



**UNIVERSITAT
JAUME•I**

Universitat Jaume I

Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales

Grado en Ingeniería Química

Diseño de una planta de producción de silicato de zirconio ($ZrSiO_4$).

Trabajo Fin de Grado

Autor/a:

Iván Raro Clemente

Tutor/a:

Sergio Mestre Beltrán

Castellón, Julio de 2019

Diseño de una planta de producción de silicato de zirconio ($ZrSiO_4$).

0. RESUMEN

El trabajo expuesto con nombre "Diseño de una planta de producción de silicato de zirconio ($ZrSiO_4$)" se ha realizado con el fin de diseñar una planta capaz de molturar el silicato de zirconio en forma de grano o arena hasta silicato de zirconio a la granulometría deseada, el cual es usado en la industria de la cerámica, la de refractarios y la de fundición, debido a su alto poder como opacificante, a su alto punto de fusión y a su gran estabilidad térmica y química.

Las industrias que realizan el procesado de zirconio disponen de una molienda para reducir el diámetro de partícula a la granulometría deseada, pero esta molienda se puede llevar a cabo mediante diferentes procesos (molturación en vía seca con molino de bolas, molturación en vía seca con molino pendular, molturación en vía húmeda con molino de bolas,...), por lo que, durante la realización de este proyecto, se ha elegido la mejor opción de molienda para este producto.

Para ello, en primer lugar se han estudiado teóricamente varios tipos de molinos, descartando los molinos con los que no se podría realizar esta operación correctamente. En segundo lugar, se ha realizado el cálculo del consumo energético. Finalmente, con las opciones elegidas se ha realizado la viabilidad económica para poder concluir con que opción se logra optimizar la instalación.

Por tanto, con la ejecución de este proyecto se pretende construir una planta de molturación silicato de zirconio para los requisitos de producción establecidos y que esté optimizada en cuanto a productividad y viabilidad económica.

La planta de producción de silicato de zirconio es capaz de producir 33 toneladas por día de silicato de zirconio superior a 10 micras (también llamado harina) y 33 toneladas por día de producto inferior a 10 micras o micronizado.

1. ÍNDICE GENERAL

El proyecto “Diseño de una planta de producción de silicato de zirconio ($ZrSiO_4$).” está formado por los siguientes documentos básicos:

0. RESUMEN
1. ÍNDICE GENERAL
2. MEMORIA
3. ANEXOS
4. PLANOS
5. PLIEGO DE CONDICIONES
6. ESTADO DE MEDICIONES
7. PRESUPUESTO

2. MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

| | |
|--|----|
| 1. Objetivo | 3 |
| 2. Justificación | 4 |
| 3. Alcance | 5 |
| 4. Antecedentes..... | 6 |
| 4.1. Historia | 6 |
| 4.2. Situación económica en el mercado mundial | 7 |
| 4.3. Localización..... | 12 |
| 4.4. Radiación en el zircón | 13 |
| 4.5. Propiedades..... | 15 |
| 4.6. Proceso de obtención | 16 |
| 5. Normas y referencias | 21 |
| 5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas | 21 |
| 5.2. Bibliografía | 21 |
| 5.3. Programas empleados | 24 |
| 5.4. Plan de gestión de la calidad | 24 |
| 6. Definiciones y abreviaturas | 25 |
| 7. Requisitos de diseño | 28 |
| 7.1 Características de la instalación..... | 28 |
| 7.2 Equipos | 28 |
| 7.3 Síntesis del proceso | 29 |
| 8. Análisis de soluciones | 31 |
| 8.1. Molino | 31 |
| 8.1.1. Molino pendular | 33 |
| 8.1.2. Molino de bolas continuo en vía húmeda..... | 34 |
| 8.1.3. Molino de bolas continuo en vía seca..... | 34 |
| 8.1.4. Pre molturación en molino pendular y molino de bolas continuo en vía seca | 35 |

| | |
|---|----|
| 8.2. Mejores soluciones | 37 |
| 8.3. Análisis del coste de las posibles soluciones..... | 37 |
| 9. Resultados finales..... | 40 |
| 9.1. Almacén..... | 40 |
| 9.2. Tolvas | 41 |
| 9.3. Molino de bolas continuo en vía seca..... | 42 |
| 9.4. Separador..... | 42 |
| 9.5. Silos | 43 |
| 9.6. Almacén producto terminado | 44 |
| 9.7. Conducciones | 44 |
| 9.8. Distribución en planta..... | 49 |
| 10. Planificación | 52 |
| 11. Orden de prioridad de los documentos básicos | 54 |
| 12. Estudio de la viabilidad económica..... | 55 |
| 12.1. Resumen del presupuesto | 55 |
| 12.2. Presupuesto de explotación | 56 |
| 12.2.1. Inversión inicial | 57 |
| 12.2.2. Gastos directos..... | 57 |
| 12.2.3. Gastos indirectos | 58 |
| 12.2.4. Ingresos..... | 59 |
| 12.2.5. Beneficio bruto | 59 |
| 12.2.6. Beneficio neto..... | 60 |
| 12.2.7. Flujo de caja | 61 |
| 12.2.8. Valor actual neto (VAN) | 61 |
| 12.2.9. Tasa interna de retorno (TIR)..... | 62 |
| 12.2.10. Periodo de retorno (PR)..... | 63 |

1. Objetivo

El objetivo de este proyecto es diseñar y analizar la viabilidad económica de la construcción de una planta de producción de silicato de zirconio. El silicato de zirconio es considerado un producto estratégico y muy importante dentro de la industria cerámica, por lo que va a ser necesario diseñar un proceso optimizado para que sea viable el desarrollo del mismo.

Esto es necesario ya que el silicato de zirconio es un producto cuya capacidad opacificadora y blanqueante no es fácilmente alcanzable con ningún otro producto, además de tener muy buenas propiedades para otro tipo de industrias como la de refractarios o la de fundición, lo que hace que el silicato de zirconio sea un producto importante y demandado dentro de estos sectores.

Ante la escasez de empresas productoras de este producto, se va a diseñar este proyecto.

2. Justificación

La realización del presente proyecto se debe a la necesidad de la realización de un proyecto de carácter profesional para la asignatura EQ 1044 - Trabajo Final de Grado, que se encuentra dentro del cuarto curso del Grado en Ingeniería Química.

Se ha elegido realizar este proyecto, debido a una necesidad de la empresa Chilches Materials, S.A. (empresa en la que el autor del presente trabajo está trabajando). La necesidad de la empresa es saber si el proceso de producción que actualmente tiene lugar en su planta de producción es un proceso optimizado para este tipo de producto, o si al contrario, se debería cambiar el tipo de molienda para lograr obtener un mayor beneficio a largo plazo.

3. Alcance

El alcance de este proyecto es diseñar una planta de molienda de silicato de zirconio capaz de reducir el tamaño de partícula de este producto hasta la granulometría deseada, para obtener un producto usado en la industria cerámica, en la de refractarios y en la de fundición, debido a su alto poder como opacificante, su alto punto de fusión y su gran estabilidad térmica y química. Para lograr esto, será necesario:

- Diseñar y dimensionar los equipos más relevantes de la instalación.
- Estudiar la viabilidad económica de la instalación y su funcionamiento.
- Dimensionar la planta.

Para llevar a cabo este proyecto a ser necesario llevar a cabo la construcción de las siguientes instalaciones.

- Almacén de materia prima o graneros en el cual se almacenará la materia prima antes de ser procesada.
- Planta de producción que constará principalmente de un molino y un clasificador en el que se reduzca el tamaño de partícula de la materia prima a la granulometría deseada.
- Almacén de producto terminado.

4. Antecedentes

4.1. Historia

El zirconio se descubrió en Alemania en 1789 por Martin H. Klaproth, pero no fue hasta 1930 cuando se logró obtener zirconio de alta pureza para su comercialización.

El zirconio es un metal que tiene unas propiedades muy importantes, lo que hace que sea muy útil en muchos tipos de aplicaciones tanto industriales como científicas. Este metal aparece en más de veinte minerales, pero los dos tipos de minerales más importantes son el zircón o silicato de zirconio ($ZrSiO_4$) y la baddeleyita u óxido de zirconio (ZrO_2).

Tabla M.4.1. Minerales en los que se encuentra el zirconio.

| Mineral | Fórmula química | Gravedad específica | Contenido en ZrO_2 en peso |
|-------------|-----------------|---------------------|------------------------------|
| Zircón | $ZrSiO_4$ | 4,2-4,9 | 63-67 |
| Baddeleyita | ZrO_2 | 5,5-6 | 98-100 |

El zircón, como se puede observar en la *Tabla M.4.1*, contiene entre un 63 y 67% de zirconia, un 32% aproximadamente de sílice y un 0,2-4% de hafnia, el cual es un óxido de hafnio, metal, similar químicamente al zirconio y el hecho de que tengan el mismo número de electrones en sus capas exteriores y sus radios iónicos son muy similares, hace que sean muy difíciles de separar.

El zircón es uno de los productos más importantes de la industria de los minerales de arena, junto con el dióxido de titanio, del cual es un co-producto.

La aplicación más importante para el zircón es la industria de la cerámica en la producción de opacificantes usados para esmaltes y pigmentos.

Debido a su alto punto de fusión total ($2.300^{\circ}C$) el zircón es usado en la industria del "investment casting" como arena de fundición y moldes, particularmente en aplicaciones donde se dan temperaturas muy altas y es importante mantener la calidad de la superficie de la pieza fundida.

4.2. Situación económica en el mercado mundial

El mercado ha experimentado muchas fluctuaciones a lo largo de los años como puede observarse en la *Figura M.4.1*, pero uno de los picos más grandes se produjo cuando, a finales de 2003 La industria del zircón se encontraba ante la perspectiva de un continuo y creciente déficit de la oferta, lo que hacía que fuesen pocas las posibilidades de que la oferta pudiese satisfacer a la demanda. Esto se vio estimulado en un aumento de los precios del zircón cuya tendencia se iba haciendo cada vez más pronunciada. Ante esta circunstancia hubo una cierta moderación en las aplicaciones en las que este producto no se requiere específicamente, pero esto tenía un riesgo, y era que si los precios eran forzados extremadamente altos podría suponer una sustitución significativa del uso de este producto en la industria cerámica, causando una reducción permanente en el nivel de consumo.

El pico que supuso el cambio en la tendencia de los precios se produjo hacia 2013 (2200 \$/t, correspondientes a 1.930,6 €/t), ya que un escenario donde había caído tanto la demanda de zircón supuso también una caída igualmente dramática en los precios.

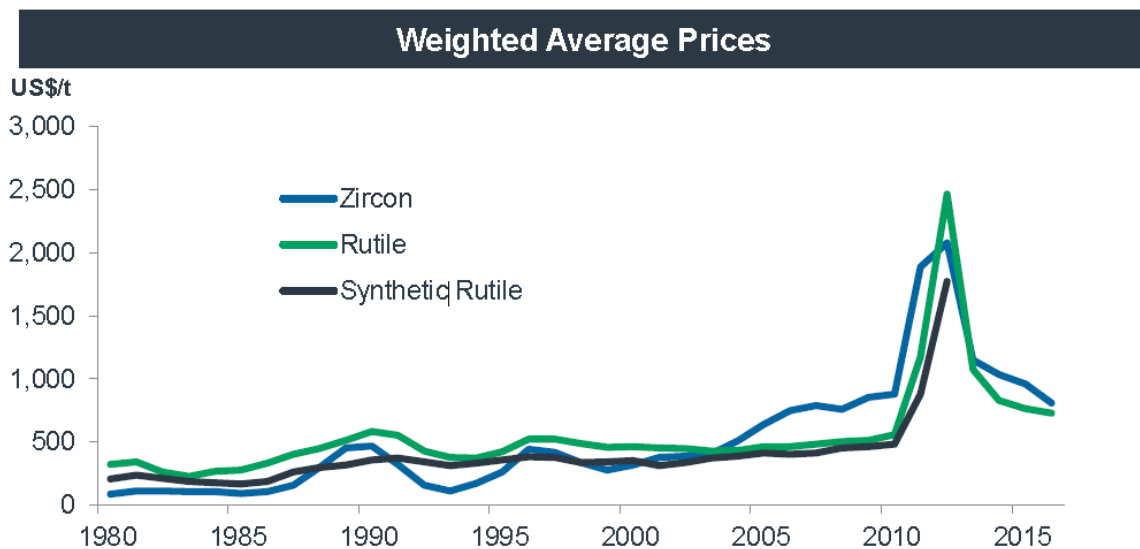


Figura M.4.1. Fluctuaciones en el precio del mercado hasta el año 2016. Recuperado de "New York mining club presentation. Iluka Resources Limited".

En los últimos años, después de la brusca caída de precios, el valor del zircón volvió a aumentar progresivamente, hasta las 1.500 \$/t (1.316 €/t) que se espera que tenga lugar en 2019. Esto se puede ver gráficamente en la *Figura M.4.2*.

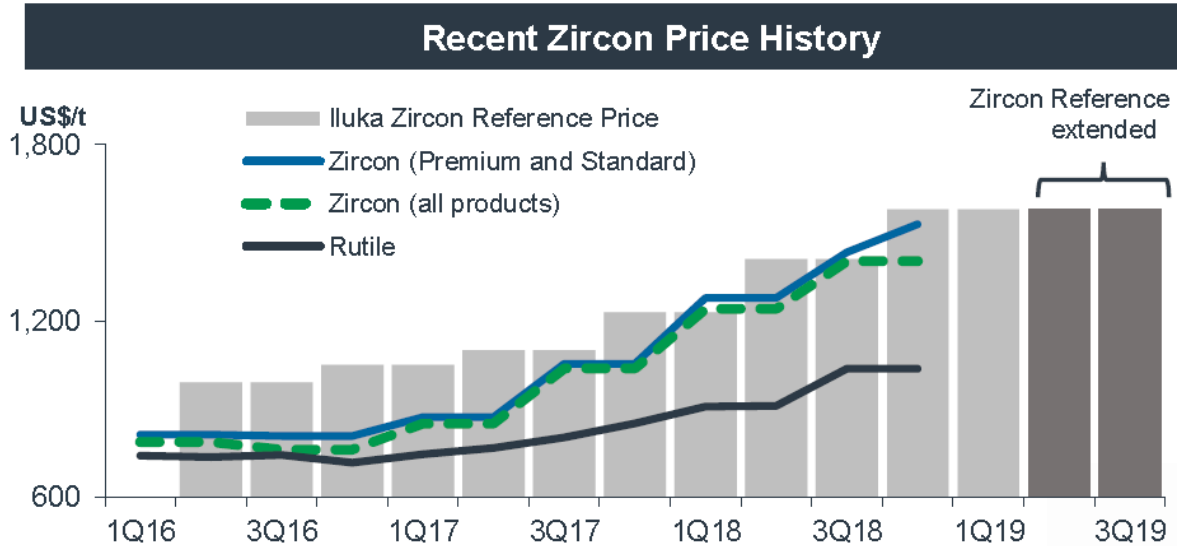


Figura M.4.2. Precio del zircón en los últimos años. Recuperado de "New York mining club presentation. Iluka Resources Limited".

Respecto a los grandes productores y consumidores de zircón, se ha producido un gran cambio en las últimas décadas, más concretamente en la década de los 90. Debido al gran crecimiento de la industria cerámica en China, Europa dejó de ser el mayor consumidor de arena de zirconio. En la *Figura M.4.3* se puede ver el consumo de zircón en el año 2006.

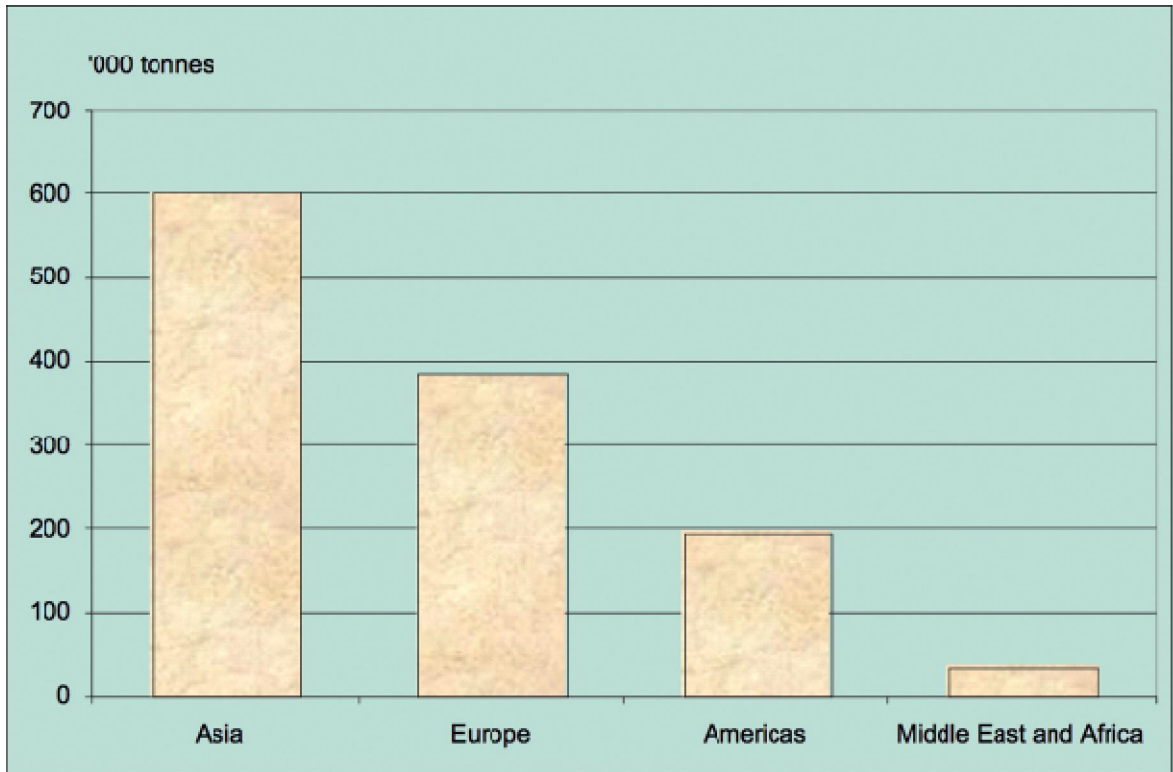


Figura M.4.3. Consumo de Zircón en 2006. Recuperado de "Milling around zircon opacifier markets and trends".

Sin embargo, en el caso de los productores de zircón (en forma de micronizado y harina), sigue siendo Europa la que encabeza el primer lugar, con la mitad de todo el zircón consumido a nivel mundial, seguida de Asia, como se puede ver en la *Figura M.4.4*. Esto se debe a que las operaciones de molienda de zircón han tendido a establecerse cerca de los usuarios finales. Otra de las cosas importantes a destacar es que los principales países productores de arena de zircón no son importantes a la hora de molturar esta arena para producir zircón de diferentes granulometrías. En el caso de Sudáfrica y Australia, que en conjunto producen el 70% de la arena de zircón del mundo, solo aportan un 6% del total de producto molturado mundial.

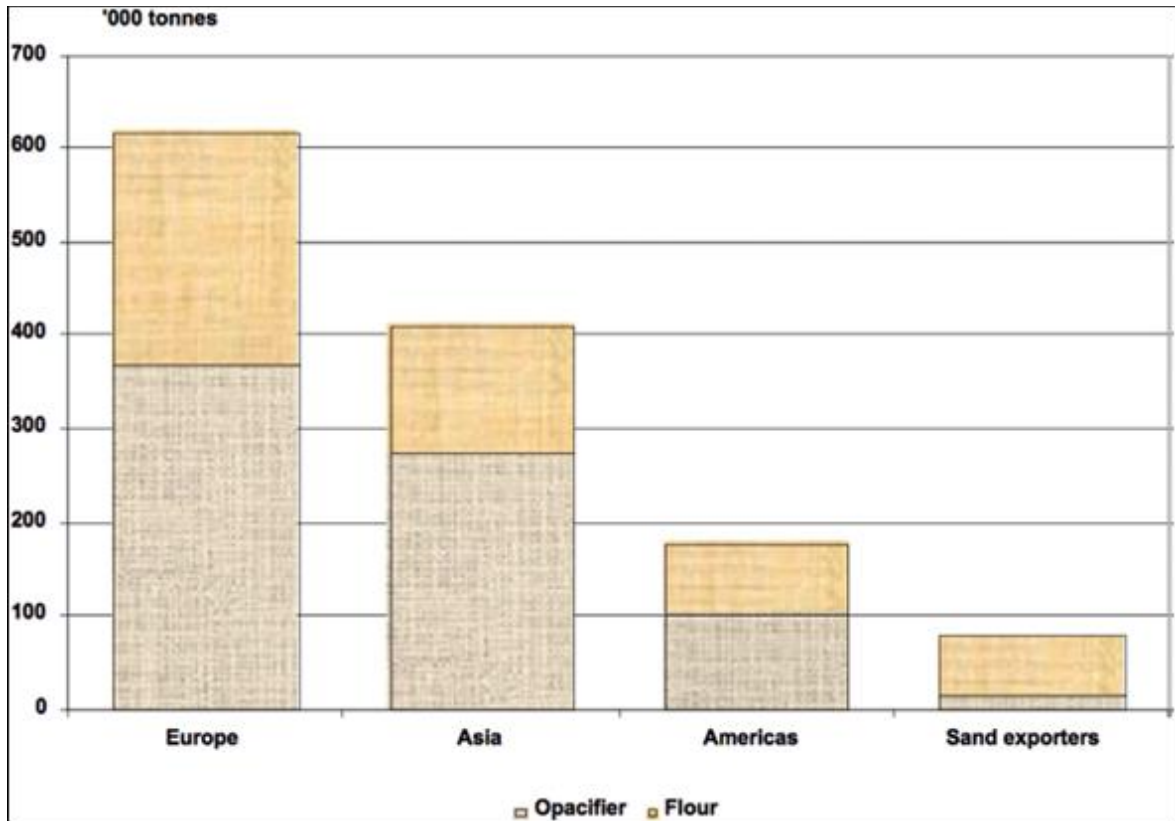


Figura M.4.4. Producción de Zircón en 2006. Recuperado de "Milling around zircon opacifier markets and trends".

Respecto a estos productores de zircón, en la *Tabla M.4.2* aparecen las principales molturadoras de zircón, junto con la capacidad de cada una de ellas.

Tabla M.4.2. Principales molturadoras de zircón y su capacidad en el año 2002. "TZ MINERALS INTERNATIONAL PTY LTD. The Global Zircon Industry: 2002-2008. 2003".

| Molturadora de zircón | País | Capacidad Micronizado | Capacidad Harina | Capacidad Micronizado | Capacidad Harina |
|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | | (10 ³ toneladas) | | (%) | |
| Chilches Materials, S.A. | España | 12 | 12 | 2 | 3 |
| China Glaze Co Ltd | China y Taiwán | 19 | 5 | 3 | 1 |
| The Colorobbia Group | Brasil, Italia, España y Turquía | 140 | 45 | 24 | 10 |
| Eggerding & Co | Alemania, Holanda y Sudáfrica | 21 | 25 | 4 | 5 |
| Trebol S.A. | EEUU, Brasil y México | 50 | 19 | 8 | 4 |
| Grupo Guzmán | España | 20 | 0 | 3 | 0 |

| Moltradora de zircón | País | Capacidad Micronizado | Capacidad Harina | Capacidad Micronizado | Capacidad Harina |
|-----------------------------|--|-----------------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | | (10 ³ toneladas) | | (%) | |
| Helmut Kreutz | Alemania | 40 | 10 | 7 | 2 |
| Johnson Matthey | Brasil, China, Francia, India, Italia, Malasia, España, Reino Unido y EEUU | 121 | 52 | 20 | 11 |
| Mario Pilato Blat S.A. | España | 45 | 55 | 8 | 12 |
| Otros moltradores de zircón | Resto del mundo | 96 | 170 | 17 | 43 |

Respecto a la empresa en la cual se está realizando este proyecto (Chilches Materials, S.A.) cuenta con un total de capacidad anual de 12.000 toneladas de silicato de zirconio en forma de micronizado y 12.000 toneladas destinadas a harina.

Cabe destacar que no toda la arena de zirconio es moltrada por estas compañías, debido a que gran parte de ella es usada en su forma inicial. En la *Figura M.4.5* se detallan los mercados a los que está dirigido el consumo de silicato de zirconio en cada una de sus tres formas principales (arena, harina y micronizado).

Respecto al zircón usado como arena, tiene como principales mercados el refractario, productos abrasivos y el mercado de fundición o investment casting.

Si se hace referencia al zircón usado en forma de harina, los principales mercados son el refractario, investment casting y cerámica.

Por último, el zircón en forma de micronizado tiene su principal mercado en la cerámica.

En el mercado de productos químicos no es común el uso de zircón, sino que se usa el mineral llamado zirconia o baddeleyita, pero esto no se va a ver en este proyecto ya que para alcanzar la pureza de este mineral son necesarios procesos químicos de purificación.

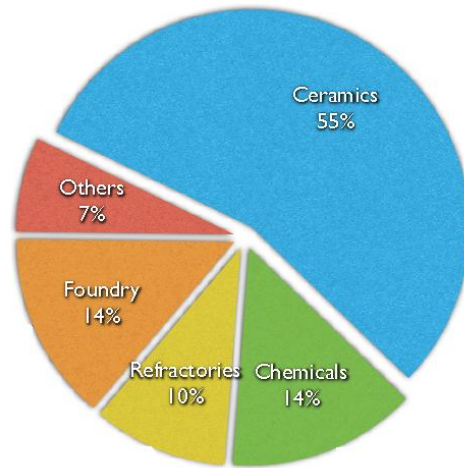


Figura M.4.5. Consumo global de zirconio por mercado de uso final en 2011. Recuperado de "ZIA. Technical handbook on zirconium and zirconium compounds. Second edition, August 2015".

4.3. Localización

El zirconio se encuentra más frecuentemente como zirconio y se puede encontrar en rocas graníticas y pegmatitas. Debido a su gran resistencia a la desintegración mecánica y química, se suele hallar en rocas sedimentarias de ríos o playas, que han ido depositándose en los deltas o costas gracias a su elevada gravedad específica. El zirconio no suele aparecer en concentraciones elevadas, ya que se deposita con otros minerales pesados como ilmenita, rutilo, monacita, granate, estaurocita o cianita, por lo que se considera un co-producto del titanio (ilmenita y rutilo).

Como se acaba de explicar, el zirconio se encuentra localizado en depósitos (normalmente costeros) alrededor del mundo, pero Australia y Sudáfrica cuentan con las mayores reservas de zirconio, además de ser los mayores productores comerciales. Además de estos países, hay otros con gran importancia alrededor del mundo, los cuales se representan en la *Tabla M.4.3*.

Tabla M.4.3. Localización de los depósitos de mineral de zirconio y recursos a fecha de 2014.

| Mineral | Recursos que pueden ser extraídos ($\times 10^6$ kg) | Recursos que pueden ser extraídos (%) |
|-----------|---|---------------------------------------|
| Australia | 51.000 | 65 |
| Sudáfrica | 14.000 | 18 |
| India | 3.400 | 4 |
| EEUU | 500 | 0,6 |
| China | 500 | 0,6 |
| Resto | 8.300 | 11 |

Como se va a ver en el próximo punto, en la *Figura M.4.7* aparece un mapa con la localización gráfica de estos depósitos.

4.4. Radiación en el zircón

El zircón es considerado un material NORM (Materiales Radiactivos de Origen Natural) ya que en él hay radio nucleídos naturales como el uranio y el torio, que se encuentran en la estructura cristalina sustituyendo a los átomos de zirconio, lo que hace que no puedan ser eliminados de esta con procesos físicos, ya que sería necesario romper la estructura. En la *Figura M.4.6* se observa la estructura cristalina del zircón en la que hay átomos de uranio y torio en las posiciones del zirconio.

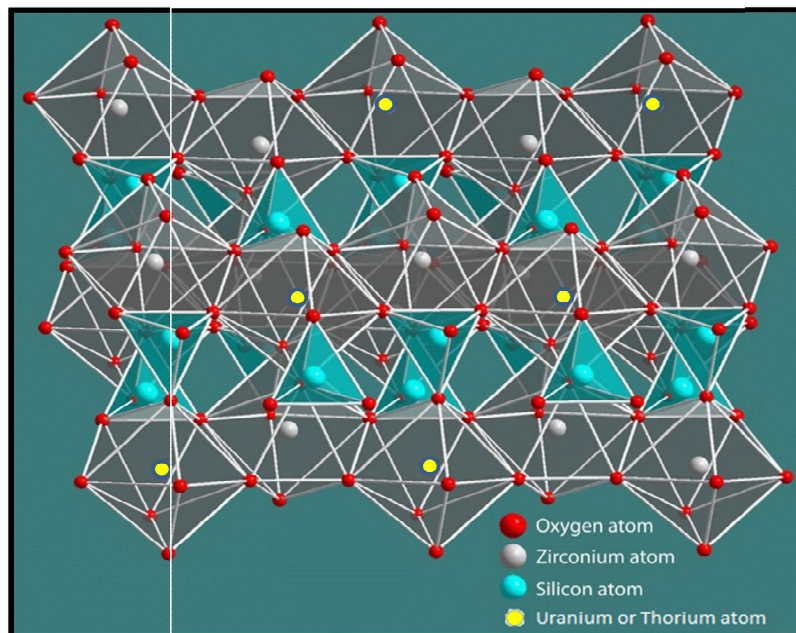


Figura M.4.6. Estructura del zircón.

La cantidad o concentración de los átomos de uranio y torio depende de la edad de los depósitos, siendo para los depósitos más jóvenes más alto el contenido en uranio y torio. En la *Figura M.4.7* se observa un mapa con la localización de los depósitos y marcada en rojo la zona con los depósitos más jóvenes.

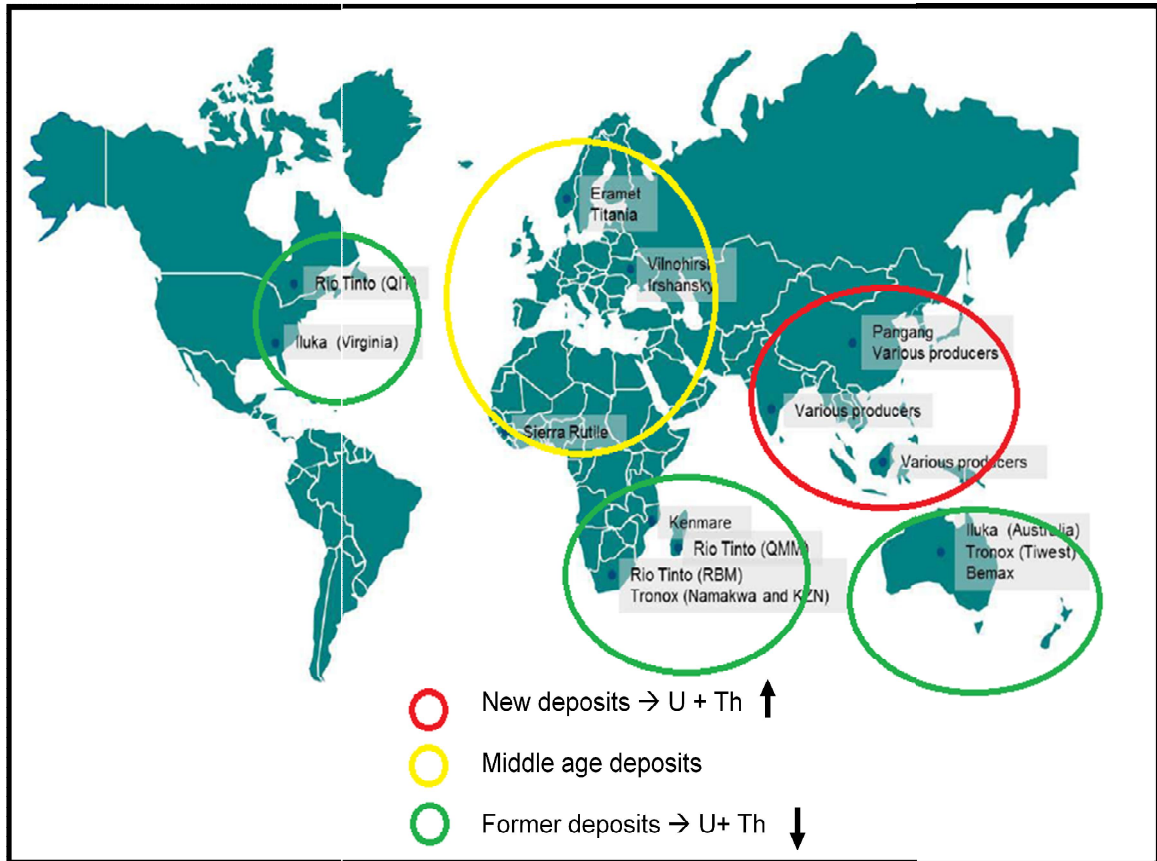


Figura M.4.7. Localización y antigüedad de los depósitos.

Puesto que el zircón tiene cierta actividad radiactiva, (valor típico entre 2 y 6 Bq/g), necesita una serie de regulaciones, y de ello se encarga la OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), mediante las siguientes regulaciones:

Si la actividad es superior a 1 Bq/g, el material será considerado como NORM.

El nivel máximo de actividad para un transporte seguro es de 10 Bq/g. En caso de que el zircón supere este valor, será categorizado como Clase 7 y serán necesarias numerosas licencias para su transporte.

4.5. Propiedades

Las principales propiedades del silicato de zirconio son las siguientes:

- Alto índice de refracción. Importante en la industria cerámica, donde el zircón actúa como opacificante aumentando la blancura (Índice refracción = 1,85-1,95).
- Alta dureza. Importante en cerámicas ya que aporta una gran resistencia ante daños mecánicos (Dureza Mohs = 7,0-7,5).
- Alto punto de fusión. Importante en la industria refractaria. Tiene una fusión peritética sobre 1.700 °C y funde completamente en el intervalo de 2.300 a 2.400 °C, tal y como se puede observar en la *Figura M.4.8* para un porcentaje en peso de SiO_2 del 34% (Porcentaje en peso de ZrO_2 del 66%).

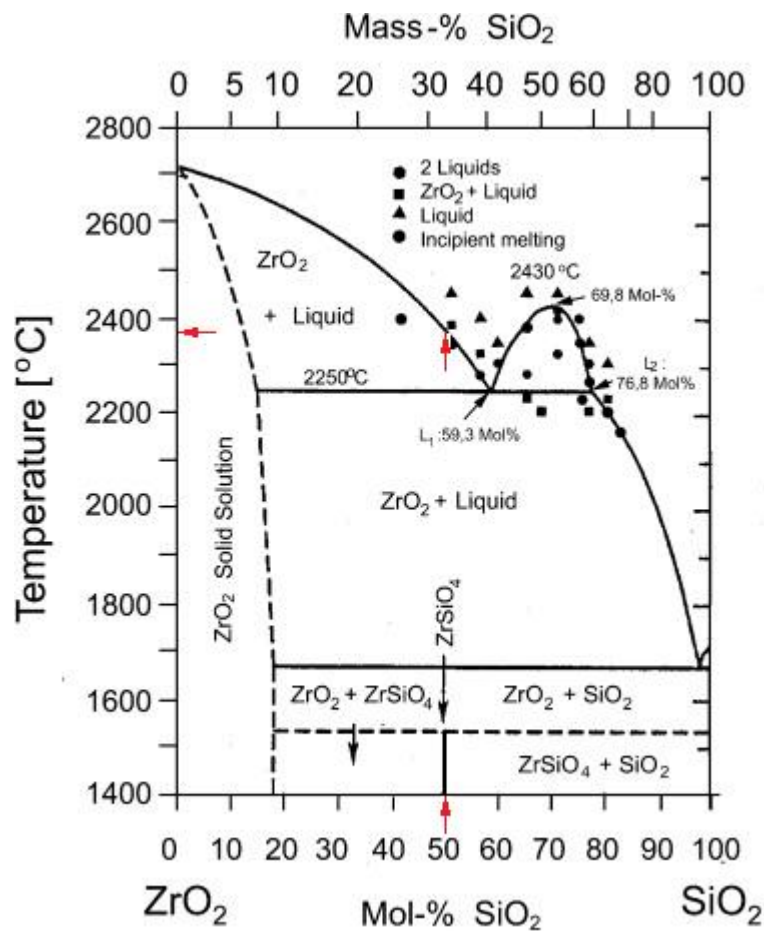


Figura M.4.8. Diagrama sílice-zirconio. Recuperado de "Direct observation of the liquid miscibility gap in the zirconia-silica system."

- Alta estabilidad térmica a elevadas temperaturas, alta conductividad térmica y baja humectabilidad por metal fundido. Importante en investment casting y en las industrias refractarias.
- Bajo coeficiente de expansión lineal, lo que produce una buena resistencia al choque térmico ($7,2 \cdot 10^{-6}$ cm/cm·°C).
- Gran estabilidad química. Importante en muchas aplicaciones.
- Baja solubilidad en silicatos fundidos. Importante para refractarios de vidrio.
- Buenas propiedades dieléctricas. Importante para cerámicas técnicas y avanzadas (Constante dieléctrica = (12 a 17-22 °C) y (8,51 a 450 °C)).

4.6. Proceso de obtención

Para tener una visión más amplia se va a explicar brevemente el proceso de obtención de la materia prima usada en el proceso de producción detallado en este proyecto.

Pero antes de comenzar, en la *Tabla M.4.4* se ha realizado un resumen de los minerales de arena más comunes que pueden encontrarse en los depósitos de concentrado. Como se puede observar, hay minerales que tienen valor en este proceso y estos serán los que, mediante los procesos expuestos a continuación, van a separarse del resto.

Tabla M.4.4. Propiedades físicas y químicas de las arenas minerales. "G. Jones, Mineral Sands: An Overview of the Industry. ILUKA, 2009."

| Mineral | Valioso | Susceptibilidad magnética | Conductividad eléctrica | Gravedad específica | Fórmula química |
|-------------|---------|---------------------------|-------------------------|---------------------|--|
| Ilmenita | Si | Alta | Alta | 4,5-5 | Fe·TiO ₃ |
| Rutilo | Si | Baja | Alta | 4,2-4,3 | TiO ₂ |
| Zircón | Si | Baja | Baja | 4,7 | ZrSiO ₄ |
| Leucoxeno | Si | Semi. | Alta | 3,5-4,1 | Fe·TiO ₃ ·TiO ₂ |
| Monacita | No | Semi. | Baja | 4,9-5,3 | (Ce,La,Th,Nd,Y)PO ₄ |
| Estaurolita | No | Semi. | Baja | 3,6-3,8 | Fe ₂ Al ₉ Si ₄ O ₂₂ ·(OH) ₂ |
| Cianita | No | Baja | Baja | 3,6-3,7 | Al ₂ SiO ₅ |

| Mineral | Valioso | Susceptibilidad magnética | Conductividad eléctrica | Gravedad específica | Fórmula química |
|---------|---------|---------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Granate | No | Semi. | Baja | 3,4-4,2 | $(Fe,Mn,Ca)_3 \cdot Al_2(SiO_4)_3$ |
| Cuarzo | No | Baja | Baja | 2,7 | SiO_2 |

El factor de que todos estos minerales tengan una alta gravedad específica hace que los depósitos de arena tiendan a localizarse cerca de las costas marinas debido a que han sido transportados a lo largo de los ríos o en tormentas y se han acumulado y concentrado durante siglos a lo largo de las costas marinas.

El 97% de la arena de zircón se encuentra en depósitos de arenas de minerales pesados y para extraerlo se realiza mediante minería en húmedo (dragado) o minería en seco, siendo el más común el dragado. Estos depósitos contienen un porcentaje de minerales pesados entre el 1 y el 10% siendo el restante material arcilla o arena de sílice.

El proceso de obtención de arena de zircón consta de tres etapas:

- Minería. Si se trata de minería en húmedo, mediante dragas flotantes se realiza un corte en la superficie del estanque y se bombea la suspensión de mineral a un concentrador húmedo que se encuentra en el estanque, tal y como se puede ver en la *Figura M.4.9*.



Figura M.4.9. Minería en húmedo. Recuperado de "ZIA. Technical handbook on zirconium and zirconium compounds. Second edition, August 2015".

En caso de que se trate de minería en seco, en primer lugar, se debe de limpiar el área de la mina y extraer la capa superior, que al finalizar el proceso será recolocada para la rehabilitación de la zona. A continuación, se extrae el subsuelo mediante excavadoras y se realizan procesos de separación (separación por vibración y por rotación) para separar las rocas de la arena, que se transporta al concentrador húmedo tal y como se observa en la *Figura M.4.10*.

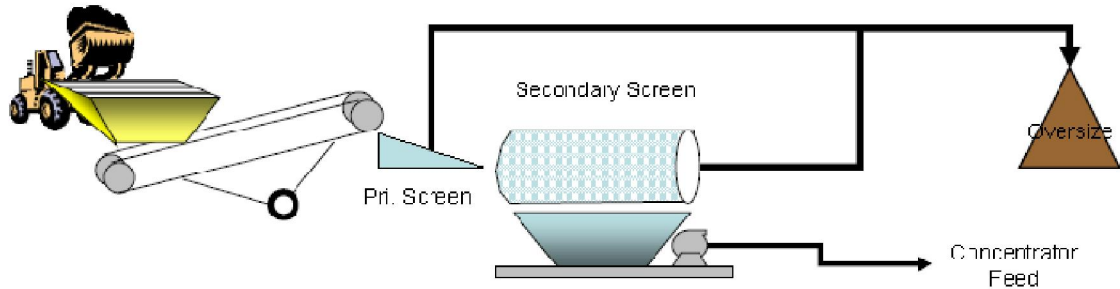


Figura M.4.10. Minería en seco. Recuperado de "ZIA. Technical handbook on zirconium and zirconium compounds. Second edition, August 2015".

- Concentrador húmedo. Consiste en un sistema de separación mediante diferentes procesos para separar el mineral pesado de las impurezas que pueda contener y así obtener un concentrado del 85-95%. En la *Figura M.4.11* se puede ver en detalle el funcionamiento del proceso de concentración húmeda.

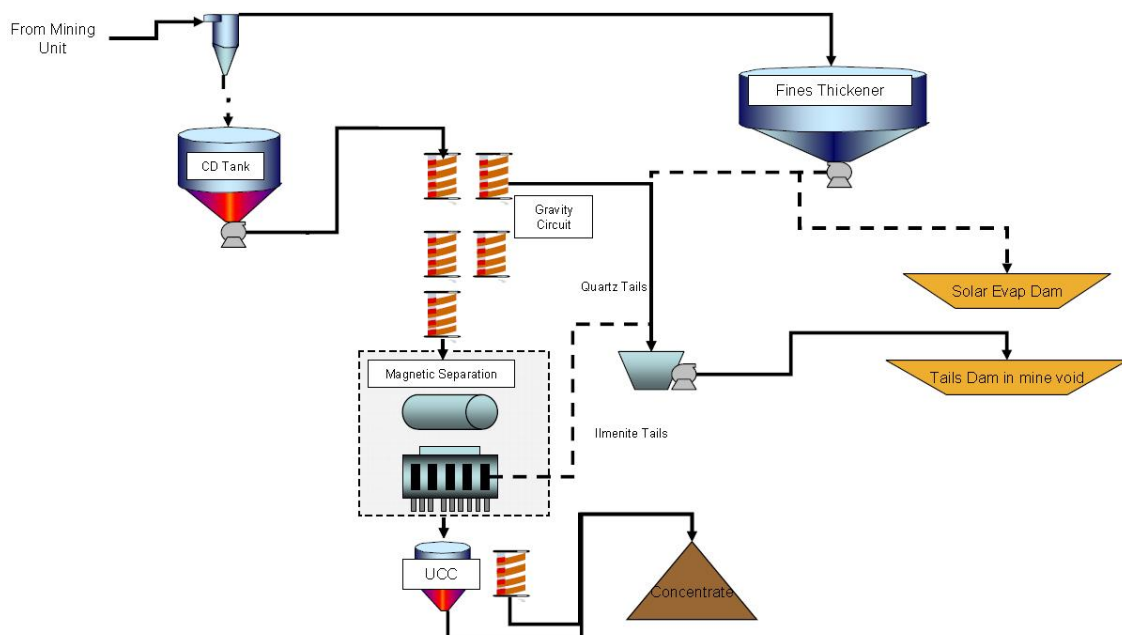


Figura M.4.11. Proceso de concentración húmeda. Recuperado de "ZIA. Technical handbook on zirconium and zirconium compounds. Second edition, August 2015".

