



**UNIVERSITAT  
JAUME•I**

**Universitat Jaume I**

**Escola Superior de Tecnologia y Ciències  
Experimentals**

**Grau en Ingenieria Química**

**Diseño de una planta industrial  
para fabricar adoquines mediante  
activación alcalina**

**Trabajo Fin de Grado**

Autor

**Miguel Martín Fabregat**

Tutores

**Javier García Ten**

**Carlos Feliu Mingarro**

**Castellón, Julio de 2019**



# 0. Resumen

## Diseño de una planta para fabricar adoquines mediante activación alcalina

En el presente trabajo final de grado se diseña una planta industrial para fabricar adoquines mediante el proceso de activación alcalina. Se hace una descripción del proceso productivo y de las características técnicas y mecánicas de los dos tipos de adoquines más comunes: el adoquín cerámico y el de hormigón, así mismo se hace mención al consumo energético y a las emisiones de CO<sub>2</sub> que supone la fabricación de estos dos tipos de adoquines.

En este proyecto se propone un nuevo proceso productivo de adoquines a partir de la activación alcalina, se describen cada una de las etapas de dicho proceso y se dimensionan los equipos necesarios para la fabricación de los adoquines.

Además, se realiza un estudio económico para conocer la rentabilidad de la planta diseñada. También se lleva a cabo una comparativa entre el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> de los adoquines fabricados con respecto a los adoquines cerámicos y de hormigón.

El proceso de fabricación de los adoquines fabricados en la planta a partir de la activación alcalina tiene un consumo energético inferior y unas menores emisiones de CO<sub>2</sub> que los adoquines cerámicos y de hormigón. Sin embargo para que la planta industrial sea viable económicamente el precio de venta de los adoquines que se fabrican debe ser superior a los adoquines existentes actualmente en el mercado (cerámicos y de hormigón). Concretamente el doble que los adoquines cerámicos y prácticamente tres veces mayor que el de los adoquines de hormigón.

Esta situación puede cambiar en los próximos años debido al aumento de los costes de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> y a la reducción en las emisiones de los citados compuestos que la Unión Europea quiere imponer progresivamente en los próximos años, llegando a una reducción del 80 % para 2050.



# **1. Índice General**

## Diseño de una planta para fabricar adoquines mediante activación alcalina

Los documentos básicos del proyecto “Diseño de una planta industrial para fabricar adoquines mediante activación alcalina” son los siguientes:

0. Resumen

1. Índice General

2. Memoria

3. Anexos

4. Planos

5. Pliego de Condiciones

6. Estado de Mediciones

7. Presupuestos





# **2. Memoria**

## Índice

1. Objeto.....	1
2. Alcance.....	2
3. Antecedentes.....	3
3.1 Pavimentos urbanos.....	3
3.1.1 Tipos de pavimentos urbanos.....	4
3.3.1.1 Pavimentos disgregados.....	4
3.3.1.2 Pavimentos discontinuos.....	4
3.3.1.3 Pavimentos continuos.....	5
3.3.1.4 Pavimentos sobre-elevados.....	6
3.2 Procesos de fabricación.....	7
3.2.1 Proceso de fabricación de adoquines cerámicos.....	7
3.2.1.1 Preparación de las materias primas.....	7
3.2.1.2 Molturación.....	7
3.2.1.3 Amasado.....	7
3.2.1.4 Conformado.....	7
3.2.1.5 Secado.....	8
3.2.1.6 Cocción.....	8
3.2.1.7 Tratamientos especiales.....	8
3.2.1.8 Clasificación y embalaje.....	9
3.2.2 Proceso de fabricación de adoquines de hormigón.....	9
3.2.2.1 Recepción y almacenamiento de las materias primas.....	9
3.2.2.2 Dosificación y amasado.....	9
3.2.2.3 Conformado.....	10
3.2.2.4 Curado.....	11
3.2.2.5 Tratamientos secundarios.....	12
3.2.2.6 Inspección y control de la calidad.....	12
3.2.2.7 Paletizado e identificación.....	13
3.2.2.8 Almacenamiento de los adoquines.....	13
3.3 Características técnicas de los adoquines cerámicos y de hormigón.....	13
3.3.1 Adoquines cerámicos.....	13
3.3.1.1 Tolerancias dimensionales.....	13
3.3.1.2 Tolerancias de la carga de rotura transversal.....	14

3.3.1.3 Tolerancias de la resistencia a la abrasión.....	15
3.3.2 Adoquines de hormigón.....	15
3.3.2.1 Tolerancias dimensionales.....	16
3.3.2.2 Resistencias mecánicas a flexión mínimas.....	16
3.3.2.3 Tolerancias de la resistencia a la abrasión.....	16
3.4 Diferencias entre adoquines cerámicos y de hormigón.....	17
3.4.1 Consumo energético y emisiones de CO <sub>2</sub> en adoquines cerámicos.....	18
3.4.2 Consumo energético y emisiones de CO <sub>2</sub> en adoquines de hormigón.....	18
3.5 Evolución del sector de producción de cerámica estructural.....	21
4. Normas y referencias.....	23
4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas.....	23
4.2 Programas informáticos utilizados.....	23
4.3 Bibliografía.....	23
4.4 Bibliografía web.....	24
5. Definiciones y abreviaturas.....	26
5.1 Definiciones.....	26
5.2 Abreviaturas.....	26
6. Requisitos de diseño.....	27
6.1 Composición utilizada industrialmente.....	27
6.2 Cálculo de las dimensiones de los adoquines.....	28
6.3 Producción de la planta y ritmo productivo.....	29
7. Análisis de soluciones.....	31
7.1 Proceso de fabricación y diagrama de flujo.....	31
7.1.1 Activación alcalina.....	31
7.1.2 Proceso de activación alcalina.....	31
7.1.2.1 Materiales utilizados.....	32
7.1.2.1.1 Materias primas sólidas.....	32
7.1.2.1.2 Activadores alcalinos.....	32
7.1.2.2 Molturación.....	32
7.1.2.3 Tamizado.....	33
7.1.2.4 Preparación de las composiciones.....	33
7.1.2.5 Conformado.....	33
7.1.2.6 Curado.....	34
7.1.3 Diagrama de flujo.....	34

7.2 Diseño de las instalaciones.....	36
7.2.1 Flujo másico de los materiales.....	36
7.2.2 Diagrama de flujo dimensionado.....	37
7.2.3 Recepción de las materias primas.....	40
7.2.3.1 Recepción de las cenizas volantes.....	40
7.2.4 Almacenamiento de las materias primas.....	41
7.2.4.1 Silo de las cenizas volantes.....	41
7.2.4.2 Estructura metálica de soporte.....	42
7.2.4.3 Paneles fluidificantes.....	43
7.2.4.4 Compresor de aire.....	43
7.2.4.5 Granero del tiesto.....	44
7.2.4.6 Almacenamiento del hidróxido sódico.....	44
7.2.4.7 Almacenamiento del silicato sódico.....	45
7.2.5 Dosificación y transporte de las materias primas.....	46
7.2.5.1 Cenizas volantes.....	46
7.2.5.2 Tiesto cerámico cocido.....	48
7.2.5.3 Hidróxido sódico y silicato sódico.....	48
7.2.6 Tamizado de las CV.....	52
7.2.7 Trituración y molienda del tiesto cerámico.....	54
7.2.8 Tamizado del tiesto cerámico.....	56
7.2.9 Amasado.....	56
7.2.10 Conformado.....	59
7.2.11 Curado.....	61
7.2.12 Tratamientos secundarios.....	62
7.2.12.1 Pulido.....	63
7.2.12.2 Granallado.....	64
7.2.13 Inspección y control de calidad.....	65
7.2.13.1 Materia prima.....	65
7.2.13.2 Proceso productivo.....	65
7.2.13.3 Producto terminado.....	67
7.2.13.3.1 Determinación de la densidad aparente.....	67
7.2.13.3.2 Mediada de la Resistencia mecánica a flexión.....	67
7.2.13.3.3 Ensayos dimensionales.....	68
7.2.14 Paletizado e identificación.....	69

7.3.15 Almacenamiento del producto acabado.....	70
7.3 Distribución en planta y cálculo del área total.....	71
7.4 Ubicación de la planta.....	73
8. Estudio de viabilidad económica.....	75
8.1 Resumen del presupuesto.....	75
8.2 Presupuesto de explotación.....	76
8.2.1 Inversión inicial.....	76
8.2.2 Amortización.....	76
8.2.3 Gastos.....	76
8.2.3.1 Gastos directos.....	76
8.2.3.2 Gastos indirectos.....	79
8.2.4 Ingresos.....	81
8.2.5 Beneficios.....	82
8.2.6 Flujo de caja.....	83
8.2.7 Valor actual neto.....	84
8.2.8 Tasa interna de rentabilidad.....	85
8.2.9 Periodo de retorno.....	85
9. Planificación.....	86
10. Resultados finales.....	88
11. Orden de prioridad entre los documentos básicos.....	91

## **1. Objeto**

El objetivo de este proyecto es el diseño de una planta industrial para elaborar adoquines mediante el proceso de activación alcalina, así como la realización del estudio de viabilidad económica para determinar su rentabilidad.

## 2. Alcance

Los dos tipos de adoquines más utilizados actualmente en pavimentación urbana son los adoquines cerámicos y de hormigón.

En el proceso de fabricación de adoquines cerámicos una de las etapas más importantes es la cocción ya que es en esta etapa donde se adquieren las propiedades estéticas, mecánicas y estructurales del producto. La cocción de los adoquines cerámicos se lleva a cabo en hornos de gas a temperaturas superiores a 1000 °C lo que supone un elevado consumo energético y una alta emisión de CO<sub>2</sub>.

Para la fabricación del pavimento urbano de hormigón se utiliza el cemento Portland como materia prima, el cual se obtiene a partir de la reacción de clinkerización. Esta reacción consiste en una calcinación de caliza y arcilla a temperaturas que alcanzan los 1450°C, se suele llevar a cabo en hornos rotatorios los cuales usan combustibles derivados del petróleo, gas natural o biogás.

Debido a la producción de dióxido de carbono y a la gran cantidad de energía utilizada en la producción del pavimento urbano cerámico y de hormigón se ha estudiado la posibilidad de fabricar dicho pavimento mediante un proceso a baja temperatura como es el de la activación alcalina. Los materiales obtenidos por este proceso, denominados geopolímeros pueden utilizarse como adoquines para pavimento urbano, siempre y cuando tengan unas propiedades adecuadas tales como: resistencia a la abrasión, absorción de agua, resistencia al deslizamiento y al impacto, aunque la característica más importante que deben cumplir es la carga de rotura.

### 3. Antecedentes

En este apartado se van a describir los diferentes tipos de firme y de pavimentación urbana así como los tipos de adoquines más utilizados: el adoquín cerámico y el de hormigón. También se van a definir los procesos productivos de ambos tipos de adoquín, el consumo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> de dichos procesos y las características técnicas que deben poseer ambos tipos de adoquines. Por último, se adjuntan los datos de la evolución del sector cerámico estructural y la producción anual de diferentes tipos de materiales cerámicos en España.

#### 3.1 Pavimentos urbanos

En el ámbito urbano se conoce como firme el conjunto de capas ejecutadas con materiales seleccionados, colocados sobre la explanada para permitir la circulación en las debidas condiciones de seguridad y comodidad. Los firmes se dividen en diferentes capas, la subbase, la capa base, la capa intermedia y la capa superficial o de rodadura en la cual se incluye el pavimento.

Los firmes se clasifican principalmente en firmes flexibles y rígidos.

Los firmes flexibles son los que están formados por una base de material granular sobre la cual se apoya una capa superficial asfáltica con un espesor inferior a 15 cm. Si el espesor iguala o supera los 15 cm, los firmes se consideran como semiflexibles.

Los firmes rígidos están constituidos por una base de materiales granulares sobre la cual se apoya una capa superficial de cemento Portland.

Así pues, el pavimento urbano es la capa superior del firme que se coloca para satisfacer algunas necesidades, tales como: una adecuada resistencia al deslizamiento y una elevada resistencia a la acción destructora de los vehículos y los agentes atmosféricos.

Actualmente, en el sector de los pavimentos urbanos, se están utilizando muchos tipos de materiales: adoquines hidráulicos, terrazo, adoquines de hormigón, adoquines cerámicos, piedra natural, etc.

Los adoquines hidráulicos, los de hormigón y el terrazo utilizan cemento Portland para su fabricación, el consumo energético para fabricar estos tipos de pavimento urbano se debe principalmente a la etapa de clinkerización del cemento. Sin embargo, los pavimentos que más aporte energético necesitan son los de origen cerámico debido a la etapa de cocción.



Tanto en la clinkerización para los adoquines de hormigón como en la cocción para los adoquines cerámicos se generan grandes cantidades de CO<sub>2</sub> debido a la combustión de combustibles fósiles.

### 3.1.1 Tipos de pavimentos urbanos

De acuerdo con la bibliografía consultada los pavimentos urbanos que existen hoy en día en el mercado se pueden clasificar de muchas formas. En este trabajo se ha considerado conveniente clasificarlos en cuatro grupos: pavimentos disgregados, pavimentos discontinuos, pavimentos continuos y pavimentos sobre-elevados para exteriores.

#### 3.1.1.1 Pavimentos disgregados

Los pavimentos disgregados son pavimentos fabricados con material de pequeña granulometría sin aglutinante. A su vez se pueden dividir en tierra compactada, tierra batida y gravas. En la figura 3.1 se puede ver un ejemplo de pavimento de tierra compactada.



**Figura 3.1.** Suelo de tierra compactada. (FUENTE: [www.polypavement.com](http://www.polypavement.com))

#### 3.1.1.2 Pavimentos discontinuos

Los pavimentos discontinuos son pavimentos fabricados con piezas de tamaño variable. Este tipo de pavimento está caracterizado por una retícula formada por las juntas que se crean al colocar las diferentes piezas que forman el pavimento. Asimismo, se dividen en adoquines de piedra natural, adoquines de hormigón, adoquines cerámicos, baldosas de terrazo, cerámicas, hidráulicas, de hormigón y de piedra natural, losetas asfálticas y pavimentos de caucho y plástico. En las figuras 3.2 y 3.3, se pueden ver pavimentos de adoquines de piedra natural y de caucho respectivamente.



**Figura 3.2.** Adoquines de piedra natural.

(FUENTE: [www.solostocks.com](http://www.solostocks.com))



**Figura 3.3.** Pavimento de caucho.

(FUENTE: [www.tuverano.com](http://www.tuverano.com))

### 3.1.1.3 Pavimentos continuos

Los pavimentos continuos son pavimentos fabricados con material disgregado con aglutinante. Éstos se dividen en pavimentos continuos asfálticos, pavimentos continuos de hormigón pulido y hormigón impreso, pavimentos sintéticos de resina de poliuretano y de resina epoxi, pavimentos de caucho y césped artificial. En las figuras de la 3.4 a la 3.7 se pueden ver diferentes tipos de pavimentos continuos.



**Figura 3.4.** Suelo hormigón impreso.

(FUENTE: [www.technicalfloor.com](http://www.technicalfloor.com))



**Figura 3.5.** Suelo césped artificial.

(FUENTE: [www.gresfactory.com](http://www.gresfactory.com))



**Figura 3.6.** Suelo resina de poliuretano.

(FUENTE: [www.arelux.com](http://www.arelux.com))



**Figura 3.7.** Pavimento asfáltico.

(FUENTE: [www.sp.depositphotos.com](http://www.sp.depositphotos.com))

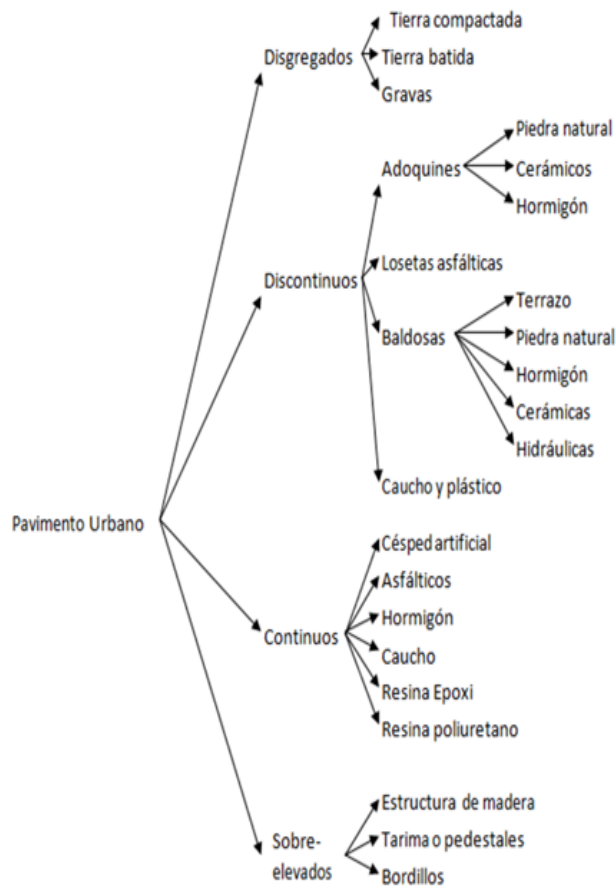
### 3.1.1.4 Pavimentos sobre-elevados

Los pavimentos sobre-elevados son los que van encima de una estructura, ya sea de madera, tarima, pedestales o bordillos. En la figura 3.8 se puede ver un ejemplo de pavimento sobre-elevado.



