envolventes de los esfuerzos | 140 |
| 1.38 | Nave de almacenamiento, envolventes de los esfuerzos | 140 |
| 1.39 | Nave almacenamiento flechas | 141 |
| 1.40 | Nave almacenamiento flechas | 141 |
| 1.41 | Nave almacenamiento flechas | 141 |
| 1.42 | Nave almacenamiento, aprovechamiento | 142 |
| 1.43 | Nave de usos múltiples vista 3D | 144 |
| 1.44 | Nave de usos múltiples vista 3D | 144 |
| 1.45 | Nave de usos múltiples comprobación | 145 |
| 1.46 | Nave de usos múltiples, envolventes de los esfuerzos | 146 |
| 1.47 | Nave de usos múltiples, envolventes de los esfuerzos | 146 |
| 1.48 | Nave de usos múltiples, envolventes de los esfuerzos | 146 |
| 1.49 | Nave de usos múltiples, envolventes de los esfuerzos | 147 |
| 1.50 | Nave de usos múltiples, envolventes de los esfuerzos | 147 |
| 1.51 | Nave de usos múltiples, envolventes de los esfuerzos | 148 |
| 1.52 | Nave de usos múltiples, flechas | 148 |
| 1.53 | Nave de usos múltiples, flechas | 149 |
| 1.54 | Nave de usos múltiples, flechas | 149 |
| 1.55 | Nave de usos múltiples, aprovechamiento | 150 |
| 1.56 | Detalle cubeto de retención | 157 |

| Gráfico | Título | Página |
|----------------|---|---------------|
| 1.1 | Comparativa: Evolución anual del mercado, actual y estimada a 5 años, con producción de la planta | 51 |



Anexo II: 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 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. Asociación Nacional de Fabricantes de Fertilizantes.
- www.ine.es. Instituto Nacional de Estadística. Todas las estadísticas relacionadas con fertilizantes y meteorología.
- www.juntadeandalucia.es. Junta de Andalucía, en especial todas las páginas referentes a fertilizantes, normativas y estadísticas.
- 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

- 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 página de la diputación de Sevilla, para las características de la localización.

- www.ferroli.es

- Nelson, L.B. 1990. History of the US fertilizer industry. Tennessee Valley Authority 522 p.

- www.ibaiondo.es página dedicada a diseño, fabricación y distribución de recipientes a presión.

- www.wilo.es página dedicada a fabricación de bombas.

- 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 página de descalcificadoras.