En primer lugar, el material pasa por unos hidrociclones que eliminan las partículas ligeras y finas, normalmente arcilla, las cuales se envían a un tanque donde el material más denso sedimenta y así ser usado para recubrir el vacío de las minas. En este proceso se logra pasar de un mineral pesado entre el 1-10% a un mineral pesado al 90-95% gracias a la eliminación de la arcilla.

A continuación, el flujo de material grueso del hidrociclón es enviado a un tanque de densidad constante, y de allí es enviado a circuito de separación por gravedad, donde se separa el mineral con menor gravedad específica, es decir, el cuarzo.

Por último, puede haber una etapa opcional en la que el material pasa por un separador magnético donde se separa parte de la ilmenita, el mineral con mayor susceptibilidad magnética. El mineral pesado se almacena y drena antes de ser enviado al proceso de separación.

- Proceso de separación. Consiste en eliminar la ilmenita, rutilo, leucoxeno y otros minerales no valiosos a través de procesos de cribado, magnéticos, electrostáticos y de separación gravitacional, tal y como aparece en la *Figura M.4.12*.

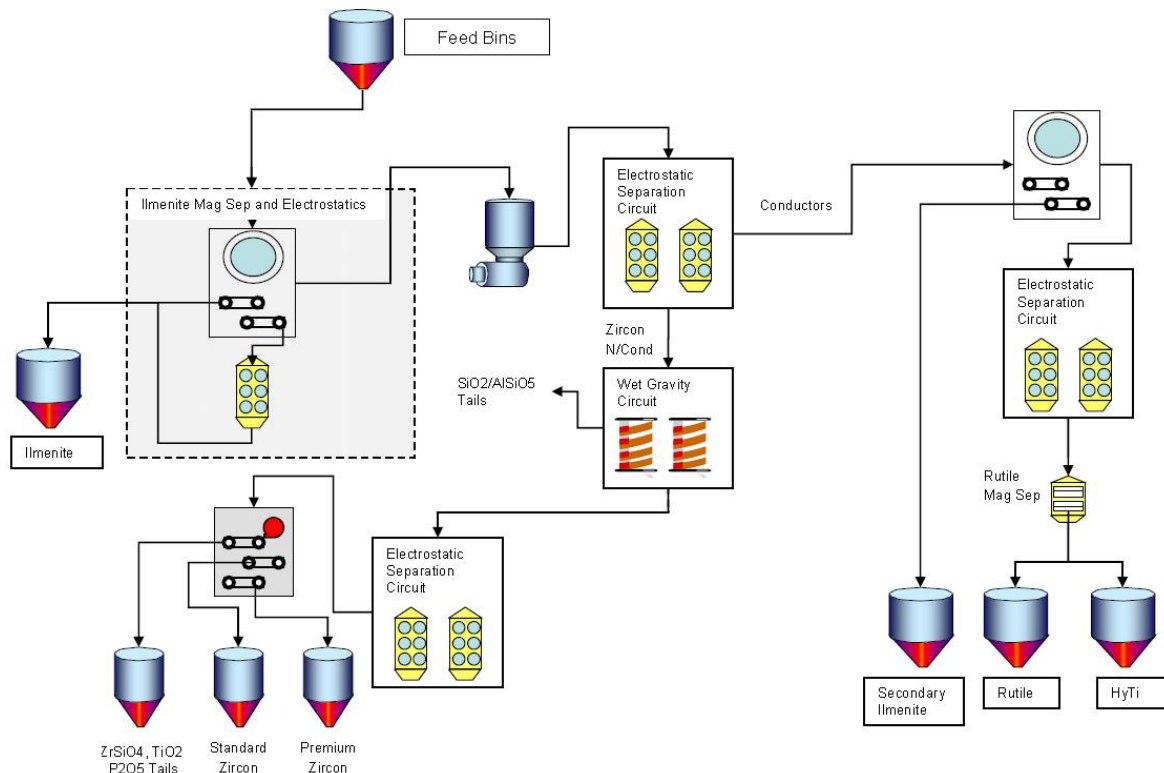


Figura M.4.12. Proceso de separación. Recuperado de "ZIA. Technical handbook on zirconium and zirconium compounds. Second edition, August 2015".

En primer lugar, el mineral pesado pasa a través de un separador magnético donde gran parte de la ilmenita (mineral más magnético) es separada y es extraída como producto final. Pero no toda la ilmenita se puede separar de los minerales semimagnéticos, y esta, tras esta primera etapa pierde propiedades magnéticas, por lo que debe pasar por un separador electroestático para eliminar el mineral no conductor, como es la monacita, el granate y la estaurolita.

En la separación magnética anterior, los minerales no magnéticos pasan a un circuito de separación electroestática, donde se separan los minerales no conductores como el zircón, cianita, cuarzo, monacita y estaurolita; de los conductores como el rutilo, leucoxeno y la ilmenita que no se haya separado en los procesos anteriores. Estos minerales conductores son separados a través de separadores magnéticos y electroestáticos en ilmenita, rutilo y leucoxeno.

Los materiales no conductores pasan a un circuito por gravedad donde se separan los minerales de menor gravedad específica (cuarzo, cianita, granate y estaurolita) del zircón. Este concentrado de zircón pasa a través de un separador electroestático para eliminar los conductores residuales que puedan quedar y a continuación pasa a través de una mesa de aire para eliminar el cuarzo fino y la cianita residual que no hayan sido separados anteriormente. Con esto se obtienen dos calidades de zircón, según la separación que pueda haber en las mesas de aire, zircón premium o zircón estándar.

5. Normas y referencias

5.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

Durante la realización del presente proyecto se han tenido presentes las siguientes normas:

-REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

-REAL DECRETO 379/2001 de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias.

-Ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.

-Ley 10/98, de Residuos. Regula la producción y la gestión de los residuos.

-Ley 10/2000, de Residuos de la Comunidad Valenciana.

-Ley 7/2002, de la Generalitat Valenciana de Protección contra la Contaminación Acústica.

-Orden de 18 de octubre de 1976, sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera.

-UNE-EN ISO 5455 - Dibujos técnicos. Escalas. (ISO 5455: /979).

-UNE-EN ISO 3098-0 - Documentación técnica de productos. Escritura.

-UNE 1032 - Dibujos técnicos. Principios generales de representación.

-UNE 157001-2014, “Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un proyecto técnico”.

5.2. Bibliografía

La bibliografía utilizada durante la realización del proyecto es la siguiente:

[1] ZIA. Technical handbook on zirconium and zirconium compounds. Second edition, August 2015.

[2] TZ MINERALS INTERNATIONAL PTY LTD. The Global Zircon Industry: 2002-2008. 2003.

[3] ZIA. ZIA Guide to the Transport of Zircon as a NORM. November 2018.

[4] MILLING AROUND ZIRCON OPACIFIER MARKETS AND TRENDS. Andy Skillen (Asian Ceramics) and Martin Lynch (TZMI).

[5] G. Jones, Mineral Sands: An Overview of the Industry. ILUKA, 2009.

[6] Rainer Telle, Fabian Greffrath, Robert Prieler. Direct observation of the liquid miscibility gap in the zirconia–silica system, 2015

[7] Apuntes de la asignatura EQ1019: “Mecánica de Fluidos”.

[8] Apuntes de la asignatura EQ1022: “Transferencia de Materia i Operaciones de Separación I”.

[9] Apuntes de la asignatura EQ1031: “Proyectos de Ingeniería”.

[10] Apuntes de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”.

[11] Apuntes de la asignatura EQ1037: “Seguridad e Higiene en la Industria Química”.

Además, también se han consultado las páginas web citadas a continuación:

<http://lsi.vc.ehu.es/wdocs/TFGs/norma157001.pdf>. Consultado el 15/12/2018.

<https://www.iluka.com/investors-media>. Consultado el 25/01/2019.

<http://www.tzmi.com/services/market-research>. Consultado el 25/01/2019.

<https://www.iluka.com/getattachment/a45682d0-0e81-4350-a450-f5d22c604872/New-York-Mining-Club-Presentation-T-O-Leary.aspx>. Consultado el 25/01/2019.

https://www.iluka.com/getmedia/67904b40-4eae-4624-8a16-720f4874244a/iluka_technical_brochure_07_12_09.aspx. Consultado el 25/01/2019.

<https://www.usgs.gov/centers/nmic/zirconium-and-hafnium-statistics-and-information>. Consultado el 09/02/2019.

https://www.doeringsinn.de/fileadmin/masterTemplate/Resources/Public/JavaScript/rechner/Mahlkoerperformel_nach_Bond_en.pdf. Consultado el 16/03/2019.

https://visor.gva.es/visor/?extension=736353,4405059,746260,4409613&nivelZoom=14&capasids=Orto_Actual;,Toponimia;&tcapas=1.0,1.0&idioma=es. Consultado el 08/06/2019.

<http://www.manfredinieschianchi.com/301-01-3ES-molinos-pendular.htm>. Consultado el 11/05/2019.

<http://www.hosokawa-alpine.es/procesado-de-polvo-particulas/maschinen/kugel-und-ruehrwerkskugelmuehlen/so-super-orion-kugelmuehle/>. Consultado el 11/05/2019.

<https://www.hosokawa-alpine.com/powder-particle-processing/machines/classifiers-and-air-classifiers/atp-turboplex-ultrafine-air-classifier/>. Consultado el 11/05/2019.

<https://www.kreutz-mahlwerke.de/es/productos/oxido-de-aluminio-kreutzalox/bolas-para-moler/>. Consultado el 12/05/2019.

https://iesmat.com/catalogos/WC_MALMS3/mastersizer/. Consultado el 12/05/2019.

<http://www.sacmiiberica.com/es-ES/Productos/Ceramica/Azulejos/Preparacion-de-polvos/Atomizacion-y-almacenado-de-polvos/Atomizadores.aspx?idC=62146&LN=es-ES>. Consultado el 11/05/2019.

<http://www.condesa.com/pdf/es/TUBO%20CONDUCCI%C3%93N%20CASTELLANO.pdf>. Consultado el 07/06/2019.

<http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo6.pdf>. Consultado el 07/06/2019.

https://www.atlascopco.com/es-ar/compressors/products/air_blowers/zl. Consultado el 12/07/2019.

<https://www.dieselogasolina.com/>. Consultado el 6/7/2019

5.3. Programas empleados

Los programas que se han utilizado para realizar el proyecto son los siguientes:

- Microsoft Office Excel 2007. Para realizar todos los cálculos necesarios.
- Microsoft Office Word 2007. Para la redacción de todos los documentos pertenecientes al proyecto.
- Auto CAD 2018. Para la realización de los planos.
- Adobe Acrobat Reader DC. Para consultar la bibliografía referente al tema tratado en el presente proyecto.
- Paint. Para la realización de los diagramas de proceso.
- Microsoft Project 2010. Para elaborar la planificación del proyecto.
- Cype 2018. Para elaborar el presupuesto.

5.4. Plan de gestión de la calidad

Todos los materiales que se empleen en la realización de las obras deberán cumplir las condiciones que se establezcan en todos los documentos que forman parte del presente proyecto.

6. Definiciones y abreviaturas

Con fin de ayudar en la redacción y lectura del presente proyecto, se procede a detallar las abreviaturas y magnitudes que se han empleado. Además, también se incluye las definiciones de términos complejos.

Nomenclatura

| | |
|-------------------------------|---|
| P | Potencia (kW) |
| D_{px} | Diámetro de partícula en el cual el x% está por debajo de ese valor (μm) |
| W_i | Índice de trabajo para diferentes materiales |
| E | Energía (kW·h/t) |
| CS | Contenido en sólidos |
| t_r | Tiempo de residencia del material dentro del molino |
| D | Diámetro del molino |
| L | Longitud del molino |
| VAB | Volumen aparente de bolas |
| VAM | Volumen aparente de material |
| MSB | Material sobre bolas |
| \emptyset | Empaquetamiento |
| FC | Factor de descarga del producto por el molino |
| V_m | Volumen del molino |
| CB | Carga de bolas |
| CM | Carga de material a molturar |
| C | Es función del tipo de llenado y tipo de bolas |

| | |
|-------------------------------|---|
| M_K | Peso del material (bolas + material a molturar) dentro del molino |
| Q_v | Caudal volumétrico (m^3/h) |
| C_p | Calor específico |
| T | Temperatura |
| $^{\circ}C$ | Grados Celsius |
| V | Volumen (m^3) |
| t | Tonelada |
| m | Metros |
| kg | Kilogramos |
| h | Tiempo (horas) |
| ρ | Densidad (kg/m^3) |
| INSHT | Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo |
| IPC | Índice de Precios al Consumo |
| VAN | Valor Actual Neto |
| PEM | Presupuesto de Ejecución de Material |
| PEC | Presupuesto de Ejecución por Contrata |
| GG | Gastos Generales |
| BI | Beneficio Industrial |
| FC | Flujo de Caja |
| TIR | Tasa Interna de Rentabilidad |
| EBITDA | Utilidad Antes de Intereses, Impuestos, Depreciaciones y Amortizaciones |
| BAI | Beneficio Antes de Impuestos |
| BDI | Beneficio Después de Impuestos |

Definiciones

Harina: Corresponde al silicato de zirconio obtenido tras la molienda de la arena de zirconio y molturado hasta una granulometría correspondiente al D_{98} de 45 micras.

Micronizado: Corresponde al silicato de zirconio obtenido tras la molienda de la arena de zirconio y molturado hasta una granulometría correspondiente al D_{98} de 10 micras o inferior.

Bigbag: Se trata de un sistema de almacenamiento en sacos de un gran tamaño, normalmente de aproximadamente 1.000 kg.

7. Requisitos de diseño

7.1 Características de la instalación

Para poder dimensionar la planta correctamente es necesario conocer el mercado potencial del producto final, el cual se ha visto durante el punto 4.2 "Situación económica en el mercado mundial".

Tal y como se comenta en ese punto, la empresa para la que se está realizando el proyecto cuenta con una producción anual de 12.000 toneladas de silicato de zirconio en forma de micronizado y 12.000 toneladas en forma de harina. Con dicha información se establece que el consumo total de zirconio es de 33 ton/día para cada una de las dos formas.

La planta de producción de silicato de zirconio cuenta con una superficie total de 30.400 m² y una superficie total de instalaciones de 8.100 m².

La capacidad máxima de tratamiento de los molinos de la planta es de 3.000 t/h de silicato de zirconio superior a 10 micras (harina) y de 800 t/h de silicato de zirconio inferior a 10 micras (micronizado). Por tanto, para satisfacer la demanda de dicho producto va a ser necesaria una instalación de molturación para el producto de harina que trabaje 12 horas diarias y dos instalaciones de molturación para el producto de micronizado que trabajen cada una de ellas durante las 24 horas diarias.

7.2 Equipos

Los equipos necesarios para llevar a cabo las operaciones necesarias son los siguientes:

- Pala de 2 toneladas.
- Carretilla elevadora.
- Tolvas.

- Elevador de cangilones.
- Vibro tamices.
- Cintas dispensadoras.
- Separador magnético.
- Molino de bolas.
- Separador.
- Filtros de mangas.
- Silo dosificador.

7.3 Síntesis del proceso

El proceso de producción de silicato de zirconio en forma de harina o micronizado, es un proceso que se basa principalmente en la operación de molienda.

A continuación, se realiza una explicación del proceso que tiene lugar desde que la materia prima entra en las instalaciones hasta que sale de ellas:

La arena de zircón se recibe en las instalaciones de dos formas, en sacos grandes o "bigbags" de 1.200 kg o a granel, en camiones de 24 toneladas. Esta arena, una vez recibida en las instalaciones y almacenada en los graneros, se dosifica mediante una pala en una tolva. Desde esta tolva, la arena es conducida a través de un vibro tamiz, donde se eliminan todas las impurezas de gran tamaño, hasta un elevador de cangilones. El elevador es el que permite que la arena ascienda hasta la zona superior, y pueda ser introducida en el molino desde una tolva.

Desde la tolva se dosifica material constantemente al molino para mantenerlo en condiciones óptimas, gracias a una cinta que se regula automáticamente dependiendo de la cantidad de material que sale del molino. El material, antes de entrar al molino, pasa a través de un separador magnético, el cual separará todas las partículas magnetizables que se puedan encontrar junto a la arena.

El molino, es elemento clave del proceso, ya que es el encargado de molturar el producto hasta la granulometría deseada, y además es el equipo que más energía va a

consumir de todo el proceso. Esto supone que el resto de equipos que componen el proceso de molturación tienen un consumo energético relativamente bajo en comparación con el molino, lo que supone que no se tienen en cuenta a la hora de decidir, por consumos, cuál es la mejor alternativa respecto a la energía consumida. Esto significa que ha de estar optimizado al máximo y se debe elegir correctamente que tipo de molino se ha de usar.

El material, una vez molturado sale por el molino y asciende mediante una tubería, con ayuda de aire a presión, hasta un tamiz donde se separa cualquier elemento grueso que haya salido del molino, como bolas o fragmentos del revestimiento de las paredes.

A continuación, el producto entra en el separador, donde dependiendo de cuál sea la granulometría deseada, pasará el material a través de él para ir al silo final o volverá a entrar al molino para continuar molturándose.

El material que ha sido clasificado como apto a las condiciones deseadas se almacena en silos o "bigbags" a espera de la venta final del producto.

8. Análisis de soluciones

Para diseñar la instalación de la planta de producción de silicato de zirconio, se ha de elegir, entre las diferentes opciones, la más favorable para las condiciones del proceso, por lo que se van a estudiar los diferentes tipos de equipos que podrían ubicarse en la instalación de molturación de silicato de zirconio.

El principal equipo de la instalación es el molino con el que se realiza la molturación y mediante el cual se llegará a la granulometría deseada.

8.1. Molino

La unidad principal y más importante de la planta, en la que se centra casi todo el consumo energético es el molino, por tanto, es muy importante su correcto diseño y optimización. A continuación, se exponen los diferentes tipos de molinos que se podrían instalar, y cuáles son las características y consumo de cada uno de ellos.

Las diferentes opciones son:

- Molino de martillos:
 - Funcionamiento: Por el impacto de los elementos de molturación, que giran a alta velocidad y por fricción entre las partículas y las partes móviles del molino.
 - D_p producto inicial: De 1-10 mm
 - D_p producto final: De 200-500 μm .
- Molino pendular:
 - Funcionamiento: Por compresión del material sobre una pista de rodamientos sobre la cual circulan unos cilindros de inercia que giran.
 - D_p producto inicial: De 1-100 mm

- D_p producto final: De 10-100 μm .
- Molino de bolas:
 - Funcionamiento: Consta de un tambor, normalmente cilíndrico, que gira a través de su eje y en su interior hay elementos de molturación que actúan sobre las partículas por caída libre, reduciendo el tamaño de partícula por impacto y fricción entre los elementos de molturación y el material.
 - D_p producto inicial: De 100 μm -10 mm
 - D_p producto final: De 1-100 μm .
 - Tipos:
 - En continuo, en discontinuo
 - Vía húmeda, vía seca.

Tras ver todas las opciones disponibles se procede a realizar la *Tabla M.8.1* para ver con qué tipo de molino se esperarían mejores resultados.

Tabla M.8.1. Alternativas para la molienda.

| Molino | Tipo | D_p producto final (μm) | Uso final |
|---------------------|--|----------------------------------|--|
| Molino de martillos | - | 200-500 | No, debido a la obtención de una granulometría final muy gruesa. |
| Molino pendular | - | 40-100 | Sí, pero hasta granulometría de harina |
| Molino de bolas | De bolas discontinuo | 1-100 | No, debido a la imposibilidad de controlar la distribución de tamaño de partícula con exactitud. |
| | Molino de bolas continuo en vía húmeda | 1-100 | Sí |
| | Molino de bolas continuo en vía seca | 1-100 | Sí |

Finalmente, se van a estudiar tres alternativas diferentes. Para ello se va a tomar en consideración dos parámetros, consumo eléctrico y granulometría que se puede obtener con ellos.

8.1.1. Molino pendular

Se trata de un tipo de molino cuya eficacia es muy buena para la molturación de partículas gruesas, llegándose a obtener mediante este molino, una finura de $45 \mu m$, sin embargo, esto supone que únicamente se pueda alcanzar la granulometría de un tipo de los productos, y haga imposible llegar a la granulometría de micronizado (menor a $10 \mu m$). A pesar de esto, se realiza el cálculo de energía consumida para este tipo de granulometrías y con los resultados obtenidos se decidirá en la posibilidad de la implantación de este molino. En la *Figura M.8.1* se observa el esquema de un molino pendular.

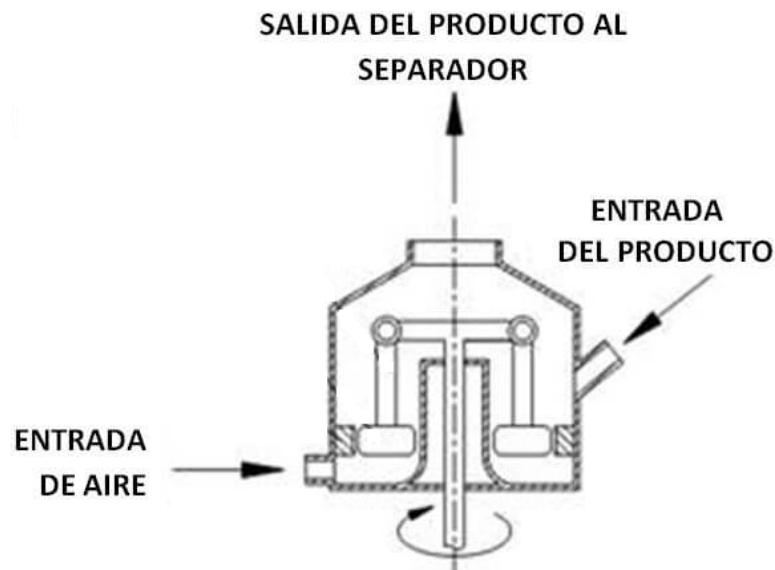


Figura M.8.1. Molino pendular.

Tras la realización de los cálculos, realizado y expuestos en el documento "3. Anexos", punto "1. Anexo I. Cálculos", se obtiene el siguiente consumo energético:

$$E = 95,5 \frac{kW \cdot h}{t}$$

Ec.M.1

8.1.2. Molino de bolas continuo en vía húmeda

El siguiente tipo de molino a analizar, se trata de un molino de bolas continuo en vía húmeda. Los molinos de bolas tienen la ventaja de poder obtener con ellos granulometrías más finas que con el molino pendular, sin embargo, también tienen un mayor consumo energético, ya que la molturación es menos eficiente. Además, en este caso será necesario el uso de un secadero para eliminar el agua de la molturación. En la *Figura M.8.2* se observa el esquema del molino.

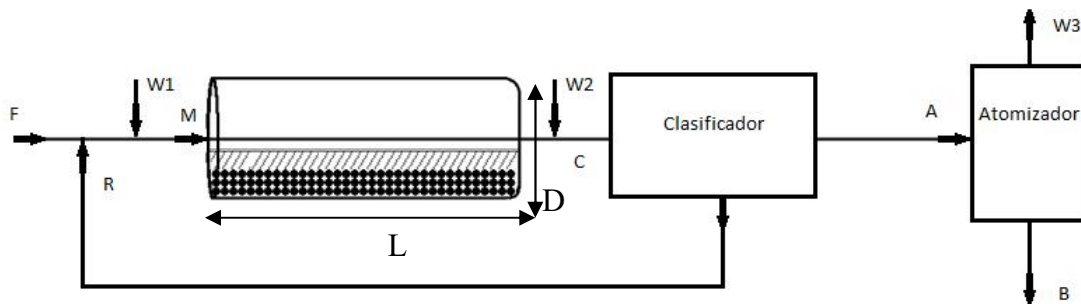


Figura M.8.2. Molino continuo vía húmeda.

De los cálculos realizados y expuestos en el apartado de anexos, se obtiene el consumo energético total, que corresponde a la suma del consumo energético del molino y al del secadero.

$$E_M = 122,53 \frac{kW \cdot h}{t} \quad \text{Ec.M.2}$$

$$E_S = 697,5 \frac{kW \cdot h}{t} \quad \text{Ec.M.3}$$

$$E_T = E_M + E_S = 122,5 + 697,5 = 820 \frac{kW \cdot h}{t} \quad \text{Ec.M.4}$$

8.1.3. Molino de bolas continuo en vía seca

A continuación, se realiza el análisis de un molino de bolas continuo en vía seca, el cual tiene como principal ventaja respecto al molino en vía húmeda que el producto a la salida del molino puede ser almacenado, sin necesidad de realizar un proceso de secado,

sin embargo, la molturación es más complicada que en el molino vía húmeda. En la *Figura M.8.3* se observa el esquema del molino.

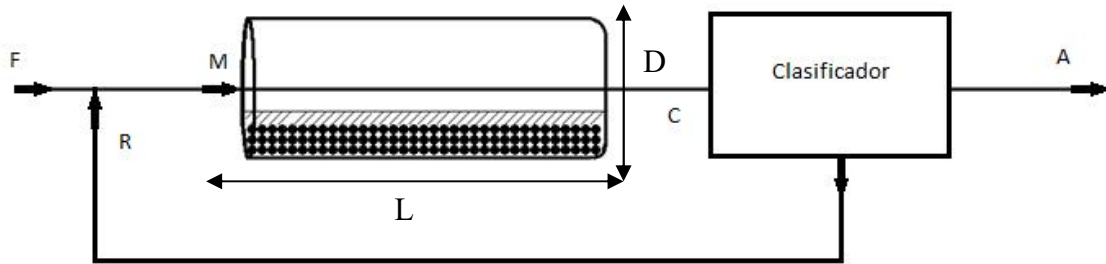


Figura M.8.3. Molino continuo vía seca.

De los cálculos realizados y expuestos en el apartado de anexos, se obtiene el siguiente consumo energético para la producción de silicato de zirconio en forma de harina:

$$E_{Total\ harina} = 153,27 \frac{kW \cdot h}{t} \quad Ec.M.5$$

En el caso que se desee producir silicato de zirconio en forma de micronizado, el consumo energético es el mostrado a continuación.

$$E_{Total\ micronizado} = 613,08 \frac{kW \cdot h}{t} \quad Ec.M.6$$

8.1.4. Pre molturación en molino pendular y molino de bolas continuo en vía seca

Por último, se realiza el análisis de una instalación en conjunto que consta de un molino pendular que se usará en los productos de harina y como etapa pre molturación en la producción de micronizado.

La energía consumida para la producción de harina es la que se ha calculado anteriormente en la *Ec.M.1* para el molino pendular.

$$E_{Total\ harina} = 95,5 \frac{kW \cdot h}{t} \quad Ec.M.7$$

Para la energía consumida para la producción de micronizado se han realizado los cálculos correspondientes en los anexos, obteniéndose como resultado la suma de la energía consumida por el molino pendular y la consumida por el molino de bolas correspondiente a la segunda etapa del proceso.

$$E_{\text{Molino bolas}} = 536,19 \frac{\text{kW}\cdot\text{h}}{t} \quad \text{Ec.M.8}$$

$$E_{\text{Total micronizado}} = 95,5 + 536,19 = 631,7 \frac{\text{kW}\cdot\text{h}}{t} \quad \text{Ec.M.9}$$

8.2. Mejores soluciones

Tras la realización de una primera selección del mejor equipo para el proceso de producción mediante el cálculo energético se realiza la *Tabla M.8.2*.

Tabla M.8.2. Resultados del consume energético.

| Energía ((kW·h)/t) | Harina | Micronizado | Suma |
|--|--------|--------------|-------|
| Molino pendular | 103 | - | - |
| Molino de bolas v.h. | 820 | No calculado | - |
| Molino de bolas v.s. | 153,3 | 613,1 | 766,4 |
| Molino pendular + molino de bolas v.s. | 95,5 | 631,7 | 727,2 |

En vista de los resultados, se decide que el molino de bolas vía húmeda consume una mayor cantidad de energía que los otros tipos de molinos y el beneficio que aporta al obtener un producto granulado y fluido, no es una gran ventaja para este sector, por lo que se descarta este molino, sin la necesidad de realizar el cálculo para el producto micronizado en este molino.

El uso únicamente del molino pendular tampoco resulta ser la opción más correcta debido a que con él, no se llega a granulometrías finas, por lo que no se podría obtener la distribución granulométrica deseada para los productos.

Conforme a las dos soluciones restantes, la solución con un único molino de bolas vía seca respecto a la del uso de una pre molturación inicial en molino pendular, tiene un coste energético superior, pero para poder decidir en cuál es la instalación más óptima energética y productivamente es necesario realizar el coste de la instalación.

Para estudiar esto, es necesario realizar la viabilidad económica de ambas instalaciones, mediante el coste de los equipos detallados en los anexos.

8.3. Análisis del coste de las posibles soluciones.

Se comparan las dos soluciones restantes, respecto al coste de los equipos y el de las bolas de alúmina junto con el coste energético.

Para poder realizar esta comparativa se necesita conocer el precio de los equipos a instalar y de los elementos molturantes, el cual se representa en documento "3. Anexos" y punto "2. Anexo II. Estudio de la viabilidad económica". Además también se conoce la producción total anual de la instalación, la cual es necesaria para el cálculo energético. Finalmente para la realización de un cálculo más preciso, se tiene en cuenta el coste energético total durante los 20 años de vida útil estimada de los equipos de molturación, y considerando que durante esos 20 años, la producción será constante.

Sabiendo que actualmente el coste energético es de 0,13 €/kWh, ya se dispone de toda la información para calcular el coste total de la instalación, tal y como se muestra en la *Tabla M.8.3* y así poder decidir que instalación será la más adecuada económicamente.

Para conocer el coste de los elementos es necesario ir al documento "3.Anexos" y al punto "2.1. Coste de los elementos de la instalación". Respecto al desgaste de las bolas, este está calculado en el punto "2.1.8. Bolas de alúmina", donde se indica que el desgaste de las bolas de alúmina para la molturación de micronizado en molino de bolas es del 0,36% por kilogramo de producto molturado y el desgaste para la producción en la instalación compuesta por molino pendular y de bolas y para la producción de harina en molino de bolas es del 0,27% por kilogramo de producto molturado.

Tabla M.8.3. Coste total de las dos alternativas.

| | | Elementos | Cantidad | Coste elementos (€) | Desgaste bolas (kg/año) | Coste adicional en 20 años (€) |
|-----------------------------------|--------|-----------------------|----------|---------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Molinos de bolas | Harina | Molino bolas vía seca | 1 | 1.000.000 | | |
| | | Bolas alúmina | 30.300 | 45.450 | 32.400 | 1.062.900 |
| | Micro. | Molino bolas vía seca | 2 | 2.000.000 | | |
| | | Bolas alúmina | 60.600 | 90.900 | 43.200 | 1.477.800 |
| Molino pendular + molino de bolas | Harina | Molino pendular | 1 | 750.000 | | |
| | Micro. | Molino pendular | 1 | 750.000 | | |
| | | Molino bolas vía seca | 2 | 2.000.000 | | |
| | | Bolas alúmina | 60.600 | 90.900 | 32.400 | 1.153.800 |

Tabla M.8.3. Continuación. Coste total de las dos alternativas.

| | Prod. anual (t) | Prod. en 20 años (t) | Energía (kW·h/t) | Energía total (kW·h) | Coste energético (€) | Coste total (€) |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Molinos de bolas | 12.000 | 240.000 | 153,3 | 36.792.000 | 4.782.960 | 29.588.730 |
| | 12.000 | 240.000 | 613,1 | 147.144.000 | 19.128.720 | |
| Molino pendular + molino de bolas | 12.000 | 240.000 | 103,0 | 25.200.000 | 3.427.200 | 28.921.148 |
| | 12.000 | 240.000 | 631,7 | 152.568.000 | 20.749.248 | |

Con estos resultados, se obtiene un coste total muy similar en ambas instalaciones, siendo la instalación formada por los molinos pendulares y los molinos de bolas un 2,25% más barata. Sin embargo, esta diferencia en el coste no resulta ser suficiente para delimitar los equipos a instalar, por lo que se decide tomar la decisión en cuanto a optimización de proceso. Para ello, se tienen en cuenta los términos granulométricos, lo que supone que la instalación más eficiente es la que se utilizan los molinos de bolas tanto para micronizado como para harina, ya que permite poder llegar a granulometrías más finas en el caso del molino destinado a harina, en caso de que así el cliente lo desee, mientras que en el caso del molino pendular se estaría trabajando siempre a mínima especificación granulométrica, sin posibilidad de reacción ante cualquier petición del cliente hacia una granulometría inferior.

Con todo esto, se va a diseñar la planta con un molino continuo de bolas destinado para la producción de harina, y dos molinos continuos de bolas destinados para la producción de micronizado.

9. Resultados finales

Una vez se ha determinado el tipo de molino que va a usarse para realizar la instalación de la planta de producción, se van a exponer los equipos a instalar y cuáles son sus características.

Para ello, tal y como se ha seleccionado en el análisis de soluciones, el equipo principal es el molino en continuo, pero también se van a exponer el resto de equipos a instalar, como el separador, las diferentes tolvas y silos, sistema de transporte por cangilones o los tamices y separador magnético. El esquema de la instalación se representa en la *Figura M.9.1.*

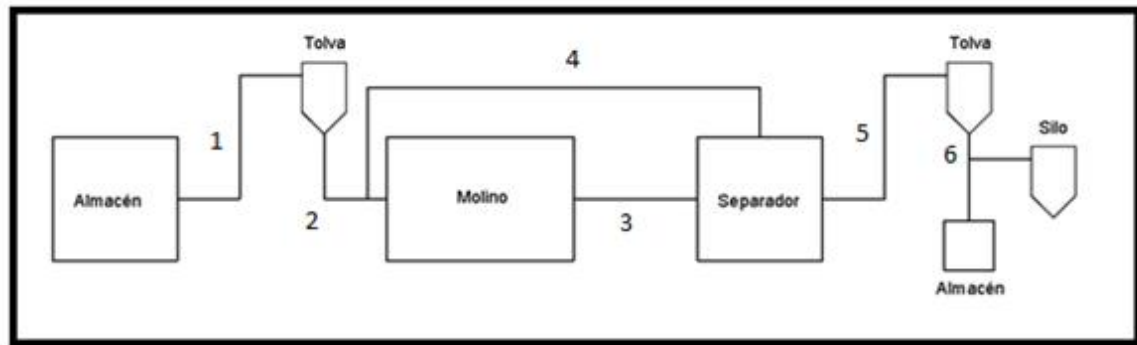


Figura M.9.1. Esquema de la instalación.

9.1. Almacén

El almacén de materias primas es el lugar en el que se almacenará la arena de zirconio hasta su procesado. Esta materia prima, como se ha comentado en los antecedentes, procede de las principales minas de silicato de zirconio, localizadas principalmente en Sudáfrica y Australia, por lo que desde su compra hasta su recepción pueden transcurrir varios meses. Esto implica a que el almacén tenga una capacidad lo suficientemente grande para cubrir una demanda de 3 meses.

Sabiendo que durante un año la demanda es de 24.000 toneladas, se puede estimar que durante 3 meses la demanda será de 6.000 toneladas. Por tanto conociendo la densidad de la arena de zirconio, se puede calcular el volumen que ocupará este producto.

$$Volumen = \frac{\text{demanda 3 meses (kg)}}{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = \frac{6.000.000}{2.600} = 2.307,7 \text{ m}^3 \quad \text{Ec.M.10}$$

Por tanto, el almacén tendrá un volumen útil de 2.500 m^3 , ya que es necesario sobredimensionar este espacio para evitar sobrepasar su capacidad y un volumen total, tomando un factor de seguridad de 2, de 5.000 m^3 , para el correcto desplazamiento de la pala cargadora y camiones de descarga.

9.2. Tolvas

Las tolvas requeridas en el proceso de producción van a tener los mismos requisitos, ya que dos de ellas se encuentran al inicio del proceso y la otra al final, es decir, todas van a necesitar la misma capacidad de producto. Esto se debe a que no se encuentran implicadas en el proceso de recirculación, y por tanto al realizar el balance de materia se obtiene que la entrada y la salida de material es la misma.

Sin embargo esto va a diferir en el tipo de producto a fabricar. En el caso de silicato de zirconio en forma de harina se necesitará una mayor capacidad debido a que la productividad es mayor. Para las tolvas de este proceso se requiere una capacidad mínima igual a la producción que se logra en el molino, es decir, aproximadamente de 3,5 t/h, lo que equivale a un volumen de $1,35 \text{ m}^3$. Para evitar el llenado completo de la tolva ante posibles fallos, se sobredimensiona la tolva con un factor de seguridad de 2, con lo que el volumen final será de $2,7 \text{ m}^3$.

En las tolvas necesarias para el proceso de micronizado, se requiere un menor tamaño, debido a que la producción también es menor, aproximadamente de 900 kg/h, lo que equivale a un volumen de $0,35 \text{ m}^3$, que sobredimensionando el equipo, se obtiene un volumen final de $0,7 \text{ m}^3$.

9.3. Molino de bolas continuo en vía seca

Una vez decidido que el equipo a instalar es este tipo de molino, se procede a describir las condiciones de trabajo del molino para ambos tipos de producción, micronizado y harina.

En el caso de producción de harina, se han realizado los cálculos para el punto "8.1.3. Molino de bolas continuo en vía seca", por lo que únicamente se van a referenciar en la *Tabla M.9.1*.

Para la producción de micronizado se realizan de nuevo los cálculos referidos al molino en vía seca, pero sabiendo que el tiempo de residencia del producto en el interior del molino será mayor que en el caso anterior. Estos cálculos se realizan en el apartado "1. Anexo I. Cálculos" de los Anexos.

Con estos resultados se obtiene la *Tabla M.9.1*.

Tabla M.9.1. Condiciones para la producción de harina y micronizado.

| | Harina | Micronizado |
|----------------------------|---------|-------------|
| Potencia (kW) | 503,11 | 603,11 |
| Energía consumida (kW·h/t) | 153,27 | 613,08 |
| Producción (kg/h) | 3.282,5 | 820,6 |
| Razón recirculación | 1,9 | 9,7 |

Esto supone llevar el producto a una granulometría muy fina es una tarea que requiere un gran consumo energético, debido a que pasa 5 veces más tiempo el material dentro del molino.

9.4. Separador

El separador es el segundo elemento más importante en el proceso de producción, ya que es el encargado de separar la fracción fina de la gruesa, recirculando esta última dentro del molino, para que continúe con su proceso de molienda.

El proceso de separación consiste en alimentar el material por la zona superior del separador y este entra en el interior, donde se encuentran unas ruedas de clasificación en las que el aire de clasificación fluye a través de la rueda en dirección centrípeta. En el proceso, la rueda de clasificación extrae los finos del material de alimentación y los transporta a la descarga de finos. El material grueso rechazado por la rueda clasificadora cae hacia abajo, de vuelta al molino.

La finura del producto se controla mediante el ajuste de la velocidad de la rueda clasificadora mediante un convertidor de frecuencia. La disposición horizontal de la rueda de clasificación significa que incluso los productos "difíciles" pueden procesarse sin problemas.

Mediante este equipo se logra obtener, trabajando a máxima especificación, hasta un producto cuya granulometría respecto a d_{97} es de 2 micras.

9.5. Silos

El producto obtenido del proceso de molturación, se almacena como producto terminado, pero este puede almacenarse tanto en silos como en bigbags que serán colocados en el almacén de producto terminado. En primer lugar se explica cual será la capacidad de los silos para poder llevar a cabo esta acción.

Los silos tendrán la misma capacidad ya sean para harina o micronizado. En ellos se desea que se pueda almacenar producto para abastecer 1 mes de ventas, que llevado a términos de kilos implica poder almacenar 1.000 toneladas de harina y otras 1.000 toneladas de micronizado.

Por tanto, sabiendo que el producto con menor densidad aparente es el micronizado (1.900 kg/m^3), y por tanto será el que mayor volumen ocupe, los silos se dimensionan de acuerdo a sus especificaciones.

$$Volumen = \frac{\text{producción 1 mes (kg)}}{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = \frac{1.000.000}{1.900} = 526 \text{ m}^3 \quad \text{Ec.M.11}$$

Para poder abastecer esta necesidad, se deben colocar 4 silos para cada producto, siendo cada silo de 130 m^3 , y contando con un total de 8 silos.

9.6. Almacén producto terminado

Respecto al almacén de producto terminado, desea tener capacidad para almacenar producto en vista a 1 mes de demanda,, por tanto, al igual que ocurre en el caso de los silos, se desea almacenar 1.000 toneladas de harina y otras 1.000 toneladas de micronizado. Esto proporciona tener un stock final de hasta 2 meses incluyendo producto en silos y en bigbags.

En este caso, el producto se almacena en bigbags de 1.000 kg cada uno, lo que supone un total de 1.000 bigbags por cada tipo de producto.

Considerando el caso más desfavorable, correspondiente al micronizado, se obtiene un volumen de producto en el bigbag de $0,53 \text{ m}^3$. Esto supone que las dimensiones del bigbag son de (1 x 1 x 0,5) metros.

Sin embargo, estos embalajes permiten superponer 2 bigbags, lo que implica que el espacio necesario en cuanto a dimensiones será:

$$\text{Área} = n^{\circ} \text{ bigbags} \cdot \text{área bigbag} = 1.000 \cdot (1 \text{ m}^2) = 1.000 \text{ m}^2 \quad \text{Ec.M.12}$$

A esto hay que considerar que debe haber una separación entre filas, entre bigbags de una misma fila y pasillos para poder transportar los bigbags, por lo que se toma como factor de seguridad el valor 2, dando como resultado un área total de 2.000 m^2 .

9.7. Conducciones

Finalmente se muestran las características de las conducciones que van a transportar los sólidos presentes en la instalación. Tal y como muestra la *Figura M.9.1*, la instalación se puede descomponer en varios tramos.

En este caso, es necesario tener en cuenta que únicamente las conducciones serán necesarias a partir de la salida del molino, en los tramos 3, 4, 5 y 6, ya que los tramos 1 y 2 están formados por el elevador de cangilones y las cintas transportadoras.

- **Tramo 3. Del molino al separador**

El tramo 3 se considera desde la salida del molino, hasta la entrada al separador. Para comprender mejor este tramo, se detalla en la *Figura M.9.2*.