**Figura 3.8.** Suelo de tarima. (FUENTE: [www.suimco.es](http://www.suimco.es))

Para la mejor comprensión de la clasificación de los pavimentos urbanos se ha realizado un esquema con los distintos tipos y subtipos de pavimentos urbanos nombrados anteriormente (figura 3.9).



**Figura 3.9.** Clasificación del pavimento urbano. (FUENTE: elaboración propia).

Como se observa, los tipos de pavimentos urbanos utilizados hoy en día son muy heterogéneos y dependen fundamentalmente de la utilidad final del producto. El nuevo producto a desarrollar en este proyecto formará parte de los pavimentos discontinuos descritos anteriormente.

## **3.2 Procesos de fabricación**

Los dos tipos de adoquines más utilizados son los cerámicos y los de hormigón. A continuación se describirán los procesos de fabricación de cada uno y las diferencias que existen entre ambos.

### **3.2.1 Proceso de fabricación de adoquines cerámicos**

El proceso de fabricación de los adoquines cerámicos se divide en diferentes etapas.

#### **3.2.1.1 Preparación de las materias primas**

Las materias primas utilizadas para la fabricación de adoquines cerámicos son fundamentalmente arcillas, feldespatos, arenas, carbonatos y caolines. Estas materias se extraen directamente en las canteras y se someten a una homogeneización previa que asegure la continuidad de sus características.

#### **3.2.1.2 Molturación**

Las materias primas sólidas definidas anteriormente se mezclan en las proporciones adecuadas y se someten a una molturación vía seca en molinos de martillos o pendulares.

#### **3.2.1.3 Amasado**

El proceso de amasado consiste en la mezcla íntima con agua de las materias primas de la composición de la pasta, con esto se consigue una masa plástica fácilmente moldeable por extrusión o prensado.

#### **3.2.1.4 Conformado**

El conformado de los adoquines cerámicos se lleva a cabo mediante una extrusión, este proceso consiste en hacer pasar una columna de pasta, en estado plástico, a través de una matriz que forma una pieza de sección constante.

### **3.2.1.5 Secado**

Una vez conformados los adoquines cerámicos se someten a una etapa de secado, con el fin de reducir su contenido en humedad hasta niveles lo suficientemente bajos (0,2-0,5 %), para que la fase de cocción se lleve a cabo adecuadamente.

Normalmente, para secar los adoquines cerámicos se utilizan secaderos de cámaras. Los ciclos totales de secado de los adoquines de arcilla cocida acostumbran a ser de 36 horas, aunque existen arcillas que pueden hacerlo en 24 horas con una correcta instalación y control de la curva de secado.

### **3.2.1.6 Cocción**

La cocción de los productos cerámicos es una de las etapas más importantes del proceso de fabricación, ya que de ella dependen gran parte de las características del producto cerámico: resistencia mecánica, estabilidad dimensional, resistencia a los agentes químicos, facilidad de limpieza, resistencia al fuego, etc.

La cocción de los adoquines cerámicos se lleva a cabo en hornos túnel donde la temperatura de cocción oscila entre 900 °C y 1000 °C. Los adoquines se colocan en vagonetas o carretillas las cuales entran al túnel por un extremo y salen por el otro. El tiempo de cocción necesario varía en función de las propiedades del aduquín y de la temperatura de cocción.

Un aspecto importante es la humedad de entrada de la pieza al horno, ya que los adoquines cerámicos tienen un espesor considerable y son totalmente macizos, por lo que se tendría que conseguir que no fuera superior al 1%. Además, hay que tener en cuenta que mientras se produce la evaporación del agua no se inicia la cocción, por lo tanto, una alta humedad representa una pérdida de tiempo en el ciclo de cocción.

La cocción propiamente dicha depende también del combustible a emplear. Normalmente se utiliza el gas natural como combustible para la cocción de los adoquines cerámicos, sin embargo, también se puede utilizar una mezcla de gas y fuel.

### **3.2.1.7 Tratamientos especiales**

En algunos casos, si lo demanda el mercado, se puede realizar una operación de pulido superficial de los adoquines cerámicos cocidos con lo que se obtienen adoquines homogéneos y brillantes.

### **3.2.1.8 Clasificación y embalaje**

La última etapa del proceso de fabricación de los adoquines cerámicos es la etapa de clasificación y embalaje. La clasificación se realiza mediante sistemas automáticos con equipos mecánicos e inspección visual de los adoquines. El resultado es un producto controlado en cuanto a su regularidad dimensional, aspecto superficial y características mecánicas y químicas. Los adoquines deben ir identificados de acuerdo a lo establecido en la norma UNE-EN 1344. Estos adoquines se apilan en palés y se almacenan a la espera de su venta.

### **3.2.2 Proceso de fabricación de adoquines de hormigón**

El proceso de fabricación de los adoquines de hormigón para pavimento urbano está compuesto de las siguientes etapas.

#### **3.2.2.1 Recepción y almacenamiento de las materias primas**

En las industrias en las que se fabrican adoquines de hormigón las materias primas son cemento, áridos y arenas, estas materias primas se almacenan en diferentes silos o graneros.

Una vez que las materias primas llegan a la fábrica, son sometidas a un sistema de control de recepción en el que se realiza una inspección visual, una verificación del albarán y una toma de muestras para los ensayos de control interno tales como: tiempo de fraguado y finura del cemento. La determinación de dicha finura se basa en la diferencia de velocidad de sedimentación de las partículas de cemento y se lleva a cabo con el turbidímetro de Wagner. Si el material suministrado no verifica alguno de los controles será devuelto al proveedor o sometido a acciones correctoras.

#### **3.2.2.2 Dosificación y amasado**

- **Sistema de dosificación de las materias primas sólidas**

Las materias primas sólidas se dosifican mediante un sistema automático o semiautomático en las cantidades que especifique la composición. Estos sistemas deben tener una buena precisión para conseguir la uniformidad del producto por lo que se utilizan sistemas mecánicos muy precisos tales como; sistemas de pesaje y dosificación electrónicos para tener un control del caudal de materias primas adecuado.

- **Sistema de dosificación del agua**

Para llevar a cabo la dosificación del agua se utilizan sistemas volumétricos.

El amasado consiste en la mezcla de las materias primas sólidas y el agua, este proceso se debe realizar durante el tiempo adecuado para que la mezcla adquiera una consistencia pastosa adecuada para su conformado, el cual consiste en un vibro-prensado.

### **3.2.2.3 Conformado**

El proceso se realiza en una prensa, generalmente giratoria, compuesta de una base móvil en la que van colocados los moldes (que definen el formato y espesor de los adoquines) y los fondos de goma con las distintas texturas para conseguir las diferentes familias de productos. El proceso de conformado se divide en 6 etapas.

➤ **Etapas 1 (dosificación y vibrado de la cara vista)**

Para la dosificación de la cara vista se usan dosificadoras específicas cuya misión es la de verter sobre el molde siempre el mismo volumen de material.

➤ **Etapas 2 (extendido y vibrado de la cara vista)**

La masa vertida en el molde se extiende por efecto de la vibración del mismo, extendiéndola por medios mecánicos. Con esta vibración se consigue:

- Una uniformidad en el espesor de la cara vista.
- Eliminación del aire contenido en la masa.
- Una distribución homogénea de la masa.

La intensidad y tiempo de vibrado depende de cada modelo y formato a fabricar.

➤ **Etapas 3 (dosificación y extendido de la cara del revés)**

Se extiende la pasta (mezcla amasada de materias primas) en la cara del revés y se enrasa para eliminar el material sobrante.

En la masa de la capa del revés, tiene que cumplirse el cometido de absorber la humedad sobrante que proviene de la pasta colocada en primer lugar, dotando a la pieza de la consistencia suficiente para soportar todo el proceso de desmoldeo.

➤ **Etapa 4 (pre-prensado)**

Se realiza un primer prensado a menor presión para comprimir el adoquín pero dejando suficientes poros para que se pueda liberar el aire de su interior y así optimizar el proceso de prensado.

➤ **Etapa 5 (vibro-compresión)**

En esta etapa se realiza una compresión sobre la superficie del molde por medio de una prensa, la cual varía en función del formato y número de moldes. Además se lleva a cabo una vibración del material, la cual proporciona una compacidad y resistencia inicial al adoquín, que permite su desmoldeo y manipulación. Las variables a controlar en esta etapa son la presión y el tiempo de prensado.

➤ **Etapa 6 (extracción y desmoldeo)**

Los adoquines se extraen mecánicamente del molde y se depositan en bandejas de almacenamiento, que se apilan y trasladan a las cámaras de curado.

#### **3.2.2.4 Curado**

Una vez prensados los adoquines se almacenan en bandejas y se trasladan a las cámaras de curado en las que comienza el proceso de fraguado que dura entre 2,5 y 8 horas, en función de las propiedades de las materias primas, de las condiciones ambientales y del producto fabricado. El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón producido por las reacciones químicas entre el agua y las materias primas sólidas.

Para que el hormigón tenga unas propiedades mecánicas adecuadas debe haber una proporción exacta entre las materias primas sólidas y el agua. El curado de hormigón consiste en mantener la humedad de la mezcla para evitar que se evapore el agua que se necesita para mantener dicha proporción, de esta forma se consigue completar las reacciones químicas que producen el endurecimiento del hormigón.

Las cámaras de curado están diseñadas con el fin de controlar la humedad y temperatura dentro de la cámara para asegurar un curado adecuado. Existen dos tipos de curado:

- **Curado normal:** durante el curado se aporta mediante instalaciones de pulverizado o nebulizado, la humedad necesaria a toda la masa de los adoquines para conseguir la máxima hidratación, y con ello, la máxima resistencia. El proceso de curado se prolonga hasta que el adoquín adquiere la resistencia necesaria para someterlo a tratamientos



secundarios de acabado y a manipulaciones. Este período suele estar comprendido entre 2 y 5 días.

- **Curado acelerado:** se realiza mediante el aporte de calor y humedad controlando la evolución de la temperatura y el grado de humedad. Este tratamiento se debe realizar con un control preciso de la humedad y la temperatura, con lo que se puede reducir a 1 ó 2 días el tiempo necesario para obtener el producto final.

### **3.2.2.5 Tratamientos secundarios**

Los tratamientos secundarios están formados por el pulido, el granallado y el lavado.

#### **Pulido**

Con este tratamiento se realiza un desbaste, afinado y pulido de la superficie de la cara vista del adoquín que queda perfectamente liso.

#### **Granallado**

Este proceso consiste en someter la superficie de la cara vista del adoquín a la proyección de granalla de acero a alta velocidad, mediante turbinas o boquillas de proyección eliminando una mínima parte de la cara vista del adoquín, dejando la superficie del adoquín con una textura rugosa y antideslizante.

#### **Lavado**

Este tratamiento deja a la vista los áridos que componen la cara vista del adoquín. El lavado se realiza mediante dos procedimientos:

- Lavando la superficie del adoquín con agua pulverizada.
- Usando papeles retardadores del fraguado que se colocan sobre la superficie de la cara vista y que retrasan su endurecimiento. Transcurrido un mínimo de 24 horas, se somete la superficie de la cara vista a un lavado con agua a presión o a un cepillado.

#### **ACABADOS MIXTOS**

Los acabados superficiales (pulido, granallado y lavado) pueden combinarse entre sí, ampliando las composiciones y diseños de la cara vista.

### **3.2.2.6 Inspección y control de la calidad**

Además de la inspección visual, sobre el producto terminado se realizan diferentes controles de calidad rutinarios:

- Dimensionales.
- Absorción de agua.
- Carga de rotura y resistencia mecánica a flexión.
- Resistencia a desgaste por abrasión.
- Resistencia al impacto.

### **3.2.2.7 Paletizado e identificación**

Todo el proceso de embalaje de los adoquines se realiza una vez finalizado el curado y los tratamientos secundarios. Durante este proceso se lleva a cabo un control visual individual de la producción. El paletizado puede ser manual o automático. Los palés van debidamente etiquetados.

### **3.2.2.8 Almacenamiento de los adoquines**

Una vez se hayan identificado los palés, se trasladan a los almacenes de la fábrica en los que se apilan en altura con cuidado de no dañar el material ni someterlo a cargas excesivas.

## **3.3 Características técnicas de los adoquines cerámicos y de hormigón**

En este apartado se recogen las características técnicas de los adoquines cerámicos y de hormigón.

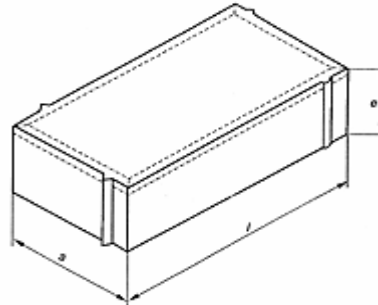
### **3.3.1 Adoquines cerámicos**

Las características más importantes que deben cumplir los adoquines cerámicos son: los requisitos dimensionales, la carga de rotura transversal y la resistencia al desgaste por abrasión. Además de estas propiedades los adoquines también deben tener una buena resistencia al hielo, a los ácidos y al deslizamiento, un buen comportamiento frente al fuego y un color y textura adecuado para su aplicación.

#### **3.3.1.1 Tolerancias dimensionales**

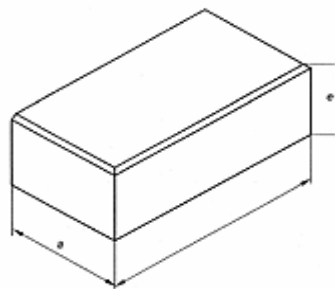
Los adoquines deben tener cualquier forma que permita su fácil colocación en plantilla repetida, normalmente serán rectangulares. Estos adoquines pueden presentar un bisel en una o en varias de sus aristas de la cara vista. Un bisel es un corte oblicuo respecto de sus caras principales efectuado en el borde o extremo de una pieza. Es el modo de suavizar los cantos y esquinas, también se llama chaflán.

Para firmes flexibles, se pueden suministrar adoquines con picos espaciadores en una o más de sus caras (figura 3.10), las cuales siempre estarán en posición vertical en el momento de su utilización.



**Figura 3.10.** Adoquín con pico espaciador. (FUENTE: [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com))

Para firmes rígidos, los adoquines no deberán tener picos espaciadores (figura 3.11), debiendo ser rectangulares o de otras formas que permitan su colocación en combinación con otros, separados por una junta de mortero de 10 mm nominales.



**Figura 3.11.** Adoquín sin pico espaciador. (FUENTE: [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com))

Para firmes flexibles, el espesor nominal de la pieza no deberá ser inferior a 40 mm y las dimensiones nominales serán tales que la relación entre longitud y anchura no sea superior a 6. Para firmes rígidos el espesor de la pieza no será inferior a 30 mm. Si la pieza contara con biseles en una o en varias de las aristas de la cara vista con dimensiones mayores de 7 mm en anchura o profundidad, el fabricante deberá notificarlo. Esta limitación en el tamaño del bisel evita la formación de juntas excesivamente anchas.

### 3.3.1.2 Tolerancias de la carga de rotura transversal

Los adoquines cerámicos se rigen por la norma UNE-EN 1344 en la cual se especifican las tolerancias de carga de rotura transversal para cada clase de adoquín. Estas tolerancias se pueden ver en la tabla 3.1. El ensayo de carga de rotura transversal se

lleva a cabo mediante una máquina de ensayos calibrada para tener la seguridad de que el error medio de la fuerza aplicada (en porcentaje) no supera el  $\pm 3 \%$ .

**Tabla 3.1.** Tolerancias de la carga de rotura transversal según la norma UNE-EN 1344.

Clase	Valor medio (N/mm)	Valor mínimo individual (N/mm)
T0	No se consigna	No se consigna
T1	30	15
T2	30	24
T3	80	50
T4	80	64

### 3.3.1.3 Tolerancias de la resistencia a la abrasión

La resistencia a la abrasión de los adoquines cerámicos viene determinada por la norma UNE-EN 1344, la cual especifica el valor medio del volumen erosionado para los materiales de la clase 1 a la 3 tal y como se puede ver en la tabla 3.2. En el ensayo de resistencia a la abrasión se utiliza un disco de hierro con un diámetro de  $(200 \pm 2)$  mm, un espesor de  $(10 \pm 1)$  mm y una velocidad de giro de  $(75 \pm 4)$  rpm. Este disco presiona el adoquín y erosiona una huella en el mismo, en la norma se mide el valor medio del volumen erosionado en la cara vista del adoquín.

**Tabla 3.2.** Tolerancias de la resistencia a la abrasión según la norma UNE-EN 1344.

Clase	Valor medio del volumen erosionado (nunca superior a) mm <sup>3</sup>
A1	2100
A2	1100
A3	450

### 3.3.2 Adoquines de hormigón

El otro tipo de adoquín más utilizado es el adoquín de hormigón. Las características más relevantes de este tipo de adoquín son: las tolerancias dimensionales, la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste por abrasión.

### 3.3.2.1 Tolerancias dimensionales

Las dimensiones de los adoquines de hormigón son muy variantes, los espesores suelen oscilar entre 6 y 8 cm pero pueden llegar hasta los 10 y 15 cm. Según la norma UNE-EN 1338:2004 “Adoquines de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo”, existen tolerancias dimensionales máximas en adoquines de hormigón (tabla 3.3).

**Tabla 3.3.** Tolerancias dimensionales para los adoquines de hormigón.

Espesor adoquín (mm)	Tolerancias máximas (mm)		
	Longitud	Anchura	Espesor
< 100	± 2	± 2	± 3
> 100	± 3	± 3	± 4

### 3.3.2.2 Resistencias mecánicas a flexión mínimas

En la tabla 3.4 se puede ver la resistencia mecánica a flexión mínima que deben tener los adoquines de hormigón para pavimento urbano según la norma UNE-EN 1338:2004. La tabla recoge las resistencias para 3 clases de materiales distintos. Una de las características fundamentales de los adoquines para pavimento urbano es que tengan una resistencia mecánica adecuada. El ensayo de resistencia a la flexión se realiza con una máquina de ensayos con una precisión de ± 3 % sobre el rango previsto de las cargas del ensayo.

**Tabla 3.4.** Clases y marcas de adoquines de hormigón para pavimento urbano, según la norma UNE-EN 1338:2004.

Clase	RM <sub>f</sub> (MPa)
1	≥ 3,5
2	≥ 4,0
3	≥ 5,0

### 3.3.2.3 Tolerancias de la resistencia a la abrasión

En la tabla 3.5 se pueden ver las tolerancias del desgaste por abrasión para los adoquines de hormigón según la norma UNE-EN 1338:2004 “Adoquines de hormigón.

Especificaciones y métodos de ensayo”. Para realizar este ensayo se utiliza un disco de acero de acuerdo con la norma UNE-EN 10083-2:1997, debe tener una dureza de Brinell comprendida entre 203 HB y 245 HB. Su diámetro debe ser de  $(200 \pm 1)$  mm, su anchura de  $(70 \pm 1)$  mm y debe ser accionado para que gire 75 revoluciones en  $(60 \pm 3)$  segundos. Este disco presiona el adoquín y erosiona una huella en el mismo, en la norma se mide el valor medio de la longitud de la huella erosionada en el adoquín.

**Tabla 3.5.** Desgaste por abrasión de los adoquines de hormigón.

Clase	Valor desgaste por abrasión (mm)
1	-
2	< 26
3	< 20

### 3.4 Diferencias entre adoquines cerámicos y de hormigón

Los adoquines cerámicos se conforman mediante un proceso de extrusión mientras que los adoquines de hormigón sufren un vibro-prensado para darles forma.

La gran ventaja de los adoquines cerámicos son las mayores prestaciones técnicas respecto a los adoquines de hormigón (tabla 3.6); sin embargo, para su procesado son necesarias las etapas de secado y cocción, aumentando los costes de fabricación y las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

**Tabla 3.6.** Valores de algunas propiedades de los adoquines cerámicos y de hormigón.

Característica	Adoquines cerámicos	Adoquines de hormigón
Resistencia a compresión (MPa)	100	50
Resistencia a flexión (MPa)	12	8
Resistencia a la abrasión	Muy elevada	Media
Resistencia a ácido	Alta durabilidad	Baja durabilidad
Densidad media (kg/m <sup>3</sup> )	2300	2200
Espesor (mm)	50-67	60-85
Precio por unidad (€)	0,39-1,16	0,24-0,72

Como se puede ver en la tabla 3.6 los adoquines cerámicos tienen una mayor resistencia a compresión y flexión que los adoquines de hormigón. Además, los adoquines cerámicos poseen una mayor resistencia a la abrasión y a los ácidos, aunque su precio de venta es superior al de los adoquines de hormigón.

A continuación, se analizan el consumo de energía y la generación de CO<sub>2</sub> durante la fabricación de este tipo de materiales.

#### **3.4.1 Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> en adoquines cerámicos**

Las dos principales etapas del proceso de fabricación de adoquines cerámicos que consumen energía térmica, y que por lo tanto producen emisiones de CO<sub>2</sub>, son el secado y la cocción.

Como no se dispone de datos concretos del consumo de los secaderos y hornos empleados en la fabricación de adoquines cerámicos, por la similitud en los procesos de fabricación (conformado por extrusión, secado en secaderos de cámaras, cocción en hornos túnel, etc.), se ha considerado conveniente utilizar los valores que aparecen en un estudio realizado por la Fundación Innovarcilla para materiales de construcción (tejas, ladrillo hueco, ladrillo cara vista, etc.).

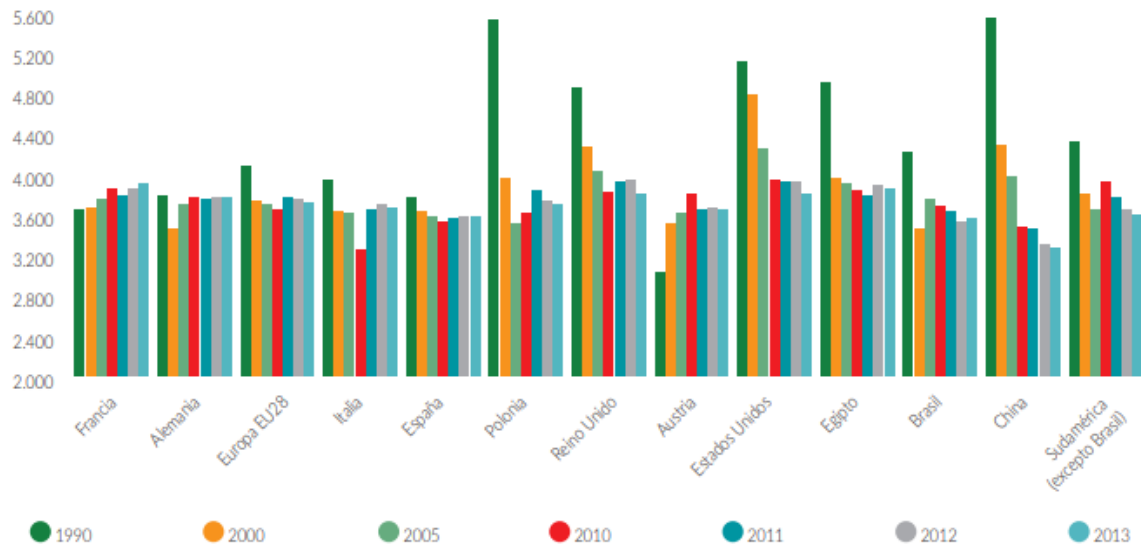
En el citado informe se establece una horquilla de consumo térmico global para este tipo de productos de entre 530 y 750 kWh/t. Para la realización de los cálculos en este trabajo se ha considerado como consumo térmico en el proceso de fabricación de adoquines, el valor medio de los dos extremos de la horquilla, 630 kWh/t. Como combustible se ha utilizado gas natural y para calcular las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera se ha utilizado el mismo factor de emisión del combustible que en el estudio de Innovarcilla (202 gCO<sub>2</sub>/kWh).

Con los valores anteriores se obtiene una emisión específica de CO<sub>2</sub> para el proceso de fabricación de adoquines cerámicos de 0,127 t de CO<sub>2</sub>/t adoquín cocido.

#### **3.4.2 Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> en adoquines de hormigón**

El consumo de energía y la generación de CO<sub>2</sub> en los adoquines de hormigón se producen fundamentalmente en la etapa de clinkerización para fabricar el cemento que sirve de materia prima para la producción de los adoquines de hormigón.

Según el anuario del sector del cemento español publicado en 2016 el consumo energético en el proceso de fabricación del cemento en España durante el 2013 fue de 3600 MJ/t de clínker tal y como se puede ver en la figura 3.9.



**Figura 3.9.** Evolución del consumo energético en la producción de cemento en diferentes países. (FUENTE: [www.oficemen.com](http://www.oficemen.com))

El clínker supone un 90% del cemento Portland. El hormigón se compone de cemento, grava y agua. Se va a considerar que un 25% del hormigón corresponde a cemento Portland, entonces queda:

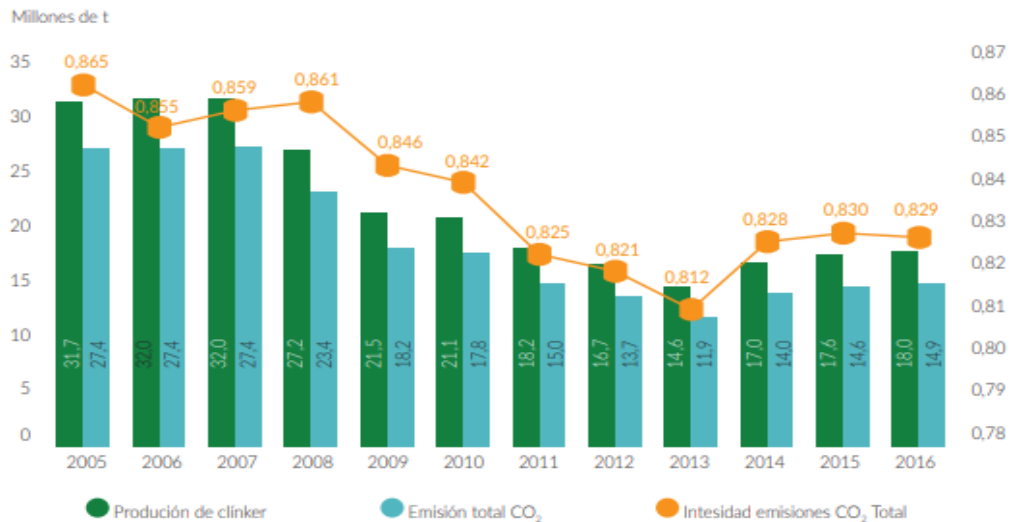
$$3600 \frac{\text{MJ}}{\text{t clínker}} \times 0,9 \frac{\text{t clínker}}{\text{t cemento}} \times 0,25 \frac{\text{t cemento}}{\text{t hormigón}} = 810 \frac{\text{MJ}}{\text{t hormigón}}$$

Si se considera que los adoquines están hechos totalmente de hormigón y se tiene en cuenta la conversión de MJ a kWh se tiene:

$$810 \frac{\text{MJ}}{\text{t hormigón}} = 225 \frac{\text{kWh}}{\text{t adoquín de hormigón}}$$

Según el anuario del sector del cemento español publicado en 2016 se producen 0,829 toneladas CO<sub>2</sub> por tonelada de clínker gris contando todo el proceso productivo tal y como se puede apreciar en la figura 3.10.





**Figura 3.10.** Producción de CO<sub>2</sub> en la fabricación de cemento en España. (FUENTE: www.oficemen.com)

Realizando los mismos cálculos que para el consumo energético se tiene:

$$0,829 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t clínker}} \times 0,9 \frac{\text{t clínker}}{\text{t cemento}} \times 0,25 \frac{\text{t cemento}}{\text{t hormigón}} = 0,187 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t adoquín de hormigón}}$$

Estos valores de consumo energético y de generación de CO<sub>2</sub> son aproximados, sin embargo son útiles para valorar si se está llevando a cabo una reducción de la energía y del CO<sub>2</sub> en la planta industrial de adoquines activados alcalinamente.

En la tabla 3.7 se puede ver un resumen del consumo energético y de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la fabricación de los adoquines cerámicos y de hormigón.

**Tabla 3.7.** Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> de los adoquines cerámicos y de hormigón.

Tipo de adoquín	Consumo energético (kWh/ t adoquín)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> / t adoquín)
Cerámico	630	0,127
Hormigón	225	0,187

Como se aprecia en la tabla, el consumo energético de los adoquines cerámicos es mayor, debido a que se requiere de las etapas de secado y cocción. Además, esta última se realiza a mayor temperatura que la clinkerización y las tecnologías utilizadas son diferentes (hornos túnel y hornos rotatorios); sin embargo, las emisiones de dióxido de

carbono a la atmósfera son menores en el proceso de fabricación de adoquines cerámicos.

El hecho de que el consumo específico de los adoquines de hormigón sea menor y las emisiones sean mayores se debe fundamentalmente a que para los adoquines cerámicos se ha considerado como combustible el gas natural con una emisión específica (202 g de CO<sub>2</sub>/kWh) mucho menor que los combustibles líquidos y sólidos que se utilizan en la fabricación del clínker tales como; el fuelóleo o el carbón (280 y 345 g de CO<sub>2</sub>/kWh).

### 3.5 Evolución del sector de producción de cerámica estructural

El sector cerámico en general viene sufriendo desde el año 2008, al igual que otros sectores ligados a la construcción, una bajada de ventas que ha obligado a reducir su producción.

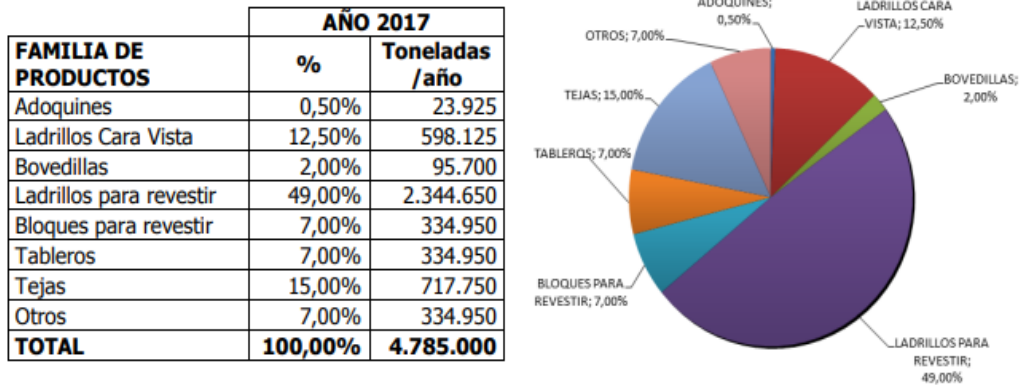
En la figura 3.14 se presenta la evolución de la fabricación de cerámica estructural (ladrillos, tejas, adoquines...) en España desde el año 2007 hasta el 2016. Se aprecia una reducción tanto en la producción como en el volumen de negocio respecto al año 2007 debido a la crisis, sin embargo a partir del 2015 se ha producido un incremento tal y como se puede ver en la figura 3.14.

AÑO	Número de empresas	Producción (Tn/año)	Volumen de negocio (millones €)	Volumen medio de negocio	Número de empleados	Plantilla media
<b>2007</b>	<b>430</b>	<b>28.800.000</b>	<b>1.505</b>	<b>3,50</b>	<b>14.140</b>	<b>32,88</b>
2008	300	20.000.000	1.000	3,33	10.300	34,33
2009	280	9.400.000	700	2,50	8.300	29,64
2010	275	7.700.000	450	1,64	6.800	24,73
2011	260	6.900.000	380	1,46	6.000	23,08
2012	220	5.200.000	285	1,30	5.000	22,73
2013	210	4.100.000	230	1,10	4.000	19,05
2014	200	3.900.000	210	1,05	3.800	19,00
2015	195	4.100.000	230	1,18	3.700	18,97
<b>2016</b>	<b>185</b>	<b>4.350.000</b>	<b>250</b>	<b>1,35</b>	<b>3.500</b>	<b>18,92</b>
<b>Comparativo 2016-2015</b>	<b>-5,13%</b>	<b>6,10%</b>	<b>8,70%</b>	<b>14,57%</b>	<b>-5,41%</b>	<b>-0,29%</b>
<b>Comparativo 2016-2007</b>	<b>-56,98%</b>	<b>-84,90%</b>	<b>-83,39%</b>	<b>-61,39%</b>	<b>-75,25%</b>	<b>-42,47%</b>

**Figura 3.14.** Evolución del sector cerámico en España (FUENTE: [www.hispalyt.es](http://www.hispalyt.es))

En la figura anterior no se recogen los datos de baldosas cerámicas, las cuales tienen una producción y volumen de negocio mayor.

En la figura 3.15 se puede ver la producción anual de piezas de cerámica estructural en toneladas para el año 2017 y el porcentaje de producción que se ha dedicado a cada familia de producto cerámico.



**Figura 3.15.** Producción de materiales cerámicos en 2017. (FUENTE: [www.hispalyt.es](http://www.hispalyt.es))

## 4. Normas y referencias

### 4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas

- UNE 1338:2004 “Adoquines de hormigón. Especificaciones y métodos de ensayo”.
- UNE-EN 1344:2015 “Adoquines de arcilla cocida”.
- UNE-EN 12457-2 “Ensayo de lixiviado”.
- UNE-EN 10255:2005 “Tubos de acero no aleados aptos para soldeo y roscado. Condiciones técnicas de suministro”.
- UNE-EN 933-1:2012 “Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos”.
- UNE-EN 157001:2014 “Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico”.
- UNE-EN 10083-2:1997 “Aceros para temple y revenido. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de aceros de calidad no aleados”.

### 4.2 Programas informáticos utilizados

Los programas informáticos utilizados para elaborar este proyecto han sido:

- AutoCAD 2019
- Microsoft Word 2007
- Microsoft Excel 2007

### 4.3 Bibliografía

- RODRIGO, M. D. (2003). *Operaciones básicas de flujo de fluidos*. Universitat Jaume I.
- ÁLVAREZ, J.; SÁEZ, V.; JIMENEZ, J.; CINTAS, J.M. (2012). *Herramientas para la optimización energética en la fabricación de materiales cerámicos*. Fundación Innovarcilla.
- MONZO, M.; FERNÁNDEZ, A.; VICENT, M. (2008). *Activación alcalina de metacaolín. Efecto de la adición de silicato soluble y de la temperatura de curado*. Instituto de tecnología cerámica.