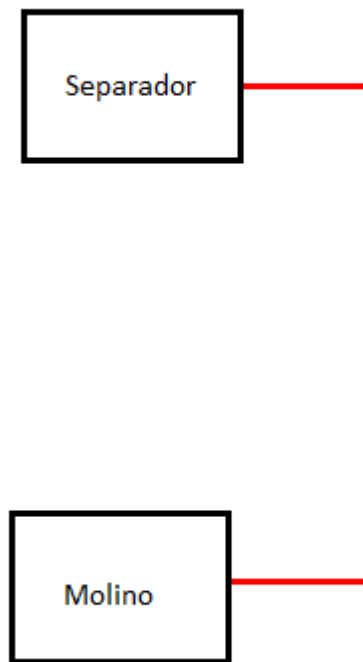


Figura M.9.2. Tramo 3.

Tal y como se observa en el esquema, el tramo 3 está compuesto por dos tramos horizontales de 1 metro cada uno, uno a la salida del molino y otro a la entrada al separador, un tramo vertical de 10 metros y dos codos de gran curvatura, que unen los tramos horizontales con el vertical. Además también existen otros accidentes como es una entrada redondeada.

Para poder realizar la conducción del sólido desde un punto de menor altura, hasta otro punto con una altura superior, es necesario impulsar el sólido mediante una soplante.

Las características presentes en este tramo de conducciones se muestran en la *Tabla M.9.2*.

Tabla M.9.2. Descripción de los elementos del Tramo 3

| Longitud y accidentes del tramo | Unidad | Cantidad |
|---------------------------------|--------|----------|
| Tramo recto | m | 12 |
| Codo de 90° | Ud. | 2 |
| Entrada ligeramente redondeada | Ud. | 1 |
| D para harina | m | 0,381 |
| D para micronizado | m | 0,381 |

- **Tramo 4. Del separador al molino**

El tramo 4 se considera desde la salida inferior del separador de producto grueso, hasta la entrada al molino, correspondiente al material recirculado. Este tramo se detalla en la *Figura M.9.3*.

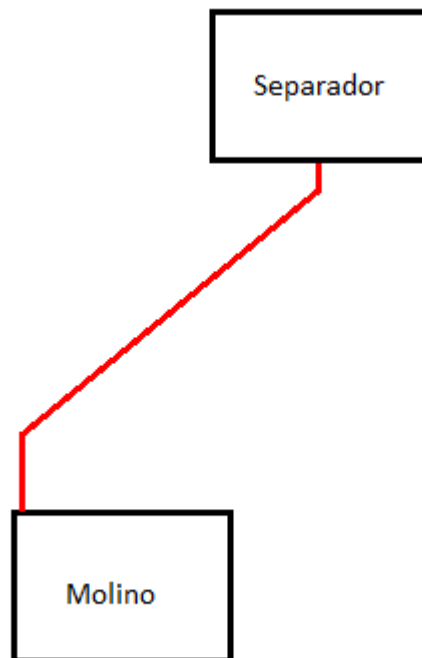


Figura M.9.3. Tramo 4.

El tramo 4 está compuesto por dos tramos verticales de 0,5 y 1 metro respectivamente y un tramo formando un ángulo con la horizontal de 45°, de 7 metros. Los accidentes presentes en este tramo son dos codos de gran curvatura y una entrada redondeada.

En este tramo no será necesario el uso de ninguna soplante debido a que el incremento de alturas es negativo y por tanto, el material cae gracias a la fuerza de la gravedad y al impulso de aire proporcionado por el separador.

Las características presentes en este tramo de conducciones se muestran en la *Tabla M.9.3*.

Tabla M.9.3. Descripción de los elementos del Tramo 4

| Longitud y accidentes del tramo | Unidad | Cantidad |
|---------------------------------|--------|----------|
| Tramo recto | m | 8,5 |
| Codo de 90° | Ud. | 2 |
| Entrada ligeramente redondeada | Ud. | 1 |
| D para harina | m | 0,254 |
| D para micronizado | m | 0,381 |

- **Tramo 5. Del separador a la tolva final**

El tramo 5 se considera desde la salida del separador correspondiente al producto en especificaciones, hasta la tolva final. Este tramo se detalla en la *Figura M.9.4*.

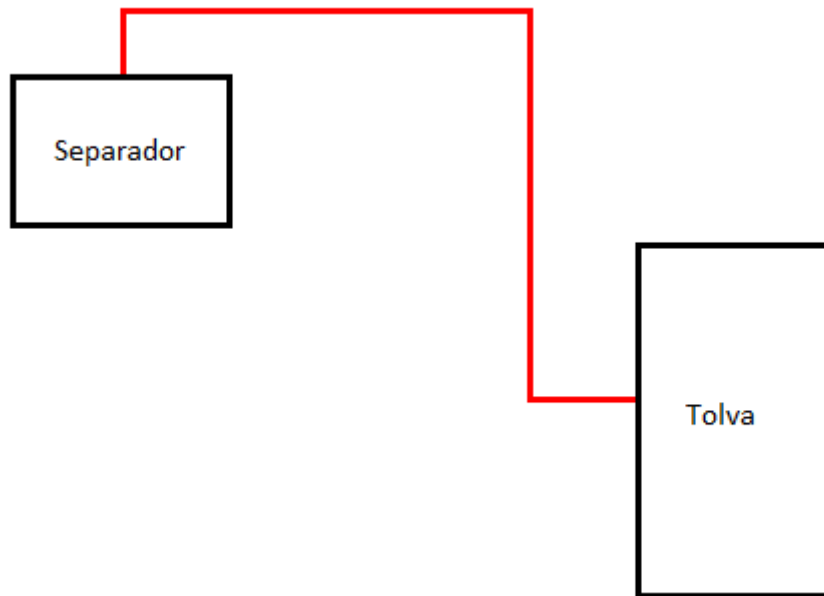


Figura M.9.4. Tramo 5.

El tramo 5 está compuesto por dos tramos verticales, uno de 1 metro correspondiente a la salida del separador y otro de 10 metros. También está compuesto por dos tramos horizontales de 5 y 2 metros. Los accidentes presentes en este tramo son tres codos de gran curvatura y una entrada redondeada.

Para poder realizar la conducción del sólido desde un punto hasta el otro, es necesario de nuevo el uso de aire a presión, generado mediante una soplante.

Las características presentes en este tramo de conducciones se muestran en la *Tabla M.9.4*.

Tabla M.9.4. Descripción de los elementos del Tramo 5

| Longitud y accidentes del tramo | Unidad | Cantidad |
|---------------------------------|--------|----------|
| Tramo recto | m | 18 |
| Codo de 90° | Ud. | 3 |
| Entrada ligeramente redondeada | Ud. | 1 |
| D para harina | m | 0,127 |
| D para micronizado | m | 0,178 |

- **Tramo 6. De la tolva a los silos o bigbags**

El tramo 6 se considera desde la salida de la tolva, hasta los silos o bigbags, en función de la consigna de producción. Este tramo se detalla en la *Figura M.9.5*.

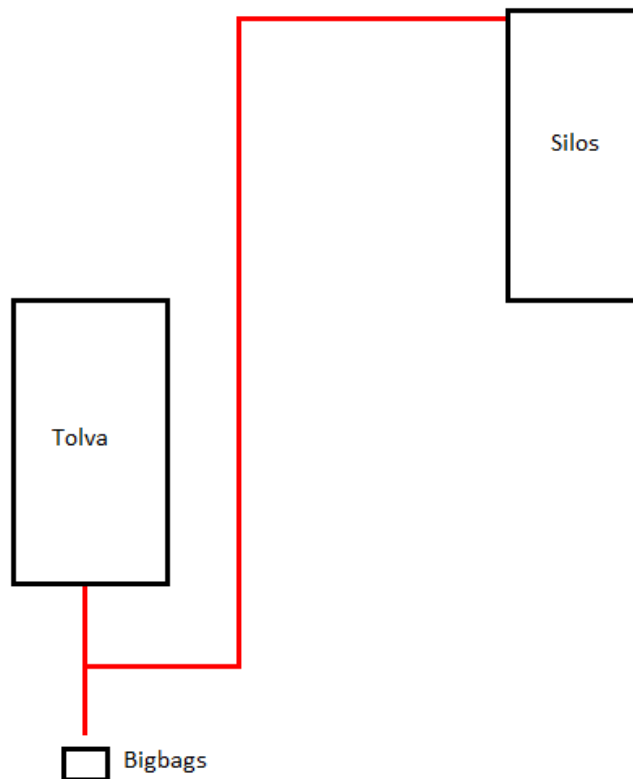


Figura M.9.5. Tramo 6.

El tramo 6 está compuesto por dos tramos horizontales y por dos tramos verticales. El primer tramo vertical corresponde a la salida de producto de la tolva con su posterior continuación hasta la descarga en bigbag, y cuya longitud es de 1 metro, y el segundo tramo vertical corresponde a la ascensión del sólido hasta la altura de los silos, con una longitud total de 20 metros. Respecto a los tramos horizontales, el primero tiene una longitud de 1 metro y el segundo tiene una longitud de 10 metros. Los accidentes presentes en este tramo son dos codos de gran curvatura, una válvula en T y una entrada redondeada.

Para poder realizar la conducción del sólido desde un punto hasta el otro, es necesario de nuevo el uso de aire a presión, generado mediante una soplante.

Las características presentes en este tramo de conducciones se muestran en la *Tabla M.9.5*.

Tabla M.9.5. Descripción de los elementos del Tramo 6

| Longitud y accidentes del tramo | Unidad | Cantidad |
|---------------------------------|--------|----------|
| Tramo recto | m | 32 |
| Codo de 90° | Ud. | 2 |
| Válvula en T | Ud. | 1 |
| Entrada ligeramente redondeada | Ud. | 1 |
| D para harina | m | 0,381 |
| D para micronizado | m | 0,254 |

9.8. Distribución en planta

Tras conocer las características de los equipos y elementos de la instalación, se realiza la distribución en planta de la instalación.

El proyecto aquí presente, va destinada para una instalación de la empresa Chilches Materials, S.A, por tanto la parcela y la infraestructura de la nave ya se encuentran definidas y localizadas en el Polígono Industrial "Els Plans" Sector Z1 en Chilches.

La distribución en planta se muestra más detalladamente en el documento "4. Planos"

En primer lugar se muestra en el plano, donde está localizada la empresa en el territorio español, mediante la *Figura M.9.6*.

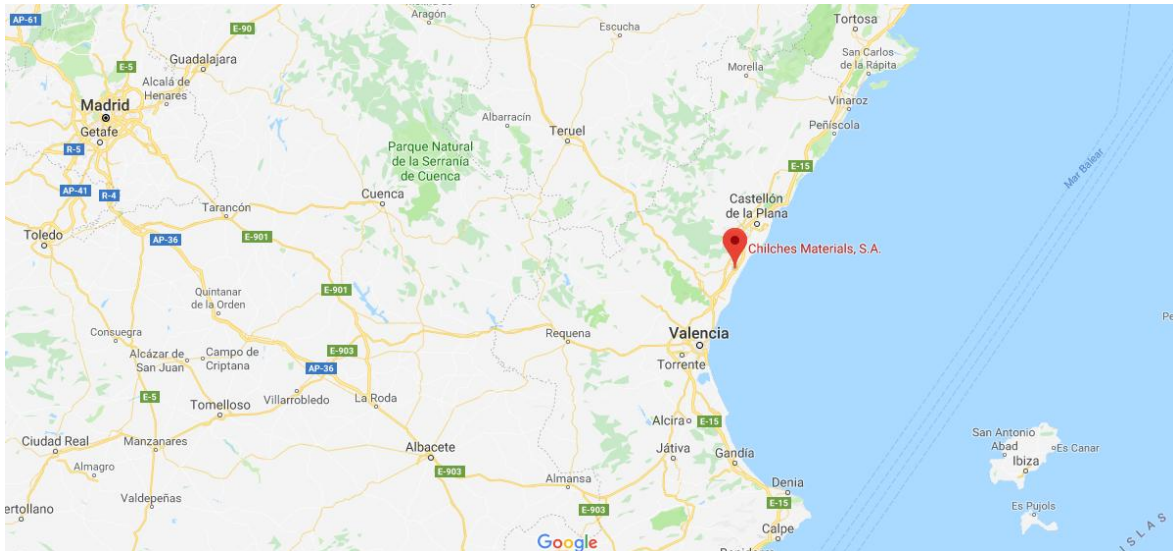


Figura M.9.6. Localización de las instalaciones de Chilches Materials.

Las instalaciones se encuentran localizadas en un punto estratégico con respecto a la recepción y venta del producto ya que se encuentra en una zona equidistante entre el puerto de Castellón y el de Valencia y muy cercana al puerto de Sagunto, lo que facilita la recepción de materia prima por cualquier de los tres puertos.

En la *Figura M.9.7* se muestra la localización más detallada de la empresa, la cual está ubicada entre los términos de Chilches y Moncófar, y muy cercana a la Autovía de Peaje, con un excelente acceso a la misma.

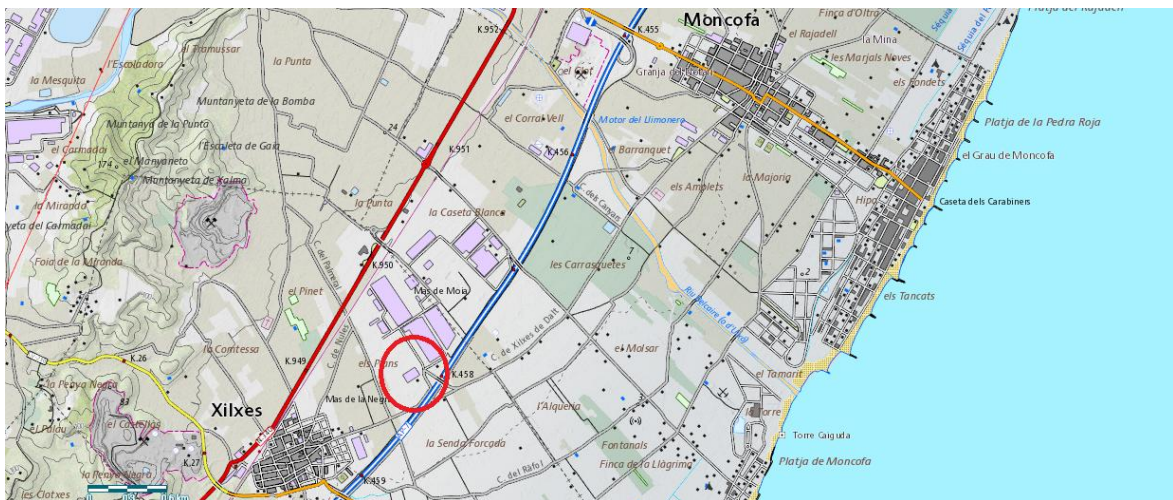


Figura M.9.7. Localización detallada.

Finalmente, se muestra la *Figura M.9.8* y *Figura M.9.9*, en las que se puede observar, según el visor cartográfico de la Generalitat Valenciana, el área total tanto de la

parcela, como de la nave industrial. El área de la parcela total es de aproximadamente 30.400 m^2 y el área de la nave industrial consta de 8.100 m^2 .

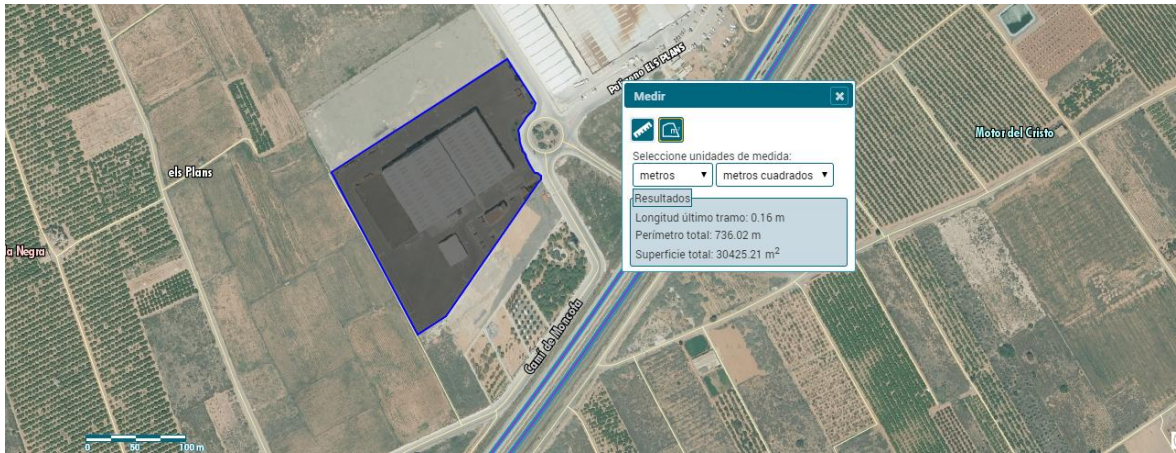


Figura M.9.8. Área de la parcela.



Figura M.9.9. Área de la nave industrial.

10. Planificación

En este punto se expone la planificación de las obras e instalaciones necesarias en la planta para que el proyecto se pueda finalizar en el tiempo requerido con los recursos disponibles. Además, la planificación permite tener una visión de cómo irá evolucionando el proyecto.

Para poder realizar la planificación del proyecto, hay que tener en cuentas las tareas que se van a realizar, su duración y las interrelaciones y dependencias que puede haber entre las distintas tareas.

El proyecto se divide entre las siguientes actividades:

- 1) Obra civil de los equipos – 100 días
- 2) Equipamiento adicional – 50 días
- 3) Conexión entre equipos – 20 días
- 4) Instalación eléctrica y fontanería - 30 días
- 5) Ajuste de los equipos – 20 días
- 6) Puesta en marcha y pruebas – 30 días

En la *Figura M.10.1* se muestran las actividades del proceso y la duración de éstas, y en la *Figura M.10.2* se muestra el diagrama de Gantt, realizado mediante el programa Microsoft Project, que muestra la planificación del proyecto.

| | Modo de | Nombre de tarea | Duración | Comienzo | Fin | Predecesoras |
|---|---------|------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | | Obra civil de los equipos | 100 días | lun 01/07/19 | vie 15/11/19 | |
| 2 | | Equipamiento adicional | 50 días | lun 18/11/19 | vie 24/01/20 | 1 |
| 3 | | Conexión entre equipos | 20 días | lun 27/01/20 | vie 21/02/20 | 2 |
| 4 | | Instalación eléctrica y fontanería | 30 días | lun 24/02/20 | vie 03/04/20 | 3 |
| 5 | | Automatización de los equipos | 20 días | lun 06/04/20 | vie 01/05/20 | 4 |
| 6 | | Puesta en marcha y pruebas | 30 días | lun 04/05/20 | vie 12/06/20 | 5 |

Figura M.10.1. Planificación de actividades del proyecto.

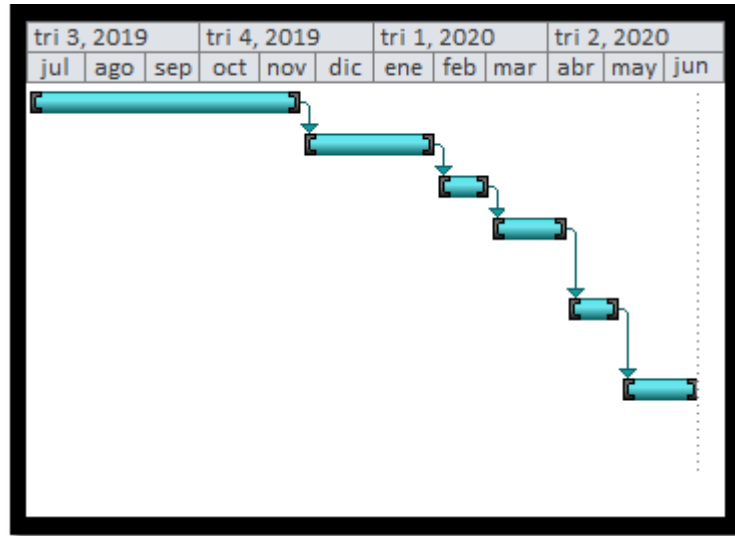


Figura M.10.2. Diagrama de Gantt.

Se ha de tener en consideración que la planificación del proyecto se ha llevado a cabo de una forma aproximada, ya que se debe de tener en cuenta los posibles retrasos por la recepción de los equipos, problemas meteorológicos o cualquier otro impedimento que pudiese surgir.

Una vez realizada la planificación se observa que la duración estimada del proyecto es de 250 días con una jornada laboral de 8 horas diarias. El proyecto se estima que se iniciaría el 1/7/2019 y se prevé que finalice el 12/06/2020.

11. Orden de prioridad de los documentos básicos

Según lo establecido por la norma española UNE 157001-2014, con título “Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un proyecto técnico”, se requiere el siguiente orden de prioridad entre los documentos básicos:

1. Memoria
2. Anexos
3. Planos
4. Pliego de condiciones
5. Estado de mediciones
6. Presupuesto

12. Estudio de la viabilidad económica

En el estudio de viabilidad económica se ordena y se recoge toda la información del proyecto referida a los aspectos monetarios con el objetivo de tomar la decisión de aceptar una de las dos opciones propuestas según las indicaciones de las tasas de rentabilidad.

Este estudio pretende conocer los recursos económicos necesarios para la toma de la decisión final, el coste total de la operación de la planta y la evaluación económica final para la opción elegida para la realización del proyecto.

12.1. Resumen del presupuesto

En este apartado se resumen las partes principales del presupuesto del proyecto que se necesitan para la estimación de la viabilidad económica. Esto se encuentra detallado en el documento "7. Presupuesto".

En la *Tabla M.12.1* se muestran cada una de las partes del PEM y el valor del presupuesto de ejecución de material total.

Tabla M.12.1. Presupuesto de Ejecución del Material (PEM).

| Elementos | Coste (€) |
|--------------------|---------------------|
| Equipos | 4.339.400,00 |
| Conducciones | 6.398,17 |
| Mano de obra | 650.910,00 |
| Total (PEM) | 4.996.708,17 |

Tras conocer esto, se calcula el PEC o Presupuesto de Ejecución por Contrata, el cual corresponde a la suma del PEM; de los Gastos generales, como los gastos debidos a la seguridad, salud, gestión de residuos, mantenimiento de la maquinaria u otros gastos; y del PEC. En el caso de Gastos generales, estos son el 20% del PEC y el beneficio industrial corresponde al 6% del PEM. Esto se muestra en la *Tabla M.12.2*.

Tabla M.12.2. Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC).

| Elementos | Coste (€) |
|----------------------|---------------------|
| PEM | 4.996.708,17 |
| Gastos generales | 999.341,63 |
| Beneficio industrial | 299.802,49 |
| Total (PEC) | 6.295.852,29 |

Para el cálculo final del presupuesto, es necesaria la adición al PEC del impuesto sobre el valor añadido (I.V.A), que es actualmente del 21%. Esto se observa en la *Tabla M.12.3*, en la que se obtiene la inversión inicial a realizar para poder llevar a cabo este proyecto.

Tabla M.12.3. Presupuesto del proyecto.

| Elemento | Coste (€) |
|--------------|---------------------|
| PEC | 6.295.852,29 |
| I.V.A. | 1.322.128,98 |
| Total | 7.617.981,28 |

El presupuesto total del proyecto *Diseño de una planta de producción de silicato de zirconio (ZrSiO₄)* asciende a *SIETE MILLONES SEISCIENTOS DIECISIETE MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y UN EURO CON VEINTIOCHO CÉNTIMOS*.

12.2. Presupuesto de explotación

Mediante la realización del presupuesto de explotación se ve cual será la previsión de la empresa en los próximos años. En este caso se va a detallar la previsión durante un periodo de 10 años. Para realizar estos cálculo se ha de tener en cuenta los siguientes datos actuales.

Índice de Precios al Consumo (IPC) = 1,8 %

Interés nominal = 2,2 %

Interés real = Interés nominal/IPC = 3/2,2 = 1,22 %

12.2.1. Inversión inicial

La inversión inicial del proyecto corresponde al presupuesto del proyecto (PEC + 21% de I.V.A), por lo que se obtiene que la inversión inicial es de un total de 7.617.981,28€

12.2.2. Gastos directos

Los gastos directos de operación corresponden a todo tipo de coste relacionado con la producción, y estos son el coste eléctrico, la materia prima y gastos varios los cuales corresponden al consumo de gasóleo para la pala cargadora y a las bolas de molturación.

Respecto al coste eléctrico, se ha calculado en el documento "3.Anexos" y punto "2.5. Cálculos del consumo eléctrico y de agua", donde se han calculado todos los consumos de los equipos presentes en la instalación a través de la *Tabla A.2.43*.

En cuanto a la materia prima, se ha calculado en el documento "3.Anexos" y punto "2.7. Coste materia prima", mediante la estimación de la demanda de silicato de zirconio anual.

El precio correspondiente a los gastos varios se ha calculado en el documento "3.Anexos" y punto "2.8. Gastos varios".

Para conocer el precio a lo largo de los 20 años, se debe de tener en cuenta un IPC del 1,8%.

Estos gastos se calculan en la *Tabla M.12.4*.

Tabla M.12.4. Gastos directos.

| Gastos directos | | | |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Años | Electricidad (€) | Materia Prima (€) | Gastos varios (€) |
| 2020 | 1.314.229,19 | 31.584.000,00 | 264.272,04 |
| 2021 | 1.337.885,31 | 32.152.512,00 | 130.208,67 |

| Gastos directos | | | |
|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Años | Electricidad (€) | Materia Prima (€) | Gastos varios (€) |
| 2022 | 1.361.967,25 | 32.731.257,22 | 132.552,43 |
| 2023 | 1.386.482,66 | 33.320.419,85 | 134.938,37 |
| 2024 | 1.411.439,34 | 33.920.187,40 | 137.367,26 |
| 2025 | 1.436.845,25 | 34.530.750,78 | 139.839,87 |
| 2026 | 1.462.708,47 | 35.152.304,29 | 142.356,99 |
| 2027 | 1.489.037,22 | 35.785.045,77 | 144.919,41 |
| 2028 | 1.515.839,89 | 36.429.176,59 | 147.527,96 |
| 2029 | 1.543.125,01 | 37.084.901,77 | 150.183,47 |
| Total | 14.259.559,58 | 342.690.555,66 | 1.524.166,47 |

12.2.3. Gastos indirectos

Los gastos indirectos son aquellos que no dependen de la producción, como las nóminas, el agua o la amortización.

El gasto relacionado con las nóminas se ha obtenido con la información dada en el documento "3.Anexos" y punto "2.4. Coste del personal de trabajo". El agua se obtiene del documento "3.Anexos" y punto "2.5. Cálculos del consumo eléctrico y de agua". Y la amortización se calcula en el documento "3.Anexos" y punto "2.3. Amortización de los equipos".

Estos gastos se calculan en la *Tabla M.12.5*.

Tabla M.12.5. Gastos indirectos.

| Gastos indirectos | | | |
|--------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------|
| Años | Nóminas (€) | Agua (€) | Amortización (€) |
| 2020 | 312.200,00 | 9.659,52 | 308.440,00 |
| 2021 | 317.819,60 | 9.833,39 | 313.991,92 |
| 2022 | 323.540,35 | 10.010,39 | 319.643,77 |
| 2023 | 329.364,08 | 10.190,58 | 325.397,36 |
| 2024 | 335.292,63 | 10.374,01 | 331.254,52 |
| 2025 | 341.327,90 | 10.560,74 | 337.217,10 |
| 2026 | 347.471,80 | 10.750,84 | 343.287,00 |
| 2027 | 353.726,29 | 10.944,35 | 349.466,17 |
| 2028 | 360.093,37 | 11.141,35 | 355.756,56 |

| Gastos indirectos | | | |
|--------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|
| Años | Nóminas (€) | Agua (€) | Amortización (€) |
| 2029 | 366.575,05 | 11.341,89 | 362.160,18 |
| Total | 3.387.411,08 | 104.807,06 | 3.346.614,58 |

12.2.4. Ingresos

Los ingresos se obtienen únicamente de la venta del silicato de zirconio (harina y micronizado). Estos productos tienen se han calculado en el documento "3.Anexos" y punto "2.8. Ingresos totales". Los ingresos correspondientes a los próximos 10 años se muestran en la *Tabla M.12.6*.

Tabla M.12.6. Ingresos totales.

| Ingresos | | | | | |
|-----------------|-------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Años | Harina (t) | Micronizado (t) | Precio harina (€/t) | Precio micronizado (€/t) | Ingresos totales (€) |
| 2020 | 12.000 | 12.000 | 1.408,12 | 1.473,92 | 34.584.480,00 |
| 2021 | 12.000 | 12.000 | 1.433,47 | 1.500,45 | 35.207.000,64 |
| 2022 | 12.000 | 12.000 | 1.459,27 | 1.527,46 | 35.840.726,65 |
| 2023 | 12.000 | 12.000 | 1.485,54 | 1.554,95 | 36.485.859,73 |
| 2024 | 12.000 | 12.000 | 1.512,28 | 1.582,94 | 37.142.605,21 |
| 2025 | 12.000 | 12.000 | 1.539,50 | 1.611,44 | 37.811.172,10 |
| 2026 | 12.000 | 12.000 | 1.567,21 | 1.640,44 | 38.491.773,20 |
| 2027 | 12.000 | 12.000 | 1.595,42 | 1.669,97 | 39.184.625,12 |
| 2028 | 12.000 | 12.000 | 1.624,13 | 1.700,03 | 39.889.948,37 |
| 2029 | 12.000 | 12.000 | 1.653,37 | 1.730,63 | 40.607.967,44 |
| Total | | | | | 375.246.158,45 |

Para el cálculo de los ingresos se ha tenido en cuenta para los años posteriores la inflación, que como se ha mostrado anteriormente, es del 1,8 %.

12.2.5. Beneficio bruto

Respecto al beneficio bruto, corresponde a la resta de los ingresos y los gastos totales. Esto se muestra en la *Tabla M.12.7*.

Tabla M.12.7. Beneficio bruto.

| Años | G _I (€) | G _D (€) | Ingresos totales (€) | Bb (€) |
|-------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------|
| 2020 | 630.299,52 | 33.162.501,23 | 34.584.480,00 | 791.679,25 |
| 2021 | 641.644,91 | 33.620.605,98 | 35.207.000,64 | 944.749,75 |
| 2022 | 653.194,52 | 34.225.776,89 | 35.840.726,65 | 961.755,24 |
| 2023 | 664.952,02 | 34.841.840,87 | 36.485.859,73 | 979.066,84 |
| 2024 | 676.921,16 | 35.468.994,01 | 37.142.605,21 | 996.690,04 |
| 2025 | 689.105,74 | 36.107.435,90 | 37.811.172,10 | 1.014.630,46 |
| 2026 | 701.509,64 | 36.757.369,75 | 38.491.773,20 | 1.032.893,81 |
| 2027 | 714.136,82 | 37.419.002,40 | 39.184.625,12 | 1.051.485,90 |
| 2028 | 726.991,28 | 38.092.544,45 | 39.889.948,37 | 1.070.412,64 |
| 2029 | 740.077,12 | 38.778.210,25 | 40.607.967,44 | 1.089.680,07 |
| Total | 6.838.832,72 | 358.474.281,72 | 375.246.158,45 | 9.933.044,01 |

12.2.6. Beneficio neto

En cuanto al beneficio neto, este se calcula mediante la resta de los intereses al beneficio bruto, los cuales, según la agencia tributaria, para sociedades son del 25 %,

Esto se muestra en la *Tabla M.12.8*.

Tabla M.12.8. Beneficio neto.

| Años | Bn (€) |
|--------------|---------------------|
| 2020 | 593.759,44 |
| 2021 | 708.562,31 |
| 2022 | 721.316,43 |
| 2023 | 734.300,13 |
| 2024 | 747.517,53 |
| 2025 | 760.972,85 |
| 2026 | 774.670,36 |
| 2027 | 788.614,42 |
| 2028 | 802.809,48 |
| 2029 | 817.260,05 |
| Total | 7.449.783,01 |

12.2.7. Flujo de caja

Seguidamente se calcula el flujo de caja. Para ello, se le debe de sumar a los beneficios netos la amortización, ya que esta se ha considerado como un gasto para no tener que pagar los intereses correspondientes

Esto se muestra en la *Tabla M.12.9.*

Tabla M.12.9. Flujo de caja.

| Años | FC (€) |
|-------|---------------|
| 2020 | 902.199,44 |
| 2021 | 1.022.554,23 |
| 2022 | 1.040.960,21 |
| 2023 | 1.059.697,49 |
| 2024 | 1.078.772,05 |
| 2025 | 1.098.189,94 |
| 2026 | 1.117.957,36 |
| 2027 | 1.138.080,59 |
| 2028 | 1.158.566,04 |
| 2029 | 1.179.420,23 |
| Total | 10.796.397,59 |

12.2.8. Valor actual neto (VAN)

El VAN es una medida de la rentabilidad absoluta neta que proporciona el proyecto. Según el resultado obtenido, se puede calificar el proyecto de la siguiente manera:

$VAN < 0$ → El proyecto no es rentable para un período de tiempo determinado.

$VAN > 0$ → El proyecto es rentable ya que las ganancias son mayores a los costes.

$VAN = 0$ → El proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.

El VAN se muestra en la *Tabla M.12.10.*

Para el cálculo del VAN se usa la *Ec.M.13*, donde el interés real corresponde al 1,22% (0,0122).

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1+i_r)^n} \quad \text{Ec.M.13}$$

Tabla M.12.10. Valor actual neto.

| VAN (€) |
|--------------|
| 2.587.486,90 |

Respecto a los cálculos, este valor calculado es positivo, lo que significa que la inversión inicial a realizar en el proyecto producirá un beneficio excedente.

12.2.9. Tasa interna de retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. Por tanto se busca realizar aquellos proyectos cuyo TIR sea superior al interés normal del dinero

El TIR se ha calculado igualando el VAN a cero y dando valores al interés, como se observa en la *Tabla M.12.11*.

Tabla M.12.11. Cálculo del TIR.

| i | VAN (€) |
|------|---------------|
| 0,00 | 3.178.416,31 |
| 0,01 | 2.588.118,91 |
| 0,02 | 2.043.091,84 |
| 0,03 | 1.539.181,31 |
| 0,04 | 1.072.665,43 |
| 0,05 | 640.204,68 |
| 0,06 | 238.798,53 |
| 0,07 | -134.252,60 |
| 0,08 | -481.380,70 |
| 0,09 | -804.779,57 |
| 0,1 | -1.106.430,67 |
| 0,11 | -1.388.125,90 |

| i | VAN (€) |
|------|---------------|
| 0,12 | -1.651.487,75 |
| 0,13 | -1.897.987,12 |
| 0,14 | -2.128.959,04 |
| 0,15 | -2.345.616,66 |
| 0,16 | -2.549.063,67 |
| 0,17 | -2.740.305,30 |
| 0,18 | -2.920.258,15 |
| 0,19 | -3.089.758,90 |
| 0,2 | -3.249.572,15 |

Tras obtener los valores del VAN en función del interés, se representan en la *Figura M.12.1*, y se obtiene el interés de retorno (0,065) correspondiente al punto en el que el VAN pasa por 0. Mediante este valor, se calcula, haciendo uso de la *Ec.M.13*, el TIR del proyecto, el cual corresponde a un 6,6%.

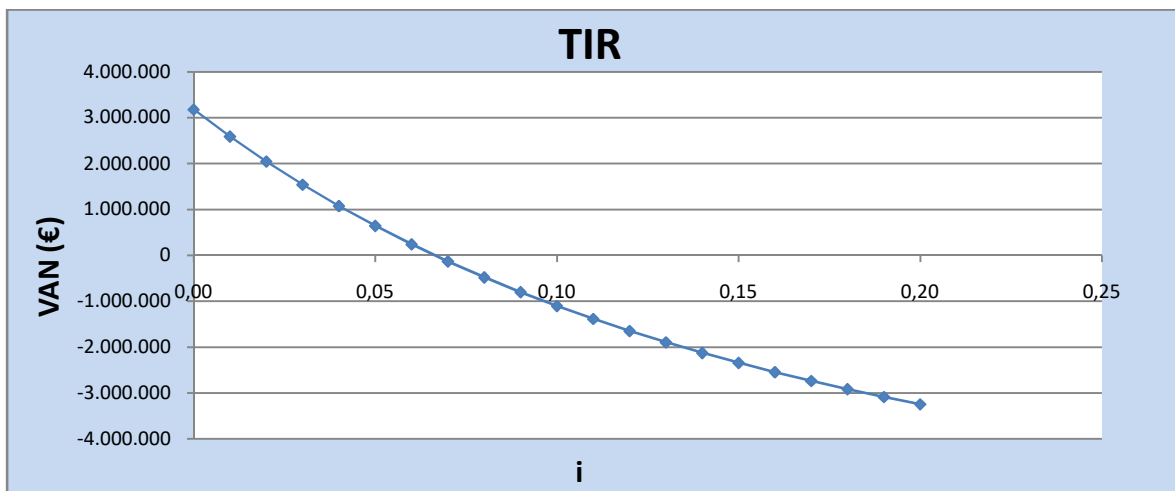


Figura M.12.1. Representación del TIR.

El TIR es superior al interés real que produce el dinero en el mercado de capitales, lo cual quiere decir que será rentable introducir capital en este proyecto.

12.2.10. Periodo de retorno (PR)

El periodo de retorno o pay-back es el tiempo de operación que se necesita para recuperar la inversión inicial realizada en el proyecto, es decir, con este valor se evalúa la

liquidez del proyecto con carácter restrictivo. El periodo de retorno se calcula mediante la *Ec.M.14* y se muestra en la *Tabla M.12.12*.

$$PR = \frac{\text{Inversión inicial}}{FC_{\text{promedio anual}}} \quad \text{Ec.M.14}$$

Tabla M.12.12. Periodo de retorno.

| PR (años) |
|-----------|
| 7,06 |

El periodo de retorno es reducido (7,06 años), lo que significa que se recuperará el dinero invertido en poco tiempo y el proyecto tendrá una alta liquidez.

3. ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|----|
| 1. Anexo I. Cálculos | 3 |
| 1.1. Consumos energéticos | 3 |
| 1.1.1. Molino pendular | 3 |
| 1.1.2. Molino de bolas continuo en vía húmeda..... | 7 |
| 1.1.3. Molino de bolas continuo en vía seca..... | 13 |
| 1.1.4. Molino de bolas continuo en vía seca (micronizado)..... | 16 |
| 1.1.5. Pre molturación en molino pendular y molino de bolas continuo en vía seca | 18 |
| 2. Anexo II. Estudio de la viabilidad económica..... | 21 |
| 2.1. Coste de los elementos de la instalación | 21 |
| 2.1.1. Pala cargadora..... | 21 |
| 2.1.2. Tolvas dispensadoras..... | 22 |
| 2.1.3. Elevador de cangilones..... | 22 |
| 2.1.4. Cintas dispensadoras..... | 22 |
| 2.1.5. Separador magnético | 23 |
| 2.1.6. Molino pendular | 24 |
| 2.1.7. Molino de bolas continuo vía seca | 40 |
| 2.1.8. Bolas de alúmina | 42 |
| 2.1.9. Separador | 47 |
| 2.1.10. Filtros de mangas..... | 49 |
| 2.1.11. Carretilla elevadora | 50 |
| 2.1.12. Silos | 51 |
| 2.1.13. Equipo medición granulometría | 52 |
| 2.1.14. Soplante | 54 |
| 2.1.15. Resumen maquinaria | 56 |
| 2.2. Conducciones y accesorios..... | 57 |

| | |
|---|----|
| 2.3. Amortización de los equipos | 70 |
| 2.4. Coste del personal de trabajo..... | 71 |
| 2.5. Cálculos del consumo eléctrico y de agua..... | 72 |
| 2.6. Coste conducciones | 73 |
| 2.7. Coste materia prima..... | 75 |
| 2.8. Gastos varios | 75 |
| 2.9. Ingresos totales | 76 |
| 3. Estudio de seguridad y salud de impacto ambiental..... | 77 |
| 4. Fichas técnicas y de seguridad de los productos | 83 |
| 4.1. Ficha técnica silicato de zirconio en forma de harina | 83 |
| 4.2. Ficha técnica silicato de zirconio en forma de micronizado | 84 |
| 4.3. Ficha de seguridad del silicato de zirconio..... | 85 |

1. Anexo I. Cálculos

En este apartado se calcula la energía consumida por cada uno de los molinos previamente seleccionados, para, de esta forma, elegir el molino que mejor se adecúe a las necesidades de la planta de producción.

1.1. Consumos energéticos

1.1.1. Molino pendular

En primer lugar, se calcula el consumo eléctrico del molino pendular, sabiendo que este únicamente va a llegar a producir hasta granulometrías de 45 µm, lo que impide llegar a producir micronizado en este tipo de molinos.

En la *Figura A.1.1* se muestran distintos tipos de molino, con sus correspondientes características, y dependiendo del valor obtenido en el cálculo de la potencia del motor, se seleccionará el molino deseado.

| Model | A | B | C | D | N. Rodill. | Ø Pista de Moliso | Cons. (kCal/lt) | Potencia Instalada (kW) | | | |
|----------|------|------|------|------|------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------|--------|-------|
| | | | | | | | | Molino | Filtro | Separ. | Alim. |
| 3/90 | 1550 | 3120 | 1980 | 1690 | 3 | 900 | 650 | 37 | 37 | 5,5 | 3 |
| 3/120 | 1850 | 3490 | 2110 | 2030 | 3 | 1200 | | 45 | 55 | 9 | 3 |
| 4/150 | 2430 | 4200 | 2190 | 2820 | 4 | 1500 | | 132 | 132 | 11 | 3+3 |
| 4/150/RS | 2430 | 4200 | 2190 | 2820 | 4 Maxi | 1500 | | 160 | 132 | 11 | 3+3 |
| 6/190 | 2830 | 4300 | 2300 | 3700 | 6 | 1900 | | 160 | 160 | 11 | 3+3 |
| 6/190/RS | 2830 | 4300 | 2300 | 3700 | 6 Maxi | 1900 | | 200 | 160 | 11 | 3+3 |
| 4/230 | 2950 | 5200 | 2800 | 4000 | 4 | 1900 | | 250 | 315 | 11 | 3+3 |
| 5/230 | 2950 | 5200 | 2800 | 4000 | 5 | 1900 | | 315 | 315 | 11 | 3+3 |
| 6/230 | 2950 | 5200 | 2800 | 4000 | 6 | 1900 | | 315 | 315 | 11 | 3+3 |
| 6/500 | 3350 | 6500 | 3200 | 4500 | 6 | 2500 | | 400 | 450 | 18,5 | 4+4 |

Figura A.1.1. Características del molino pendular. Recuperado de "<http://www.manfredinieschianchi.com/301-01-3ES-molinos-pendular.htm>" el 5/6/2019.

El cálculo de la potencia necesaria para la reducción del tamaño de las partículas es difícil de realizar ya que hay una gran diferencia entre una unidad de molienda ideal y otra

real, principalmente por la notoria diferencia en el tamaño de las partículas a molturar. Esto supone que el cálculo de la potencia del equipo de molturación deba de realizarse en base a la experiencia y para ello se encuentran desarrolladas unas correlaciones empíricas a partir de la teoría de McCabe [McCabe, 1994, p. 76-105], de donde se pueden obtener las siguientes ecuaciones.