- FERNANDEZ, A.; PALOMO, A.; CRIADO, M. (2006). *Activación alcalina de cenizas volantes. Estudio comparativo entre activadores sódicos y potásicos*. Instituto de tecnología cerámica.
- PUERTAS, F. (1995). *Cementos de escorias activadas alcalinamente: situación actual y perspectivas de futuro*. Materiales de construcción.
- PALOMO, A.; GRUTZECK, M.; BLANCO, M. (1999). *Alkali-activated fly ashes, A cement for the future*. The Pennsylvania State University.
- BEHFARNIA, K. (2017). *The Effect of Alkaline Activator on Workability and Compressive Strength of Alkali-Activated Slag Concrete*. Isfahan University of Technology.
- KHALE, D. (2007). *Mechanism of geopolymerization and factors influencing its development: a review*. Devi Ahilya University.
- LIEW YUN-MING (2016). *Structure and properties of clay-based geopolymer cements: A review*. University Malaysia Perlis.
- GARCIA, R. (2004). *Manual para el uso del adoquín cerámico*.
- MONTERO, C. (2003). *Manual técnico terrazo*. Asociación Tecnológica de Fabricantes de Losas y Baldosas De Hormigón.
- AGUADO, A.; CARRASCÓN, S. (2010). *Manual para el proyecto, construcción y gestión de pavimentos bicapa de hormigón*. Universidad politécnica de Cataluña.

#### 4.4 Bibliografía web

- VICENT, M.; MOREDA, C.; KARA, F.; SUZUK, K, G; KAPS, Ch. (2012). *Obtención de baldosas cerámicas por activación alcalina*. Recuperado de <http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdfs/2012028.pdf>
- Constitución de los firmes. Recuperado de [file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/6.1\\_\\_CONSTITUCION\\_FIRMES.pdf](file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/6.1__CONSTITUCION_FIRMES.pdf)
- Máquina de moldeo utilizada. Recuperado de <http://www.arapiasa.com/es/portfolio/maquina-de-moldeo/>
- Trituradora de mandíbulas. Recuperado de <http://tritadoras-de-roca.com/Trituradora-Fija/Trituradora-de-mand%C3%ADbulas-serie-PE.html>

- Amasadora. Recuperado de <http://www.directindustry.es/prod/maschinenfabrik-seydemann/product-97275-1756639.html>
- Granalladora de adoquines. Recuperado de <https://www.coniex.com/granalladora-de-paso-continuo-con-cinta-plana-snp/>
- Depósitos de silicato sódico y de hidróxido sódico. Recuperado de [http://apliclor.com/wp-content/uploads/2018/07/WM\\_Tanques\\_y\\_depositos.pdf](http://apliclor.com/wp-content/uploads/2018/07/WM_Tanques_y_depositos.pdf)
- Tamizadora de cenizas volantes. Recuperado de <http://pdf.directindustry.es/pdf/isimsan-ltd-sti-188061.html>
- Palés. Recuperado de <https://www.chep.com/es/es/consumer-goods/platforms/pallets>
- Cinta transportadora cenizas volantes. Recuperado de <https://www.preciamolen.com/wp-content/uploads/2013/04/11-01-10-4-FT1.pdf>
- Cintas transportadoras tiesto. Recuperado de <http://www.camprodon.biz/productos/transportador-de-banda-l4080-89r-estandar-cargas-pesadas.html>
- Bombas peristálticas. Recuperado de <https://www.ctautomatismos.com/producto/bombas-peristalticas-serie-f/>
- Válvula líquidos. Recuperado de [http://www.groupproinval.com/files/img/BVP07Cpg5\\_1522.pdf](http://www.groupproinval.com/files/img/BVP07Cpg5_1522.pdf)
- Consumo energético adoquines hormigón y generación de CO2 del cemento. Recuperado de <https://www.oficemen.com/wp-content/uploads/2017/07/Anuario-2016.pdf>

## 5. Definiciones y abreviaturas

Para la simplicidad y seguimiento del proyecto, la mayoría de las definiciones y abreviaturas empleadas se han especificado en cada uno de los apartados del trabajo, sin embargo en este apartado se van a recoger las más genéricas.

### 5.1 Definiciones

- Explanada: es el terreno preparado sobre el que se apoya un firme, aspecto que condiciona las características de duración y resistencia del mismo, la explanada no pertenece a la estructura del firme.
- Bisel: es la arista redondeada o biselada en la cara vista del adoquín.
- Pico espaciador: es el pequeño perfil sobresaliente de la cara lateral del adoquín.
- Cara vista: es la superficie visible cuando el adoquín está colocado.
- Dureza Brinell: es la escala de medición de la dureza de un material mediante el método de indentación, midiendo la penetración de un objeto en el material a estudiar.
- Factor de emisión: se define como un valor representativo que intenta relacionar la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada a la emisión del contaminante. Estos factores son usualmente expresados como la masa del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia o duración.
- Mortero: es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, agregados finos y agua, y posibles aditivos que sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc.
- Lixiviado: se denomina lixiviado al líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de un sólido, siendo la percolación el paso lento de fluidos a través de materiales porosos.

### 5.2 Abreviaturas

- CV: Cenizas volantes.
- TC: Tiesto cerámico.
- Ss: Sólido seco.

## 6. Requisitos de diseño

A continuación, se establecerán los requisitos de diseño de la planta industrial de este trabajo. Concretamente se establecerá la composición utilizada, las dimensiones de los adoquines, la producción de la planta y el ritmo productivo.

### 6.1 Composición utilizada industrialmente

Las materias primas empleadas se han agrupado en materias primas sólidas y materias primas líquidas. Como materias primas sólidas se han utilizado las cenizas volantes obtenidas en procesos de combustión y porciones de productos cerámicos cocidos (habitualmente denominado tiesto cocido) obtenidos como residuo en el proceso de fabricación de materiales cerámicos (baldosas, tejas, ladrillos, etc.). Como materias primas líquidas se han utilizado dos activadores alcalinos, una disolución de sosa en agua y otra de silicato sódico.

Durante la estancia en prácticas de la asignatura “Prácticas externas” se realizó un trabajo en el laboratorio en el cual se estudió el comportamiento de diferentes composiciones de adoquines obtenidos por activación alcalina. En concreto se estudió la influencia de diferentes proporciones de las materias primas sólidas y líquidas y del tamaño de partícula del tiesto. Las características de estas composiciones se anotan en la tabla 1.1 de los anexos, para cada una de las composiciones se midió la resistencia mecánica de las piezas (tablas 1.2 y 1.3 de los anexos).

En base a estos resultados se ha decidido utilizar para el proceso industrial de fabricación la composición C4. Se ha escogido esta composición debido a que es la que mayor resistencia mecánica ofrece sin tener que reducir demasiado el tamaño de partícula del tiesto. Si se reduce el tamaño de partícula del tiesto se produce un mejor empaquetamiento con las cenizas volantes y aumenta la resistencia mecánica, sin embargo, se produce un aumento del consumo energético en la molienda del mismo. Con la resistencia mecánica de la C4 se cumplen las especificaciones de la carga de rotura transversal recogidas en la normativa UNE-EN1344:2015 sin tener que aumentar demasiado las dimensiones de los adoquines.

La C4 se ha realizado con una relación líquido-sólido de 0,35 y tiene una composición de materias primas sólidas de 93,75% CV-6,25% TC y una relación de materias primas líquidas de 85% hidróxido sódico y 15% silicato sódico. La resistencia mecánica a flexión de esta composición es de 8,8 MPa.



## 6.2 Cálculo de las dimensiones de los adoquines

Para calcular las dimensiones de los adoquines se fijan la anchura y longitud de los mismos, en base a los valores comerciales de los adoquines cerámicos y se calcula el espesor necesario para que la carga de rotura transversal, sea un 30% mayor a la especificada en la norma UNE-EN 1344:2015 “Adoquines de arcilla cocida”.

La carga de rotura transversal se calcula mediante la ecuación 6.1.

$$\frac{F}{w} = \frac{RM_F \times 2 \times t^2}{3 \times s} \quad \text{(Ecuación 6.1)}$$

Donde:

$RM_F$  = resistencia mecánica a flexión (N/mm<sup>2</sup>).

$F/w$  = carga de rotura transversal nominal (N/mm).

$s$  = longitud del adoquín (mm).

$t$  = espesor del adoquín (mm).

La carga de rotura transversal se obtiene de la norma UNE-EN 1344:2015 para la clase T4 y es de 80 N/mm, la resistencia mecánica a flexión corresponde a la obtenida en los ensayos de laboratorio para la (C4) cuyo valor es de 8,8 MPa.

Por motivos de seguridad estructural del adoquín se va a considerar un sobredimensionamiento de la carga de rotura transversal de un 30% respecto a la carga de rotura transversal nominal tal y como se puede ver en la ecuación 6.2.

$$\left(\frac{F}{w}\right)_1 = \frac{F}{w} \times 1,3 \quad \text{(Ecuación 6.2)}$$

Donde:

$F/w$  = carga de rotura transversal nominal (N/mm)

$(F/w)_1$  = carga de rotura transversal sobredimensionada (N/mm)

El resultado de la carga de rotura transversal sobredimensionada se recoge en la tabla 6.1.

**Tabla 6.1.** Dimensiones y carga de rotura transversal del adoquín.

Longitud adoquín (mm)	Anchura adoquín (mm)	F/w (N/mm)	(F/w) <sub>1</sub> (N/mm)
240	120	80	104

Con los valores de la carga de rotura transversal sobredimensionada se puede obtener el espesor final del adoquín mediante la ecuación 6.3.

$$t = \sqrt{\frac{3 \times \left(\frac{F}{w}\right)_1 \times s}{2 \times RM_F}} \quad \text{(Ecuación 6.3)}$$

En la tabla 6.2 se pueden ver las dimensiones que va a tener el adoquín activado alcalinamente y el espesor del adoquín cerámico.

**Tabla 6.2.** Espesor calculado del adoquín activado alcalinamente.

Longitud adoquín (mm)	Anchura adoquín (mm)	Espesor adoquín cerámico (mm)	Espesor calculado del adoquín activado (mm)
240	120	60	65,2

Como se puede ver en la tabla 6.2 el espesor calculado del adoquín activado alcalinamente es ligeramente mayor al espesor comercial del adoquín cerámico. Esto es debido a que la resistencia mecánica de los adoquines cerámicos es superior a la de los adoquines activados alcalinamente y se pueden permitir un espesor más bajo con el cual siguen cumpliendo las tolerancias de carga de rotura transversal. En este proyecto se va a considerar un espesor de adoquín de 65,2 mm ya que, siendo de un espesor similar al adoquín cerámico, cumple sobradamente con las especificaciones de carga de rotura transversal de la norma.

### 6.3 Producción de la planta y ritmo productivo

Para establecer la producción de la planta (número de adoquines/h) se ha tenido en cuenta la producción nacional de adoquines cerámicos para pavimento urbano (figura 3.15).

Aunque el objetivo de la planta industrial es ofrecer un producto alternativo tanto a los adoquines cerámicos como a los de hormigón, de estos últimos no se tienen datos de producción nacional, por lo que para el cálculo de la producción de la planta se han utilizado los datos de producción del adoquín cerámico.

En el año 2017 se produjeron un total de 23925 toneladas de adoquines cerámicos tal y como se puede observar en la figura 3.15 del apartado 3.5 de este proyecto.

Del total de adoquines cerámicos fabricados en España la planta industrial va a abarcar el 25% del mercado:

$$23925 \text{ t adoquines cerámicos/año} \times 0,25 = 5981 \text{ t adoquines cerámicos/año}$$

La composición elegida para el dimensionamiento de la planta (C4) tiene una densidad aparente de 1689 kg adoquín/m<sup>3</sup>, sin embargo la densidad de los adoquines cerámicos es de 2300 kg/m<sup>3</sup>, por lo tanto se tiene:

$$5981 \text{ t adoquines cerámicos} \times \frac{1,689 \text{ t adoquines/m}^3}{2,300 \text{ t adoquines cerámicos/m}^3} = 4392 \text{ t adoquines fabricados}$$

Para la realización de los cálculos de producción es necesario conocer el volumen de los adoquines activados alcalinamente, las dimensiones de los adoquines están recogidas en la tabla 6.2.

$$240 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \times 65,2 \text{ mm} = 0,001878 \text{ m}^3 \text{ adoquín activado alcalinamente}$$

La composición elegida para el dimensionamiento de la planta (C4) tiene una densidad aparente de 1689 kg adoquín activado/ m<sup>3</sup>. Por tanto el peso de cada adoquín se obtiene:

$$1689 \text{ kg adoquín/m}^3 \text{ adoquín} \times 0,001878 \text{ m}^3 \text{ adoquín} = 3,17 \text{ kg/adoquín.}$$

El número de adoquines producidos al año se obtiene:

$$\frac{4392 \times 10^3 \text{ kg totales adoquines/año}}{3,17 \text{ kg/adoquín}} = 1385489 \text{ adoquines/año}$$

En la planta industrial se trabaja las 24 horas, durante dos turnos, en cada turno se produce durante 8 horas. Por tanto el tiempo que se dedica a la producción son 16 horas, si se trabajan 330 días al año, el número de horas trabajadas al año es de 5280. La producción horaria es:

$$\frac{1385489 \text{ adoquines/año}}{5280 \text{ h/año}} = 263 \text{ adoquines/h}$$

Y la producción diaria es:

$$\frac{263 \text{ adoquines}}{\text{h}} \times \frac{16 \text{ h}}{\text{día}} = 4199 \text{ adoquines/día}$$

## **7. Análisis de soluciones (diseño de la planta)**

En este apartado se describirá el proceso de fabricación propuesto, ya que es completamente original respecto de los existentes (adoquines cerámicos y de hormigón), obteniéndose el diagrama de flujo del mismo. Posteriormente, teniendo en cuenta los requisitos de producción y ritmo productivo, se calcularán los caudales másicos de cada una de las corrientes, se establecerán las características de las máquinas empleadas en cada sección y se dimensionará la planta de fabricación.

### **7.1 Proceso de fabricación y Diagrama de Flujo**

Para elaborar los adoquines se va a proponer un novedoso proceso de fabricación el cual se basa en la activación alcalina.

#### **7.1.1 Activación Alcalina**

El proceso de activación alcalina consta de dos etapas, en la primera la materia prima sólida normalmente silicoaluminosa (en nuestro caso cenizas volantes y tiesto cerámico), se disuelve en una mezcla de líquidos, normalmente bases fuertes (en nuestro caso hidróxido sódico y silicato sódico), denominada activador alcalino. En esta etapa se rompen los enlaces presentes y se forman enlaces nuevos entre el material silicoaluminoso y los activadores alcalinos. Como producto del proceso de activación alcalina se forma una pasta que fragua y endurece en un corto periodo de tiempo, siendo esta la segunda etapa de la activación alcalina. Esta pasta consiste en un gel aluminosilicato sódico (gel N-A-S-H) que proporciona elevadas resistencias mecánicas al producto final, a este gel también se le conoce como polímero inorgánico alcalino o simplemente como geopolímero.

#### **7.1.2 Proceso de Activación alcalina**

La activación alcalina es un proceso que comprende diferentes etapas desde las materias primas que se deben utilizar hasta el curado de los adoquines ya conformados. En los siguientes apartados se describen las materias primas empleadas, así como las etapas del proceso de activación alcalina.

### 7.1.2.1 Materiales utilizados

#### 7.1.2.1.1 Materias primas sólidas

El material principal que se utiliza para la elaboración de las composiciones son las cenizas volantes (CV) las cuales se pueden visualizar en la figura 7.1. Estas cenizas se generan como residuo de combustión en las centrales termoeléctricas, más concretamente las cenizas volantes utilizadas en este proyecto provienen de la central termoeléctrica de Teruel.

La otra materia prima sólida utilizada en la preparación de las composiciones es el tiesto cerámico, el cual está formado por diferentes materiales cerámicos cocidos tales como; ladrillos, tejas, baldosas o adoquines procedentes de los residuos generados por distintas empresas cerámicas. Estos materiales cerámicos están formados principalmente por arcilla cocida cuya composición es el silicato hidratado de alúmina. En la figura 7.2 se puede observar el tiesto cerámico empleado.



**Figura 7.1.** Cenizas volantes en una bolsa.

(FUENTE: elaboración propia)



**Figura 7.2.** Restos de material cerámico.

(FUENTE: [www.alamy.es](http://www.alamy.es))

#### 7.1.2.1.2 Activadores alcalinos

Los dos activadores alcalinos utilizados son una solución de hidróxido sódico al 40% y una solución de silicato sódico puro. La proporción óptima de cada uno de los activadores (85% hidróxido-15% silicato), así como la relación entre las materias primas sólidas y líquidas (35%) se ha obtenido en un proyecto anterior el cual está incluido en la bibliografía.

#### 7.1.2.2 Molturación

El proceso de molturación consiste en la reducción del tamaño de partícula de los sólidos mediante el uso de molinos o trituradores. Para el proceso de activación alcalina

el tiesto cerámico se debe molturar por debajo de 1 mm ya que cuanto más se reduce su tamaño de partícula mejor reacciona con las cenizas y mayor resistencia mecánica proporciona al producto final. Las CV no se tienen que molturar debido a que ya presentan un tamaño de partícula inferior a 1 mm.

#### **7.1.2.3 Tamizado**

En trabajos anteriores se ha constatado que el tamaño óptimo de las materias primas sólidas es inferior a 1 mm. Para asegurar el tamaño deseado (<1 mm) tanto las CV como el TC se someten a un proceso de tamizado antes de proceder a su mezclado.

#### **7.1.2.4 Preparación de las composiciones**

Posteriormente al tamizado, las materias primas sólidas se pesan en las proporciones deseadas y se introducen en una amasadora. Las materias primas líquidas son dosificadas también en las proporciones deseadas y alimentadas a la amasadora.

El amasado de las materias primas se debe realizar en una amasadora durante el tiempo necesario para obtener una consistencia adecuada para rellenar los moldes en el conformado.

#### **7.1.2.5 Conformado**

Industrialmente para el conformado de este tipo de materiales se emplean diferentes métodos (extrusión, prensado, vibro-compresión, encofrado, etc.)

El método de conformado utilizado en la fabricación de los adoquines de hormigón es la vibro-compresión. Sin embargo, para que se lleve a cabo este conformado de forma adecuada, la viscosidad del material debe ser muy baja, prácticamente una suspensión, para ello habría que aumentar la relación líquido/sólido lo que implica utilizar más cantidad de activador alcalino lo cual encarece el precio final del producto.

A escala industrial se podría usar una extrusora, pero el método de extrusión para conformar los materiales geopoliméricos resulta muy complicado ya que se tiene que tener un control completo de la temperatura en todo el proceso y existe el riesgo de que el material endurezca dentro de la extrusora.

El método de conformado que se va a llevar a cabo industrialmente es el que se ha utilizado para preparar las muestras a escala de laboratorio, el encofrado con presión. El encofrado es una técnica de conformado que se basa en un sistema de moldes que se utilizan para dar forma al material cerámico. Este método no requiere ninguna

refrigeración interna y permite trabajar con un material de viscosidad más alta. Este hecho implica una reducción de la cantidad de activador alcalino utilizado en la composición reduciendo así los costes de fabricación de los adoquines.

### **7.1.2.6 Curado**

Después de la etapa de conformado se realiza el curado. El curado se lleva a cabo en un secadero de rodillos a 85 °C durante 20 horas. En el proceso de curado la mezcla de masa pastosa obtenida en la amasadora se endurece y adquiere la forma deseada. En la etapa de curado es muy importante que la humedad relativa sea elevada, próxima a la humedad de saturación (95%). En esta etapa es donde los adoquines adquieren las propiedades técnicas y dimensionales deseadas.

El curado es de suma importancia en el proceso de activación alcalina ya que es donde se originan las reacciones entre el material pulverulento (cenizas volantes y tiesto cerámico) y los activadores alcalinos (hidróxido sódico y silicato sódico), por lo tanto es de vital importancia que la etapa de curado se lleve a cabo a la temperatura, con la humedad y durante el tiempo adecuados.

Una vez han pasado las 20 horas del curado se retiran los adoquines del secadero, se controla su calidad, se paletizan y se almacenan para su posterior distribución. Una pequeña parte de la producción puede ser sometida a procesos secundarios para modificar su aspecto superficial (granallado, pulido, etc.).

### **7.1.3 Diagrama de flujo**

Teniendo en cuenta los apartados anteriores se puede elaborar el diagrama de flujo del proceso de fabricación propuesto (figura 7.3).

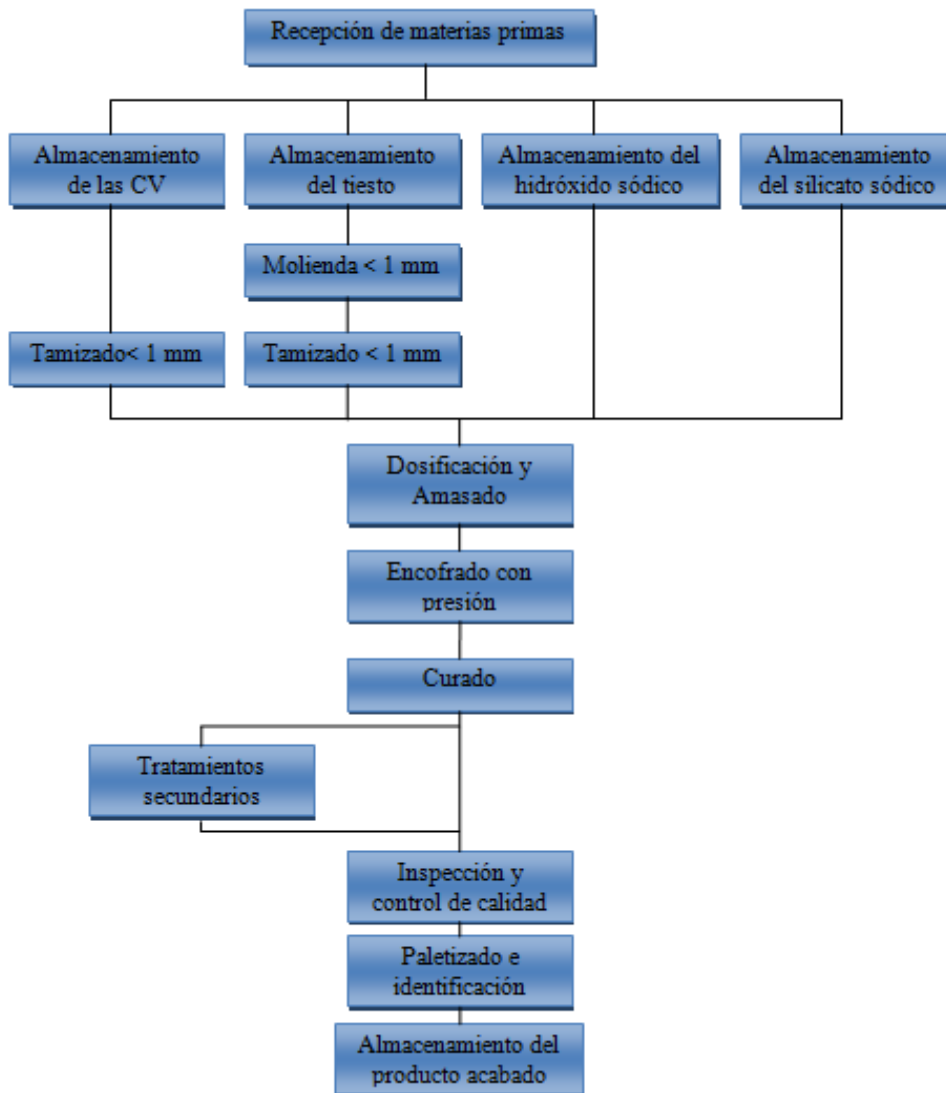


Figura 7.3. Diagrama de flujo.

En el diagrama de flujo de la instalación se puede ver como la primera etapa es la recepción de las materias primas, luego se procede al almacenamiento de las mismas. Las cenizas volantes se almacenan en un silo y el tiesto se almacena en un granero, las cenizas no se pueden almacenar en un granero ya que se las puede llevar el viento debido a su baja densidad. El hidróxido sódico y el silicato sódico se almacenan en sendos depósitos. El tiesto cerámico que llega a la planta se debe molturar por debajo de 1 mm y se debe tamizar para comprobar que la reducción de tamaño de partícula ha sido efectiva. Las cenizas volantes no se deben molturar ya que su distribución de tamaños de partícula es inferior a 1 mm, sin embargo, se tienen que tamizar por debajo de 1 mm para asegurar el cumplimiento del tamaño; además no se debe utilizar el rechazo en la preparación de la composición ya que las cenizas volantes por debajo de 1 mm reaccionan mejor que con un tamaño superior.



Una vez molturado y tamizado el tiesto y tamizadas las cenizas se procede a la mezcla de los componentes en la amasadora y más tarde se produce el proceso de conformado que consiste en un encofrado al cual se le aplica presión para obtener los adoquines uniformes, con la geometría y dimensiones preestablecidas y contribuir a configurar una microestructura adecuada. En la etapa del conformado se incluyen el llenado del molde, el prensado y la extracción de los adoquines.

Después del conformado se produce el curado de los adoquines a 85 °C durante 20 horas, este es el tiempo necesario para que se produzca la reacción entre las materias primas y los adoquines adquieran una consistencia y propiedades adecuadas. Después del curado se ha previsto que un 15% de la producción pueda someterse a tratamientos secundarios para obtener una textura más lisa o más rugosa. A continuación, los adoquines pasan por las inspecciones y controles de calidad pertinentes para comprobar que cumplen con los requisitos dimensionales y las propiedades deseadas.

Después de las inspecciones y los controles los adoquines se paletizan y se almacenan antes de su futura comercialización.

### 7.2 Diseño de las instalaciones

Este apartado consiste en el dimensionamiento de las instalaciones en base al diagrama de flujo y a la información descrita en los apartados anteriores. Para el dimensionamiento de la planta es necesario en primer lugar conocer el flujo másico de los materiales en cada una de las etapas del proceso de fabricación que se calcula en el apartado siguiente.

#### 7.2.1 Flujo másico de los materiales

A partir de la producción (4392000 kg/año) y del ritmo productivo (5280 h/año), recogidos en el apartado 6.3, se calcula el flujo másico horario de adoquín:

$$\frac{4392 \times 10^3 \text{ kg adoquines en la planta/año}}{5280 \text{ h/año}} = 832 \text{ kg adoquín seco/h}$$

Durante la fase de curado una parte del agua de los activadores alcalinos entra dentro de la estructura de los adoquines, sin embargo, se pierde un 12% por humedad, por tanto la cantidad de sólido húmedo necesario en las etapas anteriores al curado será mayor:

$$832 \text{ kg/h} + 0,12 \times 832 \text{ kg/h} = 932 \text{ kg adoquín húmedo/h}$$

Durante el proceso productivo se producen pérdidas del material, se ha estimado un porcentaje global de pérdidas del 5 %, por tanto la cantidad de materias primas necesaria será mayor:

$$932 + 0,05 \times 932 = 979 \text{ kg materia prima/h}$$

Sabiendo que la razón másica líquido-sólido de las materias primas es de 0,35, que la proporción de activador alcalino es 85% hidróxido sódico - 15% silicato sódico y la proporción de la materia prima sólida es de 93,75% CV - 6,25% TC se tiene:

- $979 \text{ kg de materia prima/h} \times 0,35 \text{ activador alcalino} \times 0,85 \text{ hidróxido sódico} = 291 \text{ kg de hidróxido sódico/h}$
- $979 \text{ kg de materia prima/h} \times 0,35 \text{ activador alcalino} \times 0,15 \text{ silicato sódico} = 51 \text{ kg de silicato sódico/h.}$
- $979 \text{ de materia prima/h} \times 0,65 \text{ materia prima sólida} \times 0,9375 \text{ CV} = 597 \text{ kg de CV/h.}$
- $979 \text{ kg de materia prima/h} \times 0,65 \text{ materia prima sólida} \times 0,0625 \text{ tiesto cerámico} = 40 \text{ kg de tiesto/h.}$

En la tabla 7.1 se recoge el flujo másico de cada una de las materias primas para poder fabricar los 1385489 adoquines al año.

**Tabla 7.1.** Flujo másico (kg/h) de cada una de las materias primas necesarias.

CV	tiesto cerámico	hidróxido sódico	silicato sódico
597	40	291	51

Con estos datos se pueden dimensionar adecuadamente los equipos y las instalaciones de la planta industrial.

### 7.2.2 Diagrama de flujo dimensionado

En base a la información expuesta en el diagrama de flujo inicial, a los cálculos realizados para la producción y a los requisitos de diseño de los equipos se obtienen los caudales másicos de las materias primas entre diferentes etapas del proceso y se puede realizar un diagrama de flujo dimensionado (figura 7.4).

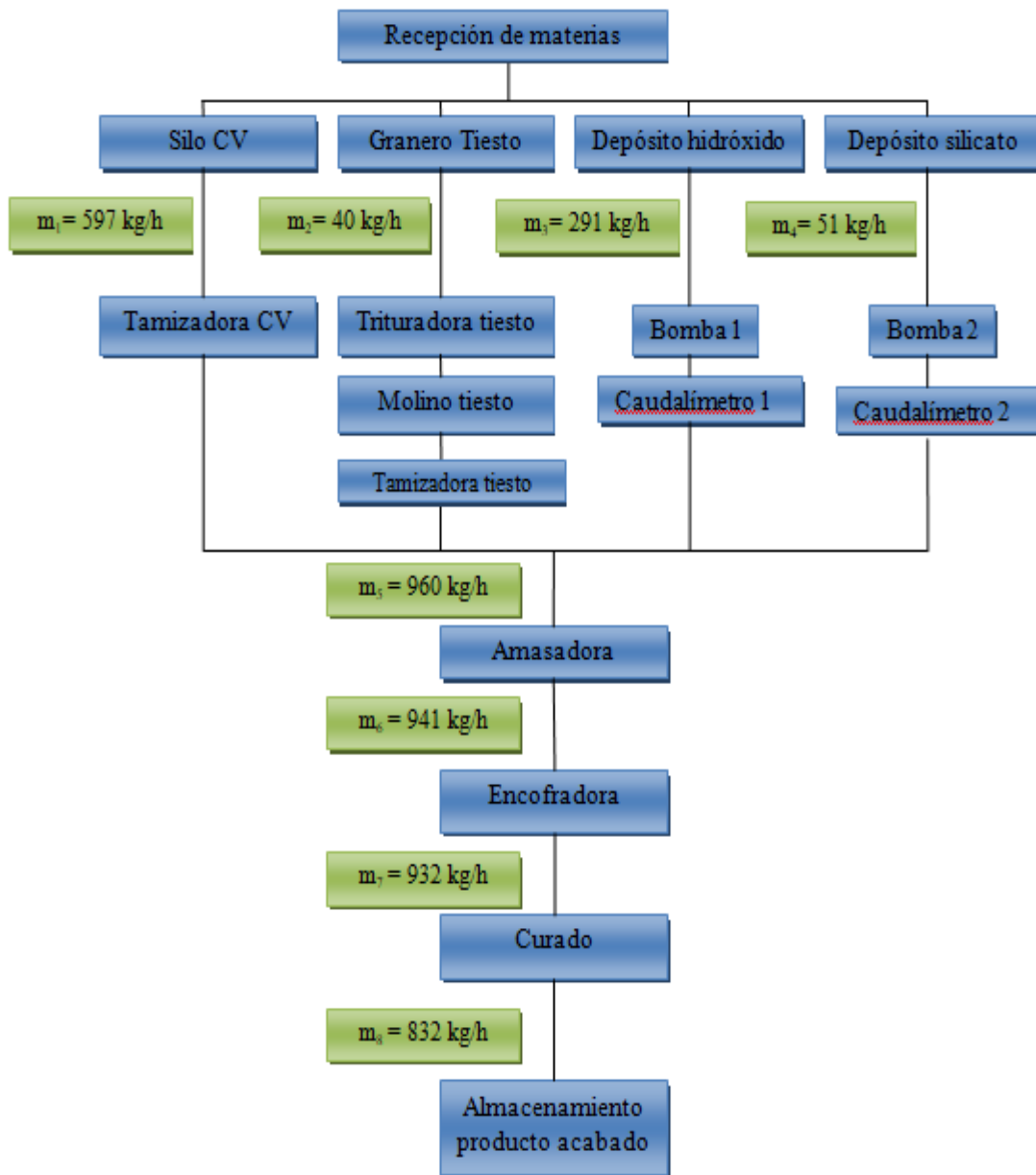
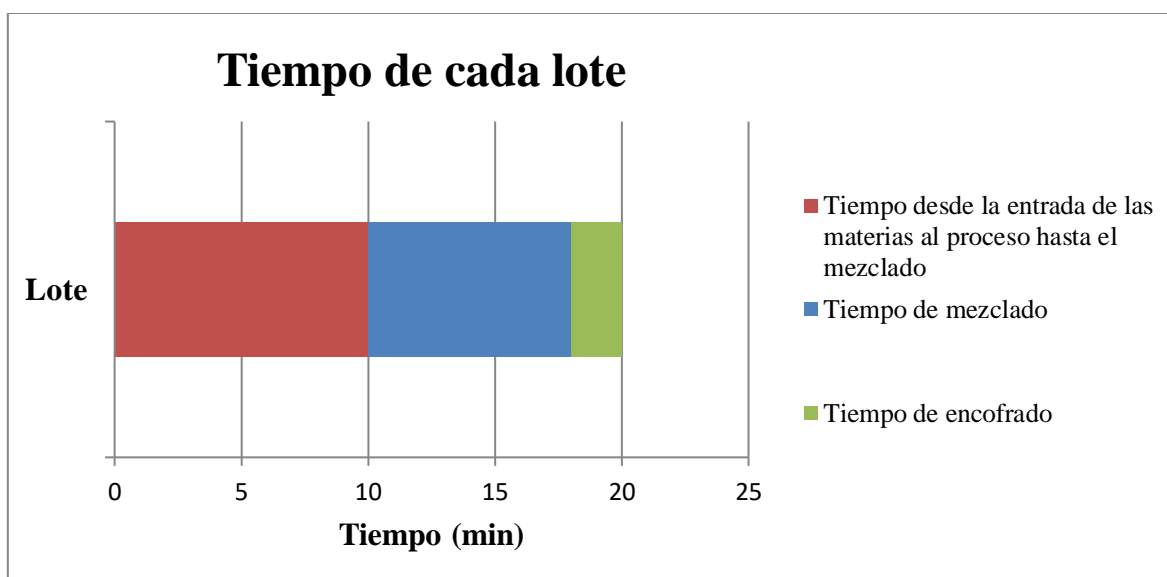


Figura 7.4. Diagrama de flujo dimensionado.