La ecuación general para realizar este cálculo se expresa representada en la *Ec.A.1*. Esta ecuación relaciona la energía consumida con la reducción del tamaño de partícula.

$$dE = -C \cdot \frac{dD_p}{D_p^n} \quad \text{Ec.A.1}$$

Esta ecuación se ha desarrollado para casos más sencillos en la *Ec.A.2* o Ley de Kick, donde $n=1$. Esta ecuación relaciona la energía consumida con el cociente de diámetros entre la entrada y la salida.

$$E = C_1 \log \cdot \frac{D_{po}}{D_{pf}} \quad \text{Ec.A.2}$$

En caso de aproximar $n=2$, se desarrolla la *Ec.A.3* o Ley de Rittinger. En esta ecuación, la energía es proporcional a la nueva superficie de partícula generada.

$$E = C_2 \cdot \left(\frac{1}{D_{pf}} - \frac{1}{D_{po}} \right) \quad \text{Ec.A.3}$$

Sin embargo, son pocas las leyes que se pueden aplicar para rangos muy limitados de partículas (Ley de Kick para diámetros de partícula muy grandes y Ley de Rittinger para diámetros de partícula muy finos), siendo su utilidad muy limitada. Un método más realista para estimar la energía consumida es la Ley Bond o *Ec.A.4*. En esta ecuación la n toma un valor de 1,5 y expresa que el trabajo que se requiere para formar partículas de un cierto tamaño a partir una alimentación de producto grueso, es proporcional a la raíz cuadrada de la relación superficie/volumen del producto.

Esta ecuación se calcula en laboratorio, de forma experimental, para distintos tipos de materiales.

$$P = m \cdot 0,3162 \cdot W_i \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{D_{pf}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{po}}} \right) (kW) \quad \text{Ec.A.4}$$

Donde m es el caudal de alimentación del producto en t/h, W_i es el índice de trabajo del producto y D_{pf} y D_{po} son el tamaño de malla del tamiz por los que pasa el 80% de las partículas del producto final y del alimento inicial respectivamente, expresados en milímetros (mm).

Para el cálculo de la energía consumida se divide la potencia del motor entre la productividad del molino, obteniéndose la *Ec.A.5*.

$$E = \frac{P (kW)}{G \left(\frac{t}{h}\right)} \left(\frac{kW \cdot h}{t}\right) \quad \text{Ec.A.5}$$

De la *Ec.A.5* se conoce que el caudal de alimentación del producto es de 3 t/h ya que es la máxima productividad que se desea tener.

Acerca del índice de trabajo (W_i), se tiene la *Figura A.1.2* en la que se establece que el valor para el silicato de zirconio es de 20.

| Material | spec. gravity | Work Index |
|-------------------------|---------------|------------|
| Basalt | 2,91 | 19 |
| Bauxite | 2,20 | 10 |
| Cement clinker | 3,15 | 15 |
| Cement raw material | 2,67 | 10,57 |
| Clay | 2,23 | 7,10 |
| Clay calcined | 1,63 | 11,37 |
| Coal | 1,63 | 11,37 |
| Coke | 1,31 | 17 |
| Corundum | | 30-35 |
| Dolomit | 2,74 | 13 |
| Feldspar | 2,59 | 12 |
| Ferrosilicon | 4,41 | 11 |
| Flint | 2,65 | 29 |
| Fluorspar | 3,01 | 10 |
| Glass | 2,53 | 14 |
| Granite | 2,66 | 11 |
| Gypsum rock | 2,69 | 7 |
| Hematite | 3,55 | 14 |
| Lead ore | 3,45 | 13 |
| Limestone | 2,65 | 14 |
| Magnesite | 3,06 | 12 |
| Magnetite | 3,88 | 11 |
| Malartic | | 9-13 |
| Marble | | 4-12 |
| Moreni | | 9 |
| Phosphate zink | 2,71 | 11 |
| Polash ore | 2,40 | 9 |
| Pyrites | 4,06 | 10 |
| Quartz | 2,65 | 15 |
| Quartzite | 2,68 | 11 |
| Rutile ore | 2,80 | 14 |
| Sandstone | | 11 |
| Silica sand | 2,67 | 16 |
| Silicon carbide | 2,75 | 29 |
| Slag | 2,83 | 11 |
| Slag iron blast furnace | 2,39 | 12,16 |
| Slate | 2,57 | 16 |
| Zinc ore | 3,64 | 12 |
| Zircon sand | | 20 |

Figura A.1.2. Índices de trabajo para diferentes materiales. Recuperado de "DOERING_Mahlkörperformel nach Bond_englisch.indd" el 5/6/2019

El tamaño de partícula deseado es el mínimo capaz de proporcionar este tipo de molino ($D_{98} = 43 \mu\text{m}$) y el tamaño de partícula inicial es $D_{98} = 250 \mu\text{m}$, siendo el D_{98} el valor para el cual el 98% de esas partículas están por debajo de esa granulometría. Por tanto, el diámetro requerido para este cálculo (80%) corresponderá a D_{pf} de $22,2 \mu\text{m}$ ($0,0222 \text{ mm}$) y D_{po} de $200 \mu\text{m}$ ($0,2 \text{ mm}$). Estos cálculos se realizan en la *Figura A.1.3*.

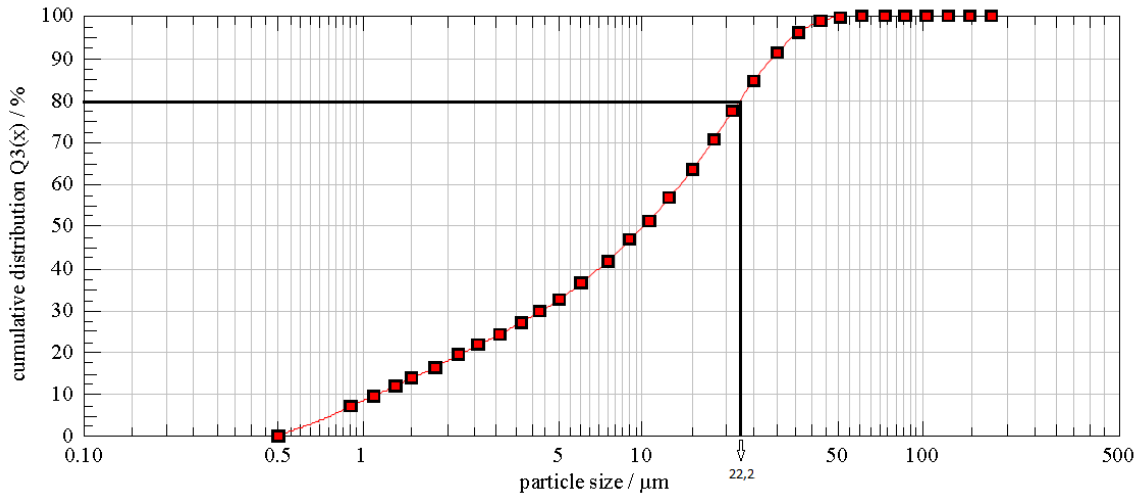


Figura A.1.3. Distribución granulométrica acumulada del silicato de zirconio.

Con estos datos, el cálculo final de la potencia consumida por el motor es:

$$P_M = 3 \cdot 0,3162 \cdot 20 \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{0,0222}} - \frac{1}{\sqrt{0,2}} \right) = 84,9 \text{ kW} \quad \text{Ec.A.6}$$

De acuerdo al valor de potencia obtenido, la opción deseada es el equipo con nombre 4/150, cuya unidad de motor principal tiene una potencia de 132 kW, sin embargo la elección del motor principal va a ser la del equipo con nombre 4/150/RS debido a la elevada dureza de Mohs del producto (7), que dificulta el proceso de molienda.

La suma de todos los elementos del molino (motor principal, motor del ventilador centrífugo, motor del clasificador y elevador) correspondientes al molino a/150/RS de la *Figura A.1.1*, da una potencia total de:

$$P_t = 160 + 132 + 11 + 6 = 309 \text{ kW} \quad \text{Ec.A.7}$$

La energía consumida total será de:

$$E = \frac{P \text{ (kW)}}{G \text{ (t/h)}} = \frac{309}{3} = 103 \frac{\text{kW}\cdot\text{h}}{\text{t}} \quad \text{Ec.A.8}$$

1.1.2. Molino de bolas continuo en vía húmeda

A continuación, se procede a realizar el cálculo de la energía consumida por el molino de bolas continuo en vía húmeda, junto con el clasificador y el atomizador, cuyo esquema se puede observar en la *Figura A.1.4*.

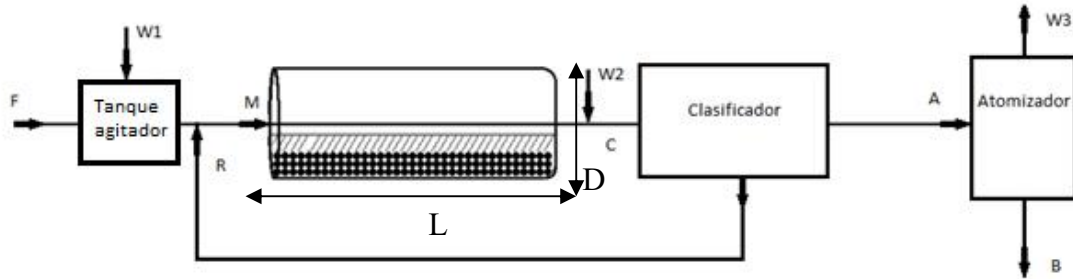


Figura A.1.4. Molino continuo vía húmeda.

La molturación se va a realizar en un molino de bolas, con carga de bolas de alúmina. El tiempo de molturación se ha estimado en función de la experiencia y de la granulometría y producción que se desee obtener. Los datos relacionados con la carga del molino se obtienen según la bibliografía de los apuntes de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”, en la que se encuentra la información dada en la *Tabla A.1.1*.

Tabla A.1.1. Datos para la carga del molino. Recuperado de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”.

| Carga de los molinos de bolas (Molinos continuos) | | |
|---|---------------------------|-----------------------------|
| Caso general de molturación en vía húmeda | Volumen aparente de bolas | 20-30% |
| | Volumen en suspensión | Huecos entre bolas + 20-30% |
| | Huecos | 55% |
| Caso de suspensiones de difícil molturación | Volumen aparente de bolas | 35-40% |
| | Volumen en suspensión | Huecos entre bolas + 5-10% |
| | Huecos | 55% |
| Caso general de molturación en seco | Volumen aparente de bolas | 35-40% |
| | Volumen aparente de polvo | Huecos entre bolas + 5-10% |
| | Huecos | 55% |

Las características de la molturación se dan en la *Tabla A.1.2*.

Tabla A.1.2. Datos necesarios para la molturación.

| Datos molino bolas vía húmeda | |
|--------------------------------|--|
| CS_M (Contenido en sólidos): | 65% |
| Tiempo residencia: | 2,5 horas |
| Dimensiones molino: | $D = 2,7$ m |
| | $L = 7$ m |
| Carga molino: | Volumen aparente de bolas (VAB) = 30% |
| | V. Suspensión = Huecos entre bolas + 15 % |
| | Hueco = 55 % |
| Bolas de alúmina: | $\rho_{bolas} = 3.600$ kg/m ³ |
| | \emptyset_{bolas} (Empaquetamiento) = 0,7 |
| Silicato de zirconio: | $\rho_p = 2.600$ kg/m ³ (en forma de arena) |
| Descarga lateral por rendija: | FC = 0,9 |

Para la realización de todos estos cálculos se va a hacer uso de las fórmulas dadas en la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”, concretamente en el tema 5 y punto 2, "Molinos de bolas".

Con la *Ec.A.9* se calcula la densidad real del producto sabiendo que el contenido en sólidos es del 65%:

$$\rho_{susp} = \frac{100}{\frac{CS}{\rho_p} + \frac{1-CS}{\rho_{agua}}} = \frac{100}{\frac{65}{2.600} + \frac{35}{1.000}} = 1.666,67 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Ec.A.9}$$

Mediante la *Ec.A.10* se calcula el volumen del molino:

$$V_m = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L = \frac{\pi}{4} \cdot 2,7^2 \cdot 7 = 40,08 \text{ m}^3 \quad \text{Ec.A.10}$$

La *Ec.A.11*, obtenida de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos” permite calcular la carga de bolas sabiendo que estas están ocupando un volumen del 30%.

$$CB \text{ (Carga bolas)} = V_m \cdot VAB \cdot \rho_{bolas} \cdot \emptyset_{bolas} \quad \text{Ec.A.11}$$

$$CB \text{ (Carga bolas)} = 40,1 \cdot 0,30 \cdot 3.600 \cdot 0,7 = 30.300 \text{ kg} \quad \text{Ec.A.12}$$

Para el cálculo del volumen del material a molturar se usa la *Ec.A.13*, sabiendo que el material se encontrará entre los huecos de las bolas y en un 15% sobre estas. Esta ecuación se obtiene de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”.

$$VAM \text{ (Vol. aparente material)} = V_m \cdot [MSB + VAB \cdot (1 - \phi_{bolas})] \cdot FC \quad \text{Ec.A.13}$$

$$VAM = 40,1 \cdot [0,15 + 0,30 \cdot (1 - 0,7)] \cdot 0,9 = 8,7 \text{ m}^3 \quad \text{Ec.A.14}$$

Mediante la Ec.A.15, también obtenida de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”, se calcula la carga del material a molturar.

$$CM \text{ (Carga material)} = VAM \cdot \rho_{susp} \cdot CS_M \quad \text{Ec.A.15}$$

$$CM \text{ (Carga material)} = 8,7 \cdot 1.666,67 \cdot 0,65 = 9.378,46 \text{ kg ss} \quad \text{Ec.A.16}$$

Sabiendo cual es el tiempo que el material a molturar se encuentra dentro del molino, se puede calcular la producción.

$$\text{Producción} = \frac{CM}{t_{residencia}} = \frac{9.378,46}{2,5} = 3.751,38 \frac{\text{kg ss}}{\text{h}} \quad \text{Ec.A.17}$$

Con la Ec.A.18, obtenida de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”, se calcula la potencia necesaria por el molino para realizar la molturación.

$$\text{Potencia} = C \cdot M_K \cdot Dm^{\frac{1}{2}} = 7,05 \cdot (30,30 + 9,38) \cdot 2,7^{\frac{1}{2}} = 459,64 \text{ kW} \quad \text{Ec.A.18}$$

Donde:

C: Es función del tipo de llenado y tipo de bolas. Para todos los cálculos realizados, se considera el valor de 7,05. Se obtiene de la *Figura A.1.5*.

M_K: Es el peso del material (bolas + material a molturar) dentro del molino

Dm: Es el diámetro del molino en metros.

| | Nivel de llenado | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| Silex | 9,85 | 9,10 | 8,15 | 7,05 | 5,80 |
| Bolas grandes | 8,85 | 8,15 | 7,35 | 6,30 | 5,20 |
| Bolas pequeñas | 8,50 | 7,85 | 7,05 | 6,10 | 5,00 |

Figura A.1.5. Valor C en función del tipo de llenado y tipo de bolas. Recuperado de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”.

Finalmente, sabiendo cual es la potencia y la productividad, se puede calcular el consumo energético del molino con la Ec.A.19.

$$E_M = \frac{P \text{ (kW)}}{G \text{ (t/h)}} = \frac{C \cdot M_K \cdot D m^{\frac{1}{2}}}{G} = \frac{7,05 \cdot 39,68 \cdot 2,7^{0,5}}{3,75} = 122,53 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{t}} \quad \text{Ec.A.19}$$

Pero para saber el consumo total de este proceso, es necesario calcular el consumo del secadero.

En primer lugar, es necesario conocer la razón de recirculación del clasificador, que viene dada por la Ec.A.20, la cual corresponde al cociente entre el caudal del clasificador que entra al molino (R) y el que llega al secadero (A).

$$\text{Razón de recirculación} = \frac{R}{A} \quad \text{Ec.A.20}$$

Para obtener estos caudales es necesario realizar un balance total de materia, balance al agua del clasificador y balance a la granulometría del clasificador.

$$\text{BT: } C = A + R \quad \text{Ec.A.21}$$

$$\text{B. Agua: } C \cdot \frac{100 - CS_C}{CS_C} = A \cdot \frac{100 - CS_A}{CS_A} + R \cdot \frac{100 - CS_R}{CS_R} \quad \text{Ec.A.22}$$

$$\text{Paso } < 43 \mu\text{m: } C \cdot (1 - Y_C) = A \cdot (1 - Y_A) + R \cdot (1 - Y_R) \quad \text{Ec.A.23}$$

Para la resolución de estas ecuaciones se necesita conocer una serie de valores que se dan a en la *Tabla A.1.3*. El contenido en sólidos (CS) se obtiene experimentalmente de pruebas realizadas en la planta de molturación, y para el porcentaje de producto inferior a 43 micras (Y), se da un valor del 2% correspondiente al error debido a producto que no se clasifique correctamente.

Tabla A.1.3. Datos del clasificador.

| Datos clasificador | |
|---------------------|------------------|
| Producción = A = B: | 3.751,38 kg ss/h |
| CS _C : | 55% |
| CS _A : | 45% |
| CS _R : | ¿? |
| Y _C : | 35% |
| Y _A : | 98% |
| Y _R : | 2% |

Conociendo estos valores, se sustituye en las ecuaciones anteriores:

$$C = 6.252,3 + R \quad \text{Ec.A.24}$$

$$C \cdot \frac{100-50}{50} = 3.751,38 \cdot \frac{100-45}{45} + R \cdot \frac{100-CS_R}{CS_R} \quad \text{Ec.A.25}$$

$$C \cdot (1 - 0,35) = 3.751,38 \cdot (1 - 0,98) + R \cdot (1 - 0,02) \quad \text{Ec.A.26}$$

Se obtiene como resultado:

$$C = 10.913,11 \frac{kg\ ss}{h} \quad \text{Ec.A.27}$$

$$R = 7.161,73 \frac{kg\ ss}{h} \quad \text{Ec.A.28}$$

$$CS_R = 53,09 \% \quad \text{Ec.A.29}$$

Aplicando la *Ec.A.20* a los resultados obtenidos se conoce la razón de recirculación.

$$\text{Razón de recirculación} = \frac{7.161,73}{3.751,38} = 1,9 \quad \text{Ec.A.30}$$

Seguidamente se procede a calcular la cantidad de agua que hay en cada una de las corrientes, sabiendo que el producto entra y sale de la instalación totalmente seco ($W_F=W_B=0$). En primer lugar, se calcula el agua que se añade al molino mediante la *Ec.A.31*.

$$W_1 = W_M - W_R - W_F = M \cdot \frac{100-CS_M}{CS_M} - R \cdot \frac{100-CS_R}{CS_R} \quad \text{Ec.A.31}$$

Sabiendo que $M=C$ y $CS_M=CS_C$, ya que el contenido de material seco no cambia en el molino, se resuelve la ecuación anterior.

$$W_1 = 10.913,11 \cdot \frac{100-65}{65} - 7.161,73 \cdot \frac{100-53,09}{53,09} = 1.531,38 \frac{kg\ agua}{h} \quad \text{Ec.A.32}$$

A continuación, se calcula el agua que se añade al clasificador mediante la *Ec.A.33*.

$$W_2 = W_C - W_M = C \cdot \frac{100-CS_C}{CS_C} - M \cdot \frac{100-CS_M}{CS_M} \quad \text{Ec.A.33}$$

El resultado obtenido es:

$$W_2 = 3.052,62 \frac{kg\ agua}{h} \quad \text{Ec.A.34}$$

Finalmente, se realiza un balance total al agua para saber cuál será la cantidad total de agua a evaporar por el secadero, considerando que el producto sale totalmente seco.

$$W_1 + W_2 + W_F = W_3 + W_B \quad \text{Ec.A.35}$$

$$W_3 = W_1 + W_2 = 4.584 \frac{\text{kg agua a evaporar}}{\text{h}} \quad \text{Ec.A.36}$$

Una vez conocida la cantidad de agua a evaporar, se calcula el calor necesario de vaporización mediante la *Ec.A.39*, conociendo para ello el calor latente de vaporización y el calor específico del agua.

$$L_{vap} = 2.260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \text{Ec.A.37}$$

$$C \text{ (Calor específico del agua)} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{Ec.A.38}$$

$$Q_{tot} = C \cdot W_3 \cdot \Delta T + W_3 \cdot L_{vap} \quad \text{Ec.A.39}$$

Para la realización de este cálculo se conoce que la entrada del producto al atomizador es de 40°C.

$$Q_{tot} = 4,18 \cdot 4.584 \cdot (100 - 40) + 4.584 \cdot 2.260 = 11.509.507,2 \text{ kJ} \quad \text{Ec.A.40}$$

Sabiendo que 3.600 kJ equivalen a 1 kW·h, se calcula la energía consumida por el secadero.

$$E_S = \frac{Q_{tot}(\text{kJ}) \cdot \left(\frac{1 \text{ kW} \cdot \text{h}}{3600 \text{ kJ}}\right)}{W_3} = \frac{11.509.507,2 \cdot \frac{1}{3.600}}{4.584} = 697,5 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{t}} \quad \text{Ec.A.41}$$

$$E_T = E_M + E_S = 122,53 + 697,5 = 820 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{t}} \quad \text{Ec.A.42}$$

1.1.3. Molino de bolas continuo en vía seca

A continuación, se procede a realizar el cálculo de la energía consumida por el molino de bolas continuo en vía seca, junto con el clasificador, cuyo esquema se puede observar en la *Figura A.1.6*.

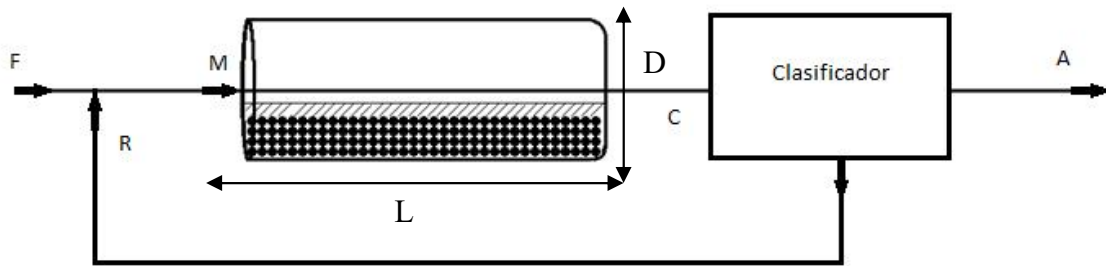


Figura A.1.6. Molino continuo vía seca.

La molturación se va a realizar en un molino de bolas, con carga de bolas de alúmina. Todas las características de la molturación se dan en la *Tabla A.1.4*.

El tiempo de molturación se ha estimado en función de la experiencia y de la granulometría y producción que se desee obtener. Los datos relacionados con la carga del molino se obtienen según la bibliografía de los apuntes de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”.

Tabla A.1.4. Datos necesarios para la molturación.

| Datos molino continuo vía seca | |
|--------------------------------|--|
| CS (Contenido en sólidos): | 100% |
| Tiempo residencia: | 4 horas |
| Dimensiones molino: | D = 2,7 m |
| | L = 7 m |
| Carga molinos: | Volumen aparente de bolas (VAB) = 30% |
| | Volumen aparente de polvo = Huecos entre bolas + 5 % |
| | Hueco = 65 % |
| Bolas de alúmina: | $\rho_{\text{bolas}} = 3.600 \text{ kg/m}^3$ |
| | ϕ_{bolas} (Empaquetamiento) = 0,7 |
| Silicato de zirconio: | $\rho_p = 2.600 \text{ kg/m}^3$ (en forma de arena) |
| Descarga lateral por rendija: | FC = 0,9 |

Mediante la *Ec.A.43* se calcula el volumen del molino, el cual será el mismo que en el caso anterior.

$$V_m = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L = \frac{\pi}{4} \cdot 2,7^2 \cdot 7 = 40,08 \text{ m}^3 \quad \text{Ec.A.43}$$

La Ec.A.44 permite calcular la carga de bolas sabiendo que estas están ocupando un volumen del 30%.

$$CB \text{ (Carga bolas)} = V_m \cdot VAB \cdot \rho_{bolas} \cdot \phi_{bolas} \quad \text{Ec.A.44}$$

$$CB \text{ (Carga bolas)} = 40,1 \cdot 0,30 \cdot 3.600 \cdot 0,7 = 30.300 \text{ kg} \quad \text{Ec.A.45}$$

Para el cálculo del volumen del material a molturar se usa la Ec.A.46, sabiendo que el material se encontrará entre los huecos de las bolas y en un 5% sobre estas.

$$VAM \text{ (Vol. aparente material)} = V_m \cdot [MSB + VAB \cdot (1 - \phi_{bolas})] \cdot FC \quad \text{Ec.A.46}$$

$$VAM = 40,08 \cdot [0,05 + 0,30 \cdot (1 - 0,7)] \cdot 0,9 = 5,05 \text{ m}^3 \quad \text{Ec.A.47}$$

Mediante la Ec.A.48 se calcula la carga del material a molturar.

$$CM \text{ (Carga material)} = VAM \cdot \rho_{mat} \cdot CS \quad \text{Ec.A.48}$$

$$CM \text{ (Carga material)} = 5,05 \cdot 2.600 \cdot 1 = 13.130 \text{ kg} \quad \text{Ec.A.49}$$

Sabiendo cual es el tiempo que el material a molturar se encuentra dentro del molino, se puede calcular la producción.

$$\text{Producción} = \frac{CM}{t_{residencia}} = \frac{13.130}{4} = 3.282,50 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Ec.A.50}$$

Con la Ec.A.51 se calcula la potencia necesaria por el molino para realizar la molturación.

$$\text{Potencia} = C \cdot M_K \cdot Dm^{\frac{1}{2}} = 7,05 \cdot (30,30 + 13,13) \cdot 2,7^{\frac{1}{2}} = 503,11 \text{ kW} \quad \text{Ec.A.51}$$

Finalmente, sabiendo cual es la potencia y la productividad, se puede calcular el consumo energético del molino con la Ec.A.52.

$$E = \frac{P \text{ (kW)}}{G \text{ (t/h)}} = \frac{C \cdot M_K \cdot Dm^{\frac{1}{2}}}{G} = \frac{7,05 \cdot 43,43 \cdot 2,7^{0,5}}{3,28} = 153,27 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{t}} \quad \text{Ec.A.52}$$

Este es el consumo final del proceso de molienda vía seca, ya que no es necesaria la instalación del secadero, pero para tener constancia de la razón de recirculación del clasificador y los caudales de todas las corrientes se realizan los siguientes cálculos. Para

estos cálculos se vuelve a hacer uso de las ecuaciones *Ec.A.20*, *Ec.A.21* y *Ec.A.23*, realizando los balances correspondientes.

Para la resolución de estas ecuaciones se necesita conocer una serie de valores que se dan a en la *Tabla A.1.5*. Se obtiene experimentalmente que el porcentaje de producto inferior a 43 micras (Y), un valor del 2%, el cual corresponde al error debido a producto que no se clasifica correctamente.

Tabla A.1.5. Datos del clasificador.

| Datos clasificador | |
|--------------------|-----------------|
| Producción = A: | 3.282,5 kg ss/h |
| Y_C : | 35% |
| Y_A : | 98% |
| Y_R : | 2% |

Conociendo estos valores, se sustituye en las ecuaciones:

$$C = 3.282,5 + R \quad \text{Ec.A.53}$$

$$C \cdot (1 - 0,35) = 3.282,5 \cdot (1 - 0,98) + R \cdot (1 - 0,02) \quad \text{Ec.A.54}$$

Se obtiene como resultado:

$$C = 9.549,0 \frac{kg\ ss}{h} \quad \text{Ec.A.55}$$

$$R = 6.266,5 \frac{kg\ ss}{h} \quad \text{Ec.A.56}$$

Aplicando la *Ec.A.57* a los resultados obtenidos se conoce la razón de recirculación.

$$\text{Razón de recirculación} = \frac{6.266,5}{3.282,5} = 1,9 \quad \text{Ec.A.57}$$

1.1.4. Molino de bolas continuo en vía seca (micronizado)

Los cálculos correspondientes para la producción de micronizado en el molino únicamente varían respecto a la producción de harina en el tiempo de residencia dentro del molino, es decir hay una mayor recirculación del material en el clasificador y esto

implica un mayor consumo en el molino. Para este producto el tiempo de residencia es de 16 horas.

Por lo tanto, mediante la Ec.A.58 se calcula la producción por hora de producto.

$$Producción = \frac{CM}{t_{residencia}} = \frac{13.130}{16} = 820,6 \frac{kg}{h} \quad Ec.A.58$$

Con la Ec.A.59 se calcula la potencia necesaria por el molino para realizar la molturación.

$$Potencia = C \cdot M_K \cdot Dm^{\frac{1}{2}} = 7,05 \cdot (30,30 + 13,13) \cdot 2,7^{\frac{1}{2}} = 503,11 kW \quad Ec.A.59$$

Finalmente, sabiendo cual es la potencia y la productividad, se puede calcular el consumo energético del molino con la Ec.A.60.

$$E = \frac{P (kW)}{G (t/h)} = \frac{C \cdot M_K \cdot Dm^{\frac{1}{2}}}{G} = \frac{7,05 \cdot 43,43 \cdot 2,7^{0,5}}{0,82} = 613,08 \frac{kW \cdot h}{t} \quad Ec.A.60$$

Este es el consumo final del proceso de molienda vía seca, ya que no es necesaria la instalación del secadero, pero para tener constancia de la razón de recirculación del clasificador y los caudales de todas las corrientes se realizan los siguientes cálculos. Para estos cálculos se vuelve a hacer uso de las ecuaciones Ec.A.20, Ec.A.21 y Ec.A.23, realizando los balances correspondientes.

Para la resolución de estas ecuaciones se necesita conocer una serie de valores que se dan a en la Tabla A.1.6. Se obtiene experimentalmente que el porcentaje de producto inferior a 10 micras (Y), un valor del 2%, el cual corresponde al error debido a producto que no se clasifica correctamente.

Tabla A.1.6. Datos del clasificador.

| Datos clasificador | |
|--------------------|---------------|
| Producción = A: | 820,6 kg ss/h |
| Y _C : | 11% |
| Y _A : | 98% |
| Y _R : | 2% |

Conociendo estos valores, se sustituye en las ecuaciones:

$$C = 820,6 + R \quad Ec.A.61$$

$$C \cdot (1 - 0,11) = 820,6 \cdot (1 - 0,98) + R \cdot (1 - 0,02) \quad \text{Ec.A.62}$$

Se obtiene como resultado:

$$C = 8.753,1 \frac{kg\ SS}{h} \quad \text{Ec.A.63}$$

$$R = 7.932,5 \frac{kg\ SS}{h} \quad \text{Ec.A.64}$$

Aplicando la *Ec.A.65* a los resultados obtenidos se conoce la razón de recirculación.

$$\text{Razón de recirculación} = \frac{7.932,5}{820,6} = 9,7 \quad \text{Ec.A.65}$$

1.1.5. Pre molturación en molino pendular y molino de bolas continuo en vía seca

Como con el molino pendular no es posible llegar a producir granulometrías suficientemente finas para productos micronizados, es necesaria una segunda etapa de molturación, la cual se realiza con el molino de bolas continuo vía seca. Esta molturación se realiza del mismo modo que en el caso en el que solo se usa este molino, pero con la peculiaridad de que ahora el molino de bolas es de un tamaño inferior. A continuación, se procede a realizar el cálculo de la energía consumida por este sistema, junto con el clasificador.

Para la primera etapa, la pre molturación en el molino pendular, el consumo es el mismo que el calculado para el caso en el que únicamente se encuentra este equipo, por tanto la potencia correspondiente es la que aparece en la *Ec.A.66*.

$$P_{\text{molino pendular}} = 286,5\ kW \quad \text{Ec.A.66}$$

Por tanto la energía consumida en la primera etapa corresponde a:

$$E = \frac{P\ (kW)}{G\ (t/h)} = \frac{286,5}{3} = 103 \frac{kW \cdot h}{t} \quad \text{Ec.A.67}$$

En la segunda etapa, se realiza la molturación en el molino de bolas de alúmina. La principal diferencia respecto al proceso donde solo se encuentra el molino de bolas es que en este caso el producto, ya no entra a la segunda etapa en forma de arena, sino en forma de harina (45 micras) lo que implica que las partículas del producto van a compactarse

peor y la densidad aparente del producto disminuye hasta un valor de 2.100 kg/m³. Además al ser un producto más fino, el tiempo de residencia necesario dentro del molino también se ve reducido, pasando de las 16 horas anteriores a las 12 horas. Todas las características de la molturación se dan en la *Tabla A.1.7*. Los datos relacionados con la carga del molino se obtienen según la bibliografía de los apuntes de la asignatura EQ1033: “Operaciones Básicas de Tratamiento de Sólidos”.

Tabla A.1.7. Datos necesarios para la molturación.

| Datos molturación vía seca tras molino pendular | |
|---|--|
| CS (Contenido en sólidos): | 100% |
| Tiempo residencia: | 12 horas |
| Dimensiones molino: | D = 2,7 m |
| | L = 7 m |
| Carga molinos: | Volumen aparente de bolas (VAB) = 30% |
| | Volumen aparente de polvo = Huecos entre bolas + 5 % |
| | Hueco = 65 % |
| Bolas de alúmina: | $\rho_{bolas} = 3.600 \text{ kg/m}^3$ |
| | \emptyset_{bolas} (Empaquetamiento) = 0,7 |
| Silicato de zirconio: | $\rho_p = 2.100 \text{ kg/m}^3$ (en forma de harina) |
| Descarga lateral por rendija: | FC = 0,9 |

Mediante la *Ec.A.68* se calcula el volumen del molino.

$$V_m = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L = \frac{\pi}{4} \cdot 2,7^2 \cdot 7 = 40,08 \text{ m}^3 \quad \text{Ec.A.68}$$

La *Ec.A.69* permite calcular la carga de bolas sabiendo que estas están ocupando un volumen del 30%.

$$CB \text{ (Carga bolas)} = V_m \cdot VAB \cdot \rho_{bolas} \cdot \emptyset_{bolas} \quad \text{Ec.A.69}$$

$$CB \text{ (Carga bolas)} = 40,1 \cdot 0,30 \cdot 3.600 \cdot 0,7 = 30.300 \text{ kg} \quad \text{Ec.A.70}$$

Para el cálculo del volumen del material a molturar se usa la *Ec.A.71*, sabiendo que el material se encontrará entre los huecos de las bolas y en un 5% sobre estas.

$$VAM \text{ (Vol. aparente material)} = V_m \cdot [MSB + VAB \cdot (1 - \emptyset_{bolas})] \cdot FC \quad \text{Ec.A.71}$$

$$VAM = 40,08 \cdot [0,05 + 0,30 \cdot (1 - 0,7)] \cdot 0,9 = 5,05 \text{ m}^3 \quad \text{Ec.A.72}$$

Mediante la Ec.A.73 se calcula la carga del material a molturar.

$$CM \text{ (Carga material)} = VAM \cdot \rho_{mat} \cdot CS \quad \text{Ec.A.73}$$

$$CM \text{ (Carga material)} = 5,05 \cdot 2.100 \cdot 1 = 10.605 \text{ kg} \quad \text{Ec.A.74}$$

Sabiendo cual es el tiempo que el material a molturar se encuentra dentro del molino, se puede calcular la producción.

$$\text{Producción} = \frac{CM}{t_{residencia}} = \frac{10.605}{12} = 883,75 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad \text{Ec.A.75}$$

Con la Ec.A.76 se calcula la potencia necesaria por el molino para realizar la molturación.

$$P_{\text{Molino bolas}} = C \cdot M_K \cdot Dm^{\frac{1}{2}} = 7,05 \cdot (30,30 + 10,61) \cdot 2,7^{\frac{1}{2}} = 473,86 \text{ kW} \quad \text{Ec.A.76}$$

Finalmente, sabiendo cual es la potencia y la productividad, se puede calcular el consumo energético del molino con la Ec.A.77.

$$E_{\text{Molino bolas}} = \frac{P \text{ (kW)}}{G \text{ (t/h)}} = \frac{C \cdot M_K \cdot Dm^{\frac{1}{2}}}{G} = \frac{7,05 \cdot 40,91 \cdot 2,7^{0,5}}{0,884} = 536,19 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{t}} \quad \text{Ec.A.77}$$

Una vez conocida la potencia y el consumo para cada una de las dos etapas, se calcula el consumo final.

$$E_{\text{Total}} = 95,5 + 536,19 = 631,7 \frac{\text{kW} \cdot \text{h}}{\text{t}} \quad \text{Ec.A.78}$$

2. Anexo II. Estudio de la viabilidad económica

2.1. Coste de los elementos de la instalación

2.1.1. Pala cargadora

El elemento empleado para cargar la tolva con el material es una pala con una capacidad de carga mínima de 4 toneladas como se ve en la *Figura A.2.1*, lo que equivale, sabiendo que la densidad del silicato de zirconio es 2,6 g/cm³, a un volumen de 1,6 m³. Las características se exponen en la *Tabla A.2.1*.

Tabla A.2.1. Pala cargadora.

| Pala cargadora | |
|-------------------------------------|--------------------|
| Modelo | Hyundai HL 760-9 A |
| Capacidad cuchara (m ³) | 3,3 |
| Consumo (L/100km) | 20 |
| Precio (€) | 100.000 |

Para el cálculo del consumo de gasóleo durante un año, se aproxima que la pala recorre unos 300 km mensuales, lo que equivale a 3.600 km/año y consume 20L/100km, por tanto durante un año consume 720 L. Sabiendo que actualmente el precio del gasóleo A es de 1,232 €/L (www.dieselogasolina.com) se obtiene un precio correspondiente al consumo de 887,04 €/año.



Figura A.2.1.Pala cargadora

2.1.2. Tolvas dispensadoras

En la instalación se encuentran tres tolvas dispensadoras, una para la descarga de la arena de zirconio en el almacén de materia prima, otra encargada de dosificar la materia prima al molino y la última cuya función es dosificar el material molturado a los silos de almacenamiento o bigbags. Estas tolvas han de ser capaces de proporcionar como mínimo un volumen de $1,6 \text{ m}^3$ de producto por hora. Las características técnicas vienen dadas en la *Tabla A.2.2*.

Tabla A 2.2.Tolvas dispensadoras.

| Tolvas dispensadoras | |
|--|---|
| Capacidad proceso harina (m^3) | 2,7 |
| Capacidad proceso micronizado (m^3) | 0,7 |
| Precio (€) | 5.000 ($2,7 \text{ m}^3$) y 2.000 ($0,7 \text{ m}^3$) |

2.1.3. Elevador de cangilones

El elevador de cangilones es el encargado de subir el material desde la primera tolva hasta la tolva situada en la parte superior del proceso. Las características de este elevador se muestran en la *Tabla A.2.3*.

Tabla A.2.3. Elevador de cangilones.

| Elevador de cangilones. | |
|-------------------------------------|-------|
| Capacidad (m^3/h) | 18 |
| Altura elevadora (m) | 20 |
| Potencia (kW) | 15 |
| Precio (€) | 3.500 |

2.1.4. Cintas dispensadoras

Las características de las cintas utilizadas en la planta de molturación aparecen explicadas en la *Tabla A.2.4*.

Tabla A.2.4. Cintas dispensadoras.

| Cintas dispensadoras | |
|-------------------------|----------|
| Dimensiones (m) (L x W) | 5 x 0,95 |
| Flujo (t/h) | 10 |
| Potencia (kW) | 4,5 |
| Precio (€) | 1.800 |

2.1.5. Separador magnético

El separador magnético será el encargado de separar las impurezas imantables que se encuentren en la arena de zirconio antes de que esta entre en el molino, cuyo esquema se puede observar en la *Figura A.2.2*.

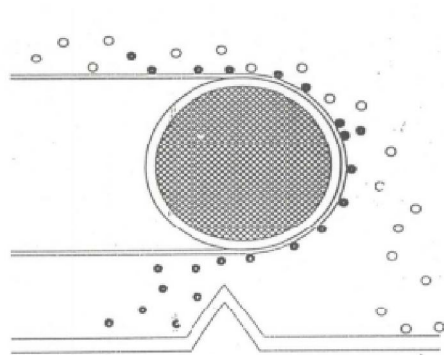


Figura A.2.2. Separador magnético.

Además, las características del separador magnético son las mostradas en la *Tabla A.2.5*.

Tabla A.2.5. Separador magnético.

| Separador magnético | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Modelo | Separador magnético SFP-TPAIG |
| Potencia (kW) | 3 |
| Inducción magnética (Gauss) | 15.000 |
| Precio (€) | 50.000 |

A continuación se adjuntan la información dada por el proveedor.

SEPARADOR MAGNETICO DE TAMBOR DE ENVOLVENTE ROTATIVA DE ALTA INTENSIDAD Y ALTO GRADIENTE (TIPO SFP-TPAIG)

Han sido diseñados para extraer las piezas ferromagnéticas que, ocasionalmente, se encuentran entre el material que circula por dicho tambor.

Categorías: **Alta intensidad**, **Limpieza**, **Concentración y Purificación de Minerales**



DESCRIPCIÓN

Han sido diseñados para extraer las piezas ferromagnéticas que, ocasionalmente, se encuentran entre el material que circula por dicho tambor.

Dispone de un circuito fijo, formado por un banco de imanes de Neodimio en circuito de alta intensidad y muy alto gradiente, y regulable mediante el soporte contrario al accionamiento y de una envolvente giratoria accionada directamente por el eje de accionamiento.

El producto se deposita o cae sobre la envolvente del tambor.

Se utilizan para la depuración de productos finos con gran exigencia y en particular, para tratamiento de chatarras de grano pequeño y extracción de aceros inoxidable después del mecanizado, corte, etc.

Opcionalmente, se puede suministrar montado en cajón distribuidor con motorreductor, tolván de entrada, pantalón de salida de productos clarificados, etc.

También de forma opcional y según el tipo de aplicación, pueden suministrarse máquinas separadoras formadas por uno o más tambores montadas sobre bastidor con alimentador vibrante, motorreductor, etc.

FUNCIONAMIENTO:

Las piezas ferromagnéticas que se encuentren entre el material que circula por el tambor son atraídas por el sistema magnético, quedando sobre la envolvente del tambor y siendo arrastrado por ésta en su giro hasta quedar fuera de la influencia del campo magnético.

En este instante, se desprendería sufriendo una desviación suficiente para ser cogido por el tabique divisor colocado al efecto.

El material no magnético sigue su dirección sin sufrir desviación.

2.1.6. Molino pendular

El molino pendular es el equipo que se encarga de realizar la primera molturación hasta un tamaño de partícula más fino, cuyo esquema se puede observar en la *Figura A.2.3*.



Figura A.2.3. Molino pendular.

En la *Tabla A.2.6* se muestran las características del molino pendular y a continuación se adjunta el catálogo ofrecido por el proveedor.

Tabla A.2.6. Molino pendular.

| Molino pendular | |
|--------------------------|----------|
| Modelo | MTM100 |
| Número de rodillos (Ud.) | 6 |
| Producción (t/h) | 3-8 |
| Rango (μm) | Hasta 45 |
| Potencia (kW) | 286,5 |
| Precio (€) | 750.000 |



MANFREDINI & SCHIANCHI



MOLINOS PENDULAR MOLOMAX



MoloMax

WWW.MANFREDINESCHIANCHI.COM

MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

Via G.M. Dallari, 2 - 41048 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-801207 Fax: +39-0536-807248

Web: <http://www.manfredineschianchi.com> - Email: sales@ms-plants.it

1/14



MANFREDINI & SCHIANCHI

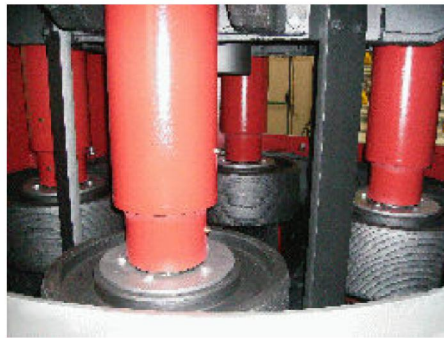


Los **Molinos Pendulares MOLOMAX** se emplean para el molido de materias primas de diversa naturaleza, peso específico y humedad, hasta durezas de tipo medio (arcillas, carbonato de calcio, bentonita, yeso, dolomitas, etc.) resultando en una elevadísima producción, así como materiales finales de una calidad excepcional.