Del 5% de pérdidas globales se producen un 2% en la amasadora, un 1% en la encofradora y el 2% restante en el tratamiento de las materias primas y en su trasiego antes de llegar a la amasadora.

La producción de los adoquines es discontinua (en lotes), es decir, las máquinas operan un periodo de tiempo determinado a la hora. Desde que las materias primas entran en el proceso hasta el amasado de las mismas el tiempo transcurrido es de 10 min, la operación de amasado son 8 min y la de encofrado 2 min más. En el gráfico 7.1 se pueden ver los tiempos de cada etapa en un lote de producción



**Gráfico 7.1.** Tiempo de cada lote.

Por tanto el proceso productivo tarda 20 min en realizarse, es decir, en una hora se pueden realizar 3 lotes. Cuando se acaba de encofrar un lote se empieza a fabricar otro nuevo desde el almacenamiento de las materias primas y ese lote es enviado al secadero. En la tabla 7.2 se pueden visualizar los caudales máxicos a la hora y por lote de cada una de las materias primas en las diferentes etapas del proceso de fabricación de los adoquines.

**Tabla 7.2.** Resumen de las corrientes de materias primas.

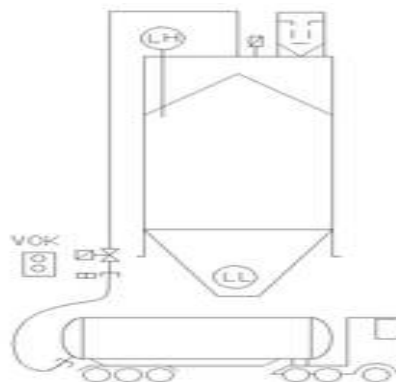
Número de corriente	Material transportado	Caudal máxico (kg/h)	Caudal máxico (kg/lote)
1	Cenizas volantes	597	199,0
2	Tiesto cerámico	40	13,3
3	Hidróxido sódico	291	97,0
4	Silicato sódico	51	17,0
5	Mezcla	960	320,0
6	Mezcla	941	313,7
7	Adoquín húmedo	932	310,7
8	Adoquín seco	832	277,3

### 7.2.3 Recepción de las materias primas

Las materias primas llegan a la planta industrial en camión desde la central termoeléctrica de Teruel. Las cenizas volantes se transportan en un camión cisterna especial para evitar que haya pérdidas y se almacenan en un silo dentro de la nave industrial. El tiesto cerámico cocido llega en forma de trozos y se almacena en un granero. Los activadores alcalinos llegan a la planta en bidones y se almacenan en diferentes depósitos dentro de la planta.

#### 7.2.3.1 Recepción de las cenizas volantes

Las cenizas volantes se descargan del camión cisterna mediante un transporte neumático (figura 7.5).



**Figura 7.5.** Llenado neumático del silo.

El camión dispone de un compresor de aire para impulsar las cenizas a través de una conducción cerrada hasta el silo. El precio del alquiler anual del camión con los equipos incluidos es de 20000 €/año, el gasto energético del compresor no corre a cargo de la planta. En la figura 7.6 se puede ver el camión utilizado para la descarga de las cenizas volantes.



**Figura 7.6.** Camión cisterna utilizado para transportar las cenizas.

Las cenizas volantes que salen del camión cisterna están propulsadas por una corriente de aire. Una vez en el interior del silo, las cenizas se separan del aire haciendo pasar la corriente a través de un filtro de mangas instalado en el silo de almacenamiento de las cenizas.

### 7.2.4 Almacenamiento de las materias primas

Para realizar el dimensionamiento de los equipos de la planta se debe calcular el flujo de materias primas que circula por la misma.

#### 7.2.4.1 Silo de las cenizas volantes

La máxima cantidad de cenizas volantes que se necesitan a la hora teniendo en cuenta las pérdidas que se producen en los diferentes equipos es de 597 kg, si produce 16 horas al día se necesitan 9552 kg de cenizas diarias. Teniendo en cuenta que el tiempo que tardan en llegar las CV desde la central térmica de origen es de 7 días, el silo de materias primas debe poder almacenar 66864 kg. La densidad de las cenizas volantes es de 797 kg/m<sup>3</sup> por lo tanto el volumen necesario del silo es de 84 m<sup>3</sup>.

Para almacenar las cenizas volantes se va a utilizar un silo de 100 m<sup>3</sup> de capacidad construido en acero al carbono. Este silo tiene una válvula en la parte inferior para regular el caudal de cenizas volantes que entran en el proceso productivo. En la tabla 7.3 se pueden ver las características técnicas del silo utilizado.

**Tabla 7.3.** Características técnicas del silo de cenizas volantes.

Características	
Altura silo (mm)	11510
Capacidad máxima almacenamiento (m <sup>3</sup> )	100
Diámetro exterior (mm)	3500
Altura parte troncocónica (mm)	2300
Diámetro boca salida (mm)	200
Ángulo del tronco cono de salida (°C)	60
Precio (€)	30555

Para estimar la superficie necesaria de la planta industrial se van a calcular las áreas de cada uno de los equipos mediante la ecuación 7.1 para los equipos cilíndricos y con la ecuación 7.2 para los equipos rectangulares.

$$A_{\text{cilíndrica}} = \pi \times r^2 \quad (\text{Ecuación 7.1})$$

Donde:

$A_{\text{cilíndrica}}$  = área ocupada por un equipo cilíndrico ( $\text{m}^2$ ).

$r$  = radio del equipo (m).

$$A_{\text{rectangular}} = a \times l \quad (\text{Ecuación 7.2})$$

Donde:

$A_{\text{rectangular}}$  = área ocupada por un equipo rectangular ( $\text{m}^2$ ).

$a$  = anchura del equipo (m).

$l$  = longitud del equipo (m).

El área ocupada en la planta industrial por el silo de cenizas volantes se puede obtener mediante la ecuación 7.1.

$$A_{\text{silo CV}} = \left( \frac{1750 \text{ mm radio}}{1000 \text{ mm}} \right)^2 \times \pi = 9,62 \text{ m}^2$$

#### 7.2.4.2 Estructura metálica de soporte

Para anclar el silo al suelo y aumentar su estabilidad estructural se instala una estructura metálica soldada de perfiles laminados y una barandilla de protección. Las características técnicas de la estructura metálica que soporta el silo se pueden ver en la tabla 7.4.

**Tabla 7.4.** Especificaciones técnicas de la estructura metálica.

Altura de la boca del silo al suelo (mm)	Altura de las patas (mm)	Altura total del suelo al techo (mm)	Precio (€)
1100	3875	13810	44253

### 7.2.4.3 Paneles fluidificantes

Debido al apelmazamiento de las cenizas volantes al almacenarlas en el silo se forman bóvedas y columnas de material las cuales dificultan su extracción del silo. Para evitar esta problemática el silo lleva incorporados 4 paneles fluidificantes rectangulares contruidos en acero al carbono. Los paneles fluidificantes permiten el flujo y la descarga de productos a granel combinando la inyección de aire y una leve vibración. Las características técnicas de los paneles fluidificantes se pueden ver en la tabla 7.5.

**Tabla 7.5.** Características técnicas de los paneles fluidificantes.

Dimensiones (mm)	Temperatura de trabajo máxima (°C)	Presión de servicio (kg/cm <sup>2</sup> )	Consumo de aire durante la descarga (l/min)	Precio (€)
200 x 1800	100	0,8-1,2	1350	2150

Para facilitar la descarga de las cenizas volantes el silo lleva incorporado un extractor vibrante de 1000 x 300 mm incorporado a los paneles fluidificantes del silo de cenizas volantes.

### 7.2.4.4 Compresor de aire

Para suministrar el aire a presión a los paneles fluidificantes del silo de CV se va a utilizar un compresor el cual se puede ver en la figura 7.7.



**Figura 7.7.** Compresor industrial de aire.

En la tabla 7.6 se pueden ver las especificaciones técnicas del compresor utilizado para suministrar aire a presión al silo de CV. Como se puede observar en dicha tabla el caudal de aire por minuto es suficiente para abastecer el consumo de los paneles fluidificantes.



**Tabla 7.6.** Especificaciones técnicas del compresor utilizado.

Datos técnicos	
Capacidad del tanque de aire (l)	500
Voltaje (V)	400
Presión (bar)	10
Potencia (kW)	11
Suministro de aire (l/min)	1390
Dimensiones (cm)	60 x 198 x 145
Ruido (dB-A)	79
Peso (kg)	345
Tiempo de trabajo en un lote (min)	1
Tiempo de trabajo diario (h)	0,8
Precio (€)	8000

#### 7.2.4.5 Granero del tiesto

La máxima cantidad de tiesto cerámico necesario teniendo en cuenta las pérdidas que se producen en los diferentes equipos es de 40 kg/h, por tanto, al día se necesitan 640 kg. Al igual que con las cenizas volantes para que siempre esté disponible el tiesto se necesita un margen de tiempo, en concreto 5 días de acumulación, que hacen un total de 3200 kg. La densidad del tiesto es de 500 kg/m<sup>3</sup> por lo tanto el volumen necesario del granero es de 6,4 m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que los trozos de tiesto cerámico se extienden más que se apilan el área considerada ha sido de 10 m<sup>2</sup>.

#### 7.2.4.6 Almacenamiento del hidróxido sódico

La máxima cantidad de hidróxido sódico que se necesita es de 291 kg/h, por tanto al día se necesitan 4656 kg. Para que el suministro de este compuesto esté siempre disponible se necesita un margen de 5 días de acumulación, por tanto se necesitan 23280 kg. La densidad del hidróxido sódico es de 1330 kg/m<sup>3</sup> siendo el volumen necesario del depósito de 17,5 m<sup>3</sup>.

Se van a utilizar tanques verticales tal y como se puede ver en la figura 7.8 con capacidad para 5000 litros a los cuales pueden conectarse diferentes conducciones para el transporte del hidróxido sódico. Debido a que el volumen de almacenamiento del hidróxido sódico necesario es de 17504 litros se van a utilizar 4 tanques. Estos tanques están fabricados en polietileno de alta densidad y tienen una gran resistencia al elevado pH del hidróxido sódico. Además, se pueden instalar en el interior de la nave industrial, disponen de una extensa gama de accesorios y son 100% reciclables al final de su vida útil. Las características técnicas del depósito se pueden ver en la tabla 7.7.

**Tabla 7.7.** Características técnicas del tanque de hidróxido sódico.

Volumen (l)	Peso (kg)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Nº de unidades	Precio por unidad (€)
5000	140	1900	2185	4	6000



**Figura 7.8.** Tanque para el hidróxido sódico.

El área ocupada en la planta industrial por los depósitos de hidróxido sódico se puede obtener mediante la ecuación 7.1.

$$A_{\text{depósito hidróxido}} = \left( \frac{950 \text{ mm radio}}{1000 \text{ mm}} \right)^2 \times \pi \times 4 \text{ unidades} = 11,34 \text{ m}^2$$

### 7.2.4.7 Almacenamiento del silicato sódico

La máxima cantidad de silicato sódico que se necesita es de 51 kg/h, por tanto al día se necesitan 816 kg. Para que el suministro de este compuesto esté siempre disponible se necesita un margen de 5 días de acumulación, con lo cual se necesitan 4080 kg. La densidad del silicato sódico es de 1350 kg/m<sup>3</sup>. Por lo tanto, el volumen necesario del depósito es de 3,02 m<sup>3</sup>.

Como el volumen de almacenamiento del silicato sódico necesario es de 3022 litros, se va a utilizar un tanque de 5000 litros, de las mismas características que el utilizado para almacenar el hidróxido.

El área ocupada en la planta industrial por el depósito de silicato sódico se calcula mediante la ecuación 7.1.

$$A_{\text{depósito silicato}} = \left( \frac{950 \text{ mm radio}}{1000 \text{ mm}} \right)^2 \times \pi = 2,83 \text{ m}^2$$

### 7.2.5 Dosificación y transporte de las materias primas

#### 7.2.5.1 Cenizas volantes

Para transportar las cenizas volantes desde el silo hasta la tamizadora y desde la tamizadora hasta la amasadora se necesita una cinta transportadora cubierta. Para ello se va a utilizar un modelo de cinta transportadora con banda en V para mantener las cenizas en el centro de la banda. En la figura 7.9 se puede ver el modelo de cintas transportadoras utilizado.



**Figura 7.9.** Cinta con banda en V. (FUENTE: [www.eymproductostecnicos.com](http://www.eymproductostecnicos.com)).

Las características técnicas de las cintas transportadoras utilizadas para transportar las cenizas volantes se especifican en la tabla 7.8.

**Tabla 7.8.** Características técnicas de la cintas transportadoras.

Recorrido	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Potencia (kW)	Precio (€)
Silo CV-tamizadora	7868	600	1,1	3900
Tamizadora-amasadora	13926	600	1,1	7000

Las cintas transportadoras tienen incorporado un sistema de pesaje para controlar la cantidad de materias primas que circulan. En la figura 7.10 se puede ver dicho sistema de pesaje.



**Figura 7.10.** Sistema de pesaje de las cintas transportadoras.

Este sistema de pesaje se basa en una báscula de cinta que ofrece información básica sobre el caudal y las funciones de totalización de materiales para el control interno del proceso, con una precisión de  $\pm 1\%$ .

Esta báscula permite supervisar la producción, las existencias y regular la carga de productos, al tiempo que proporciona datos fundamentales para una gestión eficaz y un funcionamiento eficiente del proceso. El precio del sistema de pesaje ya está incluido en el coste de las cintas transportadoras.

Debido a la baja densidad y al pequeño tamaño de las cenizas volantes, se necesita que la cinta esté cubierta para evitar que las cenizas pasen al aire de la planta durante su transporte. En la figura 7.11 se puede ver el sistema de cubierta utilizado el cual cubre  $180^\circ$ , no requiere de ninguna estructura y se monta y desmonta con facilidad adaptándose fácilmente a cualquier tipo de cinta transportadora.



**Figura 7.11.** Cubierta de las cintas transportadoras.

### 7.2.5.2 Tiesto cerámico cocido

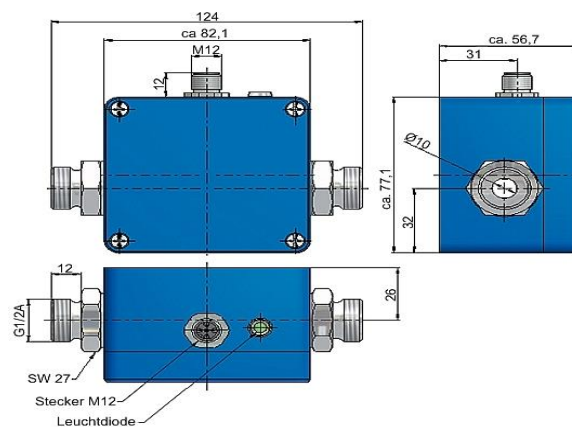
Para transportar el tiesto cerámico se utiliza el mismo modelo de cinta que para las cenizas volantes, pero sin cubierta. En la tabla 7.9 se recogen las características técnicas de las diferentes cintas transportadoras usadas para transportar el tiesto cerámico en la nave industrial.

**Tabla 7.9.** Características técnicas de las cintas transportadoras para el tiesto cerámico.

Recorrido	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Potencia (kW)	Precio (€)
Granero-trituradora	5200	600	1,1	2600
Trituradora-molino	6886	600	1,1	3500
Molino-tamizadora	4442	600	1,1	2200
Tamizadora-amasadora	6406	600	1,1	3200

### 7.2.5.3 Hidróxido sódico y silicato sódico

Para transportar las materias primas líquidas (hidróxido y silicato sódico) a través de la nave industrial se utilizan conducciones. Para regular el caudal de estas materias se utiliza un caudalímetro como el que se puede observar en la figura 7.12.



**Figura 7.12.** Caudalímetro utilizado.

Se van a utilizar dos caudalímetros del mismo modelo, uno para el hidróxido sódico y otro para el silicato sódico. Estos caudalímetros son resistentes al elevado pH de los activadores alcalinos. Las características del caudalímetro se recogen en la tabla 7.10.

**Tabla 7.10.** Características técnicas de los caudalímetros.

Rango de medición (l/min)	Precisión de medición (%)	Tiempo de respuesta (ms)	Precio por unidad (€)
1-20	± 2	< 500	4000

Para transportar el hidróxido y silicato desde los depósitos hasta la amasadora se utilizan conducciones de acero inoxidable de 15 mm de diámetro y un espesor de 1,5 mm. Estas conducciones son resistentes al elevado pH de los activadores alcalinos. En la figura 7.13 pueden verse las conducciones utilizadas y en la tabla 7.11 sus características técnicas.



**Figura 7.13.** Conducciones del hidróxido y silicato sódico.

**Tabla 7.11.** Características técnicas de las conducciones.

Recorrido	Longitud (m)	Accesorios necesarios	Precio por metro (€)	Precio total (€)
Depósito silicato-amasadora	9,63	2 codos (90°) y 1 T usada como codo	4,49	43,24
Depósito NAOH(1) - amasadora	14,05	2 codos (90°) y 1 T usada como codo	4,49	63,08
Depósito NAOH(2) - Depósito NAOH (1)	4,36	1 codo (90°)	4,49	19,58
Depósito NAOH(3) - Depósito NAOH (1)	1,72	1 cruz	4,49	7,72
Depósito NAOH(4) - Depósito NAOH (1)	4,36	1 codo (90°)	4,49	19,58
Total	34,12			153,20

Para propulsar el hidróxido sódico y el silicato sódico a través de las conducciones se utilizan bombas peristálticas resistentes a los altos pH que poseen los activadores alcalinos. En los anexos de este proyecto se encuentran los cálculos realizados para conocer la potencia necesaria de las bombas. Se van a utilizar bombas de las mismas características para los dos activadores.

Para calcular el caudal volumétrico de los activadores alcalinos se utiliza la ecuación 7.3.

$$Q_V = \frac{m}{\rho} \quad \text{(Ecuación 7.3)}$$

Donde:

$Q_V$  = caudal volumétrico (l/h)

$m$  = caudal másico (kg/h)

$\rho$  = densidad (kg/m<sup>3</sup>)

El caudal másico del hidróxido sódico a través de las conducciones es de 291 kg/h y su densidad es de 1330 kg/m<sup>3</sup>, se puede calcular su caudal volumétrico mediante la ecuación 7.3.

$$Q_V = \frac{291 \text{ kg/h}}{1330 \text{ kg/m}^3} \times 1000 \frac{1}{\text{m}^3} = 219 \text{ l/h}$$

La bomba que se utiliza tiene un caudal volumétrico de operación y una potencia mayor al calculado para evitar que tenga que operar a pleno rendimiento. En la figura 7.14 se puede ver la bomba peristáltica utilizada para propulsar el hidróxido sódico a través de las conducciones.



**Figura 7.14.** Bomba peristáltica utilizada.

En la tabla 7.12 se anotan las características técnicas y las dimensiones de la bomba peristáltica utilizada para propulsar el hidróxido sódico a través de las conducciones.

**Tabla 7.12.** Características técnicas de la bomba utilizada.

Características técnicas	
Caudal operación (l/h)	386
Potencia máxima (W)	184
Presión máxima (bar)	1,5
Peso (kg)	12
Diámetro conducción (mm)	15
Precio (€)	2000

El caudal másico del silicato sódico a través de las conducciones es de 56 kg/h y su densidad es de 1350 kg/m<sup>3</sup>, se puede calcular su caudal volumétrico mediante la ecuación 7.3.

$$Q_v = \frac{51 \text{ kg/h}}{1350 \text{ kg/m}^3} \times 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} = 38 \text{ l/h}$$

Para impulsar el silicato sódico a través de las conducciones se va a utilizar una bomba peristáltica más pequeña que la empleada para el hidróxido sódico, la cual se ajusta mejor a los requisitos de caudal volumétrico.

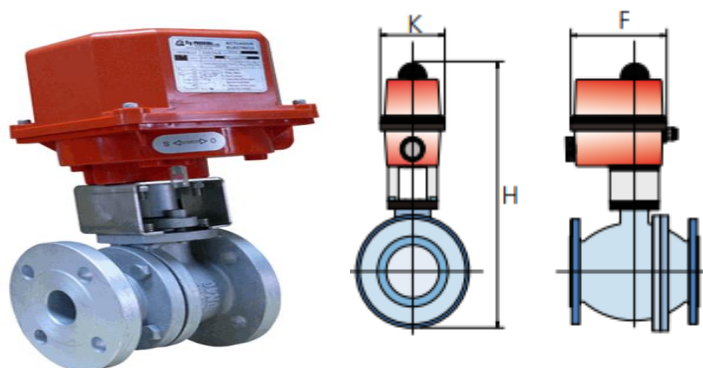
En la tabla 7.13 se anotan las especificaciones técnicas de la bomba peristáltica utilizada para propulsar el silicato sódico.

**Tabla 7.13.** Características técnicas de la bomba peristáltica utilizada.

Características técnicas	
Caudal operación (l/h)	90
Potencia máxima (W)	88
Presión máxima (bar)	1,5
Peso (kg)	8
Diámetro conducción (mm)	15
Precio (€)	1500



Para controlar el caudal de materias primas líquidas que fluyen por las conducciones se ha utilizado una válvula de bola la cual se puede ver en la figura 7.15.



**Figura 7.15.** Válvula de bola de control del caudal de los líquidos.

En la tabla 7.14 se pueden ver las especificaciones técnicas de la válvula de bola utilizada. Se han instalado cinco válvulas de bola, una a la salida de cada depósito de hidróxido sódico o de silicato sódico. Estas válvulas son resistentes al elevado pH de los activadores alcalinos.

**Tabla 7.14.** Características técnicas de la válvula de bola utilizada.

Características de la válvula de bola	
DN (mm)	15
H (mm)	239
F (mm)	107
K (mm)	84
Tipo de actuador	Eléctrico
Constante característica (K)	0,17
Precio por unidad (€)	3000

### 7.2.6 Tamizado de las CV

Para tamizar las cenizas volantes se va a usar una tamizadora separadora industrial que permite separar las partículas de cenizas volantes que sean superiores a 1 mm (figura 7.16). Las características técnicas de la tamizadora se pueden ver en la tabla 7.15.



**Figura 7.16.** Tamizadora de las CV.

**Tabla 7.15.** Características técnicas de la tamizadora industrial.

Características de la tamizadora de CV	
Estructura	Acero al carbono
Cuerpo	Acero inoxidable
Dimensiones (mm)	1400 x 2500 x 1400
Tamaño del tamiz (mm)	1000 x 2100
Superficie tamiz (m <sup>2</sup> )	2
Luz de malla (mm)	0,15-5,35
Cantidad de tamices	1
Máquina vibrante	1
Frecuencia (Hz)	50
Producción (kg/h)	1500
Peso (kg)	1100
Potencia (kW)	1,1
Precio (€)	10250

El área ocupada en la planta industrial por la tamizadora de cenizas volantes se obtiene mediante la ecuación 7.2.

$$A_{\text{tamizadora CV}} = \left( \frac{1400 \text{ mm largo}}{1000 \text{ mm}} \right) \times \left( \frac{2500 \text{ mm ancho}}{1000 \text{ mm}} \right) \times 2 = 3,50 \text{ m}^2$$

### 7.2.7 Trituración y molienda del tiesto cerámico

Es necesario incorporar una trituradora antes del molino ya que el tamaño del tiesto cerámico es demasiado grande para introducirlo directamente en el molino, para ello se utiliza una trituradora de mandíbulas en la cual la reducción de tamaño se consigue por compresión entre una placa fija y otra con movimiento excéntrico. Esta trituradora está formada por una cámara de trituración por placas de mandíbula dinámica y estática, que imitan el movimiento de dos mandíbulas animales. Esta trituradora se puede observar en la figura 7.17 y sus características técnicas se anotan en la tabla 7.16.



**Figura 7.17.** Trituradora de mandíbulas.

**Tabla 7.16.** Características técnicas de la trituradora utilizada.

Características de la trituradora	
Medidas de la boca de entrada (cm)	15 x 25
Máximo tamaño de alimentación (mm)	125
Capacidad (t/h)	1-3
Potencia (kW)	5,5
Dimensiones (cm)	140 x 90 x 80
Peso (t)	0,8
Precio (€)	15000

El área ocupada en la planta industrial por la trituradora de mandíbulas se obtiene mediante la ecuación 7.2.

$$A_{\text{trituradora}} = \left( \frac{140 \text{ cm largo}}{100 \text{ cm}} \right) \times \left( \frac{90 \text{ cm ancho}}{100 \text{ cm}} \right) = 1,26 \text{ m}^2$$

Para obtener una distribución de tamaño de partícula inferior a un milímetro, además de la trituración, se necesita realizar una molienda. En este caso se utilizará un molino de martillos el cual se puede ver en la figura 7.18.

El molino de martillos dispone de una serie de martillos rotativos que impactan repetidamente el producto en su interior, reduciendo su tamaño hasta hacerlo pasar a través de una criba perforada. Este molino consigue que el tamaño de partícula final del tiesto cerámico esté por debajo de 1 mm. Las características técnicas del molino se pueden ver en la tabla 7.17.

**Tabla 7.17.** Características técnicas del molino de martillos.

Modelo	Motor (kW)	Cámara de molienda (cm)	Nº de martillos	Dimensiones (cm)	Producción (kg/h)	Precio (€)
MM 200	5	15 x 25	18	120 x 80	50-100	10.000



**Figura 7.18.** Molino de martillos.

El área ocupada en la planta industrial por el molino de martillos se calcula mediante la ecuación 7.2.

$$A_{\text{molino}} = \left( \frac{120 \text{ cm largo}}{100 \text{ cm}} \right) \times \left( \frac{80 \text{ cm ancho}}{100 \text{ cm}} \right) = 0,96 \text{ m}^2$$

### 7.2.8 Tamizado del tiesto cerámico

Una vez molturado el tiesto cerámico cocido se tiene que hacer pasar por un tamiz, para verificar que el tamaño de partícula es el deseado. Se va a utilizar una tamizadora LCV-DUAL con 2 motores laterales y descarga central, para tamizar el tiesto cerámico la cual es capaz de tamizar desde 36 micras hasta 25 mm. Esta tamizadora tiene la entrada del producto por la parte central y las salidas por la tolva inferior central tal y como se puede ver en la figura 7.19. En la tabla 7.18 se recogen las características técnicas de la tamizadora.



**Figura 7.19.** Tamizadora del tiesto cerámico.

**Tabla 7.18.** Características técnicas de la tamizadora del tiesto cerámico cocido.

Radio (mm)	Material	Producción (kg/h)	Potencia motores (kW)	Precio (€)
600	Acero inoxidable	700	2	6000

El área ocupada en la planta industrial por la tamizadora de tiesto cerámico se calcula mediante la ecuación 7.1.

$$A_{\text{tamizadora tiesto}} = \left( \frac{600 \text{ mm radio}}{1000 \text{ mm}} \right)^2 \times \pi = 1,13 \text{ m}^2$$

### 7.2.9 Amasado

Las materias primas sólidas se mezclan con las líquidas en una amasadora o mezcladora. Para ello se utiliza una amasadora de acero inoxidable discontinua de palas que consta de dos ejes amasadores y es adecuada para la mezcla de sólidos y líquidos.

En la figura 7.20 se puede ver la amasadora utilizada. En la tabla 7.19 se recogen las principales características de la amasadora.



**Figura 7.20.** Amasadora discontinua de palas.

**Tabla 7.19.** Características técnicas de la amasadora.

Características técnicas de la amasadora	
Capacidad tolva (l)	595
Capacidad de mezcla por lote	150-350
Dimensiones (mm)	2100 x 1700
Potencia motor (kW)	2 motores, uno de 2,6 y el otro de 3,2
Tiempo de amasado (min)	8
Precio (€)	40000

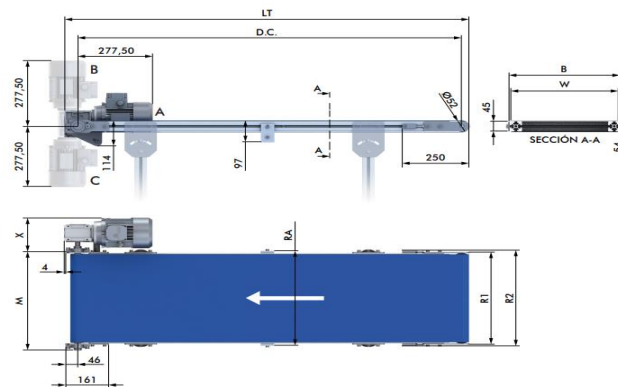
El área ocupada en la planta industrial por la amasadora se puede obtener mediante la ecuación 7.2.

$$A_{\text{amasadora}} = \left( \frac{2100 \text{ mm largo}}{1000 \text{ mm}} \right) \times \left( \frac{1700 \text{ mm ancho}}{1000 \text{ mm}} \right) = 3,57 \text{ m}^2$$

Una vez se mezclan las materias primas en la amasadora, la pasta resultante se lleva a la máquina encofradora mediante una cinta transportadora.

Para transportar la mezcla de materias primas desde la amasadora a la máquina encofradora se utiliza el mismo tipo de cinta transportadora que para el tiesto cerámico y las cenizas. Para transportar los adoquines ya conformados desde la máquina

encontrada hasta el secadero y desde el secadero hasta las máquinas de tratamiento secundario se utilizan unas cintas transportadoras de banda las cuales se pueden ver en la figura 7.21. Se utiliza el mismo tipo de cinta transportadora para los tres recorridos, pero varía la longitud de la cinta.



**Figura 7.21.** Cinta transportadora de adoquines

Las características técnicas de las cintas transportadoras de adoquines ya conformados se pueden ver en la tabla 7.20.

**Tabla 7.20.** Características técnicas de las cintas transportadoras de adoquines.

Características técnicas de las cintas de adoquines	
Ancho de banda (W) en mm	600
Ancho del bastidor (B) en mm	610
Ancho cabezal exterior de placas (R1) en mm	622
Ancho cabezal exterior de tensores (R2) en mm	648
Ancho rodillo apoyo en mm	642
Ancho cabezal Motriz en mm	677
Ancho motor reductor en mm	100
Potencia del motor (kW)	1,1

En la tabla 7.21 se puede ver la longitud y anchura de todas las cintas transportadoras utilizadas en el proceso productivo, así como las potencias de los motores que accionan las cintas y el precio de las mismas.

**Tabla 7.21.** Características técnicas de las cintas transportadoras utilizadas.

Recorrido	Longitud (mm)	Anchura (mm)	Área (m <sup>2</sup> )	Potencia (kW)	Precio (€)
Silo CV- tamizadora CV	7868	600	4,72	1,1	3900
Tamizadora CV-amasadora	13926	600	8,36	1,1	7000
Granero tiesto-trituradora	5200	600	3,12	1,1	2600
Trituradora-molino	6886	600	4,13	1,1	3500
Molino-tamizadora	4442	600	2,67	1,1	2200
Tamizadora-amasadora	6406	600	3,84	1,1	3200
Amasadora-encofradora	6979	600	4,19	1,1	3500
Encofradora-secadero	15999	600	9,60	1,1	8000
Secadero-paletizado	18139	600	10,88	1,1	9100
Secadero-pulidora	7817	600	4,69	1,1	3900
Secadero-granalladora	6314	600	3,79	1,1	3200
Pulidora-paletizado	6709	600	4,03	1,1	3400
Granalladora-paletizado	5225	600	3,14	1,1	2600
<b>Total</b>			67,2	14,3	56100

### 7.2.10 Conformado

El método de conformado que se utiliza para la fabricación de los adoquines consiste en un encofrado al cual se le aplica presión. Para llevar a cabo este método de conformado se utiliza una máquina de moldeo, esta máquina está formada por un conjunto de moldes a partir de los cuales se obtendrán los adoquines. La mezcla de materias primas se transporta desde la amasadora a una pequeña tolva de la máquina de moldeo mediante una cinta transportadora. La mezcla se introduce dentro de los moldes mediante unos rodillos. Una vez se deposita el material sobre el molde un cilindro neumático aplica presión para mejorar la compacidad y propiedades de la pieza. Los moldes van parando y poniéndose en marcha, en el momento que se paran, en la parte



exterior de la tolva, hay unos extractores, que desde abajo hacia arriba extraen el adoquín junto con el soporte que se ha utilizado para conformarlo; en la parte superior hay una pinza que agarra el soporte, lo separa del adoquín y lo deposita sobre una cinta transportadora para llevarlo al secadero. Cuando ya se ha retirado el extractor hacia abajo los moldes hacen otro paso y así sucesivamente. En la figura 7.22 se puede ver la máquina de moldeo utilizada para conformar los adoquines.



**Figura 7.22.** Máquina de moldeo.

Las características de la máquina de moldeo utilizada para encofrar los adoquines de la planta industrial se especifican en la tabla 7.22.

**Tabla 7.22.** Características de la máquina de moldeo.

Características técnicas	
Producción (kg/h)	800-1100
Máxima medida de la pieza (cm)	40 x 40 x 25
Dimensiones máquina (mm)	1280 x 880 x 1755
Nº moldes cadena	40
Potencia (kW)	7
Tiempo de encofrado (min)	2
Precio (€)	120000

El área ocupada en la planta industrial por la máquina de moldeo se obtiene mediante la ecuación 7.2.

$$A_{\text{moldeadora}} = \left( \frac{1280 \text{ mm largo}}{1000 \text{ mm}} \right) \times \left( \frac{880 \text{ mm ancho}}{1000 \text{ mm}} \right) = 1,13 \text{ m}^2$$

### 7.2.11 Curado

El curado se lleva a cabo en un secadero continuo durante 20 horas y a 85 °C. Es una etapa de suma importancia en el proceso de activación alcalina ya que es donde se llevan a cabo la mayoría de las reacciones químicas entre el material pulverulento y los activadores alcalinos. En el curado es muy importante tener una humedad relativa elevada, cercana al 95%.