Gracias al sistema de doble alimentación y a la presencia de oportunos distribuidores internos con láminas, se optimiza la carga en la cámara de molido, lo que se traduce en un rendimiento netamente superior al de molinos similares.



El molido se realiza mediante péndulos de grandes dimensiones, que durante el rodamiento y bajo la acción de la fuerza centrífuga ejercitan una fuerte presión sobre la pista situada en la base del molino.



El material molido es transportado en la parte superior del molino mediante el aire que circula gracias al ventilador, o bien por la aspiración de un filtro conectado a tierra. Además, el material es clasificado gracias a un separador fijado según el proceso de molido que se desea.



MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

Via G.M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-801207 Fax: +39-0536-807248

Web: <http://www.manfredinischianchi.com> - Email: sales@ms-plants.it

2/14



MANFREDINI & SCHIANCHI



La alimentación se gestiona de forma activa gracias a la detección de diferentes parámetros, en tiempo real, por diversos sensores durante el proceso; ello garantiza el máximo rendimiento en el tiempo, de forma automática.

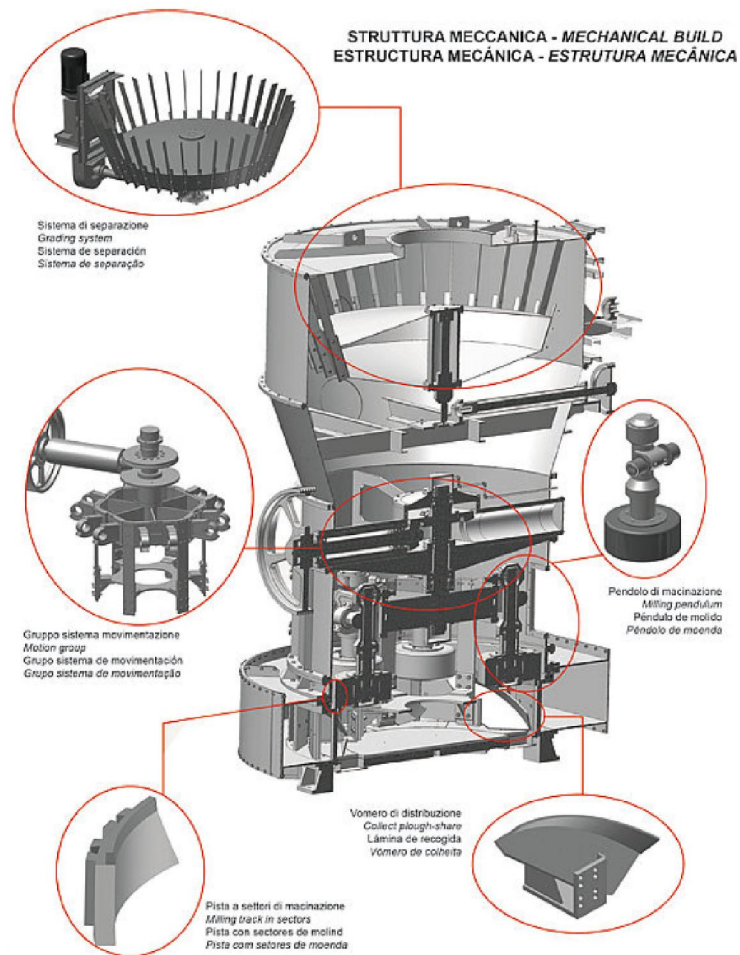


MANFREDINI & SCHIANCHI Srl
Via G.M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-801207 Fax: +39-0536-807248
Web: <http://www.manfredinischianchi.com> - Email: sales@ms-plants.it

3/14



MANFREDINI & SCHIANCHI



MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

Via G. M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-801207 Fax: +39-0536-807248

Web: <http://www.manfredinischianchi.com> - Email: sales@ms-plants.it

4/14

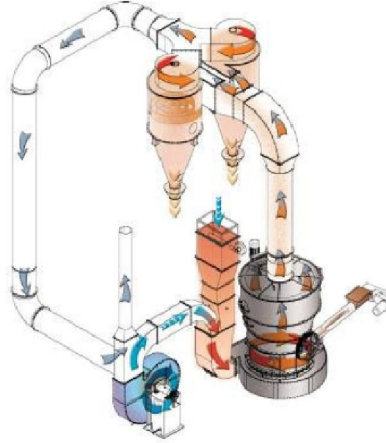


MANFREDINI & SCHIANCHI



MS-CYCLONE

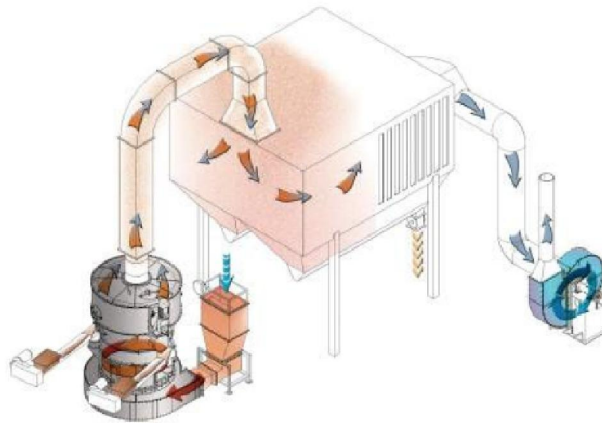
En los molinos pendulares de tipo MS-CYCLONE, el proceso de separación sólido-aire se produce en el ciclón colector de escape, que se encuentra interpuesto entre el molino pendular y el ventilador, unidos por una serie de tubos; dicho sistema se denomina *de ciclo cerrado*.



Este proceso se utiliza en unas condiciones particulares: por ejemplo, donde haya materiales *deflagrantes* o con carga electrostática. En caso de haber materias primas con un elevado porcentaje de humedad, el sistema puede llevar integrado un generador de aire caliente.

MS-AIR

En los molinos pendulares de tipo MS-AIR el material molido es extraído y recogido por un filtro de proceso, que procederá a descargarlo en la fase sucesiva del ciclo de la instalación. Este tipo de instalación se conoce también como *de ciclo abierto*.



Esta técnica permite además optimizar el rendimiento de la máquina, aumentando sus valores de producción finales, sobre todo en presencia de partículas ya finas pretratadas anteriormente. Por otra parte, en los molinos pendulares de tipo MS-AIR es posible insertar gas caliente en vena de aire con excelentes resultados de rendimiento térmico.

MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

Via G.M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-001207 Fax: +39-0536-007248

Web: <http://www.manfredini-schianchi.com> - Email: sales@ms-plants.it

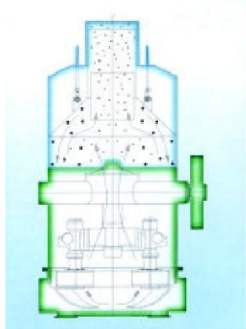
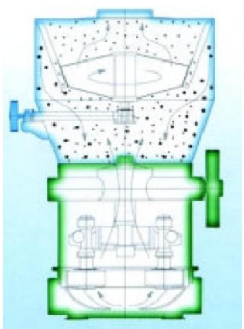
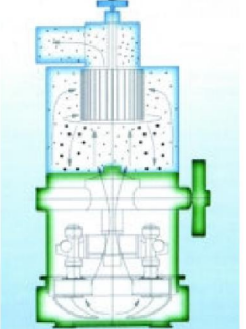
5/14



MANFREDINI & SCHIANCHI



SELECCION GRANULOMETRICA

| | | |
|--|---|--|
|  |  |  |
| <p>Separador regulable da Campana Fineza de 200 a 500 micrones Precisión de selección del 94% Ajuste mediante tornillo macrométrico</p> | <p>Separador Centrifugo de Aletas Fineza de 45 a 250 micrones Precisión de selección del 100% Ajuste mediante variador de frecuencia</p> | <p>Separador Centrifugo de Celdas Fineza de 20 a 40 micrones Precisión de selección del 100% Ajuste mediante variador de frecuencia</p> |

MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

Via G.M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-801207 Fax: +39-0536-807248

Web: <http://www.manfredinieschianchi.com> - Email: sales@ms-plant.it

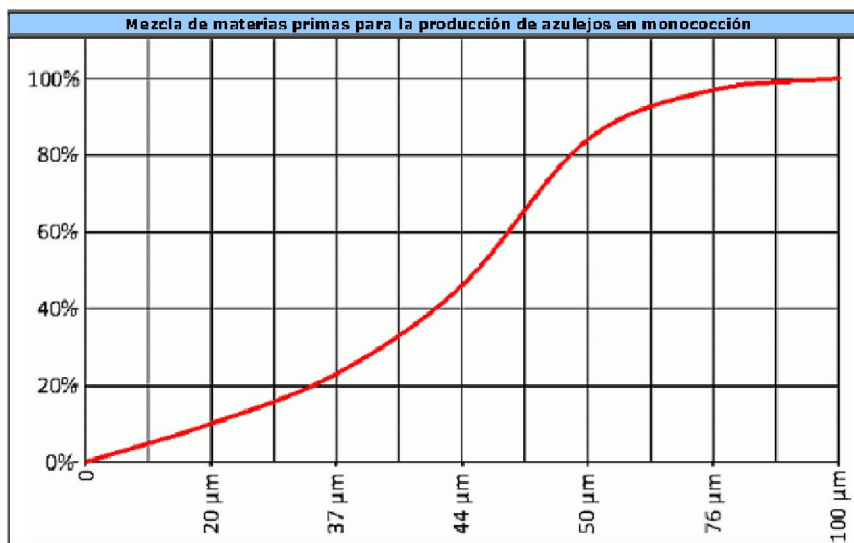
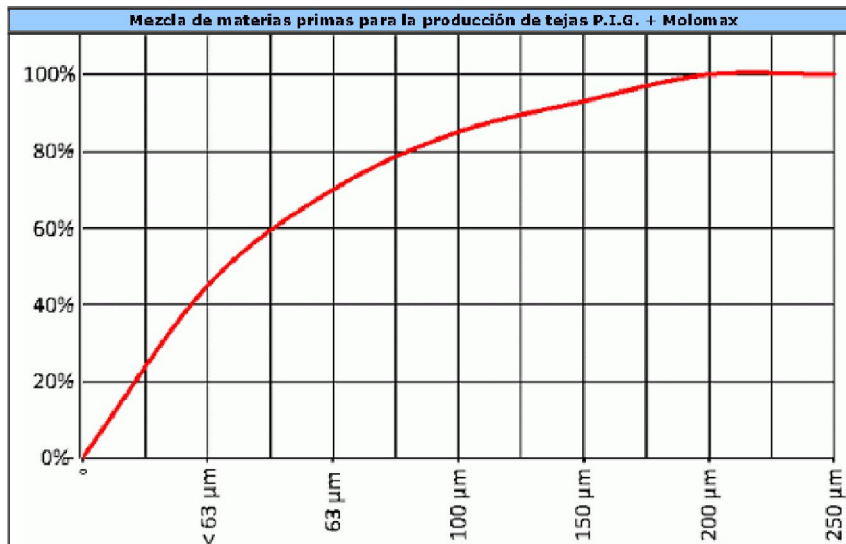
6/14



MANFREDINI & SCHIANCHI



CURVA GRANULOMÉTRICA CARACTERÍSTICA



MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

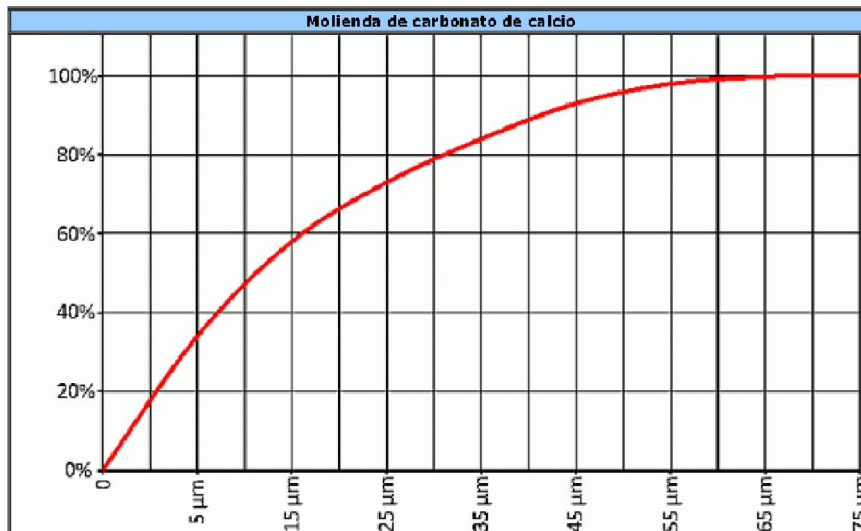
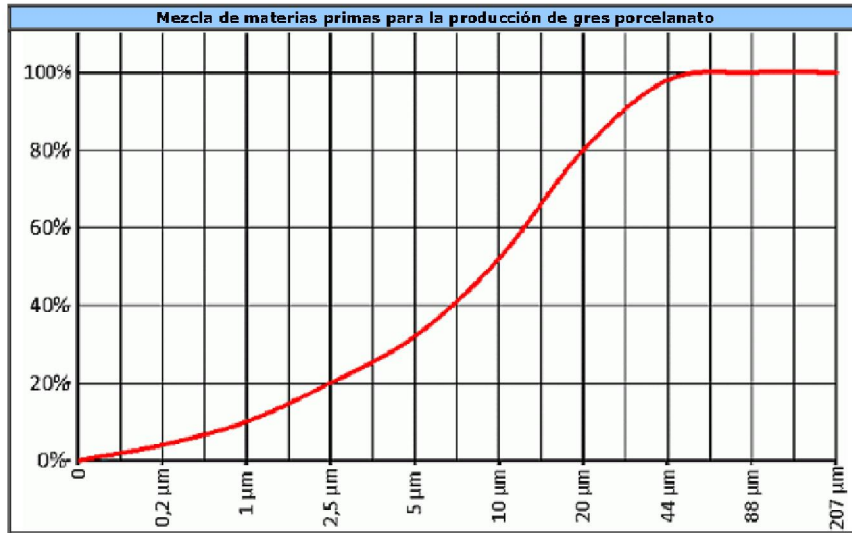
Via G. M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0538-801207 Fax: +39-0538-807248

Web: <http://www.manfredinieschianchi.com> - Email: sales@ms-plantis.it

7/14

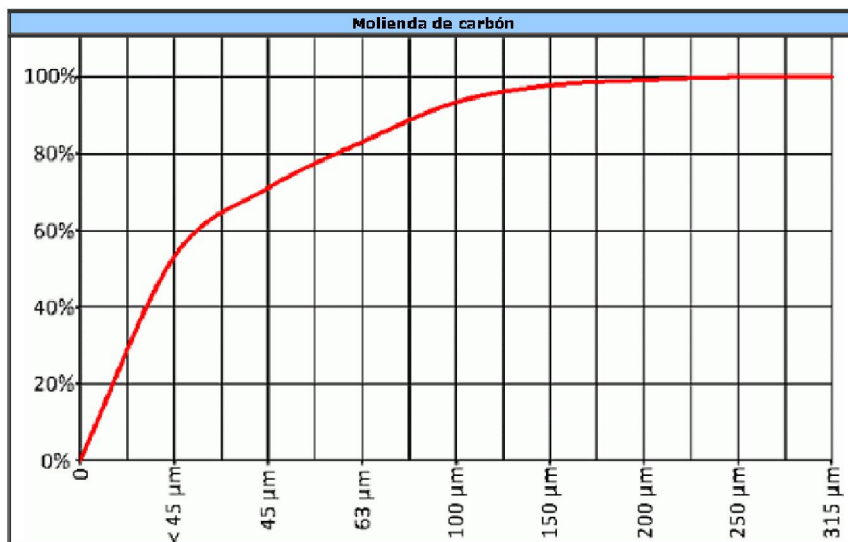
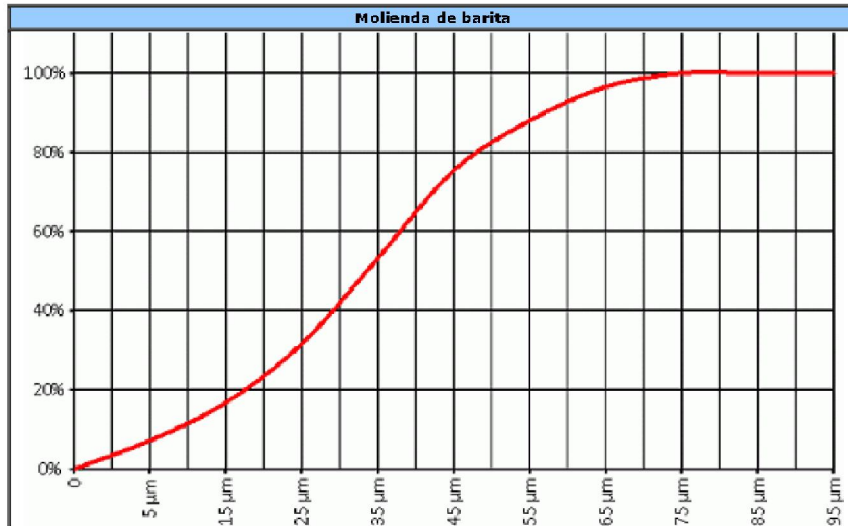


MANFREDINI & SCHIANCHI





MANFREDINI & SCHIANCHI



MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

Via G.M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-801207 Fax: +39-0536-807248

Web: <http://www.manfredini-schianchi.com> - Email: sales@ms-plantis.it

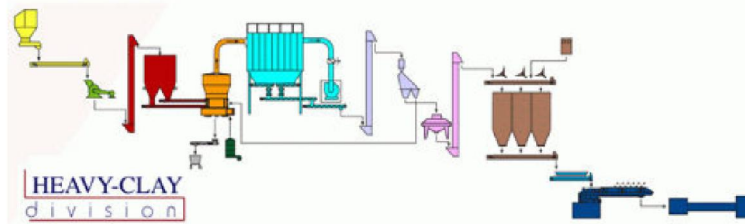
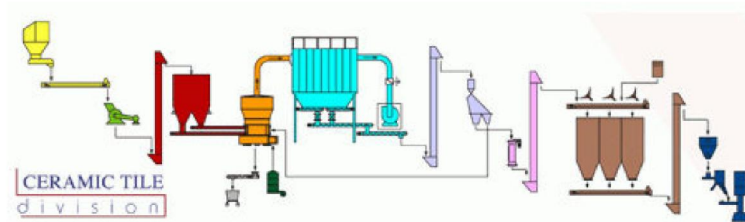
9/14



MANFREDINI & SCHIANCHI



DIAGRAMMA DE FLUJO

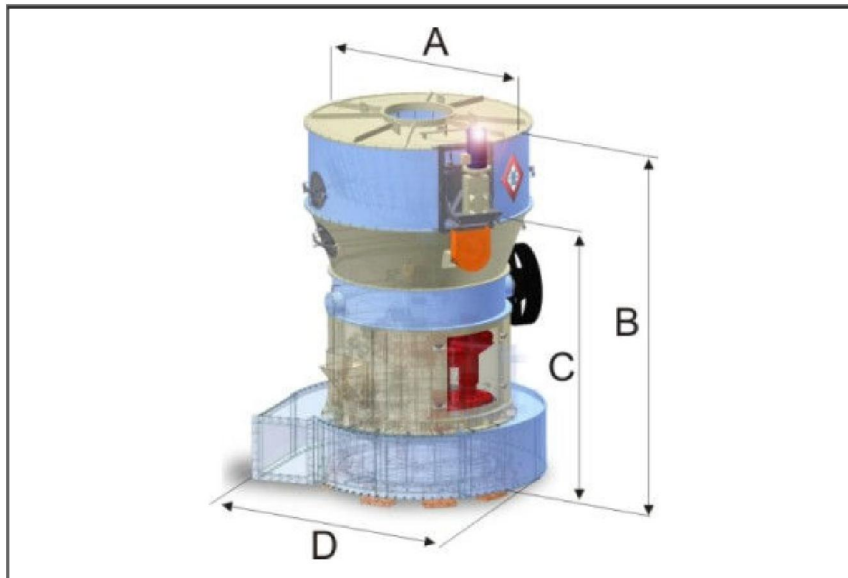




MANFREDINI & SCHIANCHI



DATOS TECNICOS



| Model | A | B | C | D | N. Rodill. | Ø Pista de Moliso | Cons. (kCal/lt) | Potencia Instalada (kW) | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------------|-------------------|-----------------|-------------------------|--------|--------|-------|
| | | | | | | | | Molino | Filtro | Separ. | Alim. |
| 3/90 | 1550 | 3120 | 1980 | 1690 | 3 | 900 | 650 | 37 | 37 | 5,5 | 3 |
| 3/120 | 1850 | 3490 | 2110 | 2030 | 3 | 1200 | | 45 | 55 | 9 | 3 |
| 4/150 | 2430 | 4200 | 2190 | 2820 | 4 | 1500 | | 132 | 132 | 11 | 3+3 |
| 4/150/RS | 2430 | 4200 | 2190 | 2820 | 4 Maxi | 1500 | | 160 | 132 | 11 | 3+3 |
| 6/190 | 2830 | 4300 | 2300 | 3700 | 6 | 1900 | | 160 | 160 | 11 | 3+3 |
| 6/190/RS | 2830 | 4300 | 2300 | 3700 | 6 Maxi | 1900 | | 200 | 160 | 11 | 3+3 |
| 4/230 | 2950 | 5200 | 2800 | 4000 | 4 | 1900 | | 250 | 315 | 11 | 3+3 |
| 5/230 | 2950 | 5200 | 2800 | 4000 | 5 | 1900 | | 315 | 315 | 11 | 3+3 |
| 6/230 | 2950 | 5200 | 2800 | 4000 | 6 | 1900 | | 315 | 315 | 11 | 3+3 |
| 6/500 | 3350 | 6500 | 3200 | 4500 | 6 | 2500 | | 400 | 450 | 18,5 | 4+4 |

A pedido, podemos construir también Molinos Mendulares MQLMAX de dimensiones mayores con diámetros de pista de hasta 6000mm.

MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

Via G.M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-801207 Fax: +39-0536-807248

Web: <http://www.manfredinieschianchi.com> - Email: sales@ms-planis.it

11/14



MANFREDINI & SCHIANCHI



PRODUCCIÓN

| Arcilla + Feldespato | | | | |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------|
| Model | Tamaño máx. de alimentación (mm) | Máximo humedad en entrada | Fineza mat. en salida (micrones) | ton/h |
| 3/90 | 30 | 20% | < 200 | 1 - 4 |
| 3/120 | | | | 5 - 9 |
| 4/150 | | | | 12 - 31 |
| 4/150/RS | | | | 14 - 35 |
| 6/190 | | | | 18 - 40 |
| 6/190/RS | | | | 20 - 45 |
| 4/230 | | | | 23 - 50 |
| 5/230 | | | | 26 - 56 |
| 6/230 | | | | 29 - 62 |
| 6/500 | | | | 40 - 70 |

| Caliza - Magnesita - Carbón | | | | |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------|
| Model | Tamaño máx. de alimentación (mm) | Máximo humedad en entrada | Fineza mat. en salida (micrones) | ton/h |
| 3/90 | 30 | 20% | < 90 | 0,5 - 2 |
| 3/120 | | | | 2,5 - 4 |
| 4/150 | | | | 5 - 11 |
| 4/150/RS | | | | 6 - 12,5 |
| 6/190 | | | | 8 - 16 |
| 6/190/RS | | | | 9 - 17,5 |
| 4/230 | | | | 11 - 19 |
| 5/230 | | | | 12,5 - 22 |
| 6/230 | | | | 13 - 24 |
| 6/500 | | | | 18 - 30 |

| Yeso - Talco | | | | |
|--------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------|
| Model | Tamaño máx. de alimentación (mm) | Máximo humedad en entrada | Fineza mat. en salida (micrones) | ton/h |
| 3/90 | 30 | 20% | < 45 | 0,3 - 0,9 |
| 3/120 | | | | 0,6 - 1,2 |
| 4/150 | | | | 2,5 - 5,0 |
| 4/150/RS | | | | 3 - 6 |
| 6/190 | | | | 3,5 - 7,5 |
| 6/190/RS | | | | 3,8 - 8,5 |
| 4/230 | | | | 4,2 - 10 |
| 5/230 | | | | 5,0 - 11,5 |
| 6/230 | | | | 5,5 - 12,5 |
| 6/500 | | | | 7,0 - 15 |

MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

Via G.M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-801207 Fax: +39-0536-807248

Web: <http://www.manfredinischianchi.com> - Email: sales@ms-plants.it

12/14



MANFREDINI & SCHIANCHI



MOLINOS PENDULARES MOLOMAX - ANALISIS DE COSTO Y GESTIÓN.

La siguiente comparación está basado en una instalación completa de preparación de materias primas de Manfredini & Schianchi con un molino pendular MOLOMAX y un proceso que no es M&S con molino de tipo pista rotante con la misma producción de 30 Ton/horas para la misma composición cerámica para monococción.

| COMPARACIÓN CONSUMOS ELÉCTRICOS | | |
|---------------------------------|-------------------|------------------------|
| | MOLOMAX | Molino a pista rotante |
| Premolienda | 132 kW (*) | 55 kW |
| Motor Principal | 250 kW | 315 kW |
| Motor separador | 11 kW | 22 kW |
| Motor filtro de proceso | 315 kW | 250 kW |
| Humidificadora | 2 x 18,5 kW | 132 kW + 11 kW |
| Ventilador filtro de reparto | No necesario (**) | 55 kW |
| Total | | |
| Potencia total | 745 kW | 840 kW |
| Potencia consumida | 475 kW (***) | 672 kW |
| Consumo por producción | 15,8 kW/ton | 22,40 kW/ton |

(*) Premolienda con molino a martillos PIG (**) El filtro de proceso cumple también ésta función.

(***) Tecnología con inverter

| COMPARACIÓN CONSUMOS TÉRMICOS | | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| | MOLOMAX | Molino a pista rotante |
| Consumo térmico | 500 kCal/lt | 850 kCal/lt |
| Mezcla cerámica con 6% de humedad | | |
| Máxima humedad permitida para el funcionamiento óptimo | 3,5% | 1% |
| Quemador instalado | 750.000 kCal | 2.000.000 kCal |
| Consumo máximo | 2 Nm ³ /h/t | 5,2 Nm ³ /h/t |
| Temperatura material a la salida del filtro | 24°C Max | 70°C |
| Mezcla cerámica con 12% de humedad | | |
| Máxima humedad permitida para el funcionamiento óptimo | 3,5% | * |
| Quemador instalado | 1.500.000 kCal | * |
| Consumo máximo | 6,7 Nm ³ /h/t | * |
| Temperatura material a la salida del filtro | 30°C Max | * |

MANFREDINI & SCHIANCHI Srl

Via G.M. Dallari, 2 - 41049 Sassuolo (MO) - Italy - Tel. +39-0536-801207 Fax: +39-0536-807248

Web: <http://www.manfredinieschianchi.com> - Email: sales@ms-plants.it

13/14



MANFREDINI & SCHIANCHI



(*) Con una humedad de la composición mas que 6% el molino pista rotante no puede moliturar

| COMPARACIÓN TÉCNICA Y DE COSTOS DE MANTENIMIENTO | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| | MOLOMAX | Molino a pista rotante |
| Tamaño máximo al ingreso , mayor de ésta es necesario una premolienda | 200mm | 100mm |
| Coibentación dispositivos post-molienda | No necesario | Necesaria |
| Costo medio piezas de repuestos | 0,8 - 1,2 €/ton | 1,2 - 1,5 €/ton |
| Tiempo de parada máquina por mantenimiento | 8 h | 48 h |
| Medios de elevación necesarios | Autoelevador de 3,5 Toneladas | Grúa de 10 toneladas |



Los datos mostrados son Indicativos y pueden cambiar sin aviso

2.1.7. Molino de bolas continuo vía seca

El molino de bolas es el equipo encargado de reducir el tamaño de partícula hasta granulometría de micronizado o de harina en caso de no usar la etapa de pre molturación con el molino pendular. El esquema de este molino se puede observar en la *Figura A.2.4*.

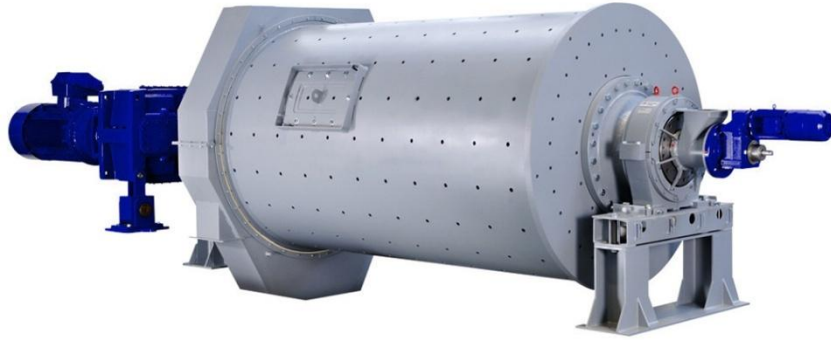


Figura A.2.4. Molino de bolas continuo vía seca.

En la *Tabla A.2.7*. se muestran las características del molino de bolas.

Tabla A.2.7.

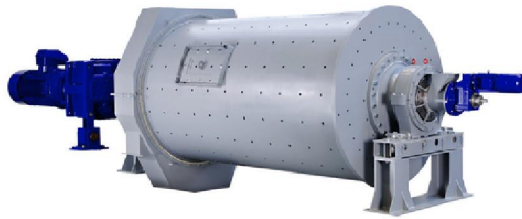
| Molino de bolas vía seca | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Nombre de la marca | Super Orion Ball Mill S.O. |
| Rango (μm) | < 10 |
| Capacidad bolas | Entre el 30-40% de su volumen |
| Velocidad rotación (rpm) | 23 |
| Precio (€) | 1.000.000 |

A continuación se adjunta la información proporcionada por el proveedor.



Super Orion Ball Mill S.O.

- Ball mill for the dry comminution of hard materials, especially for the ultrafine range $< 10 \mu\text{m}$ in circuit with an ALPINE ultrafine classifier.
- Grinding drum supported in water-cooled, oil-lubricated journal bearings.
- Grinding drum lined with tungsten carbide wear plates or with silex or ceramic elements when the requirement is grinding without iron contamination.
- Grinding elements dictated by the type of lining.



Principle of operation

Principle of operation

Ball mills are giant drums that are filled to between 30 and 40% of their volume with freely moving grinding media - in this case balls. The diameter of the balls is between one and several centimetres to suit the application - smaller balls for fine milling results and larger ones for coarser milling tasks.

The drive sets the milling drum into slow rotation and the bed of milling media is thus activated, i.e. the balls are lifted and then impact back against the bed. Ball mills are usually operated at 75% of the critical speed. The critical speed is the speed where, mathematically calculated, the grinding media would centrifuge out. Mills of 2 m in diameter therefore rotate in operation at about 23 revolutions per minute, which corresponds to a peripheral speed of 2.4 m/s.

A mill of this size equipped with steel grinding media converts approx. 50 kW per m³ of feedstock. The feed product is fed continuously through the trunnion and is discharged through slots on the opposite side. The discharge rate can be adjusted as a function of the number of open slots. The ground product is transported - often pneumatically - and is charged to a downstream classifier. The coarse material is returned to the mill together with the feed product.

Features

Features

The classic standard design which has proved itself in operation throughout the world for decades. Both the design and efficiency are continually improved to pay tribute to new technology and market requirements.

- Cast side plates bolted to a rolled-steel drum with integrated manhole.
- Drive via ring-and-pinion gear with automatically controlled tooth lubrication, back gearing with couplings and high-performance gear unit.
- Bearing unit: journal bearing designed as a friction bearing with permanent oil-recirculation lubrication and
- temperature control.

- Option: self-aligning roller bearings.
- Product discharge via adjustable slots located around the periphery of the drum. Two-part discharge housing
- with top venting connection and inspection cover.

Drive

Variable-speed drive

Ball mills are usually operated at 75% of the critical speed, i.e. in the fringe area between cascading and free-fall. With a specially designed frequency converter, it is even possible to operate a heavy ball mill at variable speed. And if the S.O.-SF is to be used for grinding ultrafine products or if it is planned to change the product frequently, operation with a frequency converter is particularly advantageous.

Product level control

Load cell technology results in precision product level control

A high consistency of the product quality demands exact measurement of the amount of product in the mill. Because of this, an optional accessory offered for our ball mills is the load cell system which permits precision control of the product level. The complete ball mill is bedded on a steel or concrete frame designed to rest on a defined number of load cells. The load cells are integrated into a control unit and determine the total weight of mill, grinding media and product. The addition of virgin feed can be controlled with such precision that the mill always operates at optimum load. This means reliable prevention of no-load operation or overfilling, and mill operation is exceedingly cost-effective.

Video



© HOSOKAWA ALPINE Aktiengesellschaft | Reservados todos los derechos

2.1.8. Bolas de alúmina

Las bolas es el elemento molturante usado para realizar la molienda. Estas, están fabricadas de alúmina debido a la elevada dureza del material a molturar, ya que si no, no se lograría una correcta molturación. Las bolas son como las que se muestran en la *Figura A.2.5*.



Figura A.2.5. Bolas de alúmina.

En la *Tabla A.2.8*. se muestran las características de las bolas.

Tabla A.2.8. Bolas de alúmina.

| Bolas de alúmina | |
|-------------------------|---------------|
| Modelo | KREUTZALOX 95 |
| Al_2O_3 (%) | 95 |
| Densidad (g/cm^3) | 3,69 |
| Dureza Mohs | 9 |
| Diámetro (mm) | 40 |
| Volumen (cm^3) | 34 |
| Peso unidad (kg) | 0,124 |
| Precio (€/kg) | 1,5 |

Pero para saber el precio de bolas según tonelada se ha de tener en cuenta el desgaste ocasionado en la molturación. Para ello, se han realizado diferentes análisis químicos mediante fluorescencia de rayos x al producto para conocer el contenido de alúmina antes y después de la molturación. Con esto se obtiene que el desgaste de bolas es del 0,36% por kilogramo de producto molturado, correspondiente a una única molturación con molino de bolas y para la granulometría de micronizado y de 0,27% para la granulometría de harina. En caso de realizar la premolturación con molino pendular y una segunda molturación con molino de bolas, el desgaste disminuye al 0,27%. A

continuación, mediante la *Ec.A.79*, se calcula el coste adicional por año de las bolas debido al desgaste. Además cada año se realiza una criba de bolas, para desechar las bolas de menor tamaño, las cuales corresponden al 10% del total de bolas del interior del molino. Estas bolas se desechan debido a que ya no producen ningún efecto en la molturación.

$$\text{Precio ad.} = (\text{desgaste bolas} \cdot \text{prod. (kg)} + 0,1 \cdot \text{bolas}) \cdot \text{precio(€/kg)} \quad \text{Ec.A.79}$$

Respecto a la instalación 1 (únicamente con molinos de bolas), se obtiene la *Ec.A.80*, que indica el coste adicional de las bolas.

$$\begin{aligned} \text{Precio ad.} &= ((0,0036 \cdot 12.000.000 + 0,0027 \cdot 12.000.000) + 0,1 \cdot 90.900) \cdot 1,5 = \\ &(43.200 + 43.200 + 9.090) \cdot 1,5 = 127.035 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad \text{Ec.A.80} \end{aligned}$$

Por tanto el coste total de las bolas durante el primer año para la instalación con molinos de bolas, será la suma del coste de bolas y del coste adicional por desgaste y cambio de bolas. Este coste se observa en la *Ec.A.81*.

$$\text{Precio bolas instalación 1} = 136.350 + 127.035 = 263.385 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad \text{Ec.A.81}$$

Para los años posteriores únicamente se tendrá el coste correspondiente al coste adicional.

En caso de la fabricación de la instalación 2 (molino pendular y molino de bolas vía seca), solo será necesario el uso de dos molinos de bolas en lugar de tres como en el caso anterior, ya que la producción de silicato de zirconio en forma de harina se realiza con molino pendular (12.000 toneladas se molturan en molino pendular y 12.000 toneladas en molino pendular + molino de bolas). Esto supone que la carga total de bolas se reduce a 60.600 kg/año. Con esto se obtiene la *Ec.A.82*.

$$\text{Precio ad.} = ((0,0027 \cdot 12.000.000) + 0,1 \cdot 60.600) \cdot 1,5 = 57.690 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad \text{Ec.A.82}$$

Por tanto el coste total de las bolas durante el primer año para la instalación con molino pendular y molino de bolas, será la suma del coste de bolas y del coste adicional por desgaste y cambio de bolas. Este coste se observa en la *Ec.A.83*.

$$\text{Precio bolas instalación 1} = 90.900 + 57.690 = 148.590 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad \text{Ec.A.83}$$

Para los años posteriores únicamente se tendrá el coste correspondiente al coste adicional.

A continuación se adjunta el catálogo ofrecido por el proveedor.



Datos técnicos Bolas para moler

Análisis químico típico

| | KREUTZALOX 92 | KREUTZALOX 95 | KREUTZALOX 99,5 |
|--|---------------|---------------|-----------------|
|--|---------------|---------------|-----------------|

| | | | |
|--------------------------------|----------|----------|--------|
| Al ₂ O ₃ | 92 % | 95 % | 99,5 % |
| SiO ₂ | 3,50 % | 2,20 % | 0,12 % |
| MgO | 2,35 % | 1,40 % | 0,15 % |
| CaO | 1,90 % | 1,10 % | 0,05 % |
| Na ₂ O | < 0,20 % | < 0,20 % | 0,08 % |
| Fe ₂ O ₃ | < 0,50 % | < 0,50 % | 0,03 % |

| | | | |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Densidad | > 3,60 g/cm ³ | > 3,69 g/cm ³ | > 3,68 g/cm ³ * |
| Absorción de agua | 0% | 0% | < 0,4 % |
| Dureza según Mohs | ~ 9 | ~ 9 | ~ 9 |
| Color | blanco | blanco | blanco |
| Temperatura de aglomeración | hasta 1.300 °C | hasta 1.300 °C | hasta 1.300 °C |
| Resistencia a la flexión | > 340 N/mm ² | > 340 N/mm ² | > 300 N/mm ² |
| Resistencia a la presión | > 2.250 N/mm ² | > 2.250 N/mm ² | > 1.750 N/mm ² |

Los datos indicados son únicamente valores orientativos.

| Diámetro | KREUTZALOX 92 | KREUTZALOX 95 | KREUTZALOX 99,5 |
|----------------|---------------|---------------|-----------------|
| 7 mm - 1/4" | ● ● ● | □ □ □ | |
| 12 mm - 1/2" | ● ● ● | □ □ □ | |
| 20 mm - 3/4" | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● |
| 25 mm - 1" | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● |
| 30 mm - 1 1/4" | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● |
| 35 mm - 1 3/8" | ● ● ● | ● ● ● | ● ● ● |
| 40 mm - 1 1/2" | ● ● ● | ● ● ● | |
| 45 mm - 1 3/4" | ● ● ● | ● ● ● | |
| 50 mm - 2" | ● ● ● | □ □ □ | |
| 63 mm - 2 1/2" | ● ● ● | □ □ □ | |

● Estándar
□ Por solicitud

2.1.9. Separador

El separador o clasificador es el equipo encargado de separar las partículas de silicato de zirconio que cumplen con la granulometría especificada y las que todavía no han llegado a ese tamaño establecido son recirculadas al molino. El esquema se puede observar en la *Figura A.2.6*.



Figura A.2.6. Separador.

En la *Tabla A.2.9* se muestran las características del separador y a continuación se adjunta el catálogo ofrecido por el proveedor.

Tabla A.2.9. Separador.

| Separador | |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| Modelo | ATP Turboplex Ultrafine Classifier |
| Rango (μm) | $d_{97} = 5$ a 10 |
| Rango con modelo NG (μm) | $d_{97} = 2$ |
| Potencia (kW) | 50 |
| Precio (€) | 250.000 |



Ultrafine Classifier - ATP Turboplex



- Single-wheel or multi-wheel air classifier for ultrafine classifying operations.
- Superfine powders in the fineness range $d_{37} = 5$ to $10 \mu\text{m}$; with the NG model, finenesses of $d_{37} = 2 \mu\text{m}$ ($d_{50} = 0.3 \mu\text{m}$) are possible.
- Spatter-grain-free operation over the entire separation range.
- Integrated coarse material classifier to increase the cut point.
- Low-wear mode of operation.

Principle of operation

After entering the machine, the classifying air flows through the classifying wheel in centripetal direction. In the process, the classifying wheel extracts the fines from the feed material and conveys them to the fines discharge. The coarse material rejected by the classifying wheel gravitates downwards. The air routing shown in the schematic is much simplified, because before the coarse material exits the classifier, it is rinsed again intensively by air to remove the remaining fines. This results in an extremely clean coarse fraction.

The product is fed either via a rotary valve or in the case of an air-flow classifier, entrained in the classifying air. Product fineness is controlled by adjustment of the classifier wheel speed using a frequency converter. The horizontal arrangement of the classifying wheel means that even "difficult" products can be processed with no problem.

Features

There is hardly another type of classifier that is so well adapted to the demands of practical operation as the Turboplex ultrafine classifier:

- The simple and robust design reduces costs for maintenance and servicing
- The horizontal arrangement of the classifying wheel reduces wear even with abrasive products and guarantees a long service life.
- If processing extremely abrasive products, a wear-protection lining prevents excessive wear
- Modest space requirement.
- High fines yield.
- Sharp top size limitation.
- Stable operation even if the feed rate fluctuates.
- Long service life.
- Coating formation prevented, e.g. when classifying CaCO_3 .
- Rinsing gap easy to adjust.
- Narrow rinsing gap possible.
- Vibration-free.

Designs

All single-wheel and multi-wheel ATP classifiers can be delivered in pressureless design. With the exception of the 750 ATP and the 1000 ATP, the classifiers are available to order in explosion-pressure-shock-proof design to 10 bar overpressure.

Wear protection

The materials of construction and the wear protection is customised for the individual application. For the pharmaceuticals industry, the ATP is manufactured in stainless steel.

Video

© HOSOKAWA ALPINE Aktiengesellschaft | All rights reserved



<https://www.hosokawa-alpine.com/powder-particle-processing/machines/classifiers-and-air-classifiers/atp-turboplex-ultrafine-air-classifier/>

2/2

2.1.10. Filtros de mangas

El filtro de mangas está colocado al final del proceso, antes de la descarga del producto a los silos o bigbags y su función es evitar que este producto emita polvo al exterior, reteniendo las partículas que se mantienen en suspensión, en sus bolsas. El esquema del filtro de mangas se puede observar en la *Figura A.2.7*.



Figura A.2.7. Filtros de mangas.

En la *Tabla A.2.10*, se muestran las características del filtro de mangas.

Tabla A.2.10. Filtros de mangas.

| Filtro de mangas | |
|---|-----------------|
| Modelo | CNMC-360 |
| Volumen de aire (m^3/h) | 18.000 - 30.000 |
| Tamaño manga filtro (mm) | 130 x 2.500 |
| Nº mangas (Ud.) | 10 |
| Requerimiento aire comprimido (m^3/min) | 1 |
| Potencia (kW) | 20 |
| Precio (€) | 35.000 |

2.1.11. Carretilla elevadora

La carretilla elevadora también llamada torito mecánico industrial o montacargas es un vehículo contrapesado en su parte trasera que se utiliza para transportar objetos semipesados como pallets o material prensado, tal y como se muestra en la *Figura A.2.8*.



Figura A.2.8. Carretilla elevadora.

Este vehículo se va a utilizar para transportar los bigbags del molino al almacén de producto acabado.

Se pueden resumir las características técnicas de la carretilla elevadora utilizadas en el proceso, en la *Tabla A.2.11*.

Tabla A.2.11. Carretilla elevadora.

| Carretilla elevadora | |
|---|----------------|
| Modelo | STILL RX 60-30 |
| Consumo energético 60 VDI ciclo de trabajo / hora (kWh) | 7,5 |
| Capacidad máxima (kg) | 3.000 |
| Nº de unidades (Ud.) | 2 |
| Precio (€) | 35.000 |

2.1.12. Silos

Una vez se obtenga un producto en condiciones óptimas, debe de almacenarse a la espera de ser enviado a un cliente, y para ello se instalan 8 silos tal y como se muestran en la *Figura A.2.9*, los cuales tienen una capacidad de 100 m^3 cada uno de ellos.



Figura A.2.9. Silos.

Las características técnicas se pueden resumir en la *Tabla A.2.12*.

Tabla A.2.12. Silos.

| Silos | |
|---------------------|----------------|
| Marca | Iberflux |
| Capacidad (m^3) | 130 |
| Dimensiones (m) | 2,5 x 2,5 x 21 |
| Precio (€) | 20.000 |

2.1.13. Equipo medición granulometría

Para la aceptación del producto en el laboratorio de calidad se debe de controlar la granulometría, y para ello se hace uso de un equipo de medición granulométrico. El equipo seleccionado es el Mastersizer 3000, cuyas características se pueden observar en la *Tabla A.2.13*.

Tabla A.2.13. Equipo medición granulometría.

| Equipo medición granulometría | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Modelo | Mastersizer 3000 |
| Rango granulométrico | 10 nm - 3,5 mm |
| Método medición | Difracción de la luz laser |
| Precio (€) | 6.500 |

A continuación se adjunta una parte del catálogo ofrecido por el proveedor.

Smarter Particle Sizing

MASTERSIZER 3000 – WELCOME TO THE NEXT GENERATION

Rapid, reliable particle size measurements made easy.

The Mastersizer 3000 is the latest generation of the world's most widespread particle sizing instrument, used by many thousands of companies and research institutes across a wide range of industries. Malvern's considerable experience and applications know-how has gone into every stage of the design of the Mastersizer 3000 instrument, from fundamental particle sizing performance right through to user ergonomics and method advice.



REQUEST A QUOTE

REQUEST A DEMO

CONTACT SALES

Innovative design

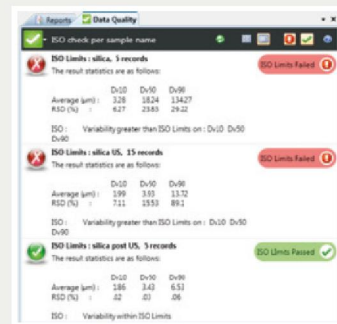
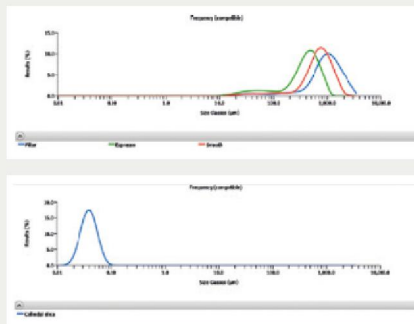
Industry-leading design and ergonomics means the Mastersizer 3000 combines a stylish modern look with practicality in a compact footprint, giving maximum value from both your instrument investment and precious laboratory space.

Impressive particle sizing performance

A completely new optical core design delivers fast measurement times for high sample throughput and a measurement size range from 10nm to 3.5mm. Combined with a range of wet and dry dispersion accessories this opens up more applications than ever before.

Software that eases your workload

More than ever, users want instruments that are easy to use and don't require a high level of expertise to get good results. The Mastersizer 3000 software delivers a modern intuitive interface, streamlined method development and expert advice on your results.



2.1.14. Soplante

Las soplantes se usan para introducir el caudal de aire necesario y así, llevar a cabo el transporte de los sólidos a través de las conducciones. En la *Figura A.2.10* se muestra la imagen de las soplantes utilizadas.



Figura A.2.10. Soplante.

Las características se pueden observar en la *Tabla A.2.14*.

Tabla A.2.14. Soplante.

| Equipo medición granulometría | |
|-------------------------------|-------------|
| Marca | Atlas Copco |
| Modelo | ZL 500 |
| ΔP (mbar) | 600 |
| Q (m^3/h) | 469 |
| P_m (kW) | 15 |
| Precio (€) | 2.000 |

El cálculo del caudal volumétrico de aire que ha de aportar mínimamente la soplante, se realiza mediante la *Ec.A.84*. En esta ecuación se calcula el caudal volumétrico de producto a transportar y sabiendo que la concentración del aire es del 99% en volumen, se calcula el caudal volumétrico de aire. Para ello se elige la opción más desfavorable

(tramo 3 y molino de micronizado). Con esta opción se podrá suministrar el aire a cualquier tipo de conducción de la instalación.

$$Qm \text{ aire} = Qm \text{ prod.} \cdot \frac{kg}{h} \cdot \frac{1 m^3}{\rho kg} \cdot 99 = 8.753 \cdot \frac{1}{1.900} 99 = 456 \frac{m^3}{h} \quad \text{Ec.A.84}$$

A continuación se adjunta una parte del catálogo ofrecido por el proveedor. La opción elegida es la soplante cuya caída de presión es de 600 mbar y cuyo caudal de aire es de 469 m³/h.

Diseño de una planta de producción de silicato de zirconio (ZrSiO₄).

| Δp mbar | ZL 400 | | | | | | | ZL 500 | | | | |
|------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | |
| 300 | Q [m³/h] | 222 | 260 | 297 | 340 | 362 | 385 | 401 | 424 | 453 | 482 | 511 |
| | T [°C] | 50 | 50 | 49 | 49 | 49 | 49 | 49 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| | Pe [kW] | 2.5 | 2.8 | 3.2 | 3.6 | 3.8 | 4 | 4.1 | 4.4 | 4.7 | 5 | 5.3 |
| | Pm [kW] | 3 | 4 | 4 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 7.5 | 7.5 |
| | element rpm | 2550 | 2905 | 3247 | 3648 | 3854 | 4061 | 4210 | 4432 | 4698 | 4972 | 5239 |
| | LmA [dB] | 70/91 | 71/92 | 71/92 | 72/92 | 73/93 | 74/94 | 74/94 | 76/95 | 77/97 | 77/98 | 80/100 |
| 400 | Q [m³/h] | 217 | 256 | 293 | 334 | 356 | 379 | 397 | 419 | 447 | 478 | 506 |
| | T [°C] | 62 | 60 | 60 | 59 | 59 | 58 | 59 | 58 | 58 | 58 | 58 |
| | Pe [kW] | 3.3 | 3.8 | 4.2 | 4.8 | 5 | 5.3 | 5.5 | 5.8 | 6.2 | 6.6 | 7 |
| | Pm [kW] | 4 | 5.5 | 5.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 11 | 11 |
| | element rpm | 2563 | 2925 | 3269 | 3654 | 3860 | 4068 | 4217 | 4439 | 4706 | 4989 | 5256 |
| | LmA [dB] | 71/91 | 71/92 | 71/92 | 72/92 | 73/93 | 73/94 | 75/95 | 76/96 | 77/97 | 78/98 | 81/101 |
| 500 | Q [m³/h] | 213 | 250 | 288 | 329 | 351 | 375 | 391 | 415 | 444 | 472 | 501 |
| | T [°C] | 73 | 72 | 70 | 69 | 69 | 68 | 69 | 68 | 68 | 67 | 67 |
| | Pe [kW] | 4.1 | 4.7 | 5.3 | 5.9 | 6.2 | 6.6 | 6.9 | 7.2 | 7.7 | 8.2 | 8.7 |
| | Pm [kW] | 5.5 | 5.5 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| | element rpm | 2580 | 2925 | 3275 | 3654 | 3860 | 4081 | 4232 | 4455 | 4722 | 4989 | 5256 |
| | LmA [dB] | 72/92 | 72/93 | 73/94 | 73/94 | 74/95 | 74/95 | 76/97 | 78/98 | 79/99 | 80/100 | 82/102 |
| 600 | Q [m³/h] | 208 | 246 | 283 | 325 | 348 | 370 | 386 | 410 | 438 | 468 | 497 |
| | T [°C] | 86 | 83 | 81 | 80 | 80 | 79 | 79 | 78 | 78 | 77 | 77 |
| | Pe [kW] | 4.9 | 5.6 | 6.3 | 7.1 | 7.5 | 7.9 | 8.2 | 8.6 | 9.2 | 9.8 | 10.3 |
| | Pm [kW] | 7.5 | 7.5 | 7.5 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 15 | 15 |
| | element rpm | 2585 | 2930 | 3275 | 3666 | 3874 | 4081 | 4232 | 4455 | 4722 | 4989 | 5256 |
| | LmA [dB] | 73/94 | 73/95 | 74/95 | 75/96 | 76/96 | 77/97 | 77/99 | 78/99 | 79/99 | 80/101 | 82/102 |
| 700 | Q [m³/h] | 204 | 243 | 280 | 321 | 344 | 366 | 382 | 406 | 435 | 464 | 493 |
| | T [°C] | 98 | 95 | 92 | 91 | 91 | 89 | 89 | 88 | 88 | 87 | 87 |
| | Pe [kW] | 5.7 | 6.5 | 7.3 | 8.2 | 8.7 | 9.2 | 9.5 | 10.1 | 10.7 | 11.3 | 12 |
| | Pm [kW] | 7.5 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | element rpm | 2585 | 2940 | 3286 | 3666 | 3874 | 4081 | 4232 | 4455 | 4722 | 4989 | 5256 |
| | LmA [dB] | 74/94 | 75/96 | 76/96 | 76/97 | 77/97 | 77/99 | 78/99 | 79/99 | 80/100 | 81/101 | 82/102 |
| 800 | Q [m³/h] | 201 | 239 | 276 | 318 | 340 | 362 | 379 | 403 | 432 | 460 | 489 |
| | T [°C] | 111 | 107 | 104 | 102 | 101 | 100 | 100 | 98 | 98 | 97 | 97 |
| | Pe [kW] | 6.6 | 7.5 | 8.4 | 9.4 | 9.9 | 10.5 | 10.9 | 11.5 | 12.2 | 12.9 | 13.6 |
| | Pm [kW] | 11 | 11 | 11 | 11 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 18.5 |
| | element rpm | 2584 | 2940 | 3286 | 3666 | 3874 | 4081 | 4232 | 4455 | 4722 | 4989 | 5256 |
| | LmA [dB] | 74/95 | 75/96 | 76/97 | 77/97 | 78/98 | 78/99 | 79/99 | 80/100 | 81/101 | 82/103 | 83/104 |
| 900 | Q [m³/h] | 198 | 236 | 273 | 314 | 337 | 359 | 376 | 400 | 428 | 457 | 486 |
| | T [°C] | 124 | 119 | 115 | 113 | 112 | 110 | 111 | 109 | 108 | 107 | 106 |
| | Pe [kW] | 7.4 | 8.4 | 9.4 | 10.5 | 11.1 | 11.7 | 12.2 | 12.9 | 13.7 | 14.5 | 15.3 |
| | Pm [kW] | 11 | 11 | 11 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 18.5 | 18.5 | 18.5 |
| | element rpm | 2584 | 2940 | 3286 | 3666 | 3874 | 4081 | 4232 | 4455 | 4722 | 4989 | 5256 |
| | LmA [dB] | 74/96 | 76/97 | 77/98 | 78/98 | 78/99 | 79/100 | 80/101 | 81/102 | 82/103 | 82/104 | 83/105 |
| 1000 | Q [m³/h] | 195 | 233 | 270 | 312 | 334 | 356 | 373 | 397 | 426 | | |
| | T [°C] | 137 | 131 | 127 | 124 | 123 | 121 | 121 | 119 | 118 | | |
| | Pe [kW] | 8.2 | 9.3 | 10.4 | 11.7 | 12.4 | 13 | 13.5 | 14.3 | 15.2 | | |
| | Pm [kW] | 11 | 11 | 15 | 15 | 15 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | | |
| | element rpm | 2584 | 2940 | 3286 | 3666 | 3874 | 4081 | 4232 | 4455 | 4722 | | |
| | LmA [dB] | 74/95 | 76/96 | 77/98 | 78/99 | 79/99 | 79/100 | 80/101 | 80/102 | 82/104 | | |

Reference conditions: Inlet pressure: 1.013 bar(a) - Inlet temperature: 20°C dry air

2.1.15. Resumen maquinaria

En la *Tabla A.2.15* se puede visualizar el número de máquinas y su precio de forma resumida, con ello se pretende transmitir la información explicada anteriormente y adaptarla para la elaboración de la viabilidad económica.

Para realizar el coste total de la maquinaria no se tiene en cuenta el molino pendular, ya que como se ha decidido anteriormente, este equipo no se va a instalar en la planta debido al descarte de la alternativa que lo incluía.

Tabla A.2.15. Resumen precios maquinaria.

| Máquina | Cantidad | Precio (€) |
|-----------------------------------|----------|------------------|
| Pala cargadora | 1 | 100.000 |
| Tolvas dispensadoras | 9 | 27.000 |
| Elevador de cangilones | 3 | 10.500 |
| Cintas dispensadoras | 3 | 5.400 |
| Separador magnético | 3 | 150.000 |
| Molino de bolas continuo vía seca | 3 | 3.000.000 |
| Separador | 3 | 750.000 |
| Filtros de mangas | 3 | 105.000 |
| Carretilla elevadora | 2 | 7.000 |
| Silos | 8 | 160.000 |
| Equipo medición granulometría | 1 | 6.500 |
| Soplador | 9 | 18.000 |
| Total | | 4.339.400 |

El precio total de las máquinas es un dato relevante ya que forma parte de la inversión inicial y es el material que se debe tener en cuenta en la amortización.

2.2. Conducciones y accesorios

En este apartado se realiza el cálculo de las características de las conducciones que se han delimitado previamente en el documento "2.Memoria" y punto "9.7. Conducciones".

Debido a que el material a transportar es un sólido, se requiere usar un transporte neumático. El transporte neumático puede llevarse a cabo mediante un transporte en fase diluida o mediante un transporte en fase densa. En este proyecto se van a determinar las conducciones en el caso de que el transporte neumático sea en fase diluida. El flujo en fase diluida es el más conocido y se caracteriza por tener unas velocidades de gas altas

(mayores a 20 m/s), unas bajas concentraciones de sólidos (menores a 1% en volumen) y pérdidas de carga por unidad de longitud de tubería relativamente bajas (menores a 5 mbar/m). Sin embargo, se ha de tener en cuenta que este método, mostrado en "<http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo6.pdf>" no admite caudales de sólido mayores a 10 t/h, lo cual no supone ningún problema a la hora de realizar los cálculos

En la *Figura A.2.11* se muestra una tabla con las propiedades de estos dos tipos de transportes.

| Propiedad | Transporte en fase diluida | Transporte en fase densa |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Velocidad de gas, m/s | 20 | 1-5 |
| Concentración de sólidos, % en volumen | <1 | >30 |
| $\frac{\Delta P}{L}$, mbar / m | < 5 | >20 |

Figura A.2.11. Propiedades de los transportes en fases diluida y densa. Recuperado de "<http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo6.pdf>"

Para la realización de los cálculos se debe tener en cuenta que la velocidad del gas se encuentre aproximadamente en 20 m/s, para el diámetro de tubería dado. Además se debe tener en cuenta que existen dos tipos de instalaciones idénticas pero con diferentes consignas a la hora de producir el producto final (harina y micronizado).

Para estos cálculos se toman en consideración distintos valores de diámetros para las conducciones y se determina cual será el diámetro adecuado en función de la velocidad deseada (20 m/s).

Para la realización de estos cálculos se usa la teoría y ecuaciones proporcionadas por "<http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo6.pdf>"

Las ecuaciones usadas más importantes son:

La Ec.A.85, con la que se obtiene la velocidad de sedimentación (U_{salt}) y así poder obtener la velocidad superficial del gas.

$$\frac{Q_m}{\rho_f \cdot U_{salt} \cdot A} = \left(\frac{1}{10^{14} \cdot 4 \cdot \alpha + 1,96} \right) \cdot \left(\frac{U_{salt}}{\sqrt{g \cdot D}} \right)^{1100 \cdot x + 2,5} \quad \text{Ec.A.85}$$

Y la Ec.A.86, mediante la cual se calcula la caída de presión en los tramos horizontales y verticales.

$$\Delta P_{Horiz} = P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \rho_f \cdot U_{fi}^2 + \frac{1}{2} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_p \cdot U_{pi}^2 + F_{fw} \cdot L + F_{pw} \cdot L + (1 - \varepsilon) \cdot L \cdot \rho_p \cdot g \cdot \sin \theta + \varepsilon \cdot L \cdot \rho_f \cdot g \cdot \sin \theta \quad \text{Ec.A.86}$$

• **Tramo 3. Del molino al separador (harina)**

En primer lugar, es importante enumerar todos los datos necesarios para el cálculo de estos valores. Respecto al producto, es necesario conocer que la granulometría respecto al D₉₈, es de 45 micras, tiene una densidad de 2.100 kg/m³ y tiene un caudal de 9.549 kg/h, lo que equivale a 2,65 kg/s. Respecto a la conducción, en el documento "2. Memoria" y apartado "9.7. Conducciones" se muestra el tamaño y accidentes de estas conducciones. Por último, hay que conocer que para todos los casos, la pérdida de carga máxima posible es de 0,55 bar y la densidad final de la fase diluida será de 1,2 kg/m³. Todos estos datos se muestran en la *Tabla A.2.16*.

Tabla A.2.16. Datos para el cálculo de la pérdida de carga del tramo 3.

| Términos | Unidades | Valores | | | | |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------|--------|-------|--------|-------|
| gravedad | m/s ² | 9,8 | | | | |
| caudal másico material (Qm) | kg/s | 2,65 | | | | |
| Conc. sólido | % en volumen | 1 | | | | |
| x (tamaño partícula) | m | 0,000045 | | | | |
| ρ partícula (ρ _p) | kg/m ³ | 2.100 | | | | |
| L vertical | m | 10 | | | | |
| L horizontal | M | 2 | | | | |
| Nº codos | Ud. | 2 | | | | |
| Δp máx. | bar | 0,55 | | | | |
| ρ _f aire | kg/m ³ | 1,2 | | | | |
| μ | Pa·s o Kg·m/s | 1,84·10 ⁻⁵ | | | | |
| D | pulgadas | 5 | 7 | 10 | 12 | 15 |
| | m | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |

En primer lugar se calcula la sección de la tubería mediante la *Ec.A.87*, para cada uno de los diámetros dados inicialmente, obteniéndose con ello los resultados expuestos en la *Tabla A.2.17*.

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad \text{Ec.A.87}$$

Tabla A.2.17. Cálculo de la sección de la conducción.

| Sección de la conducción | | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| A (m ²) | 0,0127 | 0,0248 | 0,0507 | 0,073 | 0,114 |

Una vez conocida la sección, se calcula la velocidad del gas, pero para ello es necesario conocer la velocidad de sedimentación, mediante la *Ec.A.85*, la cual se muestra anteriormente.

Para poder conocer esta velocidad de sedimentación, es necesario sustituir cada uno de los diámetros dados. El resultado se expresa en la *Tabla A.2.18*.

Tabla A.2.18. Cálculo de la velocidad de sedimentación para diferentes diámetros de conducto.

| Velocidad de sedimentación | | | | | |
|----------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| U _{salt} (m/s) | 17,21 | 16,09 | 14,95 | 14,4 | 13,76 |

Para calcular la velocidad superficial del gas (U_f) se multiplica la velocidad de sedimentación obtenida anteriormente, por un factor de seguridad (1,5), para asegurar suficiente caudal, y que no se produzca la sedimentación del mismo, obteniéndose los resultados mostrados en la *Tabla A.2.19*.

Tabla A.2.19. Cálculo de la velocidad superficial del gas.

| Velocidad superficial del gas | | | | | |
|-------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| U _f (m/s) | 25,82 | 24,14 | 22,43 | 21,60 | 20,64 |

Una vez conocida la velocidad del gas en función del diámetro se determina que a priori la mejor opción es la conducción de 15 pulgadas (0,381 m) ya que es la más próxima a los 20 m/s deseados. A continuación, se calcula la pérdida de carga para comprobar que se mantiene por debajo del límite máximo de 0,55 bares. Para ello se debe calcular esta pérdida de carga en todos los tramos (tramos horizontales, verticales y codos).

En primer lugar se calcula la pérdida de carga en el tramo horizontal, de una longitud de 2 metros, mediante la *Ec.A.86*, la cual, ha sido mostrada con anterioridad.

Sabiendo que el seno del ángulo es 0, se pueden eliminar los términos:

$$(1 - \varepsilon) \cdot L \cdot \rho_p \cdot g \cdot \sin \theta = 0 \quad \text{Ec.A.88}$$

$$\varepsilon \cdot L \cdot \rho_f \cdot g \cdot \sin \theta = 0 \quad \text{Ec.A.89}$$

Quedando la ecuación tal y como se muestra en la *Ec.A.90*.

$$\Delta P_{Horiz} = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon \cdot \rho_f \cdot U_{fi}^2 + \frac{1}{2} \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_p \cdot U_{pi}^2 + F_{fw} \cdot L + F_{pw} \cdot L \quad \text{Ec.A.90}$$

Para poder realizar este cálculo, es necesario conocer todos los términos mostrados en la *Tabla A.2.20*.

Tabla A.2.20. Términos necesarios para la pérdida de carga en el tramo horizontal.

| Término | Valor |
|---------------|-------------------------|
| ε | $i?$ |
| ρ_f | 1,2 kg/m ³ |
| U_{fi}^2 | $i?$ |
| ρ_p | 2.100 kg/m ³ |
| U_{pi}^2 | $i?$ |
| F_{fw} | $i?$ |
| F_{pw} | $i?$ |
| L | 2 m |

Para calcular la velocidad intersticial de la partícula (U_{pi}), se utiliza la *Ec.a.91*.

$$U_{pi} = U_f \cdot (1 - 0,0638 \cdot x^{0,3} \cdot \rho_p^{0,5}) \quad \text{Ec.A.91}$$

Se obtiene la *Tabla A.2.21*, en función del diámetro.

Tabla A.2.21. Velocidad intersticial de la partícula.

| Velocidad intersticial de la partícula | | | | | |
|--|-------|--------|-------|--------|-------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| U_{pi} (m/s) | 22,07 | 20,63 | 19,17 | 18,46 | 17,64 |

Para calcular la porosidad (ε), se utiliza la *Ec.A.92*.

$$\varepsilon = 1 - \frac{Q_m}{A \cdot U_{pi} \cdot \rho_p} \quad \text{Ec.A.92}$$

Se obtiene la *Tabla A.2.22*, en función del diámetro.

Tabla A.2.22. Porosidad.

| Porosidad | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| ε | 0,9955 | 0,9975 | 0,9987 | 0,9991 | 0,9994 |

Para calcular la velocidad intersticial del gas (U_{fi}), se utiliza la *Ec.a.93*.

$$U_{fi} = \frac{Q_f}{A \cdot \varepsilon} = \frac{U_f}{\varepsilon} \quad \text{Ec.A.93}$$

Se obtiene la *Tabla A.2.23*, en función del diámetro.

Tabla A.2.23. Velocidad intersticial del gas.

| Velocidad intersticial del gas | | | | | |
|--------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| U_{fi} (m/s) | 25,93 | 24,19 | 22,45 | 21,62 | 20,65 |

Para calcular el factor de fricción corregido del gas ($F_{fw}L$), se utiliza la *Ec.a.94*.

$$F_{fw}L = \frac{2 \cdot f \cdot \rho_f \cdot U_f^2}{D} \quad \text{Ec.A.94}$$

El término f se calcula teniendo en cuenta el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho_f \cdot U_f \cdot D}{\mu} \quad \text{Ec.A.95}$$

$$\text{Si } Re \leq 2 \cdot 10^3 \quad f = 16/Re$$

$$\text{Si } 2 \cdot 10^3 < Re \leq 2 \cdot 10^4 \quad f = 0,079 \cdot Re^{1/5}$$

$$\text{Si } Re > 2 \cdot 10^4 \quad f = 0,046 \cdot Re^{-0,25}$$

Se obtiene la *Tabla A.2.24*, en función del diámetro.

Tabla A.2.24. Factor de fricción corregido del gas en el tramo horizontal.

| Factor de fricción corregido del gas en el tramo horizontal | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| Re | 213.815,54 | 279.861,07 | 371.475,00 | 429.370,43 | 512.859,13 |
| f | 0,5355 | 0,5651 | 0,5981 | 0,6156 | 0,6379 |
| F _{fw} L | 6.744,00 | 4.443,45 | 2.841,75 | 2.261,66 | 1.711,84 |

Para calcular el factor de fricción corregido de los sólidos (F_{pw}L), se utiliza la *Ec.a.96*.

$$F_{pw}L = \frac{2 \cdot f \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \rho_p \cdot U_{pi}^2 \cdot L}{D} \quad \text{Ec.A.96}$$

Para el cálculo de f se ha de tener en cuenta el número de Reynolds y el C_D.

$$f = \frac{3 \cdot \rho_f \cdot D}{8 \cdot \rho_p \cdot x} \cdot C_D \cdot \left(\frac{U_{fi} - U_{pi}}{\mu U_{pi}} \right)^2 \quad \text{Ec.A.97}$$

$$Re = \frac{\rho_f \cdot (U_{fi} - U_{pi}) \cdot x}{\mu} \quad \text{Ec.A.98}$$

Si $Re \leq 1$ $C_D = 24/Re$

Si $1 < Re \leq 500$ $C_D = 28,5 \cdot Re^{-0,6}$

Si $500 < Re < 2 \cdot 10^5$ $C_D = 0,44$

Se obtiene la *Tabla A.2.25*, en función del diámetro.

Tabla A.2.25. Factor de fricción corregido de los sólidos en el tramo horizontal.

| Factor de fricción corregido de los sólidos en el tramo horizontal | | | | | |
|--|-----------|----------|----------|----------|----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| Re | 11,34 | 10,46 | 9,64 | 9,26 | 8,83 |
| C _D | 4,31 | 4,52 | 4,75 | 4,87 | 5,01 |
| f | 0,1399 | 0,2 | 0,2952 | 0,3611 | 0,4625 |
| F _{pw} L | 20.282,66 | 9.917,46 | 4.658,34 | 3.176,12 | 1.991,26 |

Conociendo todos los datos necesarios, se puede calcular mediante la *Ec.A.90* la pérdida de carga en el tramo horizontal, en función del diámetro, dando como resultado la *Tabla A.2.26*.

Tabla A.2.26. Caída de presión en el tramo horizontal.

| Caída presión en el tramo horizontal | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| ΔP _{Horiz} (Pa) | 36.474,61 | 20.257,00 | 11.144,94 | 8.314,78 | 5.875,77 |

El siguiente paso es calcular la pérdida de carga en el tramo vertical, de 10 metros de longitud, mediante la *Ec.A.86*, la cual se puede reducir sabiendo que los dos primeros términos son mucho más dominantes en el transporte horizontal, respecto al vertical, ya que son producidos debido a la energía cinética. Además, sabiendo que se trata de un tramo vertical, el ángulo es de 90°, con lo cual, $\sin \theta = 1$. Con estas simplificaciones se obtiene la *Ec.A.99*.

$$\Delta P_{Vert} = F_{fw} \cdot L + F_{pw} \cdot L + (1 - \varepsilon) \cdot L \cdot \rho_p \cdot g + \varepsilon \cdot L \cdot \rho_f \cdot g \quad \text{Ec.A.99}$$

Para poder realizar este cálculo correctamente es necesario conocer los términos mostrados en la *Tabla A.2.20*.

El cálculo del factor de fricción corregido del gas ($F_{fw}L$), se realiza de la misma forma que en el caso de conducciones horizontales, mediante la *Ec.a.94*, con la única diferencia que en este caso la conducción en lugar de ser de 2 metros, es de 10 metros. Con este dato se puede obtener la *Tabla A.2.27*.

Tabla A.2.27. Factor de fricción corregido del gas en el tramo vertical.

| Factor de fricción corregido del gas en el tramo vertical | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| Re | 213.815,54 | 279.861,07 | 371.475,00 | 429.370,43 | 512.859,13 |
| f | 0,5355 | 0,5651 | 0,5981 | 0,6156 | 0,6379 |
| F _{fw} L | 67.439,99 | 44.434,51 | 28.417,52 | 22.616,64 | 17.118,40 |

Para calcular el factor de fricción corregido de los sólidos ($F_{pw}L$), se utiliza la *Ec.a.100*.

$$F_{pw}L = 0,057 \cdot G \cdot L \cdot \sqrt{\frac{g}{D}} \quad \text{Ec.A.100}$$

Donde G corresponde al gasto másico de silicato de zirconio por unidad de área, tal y como se muestra en la *Ec.A.101*.

$$G = \frac{Qm}{A} \quad \text{Ec.A.101}$$

Con esto se puede obtener la *Tabla A.2.28*, en función del diámetro.

Tabla A.2.28. Factor de fricción corregido de los sólidos en el tramo vertical.

| Factor de fricción corregido de los sólidos en el tramo vertical | | | | | |
|---|----------|--------|--------|--------|-------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| G | 209,39 | 106,83 | 52,35 | 36,35 | 23,27 |
| F _{pw} L | 1.048,44 | 452,09 | 185,34 | 117,49 | 67,26 |

Para el cálculo de la energía potencial corregido de los sólidos, se utiliza el siguiente término, donde la porosidad se ha calculado en la *Tabla A.2.22*.

$$(1 - \varepsilon) \cdot L \cdot \rho_p \cdot g \quad \text{Ec.A.102}$$

Sustituyendo se obtiene la *Tabla A.2.29*, en función del diámetro.

Tabla A.2.29. Energía potencial corregida de los sólidos en el tramo vertical.

| Energía potencial de los sólidos | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| (1-ε)·L·ρ _p ·g | 929,02 | 506,98 | 267,37 | 192,76 | 129,11 |

Finalmente, para el cálculo de la energía potencial corregida del gas, se utiliza el siguiente término, obteniéndose la *Tabla A.2.30*.

$$\varepsilon \cdot L \cdot \rho_f \cdot g \quad \text{Ec.A.103}$$

Tabla A.2.30. Energía potencial corregida del gas en el tramo vertical.

| Energía potencial del gas | | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| ε·L·ρ _f ·g | 117,07 | 117,31 | 117,45 | 117,49 | 117,53 |

Conociendo todos los datos necesarios, se puede calcular mediante la *Ec.A.99* la pérdida de carga en el tramo vertical, en función del diámetro, dando como resultado la *Tabla A.2.31*.

Tabla A.2.31. Caída de presión en el tramo vertical.

| Caída presión en el tramo vertical | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
|---|--|--|--|--|--|

| Caída presión en el tramo vertical | | | | | |
|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| ΔP_{Vert} (Pa) | 69.534,52 | 45.510,90 | 28.987,67 | 23.044,38 | 17.432,29 |

Finalmente se calcula la pérdida de carga correspondiente a los codos.

Para ello se hace uso de la *Figura A.2.12*, en la que se traza una línea recta que una el tipo de accidente que se desea calcular y el diámetro de la conducción, obteniéndose el valor deseado de la longitud equivalente por el punto en el que se corta dicha escala.

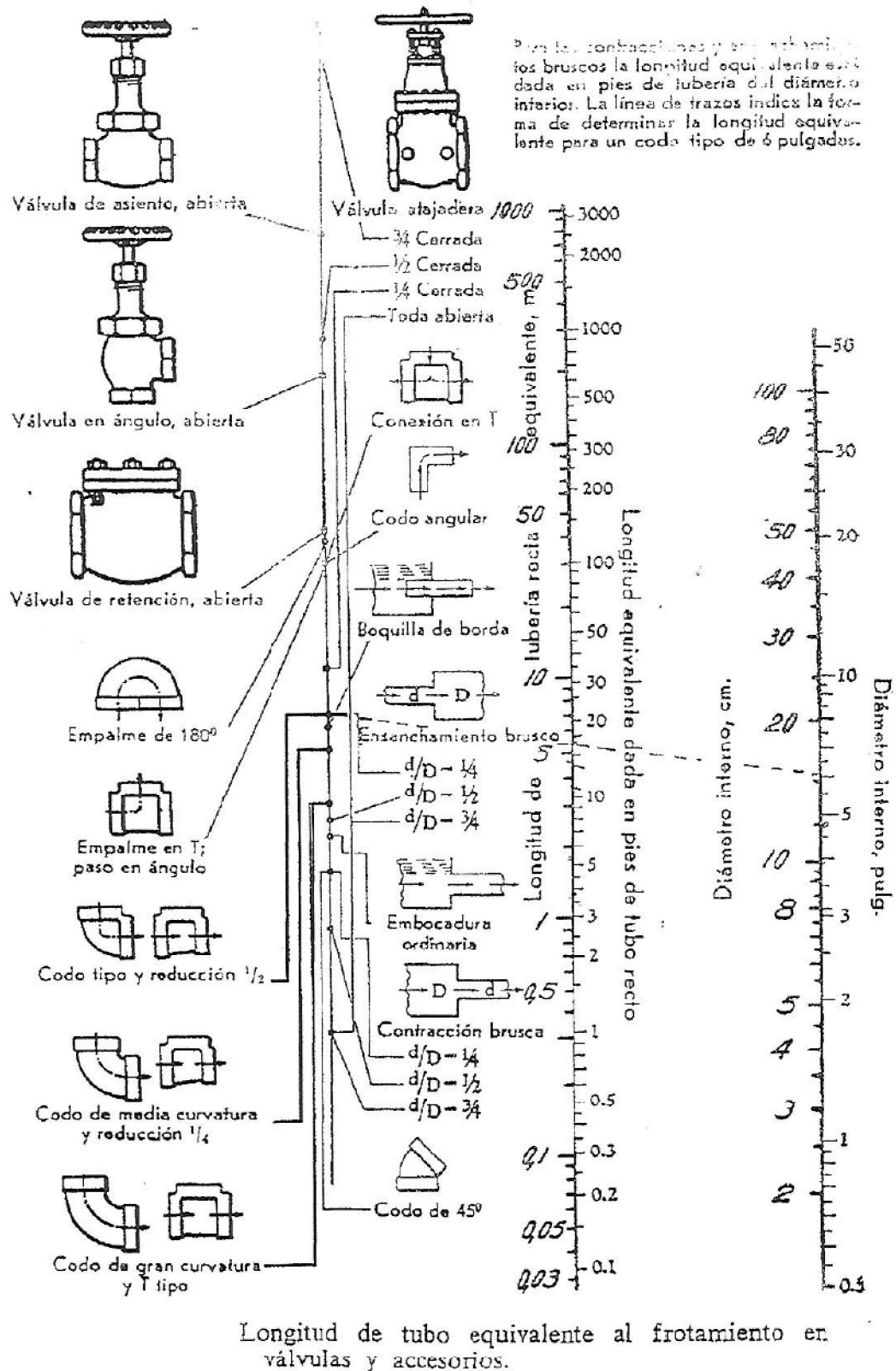


Figura A.2.12. Gráfica para el cálculo de la longitud equivalente de los accidentes.

Recuperado de la signatura EQ1019: "Mecánica de Fluidos".

Para el cálculo de los accidentes de este tramo, se calcula gráficamente la longitud equivalente considerando que hay dos codos de gran curvatura. Una vez conocida la longitud equivalente, se calcula la pérdida de carga mediante la *Ec.A.104*. Esto se muestra en la *Tabla A.2.32*.

$$\Delta P_{Acc} = n^{o}acc \cdot L_{eq} \cdot \frac{\Delta P_{Vert}}{L} \quad Ec.A.104$$

Tabla A.2.32. Caída de carga por los accidentes.

| Caída de carga por los accidentes | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| L _{eq} | 2,8 | 4 | 5 | 6,5 | 8 |
| ΔP _{Acc} (Pa) | 38.939,82 | 36.409,10 | 28.987,93 | 29.957,94 | 27.891,85 |

Una vez conocida la caída de carga de todas las secciones del tramo, se calcula la caída de carga total realizando la suma de todas ellas, expresada en la *Tabla A.2.33*.

Tabla A.2.33. Caída de presión total del tramo 3.

| Caída de presión total (tramo 3) | | | | | |
|----------------------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| ΔP _{Tramo3} (Pa) | 145.031,82 | 102.175,08 | 69.128,73 | 61.322,28 | 51.201,94 |
| ΔP _{Tramo3} (Bar) | 1,45 | 1,02 | 0,69 | 0,61 | 0,51 |

El diámetro cuya caída de presión es acorde a las especificaciones iniciales, en las que no se podía superar una caída de presión de 0,55, es el diámetro de 15 pulgadas (D=0,381 m). Además, respecto a la velocidad superficial del gas, con el diámetro seleccionado se obtiene una velocidad de 20,64 m/s, acorde a las especificaciones requeridas.

A continuación se calcula la caída de presión para el resto de casos.

El procedimiento realizado para el tramo 3 correspondiente a la producción de harina, se repite de la misma manera para el resto de tramos, tanto de la producción de micronizado como de harina.

Para ello se suponen los mismos diámetros que en el caso anterior y únicamente varían los datos dados en la *Tabla A.2.34*.

Tabla A.2.34. Datos para el cálculo de la pérdida de carga.

| | Tramo 3 | | Tramo 4 | | Tramo 5 | | Tramo 6 | |
|-----------------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|--|
| | Micro. | Harina | Micro. | Harina | Micro. | Harina | Micro. | |
| Qm (kg/s) | 2,43 | 1,74 | 2,20 | 0,91 | 0,23 | 0,91 | 0,23 | |
| x (m) | 0,00001 | 0,000045 | 0,00001 | 0,000045 | 0,00001 | 0,000045 | 0,00001 | |
| (ρ_p) (kg/m ³) | 1.900 | 2.100 | 1.900 | 2.100 | 1.900 | 2.100 | 1.900 | |
| L vertical (m) | 10 | 1,5 | | 11 | | 21 | | |
| L horizontal (m) | 2 | 7 | | 7 | | 11 | | |
| Nº codos | 2 | 2 | | 2 | | 2 | | |
| Nº Válvula T | 0 | 0 | | 0 | | 1 | | |
| θ | - | 45° | | - | | - | | |

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas.

Tabla A.2.35. Resultados de caída de presión el tramo 3 (micronizado).

| Caída de presión total (tramo 3, micronizado) | | | | | |
|---|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| $\Delta P_{\text{Tramo3m}}$ (Pa) | 225.101,78 | 138.181,60 | 84.135,56 | 70.360,64 | 55.750,46 |
| $\Delta P_{\text{Tramo3m}}$ (Bar) | 2,25 | 1,38 | 0,84 | 0,70 | 0,56 |

Tabla A.2.36. Resultados de caída de presión el tramo 4 (harina).

| Caída de presión total (tramo 4, harina) | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| $\Delta P_{\text{Tramo4h}}$ (Pa) | 120.128,73 | 79.729,93 | 51.732,88 | 45.318,29 | 37.431,93 |
| $\Delta P_{\text{Tramo4h}}$ (Bar) | 1,20 | 0,80 | 0,52 | 0,45 | 0,37 |

Tabla A.2.37. Resultados de caída de presión el tramo 4 (micronizado).

| Caída de presión total (tramo 4, micronizado) | | | | | |
|---|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| $\Delta P_{\text{Tramo4m}}$ (Pa) | 332.700,95 | 181.648,73 | 98.911,74 | 77.511,90 | 54.972,80 |
| $\Delta P_{\text{Tramo4m}}$ (Bar) | 3,33 | 1,82 | 0,99 | 0,78 | 0,55 |

Tabla A.2.38. Resultados de caída de presión el tramo 5 (harina).

| Caída de presión total (tramo 5, harina) | | | | | |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| $\Delta P_{\text{Tramo5h}}$ (Pa) | 105.670,31 | 71.374,93 | 46.879,08 | 40.389,35 | 32.846,63 |

| Caída de presión total (tramo 5, harina) | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| $\Delta P_{\text{Tramo5h}}$ (Bar) | 1,06 | 0,71 | 0,47 | 0,40 | 0,33 |

Tabla A.2.39. Resultados de caída de presión el tramo 5 (micronizado).

| Caída de presión total (tramo 5, micronizado) | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| $\Delta P_{\text{Tramo5m}}$ (Pa) | 60.549,15 | 37.844,78 | 23.337,19 | 19.393,99 | 15.290,62 |
| $\Delta P_{\text{Tramo5m}}$ (Bar) | 0,61 | 0,38 | 0,23 | 0,19 | 0,15 |

Tabla A.2.40. Resultados de caída de presión el tramo 6 (harina).

| Caída de presión total (tramo 6, harina) | | | | | |
|--|------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| $\Delta P_{\text{Tramo6h}}$ (Pa) | 177.426,89 | 119.242,61 | 77.984,44 | 66.652,55 | 53.826,36 |
| $\Delta P_{\text{Tramo6h}}$ (Bar) | 1,77 | 1,19 | 0,78 | 0,67 | 0,54 |

Tabla A.2.41. Resultados de caída de presión el tramo 6 (micronizado).

| Caída de presión total (tramo 6, micronizado) | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| D (m) | 0,127 | 0,1778 | 0,254 | 0,3048 | 0,381 |
| $\Delta P_{\text{Tramo6m}}$ (Pa) | 99.947,26 | 62.445,19 | 38.480,04 | 31.806,68 | 24.952,16 |
| $\Delta P_{\text{Tramo6m}}$ (Bar) | 1,00 | 0,62 | 0,38 | 0,32 | 0,25 |

Con estos resultados, se obtiene que el diámetro adecuado para cada conducción es el descrito en la *Tabla A.2.42*.

Tabla A.2.42. Resumen resultados obtenidos para el diámetro.

| | Tramo 3 | | Tramo 4 | | Tramo 5 | | Tramo 6 | |
|-------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|
| | Harina | Micro. | Harina | Micro. | Harina | Micro. | Harina | Micro. |
| D (m) | 0,381 | 0,381 | 0,254 | 0,381 | 0,127 | 0,178 | 0,381 | 0,254 |

2.3. Amortización de los equipos

Para conocer la amortización o el coste anual de la maquinaria y equipos es necesario conocer la vida útil de esta maquinaria.

Sin embargo, la vida útil no es la misma para todos los equipos. El molino de bolas tiene una vida útil según fabricante de 20 años y para el filtro de mangas, el fabricante establece una vida útil de 5 años. Para el resto de los equipos se establece que su vida útil es de 10 años.

$$\textit{Amortización molinos} = \frac{3.000.000}{20} = 150.000 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad \text{Ec.A.105}$$

$$\textit{Amortización filtro mangas} = \frac{105.000}{3} = 35.000 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad \text{Ec.A.106}$$

$$\textit{Amortización equipos} = \frac{1.234.400}{10} = 123.440 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad \text{Ec.A.107}$$

Esto indica que la amortización anual de todos los equipos, que corresponde a la suma de todas ellas, asciende a un total de:

$$\textit{Amortización total} = 308.440 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad \text{Ec.A.108}$$

2.4. Coste del personal de trabajo

Para llevar a cabo la contratación del número de empleados se ha seguido el siguiente criterio:

- 1 trabajador por turno dedicado al almacén de materias primas. 1.200 €/mes x 3 trabajadores.
- 1 trabajador por turno para el control de los molinos. 1.200 €/mes x 3 trabajadores.
- 1 trabajador por turno para el almacén de producto terminado. 1.200 €/mes x 3 trabajadores.
- 2 jefe de planta. 1.500 €/mes x 2 trabajadores.
- 1 trabajador en laboratorio para los controles de calidad. 1.500 €/mes x 1 trabajador.
- 3 administrativos para llevar a cabo el control de compras, ventas y recepción. 1.500 €/mes x 3 trabajadores.

- 1 gerente. 2.500 €/mes.

Para verlo de forma más clara, se ha realizado la *Tabla A.2.43*, en la que aparecen los cargos de los trabajadores, el número de trabajadores en cada cargo, los turnos y el sueldo.

Tabla A.2.43. Trabajadores de la planta.

| cargo | nº trabajadores | turnos | sueldo/mes | total/mes |
|----------------------------|------------------------|---------------|-------------------|------------------|
| Almacén materias primas | 1 | 3 | 1.200 | 3.600 |
| Molinos | 1 | 3 | 1.200 | 3.600 |
| Almacén producto terminado | 1 | 3 | 1.200 | 3.600 |
| Jefe planta | 1 | 2 | 1.500 | 3.000 |
| Laboratorio | 1 | 1 | 1.500 | 1.500 |
| Administrativo | 3 | 1 | 1.500 | 4.500 |
| Gerente | 1 | 1 | 2.500 | 2.500 |
| Total | | | | 22.300 |

El total de empleados en la empresa será de 16 trabajadores, con un sueldo global total de 22.300 €/mes.

2.5. Cálculos del consumo eléctrico y de agua

Para la estimación del consumo de energía se ha calculado la potencia de cada máquina suponiendo un trabajo diario de 24 horas para la producción de micronizado y de 12 horas para la producción de harina, durante 6 días a la semana.

Pero no todas las máquinas van a estar trabajando durante este periodo de tiempo, el toro mecánico industrial y la pala cargadora se considera que trabajan durante un tiempo estimado de 6 horas.

Con esta información y sabiendo que el precio del kWh es de 0,13267 € se construye la *Tabla A.2.44*, donde aparecen todas las potencias de cada máquina con su potencia consumida por hora, mes, año y el consumo total.

Tabla A.2.44. Precios del consumo energético.

| Máquinas | potencia (kW) | kWh/día | kWh/mes | kWh/año | Consumo (€) |
|--------------------------|-------------------|-----------|------------|--------------|--------------|
| Pala cargadora | 168 | 1.008,00 | 26.208,00 | 314.496,00 | 41.724,18 |
| Elevador de cangilones | 15 x 3 | 45,00 | 1.170,00 | 14.040,00 | 1.862,69 |
| Cintas dispensadoras | 4,5 x 3 | 13,50 | 351,00 | 4.212,00 | 558,81 |
| Separador magnético | 3 x 3 | 9,00 | 234,00 | 2.808,00 | 372,54 |
| Molino de bolas (harina) | 153,3 x 3,28(ton) | 6.033,89 | 156.881,09 | 1.882.573,06 | 249.760,97 |
| Molino de bolas (micro) | 613,1 x 0,82 x 2 | 24.131,62 | 627.422,02 | 7.529.064,19 | 998.880,95 |
| Separador | 50 x 3 | 150,00 | 3.900,00 | 46.800,00 | 6.208,96 |
| Filtros de mangas | 20 x 3 | 134,00 | 3.484,00 | 41.808,00 | 5.546,67 |
| Carretilla elevadora | 7,5 x 2 | 90,00 | 2.340,00 | 28.080,00 | 3.725,37 |
| Soplador | 15 x 9 | 135,00 | 3.510,00 | 42.120,00 | 5.588,06 |
| Total | | | | | 1.314.229,19 |

Respecto al coste del agua comentar que se consume la necesaria para uso sanitario e higiénico, es decir, se supone que cada trabajador consume una media de 120 L/día. En la *Tabla A.2.45* se expone el coste del agua, considerando que el precio de esta es de 2,15 €/m³.

Tabla A.2.45. Precios del consumo de agua.

| | m ³ /día | m ³ /mes | m ³ /año | Consumo (€) |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| Trabajadores | 1,92 | 49,92 | 599,04 | 1.287,94 |

2.6. Coste conducciones

Para el cálculo de las conducciones de acero galvanizado, se establece el precio por cada 100 metros de longitud de conducción, según el diámetro de la misma. Esto se obtiene a partir del distribuidor mostrado en la *Figura A.2.13*.

| Díámetro | Espesor | Precios - Euros / 100 metros |
|----------|---------|------------------------------|
| Pulgadas | mm | Negro lisos |
| 8" | 3 | 1.854 |
| | 4 | 2.368 |
| | 5 | 3.021 |
| | 6 | 3.676 |
| 10" | 4 | 3.036 |
| | 5 | 3.875 |
| | 6 | 4.689 |
| 12" | 4 | 3.702 |
| | 5 | 4.665 |
| | 6 | 5.647 |
| 15" | 4 | 4.772 |
| | 5 | 5.502 |
| | 6 | 6.236 |

Figura A.2.13. Precio conducciones. Recuperado de "

<http://www.condesa.com/pdf/es/TUBO%20CONDUCCI%C3%93N%20CASTELLANO.pdf>

A partir de este precio se calcula el coste de las tuberías, suponiendo que la tubería 7" tendrá un coste de 3.000 €/100m y la de 5" tendrá un coste de 2.000 €/100m. El espesor es de 5mm para todas las conducciones. El coste total se expone en la *Tabla A.2.46*.

Tabla A.2.46. Coste de las conducciones.

| | Tramo 3 | | Tramo 4 | | Tramo 5 | | Tramo 6 | |
|-----------------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|----------|----------|
| | Harina | Micro. | Harina | Micro. | Harina | Micro. | Harina | Micro. |
| D (m) | 0,381 | 0,381 | 0,254 | 0,381 | 0,127 | 0,178 | 0,381 | 0,254 |
| D (pulgadas) | 15 | 15 | 10 | 15 | 5 | 7 | 15 | 10 |
| Precio (€/100m) | 5.502 | 5.502 | 3.875 | 5.502 | 2.000 | 3.000 | 5.502 | 3.875 |
| Longitud (m) | 12 | 12 | 8,5 | 8,5 | 18 | 18 | 32 | 32 |
| Precio (€) | 660,24 | 660,24 | 329,38 | 467,67 | 360,00 | 540,00 | 1.760,64 | 1.240,00 |

Se debe de tener en cuenta que cada accesorio tiene un coste de 20 €/unidad y que hay 10 codos de gran curvatura, 1 válvula en T y 8 entradas redondeadas.

Con esto se establece que el coste total de las conducciones asciende a un total de 6.398,17 €, tal y como se muestra en el PEM.

2.7. Coste materia prima

El silicato de zirconio en forma de arena es la materia prima, la cual va a ser procesada hasta obtenerse un producto con la granulometría deseada. Tal y como se ha estudiado en el documento "2. Memoria" y apartado "4.2. Situación económica en el mercado mundial", el coste de esta materia prima está alrededor de los 1.316 €/t.

Con este dato y sabiendo las toneladas que se deben de producir para poder suplir la demanda de silicato de zirconio, (24.000 t/año), suponiendo que las pérdidas durante el proceso de producción son despreciables a efectos del cálculo del coste de materia prima, se puede calcular el coste de la materia prima durante el primer año.

$$\text{Coste anual materia prima} = 1.316 \cdot 24.000 = 31.584.000 \text{ €} \quad \text{Ec.A.109}$$

2.8. Gastos varios

Estos gastos corresponden al consumo de gasóleo para la pala cargadora y a las bolas de molturación.

El consumo de gasóleo se ha calculado en el documento "3.Anexos", punto "2.1.1. Pala cargadora" y corresponde a un gasto de 887,04 €/año.

Respecto al consumo de bolas de alúmina, este se ha calculado en el documento "3.Anexos", punto "2.1.8. Bolas de alúmina" y corresponde a un gasto total para el primer año de 263.385 €/año. A partir del segundo año, el coste sólo corresponderá al desgaste de las bolas, lo que proporciona un gasto de 127.035 €/año.

2.9. Ingresos totales

Los ingresos obtenidos son debido a la venta de los dos productos obtenidos. La cantidad total de cada uno de estos productos se ha obtenido de la bibliografía y está representado en la *Tabla M.4.2*. Aquí se observa que durante un año, las ventas de silicato de zirconio en forma de harina son de 12.000 toneladas y las de silicato de zirconio en forma micronizado también son de 12.000 toneladas.

Respecto al precio de venta, estos productos tienen un precio distinto, siendo el micronizado el más caro debido a su mayor tiempo dentro del molino, lo que provoca un mayor consumo energético y de elementos molturantes.

El precio del silicato de zirconio en forma de harina tiene un incremento sobre el coste de la arena del 7% y el del micronizado del 12%. Por tanto los ingresos durante el primer año son:

$$\text{Precio harina} = \text{Coste m. p.} \cdot 1,05 = 1.316 \cdot 1,07 = 1.408,1 \text{ €/t} \quad \text{Ec.A.111}$$

$$\text{Precio micronizado} = \text{Coste m. p.} \cdot 1,1 = 1.316 \cdot 1,12 = 1.473,9 \text{ €/t} \quad \text{Ec.A.112}$$

$$\text{Ingresos anuales} = \text{Precio harina} \cdot \text{ton. anu.} + \text{Precio micro.} \cdot \text{ton. anu.} \quad \text{Ec.A.113}$$

$$\text{Ingresos anuales} = 1.408,1 \cdot 12.000 + 1.473,9 \cdot 12.000 = 34.584.480 \text{ €} \quad \text{Ec.A.114}$$

3. Estudio de seguridad y salud de impacto ambiental

De acuerdo a la Ley 31/1995 de prevención de riesgos laborales, se establece , con carácter obligatorio, la realización de un estudio a priori, de prevención de riesgos laborales, para establecer unas medidas correctoras que ofrezcan garantías de seguridad sobre los posibles riesgos identificados, los daños causados por estos y las consecuencias que podrían causar.

Uno de los métodos propuestos por la Ley 31/1995, es el método general de valoración de riesgos, INSHT, el cual se va a utilizar en este estudio. En este método, se establece un índice de tolerabilidad, asignando un nivel de riesgo, de acuerdo a unos criterios, los cuales se muestran en la *Tabla A.3.1*. La clasificación se realiza respecto a dos calificaciones:

- Consecuencias del daño:
 - Leve. Daños superficiales, molestias, irritación,...
 - Importante. Quemaduras, torceduras, asma,...
 - Serio. Amputaciones, lesiones múltiples, cáncer,...
- Probabilidad de que ocurra:
 - Poco posible. Se sabe que ha pasado en alguna parte.
 - Posible. Secuencia rara, pero posible.
 - Casi seguro. Es el resultado más probable.

Tabla A.3.1. Índice de tolerabilidad del método INSHT.

| | | Consecuencias del daño | | |
|----------------------------|--------------|------------------------|------------|-------------|
| | | Leve | Importante | Serio |
| Probabilidad de que ocurra | Poco posible | Trivial | Tolerable | Moderado |
| | Posible | Tolerable | Moderado | Importante |
| | Casi seguro | Moderado | Importante | Intolerable |

Según el resultado obtenido respecto al índice de tolerabilidad, se deben realizar una serie de controles y acciones a realizar. A continuación, se describen los criterios de decisión que se deben adoptar.

- Trivial: No se requiere acción específica.
- Tolerable: No se necesita mejorar la acción preventiva, sin embargo se deben considerar soluciones más rentables y comprobaciones periódicas.
- Moderado: Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas y en un periodo de tiempo determinado.
- Importante: No se debe comenzar el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe solucionarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
- Intolerable: No se debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. SI no es posible reducir el riesgo, debe prohibirse el trabajo.

Considerando la descripción de riesgos y códigos descrita en la Ley 31/1995, se seleccionan los riesgos que afectan con una mayor importancia a la instalación presente en el proyecto.

- 01: Caída de personas a distinto nivel.
- 02: Caída de personas al mismo nivel.
- 03: Caída de objetos por desplome o derrumbamiento.
- 16: Contactos eléctricos.
- 17: Exposición a sustancias nocivas o tóxicas.
- 18: Contacto con sustancias cáusticas o corrosivas.
- 19: Exposición a radiaciones.
- 24: Exposición al ruido.

Estos riesgos se analizan y se aplican el método INSHT mostrado en la *Tabla A.1.2*, para evaluar el riesgo y si es necesaria la realización de medidas correctivas.

Tabla A.1.2. Evaluación de los riesgos presentes.

| Código | Descripción del riesgo | Probabilidad/ Consecuencia | Índice de tolerabilidad |
|-----------------------|--|-------------------------------|-------------------------|
| 1 | Caídas desde escaleras de acceso a plataformas de trabajo | Posible | Moderado |
| | | Importante | |
| 2 | Caídas de personas al mismo nivel por tropiezos con herramientas u otros objetos | Poco posible | Tolerable |
| | | Importante | |
| 3 | Derrumbamiento de pallets apilados en almacenamientos | Posible | Moderado |
| | | Importante | |
| 16 | Contactos eléctricos durante el uso de herramientas portátiles | Poco posible | Moderado |
| | | Serio | |
| 17 | Tareas realizadas en espacios confinados (molinos) | Posible | Importante |
| | | Serio | |
| | Exposición a polvo respirable/sílice libre cristalina | Posible | Importante |
| | | Serio | |
| Exposición a zirconio | Casi seguro | Moderado | |
| | Leve | | |
| 18 | Contacto con ácidos de las baterías durante el cambio de las mismas | Poco posible | Tolerable |
| | | Importante | |
| 19 | Exposiciones a radiaciones ionizantes | Posible | Importante |
| | | Serio | |
| 24 | Exposición al ruido por el uso de maquinaria e instalaciones | Posible | Moderado |
| | | Importante | |

Respecto a los resultados obtenidos, se debe de actuar en cada uno de los riesgos enumerados. Las medidas correctoras que se llevan a cabo se describen en la *Tabla A.1.3*.

Tabla A.1.3. Medias correctoras.

| Código | Riesgo | Medida de control |
|--------|---|--|
| 01 | Caídas desde escaleras de acceso a plataformas de trabajo | Cumplir las recomendaciones preventivas sobre orden y limpieza. |
| | | Mantener actualizada la formación, volviéndola a impartir cuando se considere necesario. |
| | | Mantener el orden y la limpieza de las escaleras. |
| | | Usar calzado de seguridad categoría S1P homologado (marcado "CE") o superior. |
| 02 | Caídas de personas | Mantener actualizada la formación, volviéndola a impartir |

| Código | Riesgo | Medida de control |
|--|--|---|
| | al mismo nivel por tropiezos con herramientas u otros objetos | cuando se considere necesario. |
| | | Usar calzado de seguridad categoría S1P homologado (marcado "CE") o superior. |
| | | Mantener el orden y la limpieza de la sección. |
| 03 | Derrumbamiento de pallets apilados en almacenamientos | Cumplir las recomendaciones preventivas sobre almacenamiento de pallets. |
| | | No apilar pallets a una altura superior a la equivalente a tres pallets completos (aprox. 3 ó 3,5 m). |
| | | No apilar pallets sin flejar a más de 2 alturas. |
| | | No apilar nada sobre un pallet sin flejar. |
| | | No apilar nada sobre un pallet cuya superficie superior no sea suficientemente uniforme. |
| | | No apilar nada sobre una pila cuya estabilidad no sea evidente, ante cualquier duda se comunicará la situación al superior inmediato. |
| | | Los materiales se depositarán en los lugares destinados para este fin, sin invadir los espacios destinados al tránsito, a la carga/descarga o al embalado/desembalado de materiales. |
| | | Al apilar bultos debe cuidarse la estabilidad de la pila, de forma que no re presente riesgo para las personas, carretillas o cualquier otro medio de transporte que circule por sus inmediaciones. |
| | | Revisar periódicamente el correcto apilado de pallets terminados, el estado de conservación de pallets y flejes y la limitación del número de pallets en altura. |
| 16 | Contactos eléctricos durante el uso de herramientas portátiles | Uso de herramientas eléctricas portátiles con sistema de protección mediante doble aislamiento. |
| | | Uso de lámparas portátiles serán de doble aislamiento y con marcado "CE" o se utilizará transformador con tensión de seguridad o separación de circuitos. |
| | | Revisar el estado de cables de alimentación, correcta elección y buen estado del prolongador, de las clavijas de enchufes e interruptores. |
| | | Mantener actualizada la formación, volviéndola a impartir cuando se considere necesario. |
| | | Cumplir la información entregada sobre el uso de herramientas eléctricas. |
| | | Mantener actualizado el registro de EPI's. |
| | | La reparación de herramientas y maquinaria de funcionamiento eléctrico será realizada únicamente por especialistas. |
| | | El conexionado de cables a las tomas de corriente se realizará siempre con clavijas de enchufe, nunca directamente con los cables. |
| | | Verificar la separación entre las partes activas y las m asas accesibles por medio de aislamientos de protección. |
| Los materiales deben satisfacer las prescripciones | | |

| Código | Riesgo | Medida de control |
|-------------------------|---|---|
| | | señaladas para aparatos con aislamiento de la Clase II, según la Instrucción MI BT 031. |
| 17 | Tareas realizadas en espacios confinados (molinos) | Cumplir las instrucciones de trabajo seguro para las tareas que se realicen en el interior de los espacios confinados. |
| | | Mantener actualizada la formación, volviéndola a impartir cuando se considere necesario. |
| | | Mantener actualizado el registro de EPI's. |
| | | Vigilancia de la salud. |
| 17 | Exposición a polvo respirable/sílice libre cristalina | Cumplir el programa de revisiones periódicas y mantenimiento de los sistemas de aspiración localizada. |
| | | Mantener actualizada la formación, volviéndola a impartir cuando se considere necesario. |
| | | Cumplir las recomendaciones preventivas sobre la exposición a contaminantes químicos. |
| | | Mantener actualizado el registro de entrega de los equipos de protección individual que se indiquen en las fichas de seguridad. |
| | | Utilizar los equipos de protección individual que se indiquen en las fichas de seguridad. |
| | | Mantener la identificación y etiquetado de todos los recipientes, de manera que no pueda haber confusión sobre el contenido de cualquiera de ellos. Cumplir con el Reglamento CLP, Reglamento (CE) n° 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas. |
| | | Mantener actualizada las fichas de seguridad de los productos empleados y permitir a los trabajadores, o a sus representantes, el acceso a las mismas. |
| | | Mantener la señalización de prohibir comer y beber en el puesto de trabajo. |
| Vigilancia de la salud. | | |
| 17 | Exposición a zirconio | Cumplir el programa de revisiones periódicas y mantenimiento de los sistemas de aspiración localizada. |
| | | Mantener actualizada la formación, volviéndola a impartir cuando se considere necesario. |
| | | Cumplir las recomendaciones preventivas sobre la exposición a contaminantes químicos. |
| | | Mantener actualizado el registro de entrega de los equipos de protección individual que se indiquen en las fichas de seguridad. |
| | | Utilizar los equipos de protección individual que se indiquen en las fichas de seguridad. |
| | | Mantener la identificación y etiquetado de todos los recipientes, de manera que no pueda haber confusión sobre el contenido de cualquiera de ellos. Cumplir con el Reglamento CLP, Reglamento (CE) n° 1272/2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas. |
| | | |

| Código | Riesgo | Medida de control |
|--------|---|--|
| | | Mantener actualizada las fichas de seguridad de los productos empleados y permitir a los trabajadores, o a sus representantes, el acceso a las mismas. |
| | | Mantener la señalización de prohibir comer y beber en el puesto de trabajo. |
| | | Vigilancia de la salud. |
| 18 | Contacto con ácidos de las baterías durante el cambio de las mismas | Usar guantes de seguridad con resistencia a químicos homologados (marcado "CE") y otros equipos que sean necesarios. |
| | | Mantener actualizado el registro de entrega de EPI's. |
| | | Cumplir las recomendaciones preventivas para el cambio de baterías. |
| 19 | Exposiciones a radiaciones ionizantes | Cumplimiento normativa " Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes" R.D. 53/1992. |
| | | Vigilancia médica de los trabajadores. |
| 24 | Exposición al ruido por el uso de maquinaria e instalaciones | Mantener actualizada la formación, volviéndola a impartir cuando se considere necesario. |
| | | Cumplir las recomendaciones preventivas sobre exposición a ruido. |
| | | Mantener actualizado el registro de entrega de equipos de protección auditiva. |
| | | Mantener actualizado el registro y archivo de los datos obtenidos en las evaluaciones de exposición al ruido y de los reconocimientos médicos. |
| | | Vigilancia de la salud. |

Teniendo en cuenta todas estas medidas correctoras se puede actuar en la planta industrial, siendo necesaria su revisión periódica para el correcto funcionamiento de las mismas.

4. Fichas técnicas y de seguridad de los productos

4.1. Ficha técnica silicato de zirconio en forma de harina



**CHILCHES
MATERIALS**

MICROZIR®

FICHA TÉCNICA DE ESPECIFICACIONES

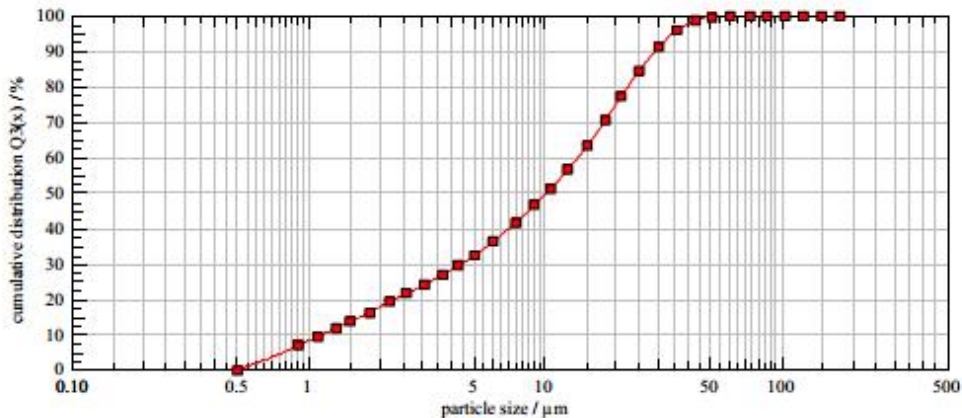
Rev 2: 01-05-16

PAGE: 1/1

MICROZIR FLOUR 325#

| Características Químicas | | | Características Físicas | |
|------------------------------------|-------------------------------|----------|----------------------------|---------------|
| | ESPECIFICACIONES GARANTIZADAS | TÍPICO | | |
| ZrO ₂ +HfO ₂ | > 65 % | 65,9 | Peso específico | 4.6-4.8 |
| TiO ₂ | < 0,25% | 0,15 | Dureza Mohs | 7.5 |
| Fe ₂ O ₃ | < 0,15% | 0,08 | Punto de fusión | 2.200 °C |
| Al ₂ O ₃ | < 1,50% | 0,35 | Pérdida al fuego | <0,9% |
| SiO ₂ | < 33,0% | 32,1 | Solubilidad en agua | Insoluble |
| Uranio + Thorio | <500ppm | 3,9 Bq/g | Inflamabilidad | No inflamable |
| | | | Apariencia | Polvo blanco |

| Análisis Granulométrico Láser <small>Según procedimiento PQ-04 de Inspeccion y Ensayo</small> | | | |
|---|----------------|-----------------|-----------------|
| | Típico(micras) | Min.Garantizado | Max.Garantizado |
| d50 | 11 | 8,5 | 12,5 |
| d98 | 43,0 | 38,5 | 45,0 |



| Presentación |
|-----------------------------------|
| Granel, Big-Bags y sacos de papel |

CHILCHES MATERIALS, S.A.
 Polígono Industrial Els Plans, sector ZI 12592 CHILCHES, (Castellón) España
 Tel. +34 964 584 030 Fax.+34 964 584 031
www.chilchesmaterials.com

4.2. Ficha técnica silicato de zirconio en forma de micronizado



**CHILCHES
MATERIALS**

MICROZIR®

FICHA TÉCNICA DE ESPECIFICACIONES

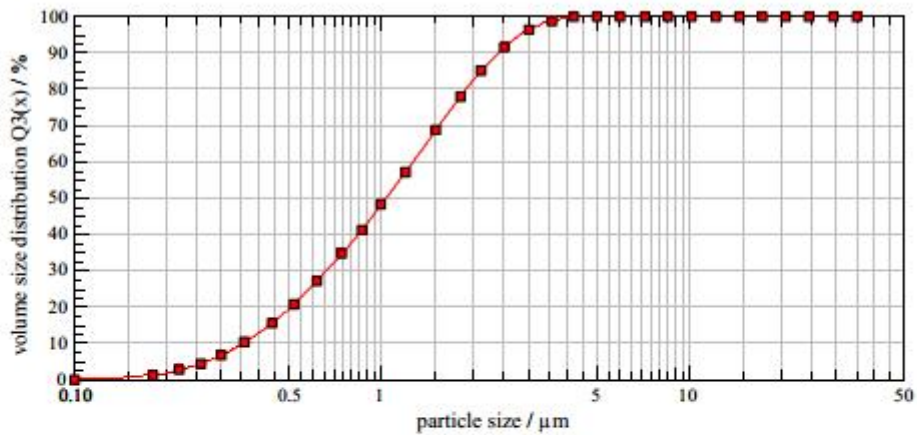
Rev 2: 01-05-16

PAGE: 1/1

MICROZIR ULTRAFINE

| Características Químicas | | | Características Físicas | |
|------------------------------------|-------------------------------|----------|-------------------------|---------------|
| | ESPECIFICACIONES GARANTIZADAS | TÍPICO | | |
| ZrO ₂ +HfO ₂ | > 65% | 65,8 | Peso específico | 4.6-4.8 |
| TiO ₂ | < 0,25% | 0,15 | Dureza Mohs | 7.5 |
| Fe ₂ O ₃ | < 0,15% | 0,08 | Punto de fusión | 2.200 °C |
| Al ₂ O ₃ | < 1,50% | 0,60 | Pérdida al fuego | <0,9% |
| SiO ₂ | < 33,0% | 32,1 | Solubilidad en agua | Insoluble |
| Uranio + Thorio | <500ppm. | 3,9 Bq/g | Inflamabilidad | No inflamable |
| | | | Apariencia | Polvo blanco |

| Análisis Granulométrico Láser | | | |
|-------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | Típico(micras) | Min.Garantizado | Max.Garantizado |
| d10 | 0.2 | | |
| d50 | 1.0 | 0.8 | 1.2 |
| d97 | 3.2 | | |



| Presentación |
|-------------------|
| Granel y Big-Bags |

CHILCHES MATERIALS, S.A.
 Polígono Industrial Els Plans, sector Z1 12592 CHILCHES, (Castellón) España
 Tel. +34 964 584 030 Fax.+34 964 584 031
www.chilchesmaterials.com

4.3. Ficha de seguridad del silicato de zirconio



**CHILCHES
MATERIALS**

FICHA DE SEGURIDAD

rev 11: 19-10-2018
PAGE: 1/11

(de acuerdo con el Reglamento (UE) 2015/830)

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA.

1.1- Identificación.

Nombre del producto: Arena, Harina y Micronizado de Silicato de circonio.
Nombre comercial: Microzir sand & sand R, Microzir Flour (325#, 250#, 250# IC 200#, 200# IC y 200# R, Optimum R), Microzir 5 Micras, Microzir Optimum, Microzir Ultrafine
Código CAS del producto: 14940-68-2
Código CE del producto: 239-019-6
Código HS del producto: Harina, micronizado: 25309000
Arena: 26151000
Microzir Whitener: 32071000

No conforme al registro REACH. Sustancia natural

1.2 Usos pertinentes identificados de la mezcla y usos desaconsejados.

Aplicaciones para la cerámica y sanitarios.
Fundición y refractarios.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad.

Empresa: **CHILCHES MATERIALS S.A.**
Dirección: Pol. Ind. ELS PLANS Sector ZI 12592
Población: CHILCHES
Provincia: CASTELLÓN
Teléfono: 34 964 584 030
Fax: 34 964 584 031
Mail: calidad@chilchesmaterials.com

1.4 Teléfono de emergencia: 34 964 58 40 30 (Sólo disponible en horario de oficina L-V 08:30 a 18:30)

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS.

2.1 Clasificación de la mezcla.

El producto no está clasificado como peligroso según el Reglamento (EU) No 1272/2008.
El producto no está clasificado como peligroso según la Directiva 67/548/EEC.

2.2 Elementos de etiqueta.

No Aplicable

2.3 Otros peligros.

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES.

3.1 Sustancias.

Sustancia/Preparado: Sustancia mono-componente
Nombre químico: Silicato de circonio
N. CAS: 14940-68-2
N. CE: 239-019-6

CHILCHES MATERIALS, S.A.
Polígono Industrial Els Plans, sector ZI 12592 CHILCHES, (Castellón) España
Tel. +34 964 584 030 / calidad@chilchesmaterials.com
www.chilchesmaterials.com



3.2 Mezclas
No aplicable

Información adicional

Este producto tal como proveído contiene menos de 0.015% de sílica cristalina respirable (SCR). Este material se considera un producto radioactivo de ocurrencia natural (NORM, por sus siglas en inglés) (material radioactivo según IAEA si excede los 1 Bq/g). No obstante, no se lo considera producto radioactivo a los fines del transporte; límite de 10 Bq/g para los NORM. Algunos países pueden aplicar límites diferentes; por lo tanto, deben consultarse las reglamentaciones locales para averiguar los requisitos vigentes.

Uranio <340 ppm 3.5 - 4.0 Bq/g

Torio <150 ppm 0.5 - 0.6 Bq/g

Otros núclidos hijos: en equilibrio secular

El índice de dosis para cantidades a granel se halla en el orden de 1 a 2µSv/h (0.1-0.2mRem/h) por encima del entorno. Si los niveles de polvo respirable se mantienen por debajo de 3mg/m³, la dosis de radiación interna no debería exceder el 10% del límite anual de incorporación (ALI) especificado en ICRP-47, es decir que las dosis se mantienen por debajo de 1 mSv/y (ICRP).

SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS.

4.1 Descripción primeros auxilios.

Debido a la composición y a la tipología de las sustancias presentes en el preparado, no se necesitan advertencias particulares.

Contacto con los ojos.

Lavar con agua abundante durante al menos 15 minutos antes de frotarse los ojos. Si las molestias persisten consultar al médico.

Contacto cutáneo.

Lavar con agua y jabón. Si la irritación persiste consultar al médico. Lavar la ropa después de ser usada.

Inhalación.

Retirar de la zona de exposición a una zona ventilada. Visitar al Médico si se aprecian irritaciones o persisten los problemas respiratorios.

Ingestión.

Aunque no se trate de sustancias tóxicas, en caso de ingestión accidental, limpiar la boca con abundante agua, sin que ésta sea tragada y después beber de uno a dos vasos de agua. Si se ha producido una abundante ingestión conviene visitar al médico.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados.

No se conocen efectos agudos o retardados derivados de la exposición al producto.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente.

No hay un tratamiento específico. En los casos de duda, o cuando persistan los síntomas de malestar, solicitar atención médica



SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS.

5.1 Medios de extinción

Usar un agente de extinción adecuado para el incendio circundante.
Los productos no son combustibles. En caso de incendio, no es necesario adoptar medidas especiales en cuanto a los medios de extinción.

5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

No existe un peligro específico de incendio o explosión.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

En caso de incendio, aislar rápidamente la zona, evacuando a todas las personas de las proximidades del lugar del incidente. No se debe realizar ninguna acción que suponga un riesgo personal o sin formación adecuada. Proceder según el plan de emergencias.

SECCIÓN 6: MEDIDAS A TOMAR EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL.

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

No se debe realizar ninguna acción que suponga un riesgo personal o sin formación adecuada. Evacuar los alrededores. No deje que entre el personal innecesario y sin protección. No toque o camine sobre el material derramado. Llevar puesto un equipo de protección individual adecuado.
Para control de exposición y medidas de protección individual, ver epígrafe 8.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

Producto no clasificado como peligroso para el medio ambiente, evitar en la medida de lo posible cualquier vertido.
Recoger o aspirar el producto evitando la formación de polvo.
Evitar la caída del producto en los cursos de agua y desagües.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Retire los envases del área del derrame. Vacíe o barra el material y colóquelo en un envase de desperdicio etiquetado. Elimine por medio de un contratista autorizado para la eliminación.

6.4. Referencia a otras secciones

Para control de exposición y medidas de protección individual, ver la sección 8.
Para la eliminación de los residuos, seguir las recomendaciones de la sección 13.
Para datos de contacto ver la sección 1.



**CHILCHES
MATERIALS**

FICHA DE SEGURIDAD

rev 11: 19-10-2018

(de acuerdo con el Reglamento (UE) 2015/830)

PAGE: 4/11

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO.

7.1 Precauciones para una manipulación segura

El producto no requiere medidas especiales de manipulación, se recomiendan las siguientes medidas generales:

Para la protección personal, ver epígrafe 8. No emplear nunca presión para vaciar los envases, no son recipientes resistentes a la presión.

En la zona de aplicación debe estar prohibido fumar, comer y beber.

Cumplir con la legislación sobre seguridad e higiene en el trabajo.

Conservar el producto en envases de un material idéntico al original.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

La harina y el micronizado deben almacenarse en silos, sacos o big bags convenientemente cerrados de forma que se evite la dispersión de polvo. Las zonas de almacén deben estar ventiladas.

Como condiciones generales de almacenamiento se deben evitar fuentes de calor, radiaciones, electricidad y el contacto con alimentos.

El producto no se encuentra afectado por la Directiva 2012/18/UE (SEVESO III).

7.3 Usos específicos finales

CHILCHES MATERIALS, S.A.
Polígono Industrial Els Plans, sector ZI 12592 CHILCHES, (Castellón) España
Tel. +34 964 584 030 / calidad@chilchesmaterials.com
www.chilchesmaterials.com



SECCIÓN 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN INDIVIDUAL.

8.1 Parámetros de control

| Nombre | Código CAS | País | Referencia | Valor Límite TWA | mg/m ³ |
|----------------------|------------|-----------|--------------|------------------|-------------------|
| Silicato de Zirconio | 14940-68-2 | España | INSHT | 8 horas | 5 |
| | | Australia | SWA AU | | |
| | | EEUU | ACGIH 1/2009 | | |

El producto NO contiene sustancias con Valores Límite Biológicos.

8.2 Controles de la exposición

Controles técnicos apropiados

Proveer una ventilación adecuada, lo cual puede conseguirse mediante una buena extracción-ventilación local y un buen sistema general de extracción.

| Proteccion Respiratoria | |
|--------------------------------|---|
| EPI | Mascarilla auto filtrante para partículas |
| Características | Marcado «CE» Categoría III. Fabricada en material filtrante, cubre nariz, boca y mentón. |
| Normas | EN 149 |
| Mantenimiento | Previo al uso se comprobará la ausencia de roturas, deformaciones, etc. Por ser un equipo de protección individual desechable, se deberá renovar en cada uso. |
| Observaciones | Si no está bien ajustada no protege al trabajador. Se deberán seguir las instrucciones del fabricante respecto al uso apropiado del equipo. |
| Tipo de filtro necesario | P2 |
| Protección de las manos | |
| EPI | Guantes de protección |
| Características | Marcado «CE» Categoría II. |
| Normas | EN 374-1, En 374-2, EN 374-3, EN 420 |
| Mantenimiento | Se guardarán en un lugar seco, alejados de posibles fuentes de calor, y se evitará la exposición a los rayos solares en la medida de lo posible. No se realizarán sobre los guantes modificaciones que puedan alterar su resistencia ni se aplicarán pinturas, disolventes o adhesivos. |






**CHILCHES
MATERIALS**

FICHA DE SEGURIDAD

rev 11: 19-10-2018
PAGE: 6/11

(de acuerdo con el Reglamento (UE) 2015/830)

| | |
|---------------|--|
| Observaciones | Los guantes deben ser de la talla correcta, y ajustarse a la mano sin quedar demasiado holgados ni demasiado apretados. Se deberán utilizar siempre con las manos limpias y secas. |
| Material | PVC (Cloruro de polivinilo) Tiempo de penetración (min.): > 480 Espesor del material (mm): 0,35 |

| Protección de los ojos | |
|---|---|
| EPI | Gafas de protección contra impactos de partículas |
| Características | Marcado «CE» Categoría II. Protector de ojos contra polvo y humos. |
| Normas | EN 165, EN 166, EN 167, EN 168 |
| Mantenimiento | La visibilidad a través de los oculares debe ser óptima para lo cual estos elementos se deben limpiar a diario, los protectores deben desinfectarse periódicamente siguiendo las instrucciones del fabricante. |
| Observaciones | Indicadores de deterioro pueden ser: coloración amarilla de los oculares, arañazos superficiales en los oculares, rasgaduras, etc. |
|  | |
| Protección de la piel | |
| EPI | Ropa de protección |
| Características | Marcado «CE» Categoría II. La ropa de protección no debe ser estrecha o estar suelta para que no interfiera en los movimientos del usuario. |
| Normas | EN 340 |
| Mantenimiento | Se deben seguir las instrucciones de lavado y conservación proporcionadas por el fabricante para garantizar una protección invariable. |
| Observaciones | La ropa de protección debería proporcionar un nivel de confort consistente con el nivel de protección que debe proporcionar contra el riesgo contra el que protege, con las condiciones ambientales, el nivel de actividad del usuario y el tiempo de uso previsto. |

CHILCHES MATERIALS, S.A.
Polígono Industrial Els Plans, sector ZI 12592 CHILCHES, (Castellón) España
Tel. +34 964 584 030 / calidad@chilchesmaterials.com
www.chilchesmaterials.com



SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

9.1 Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

| | |
|---|---|
| Aspecto: Polvo | Color: Blanco/arena |
| Olor:N.D./N.A. | Umbral olfativo:N.D./N.A. |
| pH:4-8 | Punto de Fusión:2200°C |
| Punto/intervalo de ebullición: N.D./N.A. | Punto de inflamación: N.D./N.A. |
| Tasa de evaporación: N.D./N.A. | Inflamabilidad (sólido, gas): N.D./N.A. |
| Límite inferior de explosión: N.D./N.A. | Límite superior de explosión: N.D./N.A. |
| Presión de vapor: N.D./N.A. | Densidad de vapor:N.D./N.A. |
| Densidad relativa:2,4-2,6 g/cm ³ | Solubilidad: N.D./N.A. |
| Liposolubilidad: N.D./N.A. | Hidrosolubilidad: N.D./N.A. |
| Coefi. de reparto (n-octanol/agua): N.D./N.A. | Temperatura de autoinflamación: N.D./N.A. |
| Temperatura de descomposición: N.D./N.A. | Viscosidad: N.D./N.A. |
| Propiedades explosivas: N.D./N.A. | Propiedades comburentes: N.D./N.A. |

N.D./N.A.= No Disponible/No Aplicable debido a la naturaleza del producto.

9.2 Otros datos

Ninguna información adicional

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD.

10.1 Reactividad.

El producto no presenta peligros debido a su reactividad.

10.2 Estabilidad química.

Estable bajo las condiciones de manipulación y almacenamiento recomendadas (ver epígrafe 7).

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas.

El producto no presenta posibilidad de reacciones peligrosas.

10.4 Condiciones que deben evitarse.

Evitar cualquier tipo de manipulación incorrecta.

10.5. Materiales incompatibles

No se conoce ninguno

10.6. Productos de descomposición peligrosos

En condiciones normales de almacenamiento y uso, no se deberían formar productos de descomposición peligrosos.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA.



11.1 Información sobre los efectos toxicológicos.

a) toxicidad aguda:

Datos no concluyentes para la clasificación.

b) corrosión o irritación cutáneas:

Datos no concluyentes para la clasificación.

c) lesiones o irritación ocular graves:

Datos no concluyentes para la clasificación.

d) sensibilización respiratoria o cutánea:

Datos no concluyentes para la clasificación.

e) mutagenicidad en células germinales:

Datos no concluyentes para la clasificación.

f) carcinogenicidad:

Datos no concluyentes para la clasificación.

g) toxicidad para la reproducción:

Datos no concluyentes para la clasificación.

h) toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única:

Datos no concluyentes para la clasificación.

i) toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida:

Datos no concluyentes para la clasificación.

j) peligro de aspiración:

Datos no concluyentes para la clasificación.

SECCIÓN 12: INFORMACIONES ECOLÓGICAS.

12.1 Toxicidad.

No se dispone de información relativa a la Ecotoxicidad de las sustancias presentes.

12.2 Persistencia y degradabilidad.

No existe información disponible sobre la persistencia y degradabilidad del producto.

12.3 Potencial de Bioacumulación.

No se dispone de información relativa a la Bioacumulación de las sustancias presentes.

12.4 Movilidad en el suelo.

No existe información disponible sobre la movilidad en el suelo.

No se debe permitir que el producto pase a las alcantarillas o a cursos de agua.

Evitar la penetración en el terreno.

12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB.

No existe información disponible sobre la valoración PBT y mPmB del producto.

12.6 Otros efectos adversos.

No existe información disponible sobre otros efectos adversos para el medio ambiente.

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN.

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Al tratarse de un residuo inerte su eliminación se llevará a cabo en vertederos autorizados de acuerdo con la legislación vigente.

No se permite su vertido en alcantarillas o cursos de agua.



**CHILCHES
MATERIALS**

FICHA DE SEGURIDAD

rev 11: 19-10-2018

(de acuerdo con el Reglamento (UE) 2015/830)

PAGE: 9/11

SECCIÓN 14: INFORMACIONES RELATIVAS AL TRANSPORTE.

No es peligroso en el transporte. En caso de accidente y vertido del producto actuar según el punto 6.

14.1 Número ONU.

No es peligroso en el transporte.

14.2 Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas.

No es peligroso en el transporte.

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte.

No es peligroso en el transporte.

14.4 Grupo de embalaje.

No es peligroso en el transporte.

14.5 Peligros para el medio ambiente.

No es peligroso en el transporte.

14.6 Precauciones particulares para los usuarios.

No es peligroso en el transporte.

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC.

No es peligroso en el transporte.

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA.

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia.

El producto no está afectado por el Reglamento (CE) no 1005/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de septiembre de 2009, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono.

El producto no se encuentra afectado por la Directiva 2012/18/UE (SEVESO III).

El producto no está afectado por el Reglamento (UE) No 528/2012 relativo a la comercialización y el uso de los biocidas.

El producto no se encuentra afectado por el procedimiento establecido en el Reglamento (UE) No 649/2012, relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos.

15.2 Evaluación de la seguridad química.

No se ha llevado a cabo una evaluación de la seguridad química del producto.



**CHILCHES
MATERIALS**

FICHA DE SEGURIDAD

rev 11: 19-10-2018
PAGE: 10/11

(de acuerdo con el Reglamento (UE) 2015/830)

SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES

Esta ficha no es una garantía de la calidad ni de las propiedades específicas de los productos. La información que contiene, está basada en la información obtenida sobre las materias primas, y en nuestros conocimientos relativos a los productos.
Chilches Materials, S.A. no asume ninguna responsabilidad por la eventual inexactitud o información incompleta, así como de las consecuencias derivadas del uso inadecuado o distinto para el que ha sido concebido el producto.

La información facilitada en esta ficha de Datos de Seguridad ha sido redactada de acuerdo con el REGLAMENTO (UE) 2015/830 DE LA COMISIÓN de 28 de mayo de 2015 por el que se modifica el Reglamento (CE) no 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y mezclas químicas (REACH), por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, se modifica la Directiva 1999/45/CE y se derogan el Reglamento (CEE) n° 793/93 del Consejo y el Reglamento (CE) n° 1488/94 de la Comisión así como la Directiva 76/769/CEE de Consejo y las Directivas 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE y 2000/21/CE de la Comisión.

CHILCHES MATERIALS, S.A.
Polígono Industrial Els Plans, sector ZI 12592 CHILCHES, (Castellón) España
Tel. +34 964 584 030 / calidad@chilchesmaterials.com
www.chilchesmaterials.com



**CHILCHES
MATERIALS**

FICHA DE SEGURIDAD

rev 11: 19-10-2018
PAGE: 11/11

(de acuerdo con el Reglamento (UE) 2015/830)

Fin de la ficha de seguridad

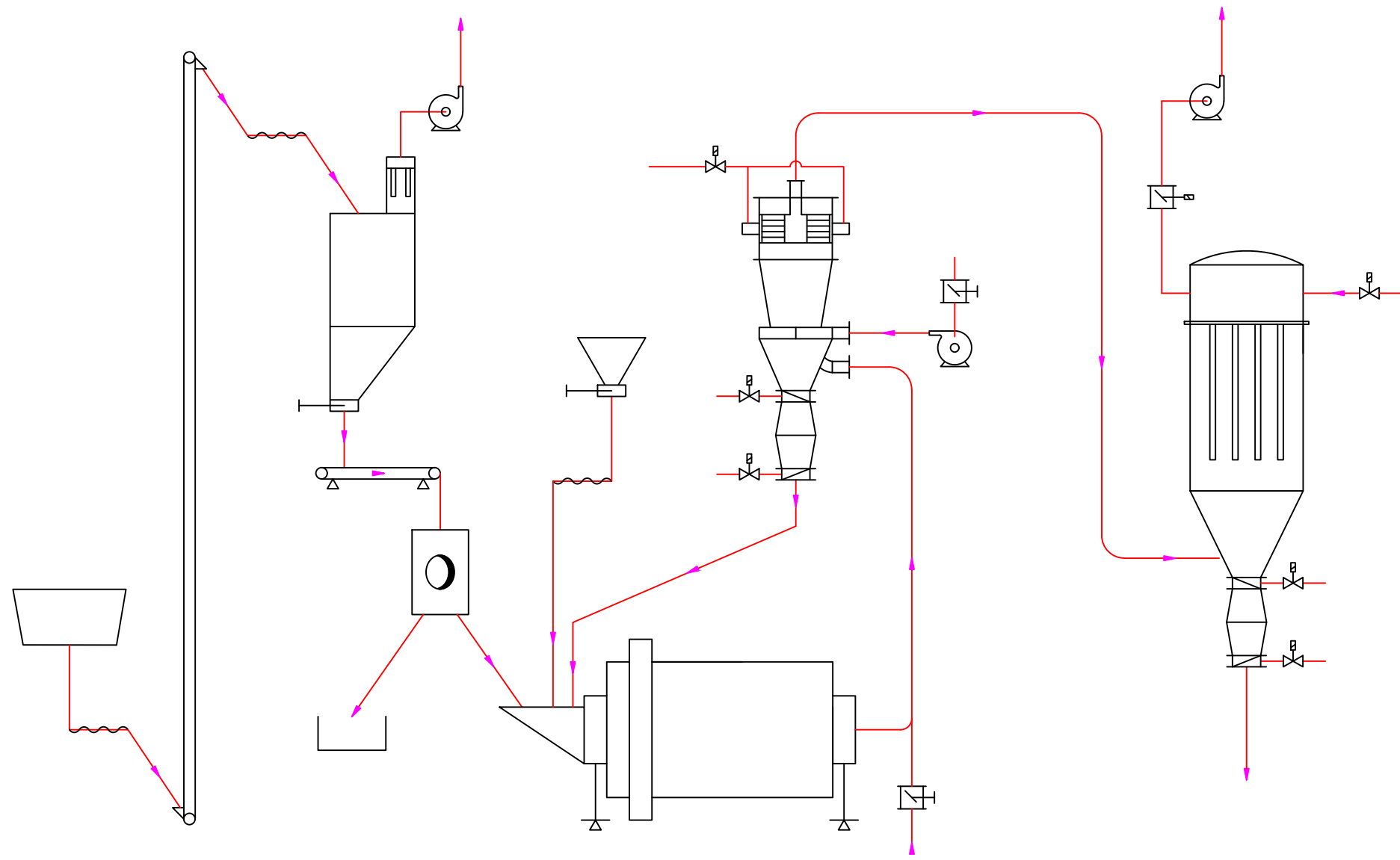
CHILCHES MATERIALS, S.A.
Polígono Industrial Els Plans, sector ZI 12592 CHILCHES, (Castellón) España
Tel. +34 964 584 030 / calidad@chilchesmaterials.com
www.chilchesmaterials.com

4. PLANOS

ÍNDICE DE PLANOS

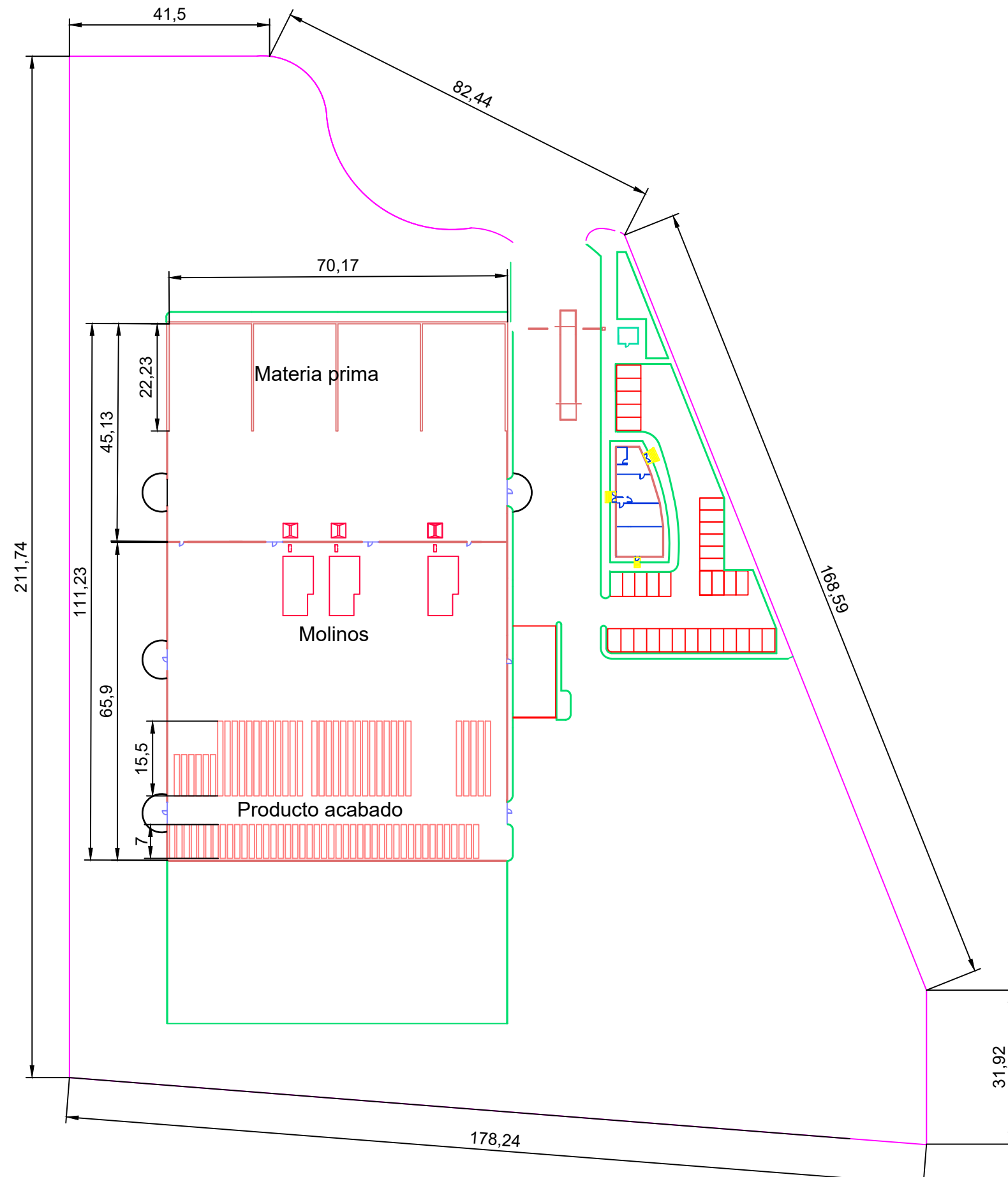
| | |
|--|---|
| 1. Diseño de los elementos de la instalación | 2 |
| 2. Distribución en planta..... | 4 |

1. Diseño de los elementos de la instalación



| | | |
|---------|------------------|---|
| Carrera | Escala | Título |
| QC | 1/100 | Diseño de los elementos de la instalación |
| Grupo | Unl. dimensional | Apellidos, nombre |
| - | m | RARO CLEMENTE, IVÁN |
| | Sistema | |
| | | |

2. Distribución en planta



| | | |
|---------|------------------|------------------------|
| Carrera | Escala | Título |
| QC | 1/1000 | Distribución en planta |
| Grupo | Unl. dimensional | Apellidos, nombre |
| - | m | RARO CLEMENTE, IVÁN |
| | Sistema | |
| | | |

5. PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

| | |
|--|----|
| 1. Pliego de condiciones generales..... | 2 |
| 1.1. Disposiciones generales..... | 2 |
| 1.2. Contrato de obra | 2 |
| 2. Condiciones generales facultativas..... | 4 |
| 2.1. Correspondiente al promotor | 4 |
| 2.2. Correspondientes al proyectista..... | 7 |
| 3. Condiciones generales económicas | 10 |
| 4. Condiciones generales legales | 13 |
| 5. Condiciones generales técnicas | 15 |
| 5.1. Instalación eléctrica | 16 |
| 5.2. Instalación de fontanería..... | 17 |
| 5.3. Instalación de climatización | 18 |
| 5.4. Instalación de la maquinaria | 18 |
| 5.5. Instalación de protección..... | 19 |
| 5.6. Obras o instalaciones no especificadas..... | 20 |

1. Pliego de condiciones generales

El pliego de condiciones se realiza con el objetivo de que se cumpla la ordenación, con carácter general, de las condiciones facultativas, económicas y técnicas que han de regir en los concursos y contratos destinados a la ejecución de los trabajos de obra civil, siempre y cuando se mencione este pliego en cada uno de los particulares de las obras.

1.1. Disposiciones generales

El presente Pliego de Condiciones tiene por finalidad regular la ejecución de la obra fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, definiendo las intervenciones que corresponden, según el contrato y de acuerdo a la legislación aplicable, al promotor, al contratista, sus técnicos y encargados, así como las relaciones entre ellos y sus correspondientes obligaciones en concordancia al cumplimiento del contrato de obra.

1.2. Contrato de obra

El presente contrato de obra, tiene por objetivo la construcción de una planta de producción de silicato de zirconio.

En el caso del proyecto aquí presente no será necesaria la construcción de la cimentación de la nave industrial, ya que esta se encuentra ubicada y construida, solo será necesaria la construcción de la cimentación necesaria para el sustentamiento de los molinos u otros equipos y la instalación de los equipos del sistema de molienda y de los silos de almacenamiento, además de la instalación eléctrica, de fontanería y de climatización.

Los documentos que definen las obras y que la propiedad entrega al Contratista, pueden tener carácter contractual o meramente informativo.

Son documentos contractuales los Planos, Pliego de Condiciones, Cuadros de Precios y Presupuestos Parcial y Total, que se incluye en el presente Proyecto.

Los datos y las marcas comerciales incluidas en la Memoria y Anejos, así como la justificación de precios tienen carácter meramente informativo.

Cualquier cambio de planteamiento de la Obra que implique un cambio sustancial respecto de lo proyectado deberá ponerse en conocimiento de la Dirección Técnica para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

El Director de Obra ofrecerá la documentación necesaria para su realización. En el contrato se integran los siguientes documentos relacionados por orden de actuación en caso de contradicción entre las partes.

- Las condiciones fijadas en el propio documento de contrato de empresa o arrendamiento de obra.
- Memoria, planos, mediciones y presupuesto.
- El presente Pliego de Condiciones particulares.

2. Condiciones generales facultativas

2.1. Correspondiente al promotor

El promotor es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o de manera colectiva decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título. Asume la iniciativa de todo el proceso de la obra, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra inicialmente proyectada, y se hace cargo de todos los costes necesarios.

Según la legislación vigente, a la figura del promotor se equiparan también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios, u otras análogas que asumen la gestión económica de la obra.

Cuando las Administraciones públicas y los organismos sujetos a la legislación de contratos de las Administraciones públicas actúen como promotores, se regirán por la Legislación de contratos de las Administraciones públicas y, en lo no contemplado en la misma, por las disposiciones de la L.O.E.

Los promotores de este proyecto, al tratarse de un trabajo final de grado, son los entes físicos que han realizado la petición de la realización del mismo, por lo tanto, se puede establecer a la comisión académica del título como promotor del mismo.

Las obligaciones del promotor son las siguientes:

- Ostentar sobre la propiedad la titularidad de un permiso que le faculte para construir en él. Facilitar la documentación e información previa necesaria para la redacción del proyecto correspondiente, así como autorizar al director de obra, al director de la ejecución de la obra y al contratista posteriores modificaciones del mismo que fueran imprescindibles para llevar a buen fin el proyecto.
- Elegir y contratar a los distintos agentes, con la titulación y capacitación profesional necesaria, que garanticen el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para realizar en su globalidad y realizar el objeto de lo

promovido, en los plazos estipulados y en las condiciones de calidad mínima exigibles mediante el cumplimiento de los requisitos básicos estipulados para las instalaciones.

- Gestionar y hacerse cargo de las preceptivas licencias y demás autorizaciones administrativas procedentes, de conformidad con la normativa aplicable.
- Garantizar los daños materiales que la instalación pueda sufrir, para la adecuada protección de los intereses de los usuarios finales, en las condiciones legalmente establecidas, asumiendo la responsabilidad civil de forma personal e individualizada, tanto por actos propios como por actos de otros agentes por los que, con arreglo a la legislación vigente, se deba responder.
- Contratar a los técnicos redactores del preceptivo estudio de seguridad y salud o estudio básico, en su caso, al igual que a los técnicos coordinadores en la materia en la fase que corresponda, todo ello según lo establecido en el R.D. 1627/97, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Tener la capacitación profesional o titulación que habilita para el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para actuar como constructor.
- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- Examinar la documentación aportada por los técnicos redactores correspondientes, tanto del Proyecto de Ejecución como de los proyectos complementarios, así como del Estudio de Seguridad y Salud, verificando que le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitando las aclaraciones pertinentes.
- Elaborar, antes del comienzo de las obras, el plan de seguridad y salud de la obra en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.

- Tener la capacitación profesional o titulación que habilita para el cumplimiento de las condiciones legalmente exigibles para actuar como constructor.
- Organizar los trabajos de construcción, redactando los planes de obra que se precisen y proyectando o autorizando las instalaciones provisionales y medios auxiliares de la obra.
- Examinar la documentación aportada por los técnicos redactores correspondientes, tanto del Proyecto de Ejecución como de los proyectos complementarios, así como del Estudio de Seguridad y Salud, verificando que le resulta suficiente para la comprensión de la totalidad de la obra contratada o, en caso contrario, solicitando las aclaraciones pertinentes.
- Elaborar, antes del comienzo de las obras, el plan de seguridad y salud de la obra en aplicación del estudio correspondiente, y disponer, en todo caso, la ejecución de las medidas preventivas, velando por su cumplimiento y por la observancia de la normativa vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo.
- Ostentar la Jefatura de todo el personal que intervenga en la obra y coordinar las intervenciones de los subcontratistas y trabajadores autónomos.
- Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los materiales y elementos constructivos que se utilicen, comprobando los preparados en obra y rechazando los suministros o prefabricados que no cuenten con las garantías o documentos de idoneidad requeridos por las normas de aplicación.
- Disponer de los medios materiales y humanos que la naturaleza y entidad de la obra impongan, disponiendo del número adecuado de oficiales, suboficiales y peones que la obra requiera en cada momento, bien por personal propio o mediante subcontratistas al efecto, procediendo a solapar aquellos oficios en la obra que sean compatibles entre sí y que permitan acometer distintos trabajos a la vez sin provocar interferencias, contribuyendo con ello a la agilización y finalización de la obra dentro de los plazos previstos.
- Llevar a cabo la ejecución material de las obras de acuerdo con el proyecto, las normas técnicas de obligado cumplimiento y las reglas de la buena construcción.

- Custodiar el Libro de órdenes y seguimiento de la obra, y dar el enterado a las anotaciones que se practiquen en el mismo.
- Facilitar al Aparejador o Arquitecto Técnico, con antelación suficiente, los materiales precisos para el cumplimiento de su cometido.
- Preparar las certificaciones parciales de obra y la propuesta de liquidación final. Así como suscribir con el Promotor el acta de recepción de la obra.
- Concertar los seguros de accidentes de trabajo y de daños a terceros durante la obra.
- Suscribir las garantías de obra que se señalan en el Artículo 19 de la Ley de Ordenación de la Edificación y que, en función de su naturaleza, alcanzan períodos de 1 año (daños por defectos de terminación o acabado de las obras), 3 años (daños por defectos o vicios de elementos constructivos o de instalaciones que afecten a la habitabilidad) o 10 años (daños en cimentación o estructura que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad de la instalación).
- El Constructor dará comienzo a las obras en el plazo marcado en el Pliego de Condiciones particulares, desarrollándolas en la forma necesaria para que dentro de los periodos parciales en aquel ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el Contrato. Obligatoriamente y por escrito deberá el contratista dar cuenta al Director de Obra del comienzo de los trabajos al menos con tres días de antelación.

2.2. Correspondientes al proyectista

El proyectista es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto. Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de este. Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de la L.O.E., cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

Las obligaciones del proyectista son las siguientes:

- Redactar el proyecto por encargo del Promotor, con sujeción a la normativa técnica en vigor y conteniendo la documentación necesaria para tramitar tanto la licencia de obras y demás permisos administrativos como para ser interpretada y poder ejecutar totalmente la obra, entregando al promotor las copias autorizadas correspondientes, debidamente visadas por su colegio profesional.
- Concretar en el proyecto el emplazamiento de cuartos de máquinas, de contadores, hornacinas, espacios asignados para subida de conductos, reservas de huecos de ventilación, alojamiento de sistemas de telecomunicación y, en general, de aquellos elementos necesarios en la instalación para facilitar las determinaciones concretas y especificaciones detalladas que son cometido de los proyectos parciales, debiendo estos adaptarse al proyecto de ejecución, y no pudiendo contravenirlo en modo alguno.
- Deberá entregarse necesariamente un ejemplar del proyecto complementario al arquitecto antes del inicio de las obras o instalaciones correspondientes.
- Acordar con el promotor la contratación de colaboraciones parciales de otros técnicos profesionales.
- Facilitar la colaboración necesaria para que se produzca la adecuada coordinación con los proyectos parciales exigibles por la legislación o la normativa vigente y que sea necesario incluir para el desarrollo adecuado del proceso, que deberán ser redactados por técnicos competentes, bajo su responsabilidad y suscritos por persona física. Los proyectos parciales serán aquellos redactados por otros técnicos cuya competencia puede ser distinta e incompatible con las competencias del ingeniero y, por tanto, de exclusiva responsabilidad de estos. Elaborar aquellos proyectos parciales o estudios complementarios exigidos por la legislación vigente en los que es legalmente competente para su redacción, excepto declinación expresa del ingeniero y previo acuerdo con el promotor, pudiendo exigir la compensación económica en concepto de cesión de derechos de autor y de la propiedad intelectual si se tuviera que entregar a otros técnicos, igualmente competentes para realizar el trabajo, documentos o planos del proyecto por él redactado, en soporte papel o informático.

- Ostentar la propiedad intelectual de su trabajo, tanto de la documentación escrita como de los cálculos de cualquier tipo, así como de los planos contenidos en la totalidad del proyecto y cualquiera de sus documentos complementarios.

3. Condiciones generales económicas

Puesto que el trabajo se ha realizado con carácter académico, no se tiene previsto el pago de ninguna cantidad económica, sin embargo, para la correcta realización de este apartado se supone que no es de carácter económico. Con esto, se pueden representar las relaciones económicas entre el cliente y el proyectista.

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el Promotor y el Contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración.

A la Dirección Facultativa (Director de Obra y Director de Ejecución de la Obra) se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar los términos pactados.

Sólo se aconseja contratar por administración aquellas partidas de obra irrelevantes y de difícil cuantificación, o cuando se desee un acabado muy esmerado.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, coordinar, dirigir y controlar la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el Contratista.
- Condiciones de ocupación del edificio e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.

Responsabilidades y obligaciones del Contratista: Legislación laboral.

- Responsabilidades y obligaciones del Promotor.
- Presupuesto del Contratista.
- Revisión de precios.
- Forma de pago: Certificaciones.
- Retenciones en concepto de garantía (nunca menos del 5%).

- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones.
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

Dado que este Pliego de Condiciones Económicas es complemento del contrato de obra, en caso de que no exista contrato de obra alguno entre las partes se le comunicará a la Dirección Facultativa, que pondrá a disposición de las partes el presente Pliego de Condiciones Económicas que podrá ser usado como base para la redacción del correspondiente contrato de obra.

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.), tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

Si el Contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas. el arquitecto-director, en nombre y representación del promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza o garantía, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el promotor, en el caso de que el importe de la fianza o garantía no bastare para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La indemnización por retraso en la terminación se establecerá en un porcentaje del importe total de los trabajos contratados o cantidad fija, que deberá indicarse en el Contrato suscrito entre Contratista y Promotor, por cada día natural de retraso, contados a partir del día de terminación fijado en el Calendario de obra. Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza o a la retención.

El Contratista estará obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá en cada momento con el valor que tengan por contrata los objetos asegurados.

Cuando durante la ejecución de las obras ocupe el contratista, con la necesaria y previa autorización del promotor, edificios o haga uso de materiales o útiles pertenecientes al mismo, tendrá obligación de repararlos y conservarlos para hacer entrega de ellos a la terminación del contrato, en perfecto estado de conservación, reponiendo los que se hubiesen inutilizado, sin derecho a indemnización por esta reposición ni por las mejoras hechas en los edificios, propiedades o materiales que haya utilizado.

Si el Promotor no efectuase el pago de las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente al que se hubiere comprometido, el Contratista tendrá el derecho de percibir la cantidad pactada en el Contrato suscrito con el Promotor, en concepto de intereses de demora, durante el espacio de tiempo del retraso y sobre el importe de la mencionada certificación. Si aún transcurrieran dos meses a partir del término de dicho plazo de un mes sin realizarse dicho pago, tendrá derecho el Contratista a la resolución del contrato, procediéndose a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales acopiados, siempre que éstos reúnan las condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la terminación de la obra contratada o adjudicada.

4. Condiciones generales legales

El autor de éste proyecto así como su promotor, reconocen las marcas registradas que han aparecido a lo largo del desarrollo y ejecución, además de los derechos de autor recogidos en la bibliografía consultada y citada en el mismo.

El Contratista, con carácter general, está obligado a ejecutar esmeradamente todas las obras que se le asignan, así como a cumplir rigurosamente todas las condiciones estipuladas en este Pliego o en el Contrato.

De la calidad y buena ejecución de las obras contratadas, el Contratista será el único responsable, no teniendo derecho a indemnizaciones en el caso de mayor precio que pudiese costarle la obra, ni por las erradas maniobras que cometiera durante la construcción, siendo a su cuenta y riesgo independientemente de la inspección que de ellas haya podido haber hecho el Técnico Director de obra.

Las causas por las que el promotor podrá rescindir el contrato con el proyectista se citarán a continuación:

- En el caso de existir un retraso excesivo en la ejecución del proyecto.
- En el caso de abandono del proyecto sin una causa justificada.
- En el caso de fallecer el proyectista.
- En el caso de que hayan causas administrativas.
- En el caso de que exista mutuo acuerdo entre las partes implicadas en el proyecto, siempre que ninguna de ellas se vea perjudicada.

El contratista tendrá la obligación de adoptar todas las medidas de seguridad que sean necesarias para evitar así cualquier tipo de accidente que pueda llegar a herir a alguna persona.

En caso de accidentes ocurridos en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su cumplimiento y sin que por ningún concepto pueda quedar afectada la Propiedad por responsabilidades en cualquier aspecto.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes, no sólo en los andamios, sino en todos los lugares peligrosos de la obra. Es decir, se exigirá el cumplimiento de la Ordenanza de Higiene y Seguridad en el trabajo y de las normas de seguridad laboral.

De los accidentes o perjuicios de todo género que, por no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será éste el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales.

El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir, cuando a ello fuera requerido, el justificante de tal cumplimiento.

5. Condiciones generales técnicas

El objeto del presente documento es reflejar los requisitos técnicos básicos para realizar la instalación y puesta en marcha de la planta de producción de silicato de zirconio.

Para facilitar la labor a realizar, por parte del Director de la Ejecución de la Obra, para el control de recepción en obra de los productos, equipos y sistemas que se suministren a la obra de acuerdo con lo especificado en el artículo 7.2. del CTE, en el presente proyecto se especifican las características técnicas que deberán cumplir los productos, equipos y sistemas suministrados.

Los productos, equipos y sistemas suministrados deberán cumplir las condiciones que sobre ellos se especifican en los distintos documentos que componen el Proyecto. Asimismo, sus calidades serán acordes con las distintas normas que sobre ellos estén publicadas y que tendrán un carácter de complementariedad a este apartado del Pliego.

Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad aquellos materiales que estén en posesión de Documento de Idoneidad Técnica que avale sus cualidades, emitido por Organismos Técnicos reconocidos.

Este control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas comprenderá según el artículo 7.2. del CTE:

- El control de la documentación de los suministros, realizado de acuerdo con el artículo 7.2.1.
- El control mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad, según el artículo 7.2.2.
- El control mediante ensayos, conforme al artículo 7.2.3. Por parte del Constructor o Contratista debe existir obligación de comunicar a los suministradores de productos las cualidades que se exigen para los distintos materiales, aconsejándose que previamente al empleo de los mismos se solicite la aprobación del Director de Ejecución de la Obra y de las entidades y laboratorios encargados del control de calidad de la obra.

El Contratista será responsable de que los materiales empleados cumplan con las condiciones exigidas, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para la aceptación de los mismos.

El Contratista notificará al Director de Ejecución de la Obra, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando, cuando así lo solicite el Director de Ejecución de la Obra, las muestras y datos necesarios para decidir acerca de su aceptación.

Estos materiales serán reconocidos por el Director de Ejecución de la Obra antes de su empleo en obra, sin cuya aprobación no podrán ser acopiados en obra ni se podrá proceder a su colocación. Así mismo, aún después de colocados en obra, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en el primer reconocimiento, siempre que vaya en perjuicio del buen acabado de la obra, serán retirados de la obra. Todos los gastos que ello ocasionase serán a cargo del Contratista.

El hecho de que el Contratista subcontrate cualquier partida de obra no le exime de su responsabilidad.

La simple inspección o examen por parte de los Técnicos no supone la recepción absoluta de los mismos, siendo los oportunos ensayos los que determinen su idoneidad, no extinguiéndose la responsabilidad contractual del Contratista a estos efectos hasta la recepción definitiva de la obra.

5.1. Instalación eléctrica

Las instalaciones eléctricas serán ejecutadas por la Empresa especializada, en posesión de todos los requisitos que establece la legislación vigente. Toda la documentación acreditativa será presentada por el Director de las Obras para que pueda emitir la oportuna autorización de comienzo de los trabajos.

Todo el personal que intervenga en cualquier ejecución en cualquier parte de las instalaciones eléctricas, aunque sea accesoria, deberá estar en posesión de los oportunos certificados de calificación profesional.

Será condición necesaria para que la dirección autorice su intervención en los trabajos, la entrega de una copia, autenticada por la empresa especializada, de los certificados mencionados, así como la justificación de estar de alta en el Libro de Matrícula.

Antes de iniciar la obra, el Contratista presentará unos planos de detalle que indiquen preferentemente una situación real de los recorridos de canalizaciones y conductores. Al finalizar la obra, presentará los mismos planos corregidos en la forma como se hizo.

Los materiales y ejecución de la instalación eléctrica cumplirán lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Tensión y Normas BT. complementarias. Asimismo se adoptan las diferentes condiciones previstas en las normas:

- NTE-IEB: "Instalación eléctrica de baja tensión".
- NTE-IEE: "Alumbrado exterior".
- NTE-IEI: "Alumbrado interior".
- NTE-IEP: "Puesta a tierra".
- NTE-IER: "Instalaciones de electricidad. Red exterior".

5.2. Instalación de fontanería

Regula el presente artículo las condiciones relativas a la ejecución, materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento de las instalaciones de abastecimiento y distribución de agua.

Se adopta lo establecido en las normas:

- NTE-IFA: "Instalaciones de fontanería".
- NTE-IFC: "Instalaciones de fontanería. Agua caliente".
- NTE-IFF: "Instalaciones de fontanería. Agua fría".

5.3. Instalación de climatización

Se refiere el presente artículo a las instalaciones de ventilación, refrigeración y calefacción.

Se adoptan las condiciones relativas a funcionalidad y calidad de materiales, control, seguridad en el trabajo, pruebas de servicio, medición, valoración y mantenimiento, establecidas en las normas:

- Reglamento de Seguridad por plantas e instalaciones frigoríficas e Instrucciones MIIF complementarias.
- Reglamentos vigentes sobre recipientes a presión y aparatos a presión.
- NTE-ICI: "Instalaciones de climatización industrial".
- NTE-ICT: "Instalaciones de climatización-torres de refrigeración".
- NTE-ID: "Instalaciones de depósitos".
- Reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria (R.D. 1618/1980 de 4 de Julio).
- NTE-ISV: "Ventilación".

5.4. Instalación de la maquinaria

Todas las partes de la maquinaria que deben estar en contacto con los elementos a tratar, serán de material inalterable, con superficie lisa y fácilmente limpiable para su correcto mantenimiento e higiene.

Los elementos móviles deberán estar provistos de los debidos dispositivos de protección para el manejo del operador. Los rendimientos de cada máquina se ajustarán a los que se han fijado en el Proyecto. Si en condiciones de trabajo normales una máquina,

con fuerza de acondicionamiento suficiente y manejada de acuerdo con las instrucciones, no diera el rendimiento garantizado, se comunicará a la casa vendedora para que comunique las deficiencias y haga las modificaciones oportunas. Si en el plazo de un mes, estas deficiencias no fueran subsanadas, la casa se hará cargo de la maquinaria, puesta, embalada en la estación más próxima a la residencia del cliente, devolviendo el mismo importe que haya pagado, o suministrándole a elección de éste, en sustitución de la maquinaria retirada, otra de rendimiento correcto.

Serán de cuenta de la casa suministradora el transporte, embalaje, derechos de aduanas, riesgos, seguros e impuestos hasta que la maquinaria se encuentre en el lugar de su emplazamiento. El montaje será por cuenta de la casa vendedora, si bien el promotor proporcionará las escaleras, instalación eléctrica, herramienta gruesa y material de albañilería, carpintería y cerrajería necesaria para el montaje, así como personal auxiliar para ayudar al especializado que enviará la empresa suministradora.

El plazo que para la entrega de maquinaria pacte el promotor con el vendedor de la misma, no podrá ser ampliado más que por causa de fuerza mayor, como huelgas, lock-out, movilización del ejército, guerra o revolución. Si el retraso es imputable a la casa vendedora, el promotor tendrá derecho a un 1% de rebaja en el precio por cada semana de retraso como compensación por los perjuicios ocasionados.

Será por cuenta de la entidad vendedora suministrar los aparatos y útiles precisos para ejecutar las pruebas de las máquinas y verificar las comprobaciones necesarias, siendo de su cuenta los gastos que originen éstas.

En cada máquina o grupo de máquinas, se establecerá una fecha de prueba con el objeto de poder efectuar la recepción provisional, para el plazo mínimo de garantía de un año, en el cual su funcionamiento ha de ser perfecto, comprometiéndose la empresa suministradora a reponer por su cuenta las piezas que aparezcan deterioradas a causa de una defectuosa construcción o instalación y a subsanar por su cuenta las anomalías o irregularidades de funcionamiento que impidan su uso normal.

5.5. Instalación de protección

Se refiere el presente artículo a las condiciones de ejecución, de los materiales de control de la ejecución, seguridad en el trabajo, medición, valoración y mantenimiento, relativas a las instalaciones de protección contra fuego y rayos.

Se cumplirá lo prescrito en la norma NBE-CPI-96 sobre condiciones de protección contra incendios y se adoptará lo establecido en la norma NTE-IPF "Protección contra el fuego", y anejo nº 6 de la EH-82, así como se adoptará lo establecido en la norma NTEIPP "Pararrayos".

5.6. Obras o instalaciones no especificadas

Si en el transcurso de los trabajos fuera necesario ejecutar alguna clase de obra no regulada en el presente Pliego de Condiciones, el Contratista queda obligado a ejecutarla con arreglo a las instrucciones que reciba del Ingeniero Director quien, a su vez, cumplirá la normativa vigente sobre el particular. El Contratista no tendrá derecho a reclamación alguna.

6. ESTADO DE MEDICIONES

ÍNDICE DE ESTADO DE MEDICIONES

| | |
|-------------------------------|---|
| 1. Estado de mediciones | 2 |
| 1.1. Equipos | 2 |
| 1.2. Conducciones | 3 |

1. Estado de mediciones

El Estado de mediciones es uno de los documentos básicos del proyecto, cuya finalidad es determinar y definir el conjunto de operaciones que se realizan sobre cada unidad de obra para obtener su cantidad. En este documento se determinan el número de unidades, las características, modelos, dimensiones, o cualquier otra característica relevante de todas las unidades de obra que participan para la puesta en marcha y construcción de la planta. La unidad de obra se entiende como cada una de las partes en las que puede dividirse y medirse el proyecto.

Además, este documento sirve de punto de partida para llevar a cabo la realización del presupuesto final.

En total, las partidas que componen este proyecto son 2:

- Equipos.
- Conducciones.

1.1. Equipos

En la *Tabla E.1.1* se muestra el estado de mediciones de los equipos que constituyen la planta.

Tabla E.1.1. Estado de mediciones de los equipos.

| Elemento | Unidad | Cantidad |
|---|--------|----------|
| Pala cargadora de 3,3 m ³ de capacidad | Ud. | 1 |
| Tolvas dispensadoras de 1,5 x 1,5 x 1,5 | Ud. | 9 |
| Elevador de cangilones de 20 m de altura y con capacidad 18 m ³ /h | Ud. | 3 |
| Cintas dispensadoras | Ud. | 3 |
| Separador magnético con inducción magnética de 15000 Gauss | Ud. | 3 |
| Molino de bolas continuo vía seca con rango de molienda inferior a 10 micras | Ud. | 3 |
| Bolas alúmina de 40 mm de diámetro | Ud. | 90.900 |

| Elemento | Unidad | Cantidad |
|--|--------|----------|
| Separador con rango d_{97} de 5 a 10 | Ud. | 3 |
| Filtros de mangas con 10 mangas filtrantes | Ud. | 3 |
| Carretilla elevadora | Ud. | 2 |
| Silos de 100 m ³ de capacidad | Ud. | 8 |
| Equipo medición granulometría | Ud. | 1 |
| Soplador | Ud. | 9 |

1.2. Conducciones y accesorios

En la *Tabla E 1.2* se muestra el estado de mediciones de las conducciones y accesorios que constituyen la instalación de destilación.

Tabla E.1.2. Estado de mediciones de las conducciones y accesorios.

| Elemento | Unidad | Cantidad |
|---|--------|----------|
| Tubería de acero galvanizado D=5", espesor 5 mm | m | 18 |
| Tubería de acero galvanizado D=7", espesor 5 mm | m | 18 |
| Tubería de acero galvanizado D=12", espesor 5 mm | m | 40,5 |
| Tubería de acero galvanizado D=15", espesor 5 mm | m | 65 |
| Codo de gran curvatura de acero galvanizado | Ud. | 10 |
| T estándar de acero galvanizado | Ud. | 1 |
| Entrada ligeramente redondeada de acero galvanizado | Ud. | 8 |

7. PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

| | |
|---|---|
| 1. Presupuesto de ejecución de material (PEM)..... | 2 |
| 1.1. PEM Parcial..... | 2 |
| 1.1.1. Equipos | 2 |
| 1.1.2. Conducciones y accesorios..... | 3 |
| 1.1.3. Mano de obra..... | 3 |
| 1.2. PEM TOTAL..... | 4 |
| 2. Presupuesto de Ejecución por contrata (PEC)..... | 5 |
| 3. Presupuesto total..... | 6 |

1. Presupuesto de ejecución de material (PEM)

1.1. PEM Parcial

El Presupuesto de Ejecución de Material corresponde al presupuesto de construcción del proyecto como tal. A continuación se muestran las 3 partidas presupuestarias en las que se divide el presente proyecto:

- Equipos
- Conducciones y accesorios
- Mano de obra

Seguidamente, se exponen detalladamente las partidas que forman parte del Presupuesto de Ejecución de Material.

1.1.1. Equipos

La primera partida presupuestaria está formada por los equipos que constituyen la instalación del proyecto. Estos se muestran en la *Tabla P.1.1.*

Tabla P.1.1. Presupuesto de los equipos.

| Elemento | Unidad | Cantidad | Precio Ud. (€) | Precio (€) |
|---|--------|----------|----------------|------------|
| Pala cargadora de 3,3 m ³ de capacidad | Ud. | 1 | 100.000 | 100.000 |
| Tolvas dispensadoras de 2,7 m ³ y 0,7 m ³ | Ud. | 9 | 3.000 | 27.000 |
| Elevador de cangilones de 20 m de altura y con capacidad 18 m ³ /h | Ud. | 3 | 3.500 | 10.500 |
| Cintas dispensadoras | Ud. | 3 | 1.800 | 5.400 |
| Separador magnético con inducción magnética de 15.000 Gauss | Ud. | 3 | 50.000 | 150.000 |
| Molino de bolas continuo vía seca con rango de molienda inferior a 10 micras | Ud. | 3 | 1.000.000 | 3.000.000 |

| Elemento | Unidad | Cantidad | Precio Ud. (€) | Precio (€) |
|---|--------|----------|----------------|------------|
| Separador con rango d ₉₇ de 5 a 10 | Ud. | 3 | 250.000 | 750.000 |
| Filtros de mangas con 10 mangas filtrantes | Ud. | 3 | 35.000 | 105.000 |
| Carretilla elevadora | Ud. | 2 | 3.500 | 7.000 |
| Silos de 100 m ³ de capacidad | Ud. | 8 | 20.000 | 160.000 |
| Equipo medición granulometría | Ud. | 1 | 6.500 | 6.500 |
| Soplador | Ud. | 9 | 2.000 | 18.000 |
| Total | | | | 4.339.400 |

1.1.2. Conducciones y accesorios

La segunda partida presupuestaria está formada por las conducciones y accesorios que forman parte de la instalación, y vienen representados en la *Tabla P.1.2.*

Tabla P.1.2. Presupuesto de las conducciones y accesorios.

| Elemento | Unidad | Cantidad | Precio Ud. (€) | Precio (€) |
|---|--------|----------|----------------|------------|
| Tubería de acero galvanizado D=5", espesor 5 mm | m | 18 | 20,00 | 360,00 |
| Tubería de acero galvanizado D=7", espesor 5 mm | m | 18 | 30,00 | 540,00 |
| Tubería de acero galvanizado D=12", espesor 5 mm | m | 40,5 | 38,75 | 1.569,38 |
| Tubería de acero galvanizado D=15", espesor 5 mm | m | 65 | 55,02 | 3.548,79 |
| Codo de gran curvatura de acero galvanizado | Ud. | 10 | 20,00 | 200,00 |
| T estándar de acero galvanizado | Ud. | 1 | 20,00 | 20,00 |
| Entrada ligeramente redondeada de acero galvanizado | Ud. | 8 | 20,00 | 160,00 |
| Total | | | | 6.398,17 |

1.1.3. Mano de obra

A pesar de no haber definido esta nueva partida en el documento "6. Estado de mediciones", se debe de tener en cuenta la mano de obra para el presupuesto.

Los costes de la mano de obra, según las estimaciones proporcionadas por el colegio de ingenieros industriales de la Comunidad Valenciana son un 15% del precio de los equipos principales. Estos costes se muestran en la *Tabla P.1.3*.

Tabla P.1.3. Presupuesto de la mano de obra.

| Elemento | Unidad | Cantidad | Precio equipos (€) | Precio total (€) |
|--------------|--------|----------|--------------------|------------------|
| Mano de obra | % | 15 | 4.339.400,00 | 650.910,00 |

1.2. PEM TOTAL

Una vez conocido el presupuesto de las tres partidas, se detalla en la *Tabla P.1.4* el PEM total, el cual corresponde a la suma de las tres partidas nombradas.

Tabla P.1.4. Presupuesto de ejecución de material total.

| Elementos | Coste (€) |
|--------------------|---------------------|
| Equipos | 4.339.400,00 |
| Conducciones | 6.398,17 |
| Mano de obra | 650.910,00 |
| Total (PEM) | 4.996.708,17 |

2. Presupuesto de Ejecución por contrata (PEC)

Para el cálculo del Presupuesto de Ejecución por Contrata se debe de tener en cuenta el PEM, los gastos generales y el beneficio industrial.

El PEM corresponde al obtenido en el punto anterior, los gastos generales se considera que corresponden al 20% del PEM y el beneficio industrial corresponde al 6% del PEM. Esto se muestra en la *Tabla P.2.1*.

Tabla P.2.1. Presupuesto de ejecución por contrata (PEC).

| Elementos | Coste (€) |
|----------------------|---------------------|
| PEM | 4.996.708,17 |
| Gastos generales | 999.341,63 |
| Beneficio industrial | 299.802,49 |
| Total (PEC) | 6.295.852,29 |

3. Presupuesto total

Finalmente se puede calcular el presupuesto total, que corresponde al PEC aplicando el IVA (21%) el cual corresponde a la inversión inicial. Esto se muestra en la *Tabla P.3.1.*

Tabla P.3.1. Presupuesto de ejecución por contrata (PEC).

| Elemento | Coste (€) |
|-----------------|---------------------|
| PEC | 6.295.852,29 |
| IVA | 1.322.128,98 |
| Total | 7.617.981,28 |

El presupuesto total del proyecto *Diseño de una planta de producción de silicato de zirconio ($ZrSiO_4$)* asciende a *SIETE MILLONES SEISCIENTOS DIECISIETE MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y UN EURO CON VEINTIOCHO CÉNTIMOS.*