Debido a que los adoquines una vez se mezclan y conforman se deben curar de inmediato, se ha considerado oportuno utilizar un secadero de rodillos multicanal, en el cual los adoquines son transportados sobre rodillos dentro de una cámara cerrada. Se ha decidido utilizar rodillos y no una banda y tener diferentes canales debido a que la cantidad de adoquines que estarán dentro del secadero es muy grande y el peso de estos es demasiado elevado. El secadero está cerrado para evitar que se escape la humedad y conseguir que los adoquines se curen con una humedad relativa elevada, sin embargo, existen conductos para que se escapen los gases del interior del secadero y para evitar que aumente excesivamente la presión en su interior.

Para poder diseñar las dimensiones del secadero es necesario saber la cantidad de adoquines que se producen, las dimensiones de los adoquines y la cantidad de adoquines que están curándose a la vez. Para proporcionar la energía térmica en el secadero se ha utilizado gas natural.

El tiempo de producción diario es de 16 h/día y el de curado 20 h/día, sin embargo, una vez entran nuevos adoquines al secadero otros salen de él, por lo tanto el número máximo de adoquines que se encuentra dentro del secadero corresponde a 16 horas de producción. Se producen 263 adoquines a la hora, por lo tanto, en 16 horas se producen 4199 adoquines. Las dimensiones de los adoquines son de 240 x 120 x 65,2 mm. Con esos datos se puede calcular las dimensiones que debe tener el secadero, teniendo en cuenta que no se apilan adoquines:

$$0,0288 \frac{\text{m}^2}{\text{adoquín}} \times 4199 \text{ adoquines} = 121 \text{ m}^2$$

Se va a considerar una anchura útil del secadero de 2 m y que el secadero es de 5 canales, la longitud final del secadero resulta:

$$\frac{121 \text{ m}^2}{2 \text{ m ancho} \times 5 \text{ canales}} = 12 \text{ m}$$

La anchura del secadero debe ser mayor, debido al espacio que ocupan las paredes y a que los rodillos sobresalen del secadero. Además debe tenerse en cuenta que los rodillos se puedan extraer para su limpieza y mantenimiento. Teniendo en cuenta estas consideraciones la anchura necesaria para el secadero se ha estimado en 5 metros, la longitud se mantiene igual, por lo tanto el área ocupada por el secadero en la planta es de:

$$A_{\text{secadero}} = 12 \text{ m largo} \times 5 \text{ m ancho} = 60 \text{ m}^2$$

Una vez calculadas las dimensiones del secadero se calculará su consumo energético. Para ello se disponen de los datos de consumo energético de un secadero de productos cerámicos con 5 canales y unas dimensiones similares. El consumo energético de este secadero es de 100 kWh/t de sólido seco a una temperatura de secado de 200 °C. Como la temperatura a la que se quieren curar los adoquines es de 85 °C se ha estimado un consumo energético de 70 kWh/tss.

Además del consumo energético el objetivo de la planta industrial es fabricar adoquines con bajas emisiones de CO<sub>2</sub>. Para conocer las emisiones de la planta se va a partir de su consumo energético sabiendo que el gas natural utilizado para calentar el secadero tiene un factor de emisión de CO<sub>2</sub> de 202 g de CO<sub>2</sub>/kWh, tal y como se ha especificado en el apartado 3.4.1. Con estos valores las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes al proceso estudiado serán:

$$\frac{70 \text{ kWh}}{\text{t adoquín}} \times \frac{202 \text{ g CO}_2}{\text{kWh}} \times \frac{1 \text{ t CO}_2}{10^6 \text{ g CO}_2} = 0,014 \frac{\text{t CO}_2}{\text{t adoquín}}$$

Para la realización de la viabilidad económica es necesario calcular el coste debido al consumo de gas natural del secadero. El precio del gas natural es de 0,05 €/kWh, por lo tanto, el coste energético del secadero es:

$$C_{\text{Secadero}} = \frac{70 \text{ kWh}}{\text{t adoquín}} \times \frac{0,05 \text{ €}}{\text{kWh}} \times \frac{4392 \text{ t adoquín}}{\text{año}} = 15372 \text{ €/año}$$

### 7.2.12 Tratamientos secundarios

Una vez curados los adoquines se pueden realizar diferentes tratamientos secundarios sobre ellos, los tratamientos secundarios que se van a llevar a cabo son el pulido y el granallado.

### 7.2.12.1 Pulido

Con este tratamiento se realiza un desbaste, afinado y pulido de la superficie de la cara vista de los adoquines para que queden perfectamente lisos.

Para realizar este tratamiento secundario se dispone de una máquina para pulir adoquines aplicando una presión que puede alcanzar los 0,4 MPa (figura 7.23).



**Figura 7.23.** Pulidora.

En la tabla 7.23 se anotan las características técnicas de la máquina pulidora utilizada.

**Tabla 7.23.** Características técnicas de la máquina pulidora.

Peso (t)	Voltaje (V)	Dimensiones (mm)	Velocidad pulido (m/h)	Potencia (kW)	Precio (€)
33	275	4230 x 2500 x 2310	80	3	20000

No todos los adoquines que se fabrican se tienen que pulir, se pulirán los adoquines en función de las necesidades del mercado, ya que las operaciones secundarias encarecen el producto. Se ha estimado que se van a pulir el 15 % de los adoquines fabricados en la planta, siendo el tiempo de pulido de:

$$T_{\text{pulido}} = \frac{h}{80 \text{ m adoquín pulido}} \times \frac{0,24 \text{ m}}{\text{adoquín}} \times \frac{4199 \text{ adoquines}}{\text{día}} \times \frac{0,15 \text{ adoquín pulido}}{\text{adoquines}} = 2 \text{ h/día}$$

Para no realizar un pulido discontinuo, se ha decidido pulir cada 4 días durante 8 horas/día.

El área ocupada en la planta industrial por la pulidora es de:

$$A_{\text{pulidora}} = \left( \frac{4230 \text{ mm largo}}{1000 \text{ mm}} \right) \times \left( \frac{2500 \text{ mm ancho}}{1000 \text{ mm}} \right) = 10,58 \text{ m}^2$$

### 7.2.12.2 Granallado

La operación de granallado se utiliza para aportar al adoquín la rugosidad deseada. La granalladora está formada por una cámara donde se guarda la granalla, dos turbinas que lanzan la granalla sobre los adoquines, de ahí al depósito y luego vuelve a alimentarse. Los adoquines pasan por una cinta transportadora a través de la granalladora, van a la zona de soplado para evitar que los adoquines salgan con granalla, se dan la vuelta en un volteador y se vuelven a realimentar a la granalladora hasta que se consigue la rugosidad deseada. Tanto la pulidora como la granalladora se encuentran dentro de una zona insonorizada y con campanas de aspiración para absorber el polvo que se emite durante los tratamientos secundarios de los adoquines. En la figura 7.24 se puede observar la maquina pulidora de adoquines y en la tabla 7.24 sus características técnicas.



**Figura 7.24.** Granalladora.

**Tabla 7.24.** Características técnicas de la granalladora.

Carga máxima (kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Potencia (kW)	Velocidad granallado (m/h)	Precio (€)
1000	3200	1200	2	56	30000

No todos los adoquines que se fabrican se tienen que granallar, se granallarán los adoquines en función del mercado, ya que las operaciones secundarias encarecen el producto. Se ha estimado que se van a granallar el 15% de los adoquines fabricados en la planta, por tanto el tiempo de granallado es:

$$T_{\text{granallado}} = \frac{h}{56 \text{ m adoquín granallado}} \times \frac{0,24 \text{ m}}{\text{adoquín}} \times \frac{4199 \text{ adoquines}}{\text{día}} \times \frac{0,15 \text{ adoquín granallado}}{\text{adoquines}} = 2,7 \text{ h/día}$$

Para no realizar un proceso de granallado discontinuo, se ha decidido granallar cada 3 días durante 8 horas/día.

El área ocupada en la planta industrial por la máquina granalladora es de:

$$A_{\text{granalladora}} = \left( \frac{3200 \text{ mm largo}}{1000 \text{ mm}} \right) \times \left( \frac{1200 \text{ mm ancho}}{1000 \text{ mm}} \right) = 3,84 \text{ m}^2$$

### **7.2.13 Inspección y control de calidad**

En la planta industrial se realizan controles de calidad de las materias primas, los procesos de fabricación y el producto final.

#### **7.2.13.1 Materia prima**

Se controla que el material recibido por el proveedor se corresponda con el solicitado. Se llevan a cabo comprobaciones visuales sobre ausencia de contaminantes y el estado general del suministro. Se llevan a cabo ensayos para las cuatro materias primas. Cada vez que llegan las materias primas a la planta se recogen muestras sobre las que se llevan a cabo los análisis y ensayos pertinentes.

#### **Cenizas volantes**

Se determina la granulometría de las partículas de cenizas mediante el método de tamizado según la norma UNE-EN 933-1: 2012 para comprobar que esta se ajusta a la demandada.

#### **Tiesto cerámico**

Se comprueba visualmente que el tiesto suministrado sea de origen cerámico y que no haya residuos tales como plásticos o vidrio.

#### **Activadores alcalinos**

Se realizan ensayos químicos para comprobar el pH y la concentración de los activadores alcalinos. Para controlar la concentración de los activadores alcalinos se hace una valoración con ácido clorhídrico. Y para comprobar su pH se van a usar tiras reactivas. Al proceso productivo sólo se incorporan las materias primas que hayan sido aprobadas por el responsable de calidad.

#### **7.2.13.2 Proceso productivo**

Se llevan a cabo controles en diferentes partes del proceso productivo.

### **Cintas transportadoras de materias primas**

Una vez a la semana se comprueba que su velocidad y sistema de pesaje estén bien calibrados, para así controlar adecuadamente la dosificación de materias primas en el proceso de fabricación de los adoquines activados alcalinamente. Para ello se recoge y pesa una muestra de materia prima y se mide el tiempo que se ha tardado en recogerla, para así poder calcular los caudales de dichas materias y comprobar que se ajustan a los establecidos.

### **Tamizadoras, trituradora y molino**

Para corroborar que la tamizadora de CV y la tamizadora, trituradora y molino de tiesto funcionan adecuadamente se extrae una muestra de árido y se mide su distribución de tamaño de partícula. Para ello se utiliza el método del tamizado según la norma UNE-EN 933-1: 2012.

### **Amasadora**

Una vez mezcladas las materias primas se coge una muestra de la mezcla formada para comprobar que su composición se ajusta a la utilizada. Para ello se lleva a cabo un ensayo de plasticidad en el cual se puede conocer la relación líquido-sólido de la mezcla. El ensayo de plasticidad consiste en medir el contenido en humedad al cual una masa presenta un esfuerzo crítico de fluencia, o consistencia, determinados. Exactamente se utilizará el método de Pfefferkorn (figura 7.25).



**Figura 7.25.** Plasticímetro de Pfefferkorn.

Los métodos directos para medir la plasticidad (indentación) son más precisos, sin embargo, se necesitan equipos con un excesivo coste.

Además, se comprueba que la mayoría de la mezcla no se quede pegada a las palas de la amasadora.

### **Máquina de moldeo**

Después del conformado de cada lote se miden las dimensiones de una parte de los adoquines que salen de la máquina de moldeo para comprobar que las dimensiones son las correctas y que los moldes se están rellenoando adecuadamente.

### **Secadero**

Cada hora se comprueba la temperatura y la humedad del secadero y se reajustan sino son las adecuadas. También se corrobora que los adoquines se estén curando durante 20 horas exactamente.

### **7.2.13.3 Producto terminado**

Sobre el producto terminado se realizan diferentes ensayos.

#### **7.2.13.3.1 Determinación de la densidad aparente**

Para calcular la densidad aparente de los adoquines fabricados se utiliza la ecuación 7.4, para ello se pesan los adoquines y se mide su volumen mediante un pie de rey. Este ensayo se lleva a cabo una vez a la semana para corroborar que la densidad aparente de los adoquines es la adecuada.

$$D_a = \frac{m}{l \times a \times e} \quad \text{(Ecuación 7.4)}$$

Donde:

$D_a$  = densidad aparente del adoquín ( $\text{kg/m}^3$ ).

$m$  = masa del adoquín (kg).

$a$  = anchura del adoquín (m).

$l$  = longitud del adoquín (m).

$e$  = espesor del adoquín (m).

#### **7.2.13.3.2 Medida de la Resistencia mecánica a flexión**

El ensayo de resistencia mecánica a flexión se realiza siguiendo el método descrito en la norma UNE-EN 1344:2015 "Adoquines de arcilla cocida". El ensayo se lleva a cabo ejerciendo sobre los adoquines una fuerza progresiva a velocidad constante (esfuerzo de flexión), mediante un rodillo apoyado sobre su zona central hasta provocar la rotura. Mientras, el adoquín permanece apoyado sobre otros dos rodillos (figura 7.26).



En el ensayo se mide la fuerza máxima a la que se someten los adoquines antes de romper, a partir de la fuerza máxima se podrá obtener la resistencia mecánica a flexión mediante la ecuación 7.5, en la que también habrá que tener en cuenta la anchura y el espesor de cada uno de los adoquines. Este ensayo se realiza cada vez que se fabrica un lote de adoquines para corroborar que mantienen una resistencia mecánica a flexión adecuada.

$$R_M = \frac{3 \times s \times F_{max}}{2 \times e^2 \times w} \quad \text{(Ecuación 7.5)}$$

Donde:

$R_M$  = resistencia mecánica a flexión de los adoquines (N/mm<sup>2</sup>).

$s$  = distancia entre los apoyos de la máquina de ensayos (m).

$F_{max}$  = fuerza máxima que pueden soportar los adoquines en el ensayo (N).

$t$  = espesor de los adoquines después de romper (m).

$w$  = anchura de los adoquines después de romper (m).



**Figura 7.26.** Máquina de ensayos.

### 7.2.13.3.3 Ensayos dimensionales

Estos ensayos se llevan a cabo después del conformado de los adoquines y en el producto final. Se miden un 25% de los adoquines de cada lote para comprobar que las medidas de los adoquines son las adecuadas. En estos ensayos se miden la longitud, la anchura y el espesor de los adoquines mediante un pie de rey y se estudian las medias y desviaciones para comprobar si hay algún defecto en el proceso productivo y así poder solucionarlo.

### 7.2.14 Paletizado e identificación

Para el transporte del producto acabado se utilizan carretillas elevadoras eléctricas como la que se ve en la figura 7.27. Con esta carretilla se pueden transportar cargas de hasta 1000 kg y se pueden apilar palés hasta 3 metros de altura. En la planta industrial se dispone de 3 carretillas elevadoras y se ha estimado que su tiempo de trabajo son 4 h/día. En la tabla 7.25 se pueden ver algunos de los detalles técnicos de la carretilla elevadora.

**Tabla 7.25.** Detalles técnicos de la carretilla elevadora.

Características técnicas	
Anchura (mm)	800
Longitud (mm)	1685
Potencia motor elevación (kW)	2,2
Potencia motor translación (kW)	0,6
Elevación (mm)	3300
Longitud horquillas (mm)	1150
Anchura arquillas (mm)	172
Capacidad carga (kg)	1000
Precio (€)	4127



**Figura 7.27.** Carretilla elevadora eléctrica.

Los palés utilizados son de madera, tienen unas dimensiones de 1200 x 1000 mm y pesan 28 kg. En la figura 7.28 se puede ver el tipo de palé utilizado para transportar los adoquines apilados.

La empresa fabricante recomienda un peso máximo de 1000 kg como carga de seguridad. Se pueden apilar hasta 40 palés vacíos. Estos palés tienen un precio de 30 €. Se utilizan 15 palés al día, con un margen de 20 días se necesitan 300 palés lo que asciende a un total de 9000 € en palés.



**Figura 7.28.** Palé de madera.

El paletizado de los adoquines se realiza después del curado o de los tratamientos secundarios (15% de los adoquines). El paletizado es manual y se realiza en una zona destinada especialmente para este proceso. El área de la zona de paletizado es de 28 m<sup>2</sup>.

En cuanto a la identificación, los palés van debidamente etiquetados, indicándose los siguientes datos:

1. Identificación del fabricante.
2. Identificación del producto (Tipo, Formato y Modelo).
3. Identificación de la norma aplicable.
4. Identificación de la fecha de fabricación.
5. Sellos o distintivos de calidad.

### **7.2.15 Almacenamiento del producto acabado**

Una vez fabricados los adoquines activados alcalinamente se almacenan en el interior de la planta para su posterior comercialización. Las dimensiones del almacén se calculan en función de la cantidad de producto acabado. En la planta industrial se fabrican 4199 adoquines al día. Se van a utilizar palés de madera de 1200 x 1000 mm, por tanto, el área de cada palé es de:

$$\left(\frac{1200 \text{ mm largo}}{1000 \text{ mm}}\right) \times \left(\frac{1000 \text{ mm ancho}}{1000 \text{ mm}}\right) = 1,2 \text{ m}^2/\text{palé}.$$

En los palés se recomienda cargar un peso máximo de 1000 kg como carga de seguridad. Teniendo en consideración que el peso de los adoquines es de 3,17 kg se calculan los adoquines que caben en un palé:

$$\frac{1000 \text{ kg/palé}}{3,17 \text{ kg/adoquín}} = 316 \text{ adoquines/palé}$$

Se puede calcular el número de palés necesarios al día:

$$\frac{4199 \text{ adoquines/día}}{316 \text{ adoquines/palé}} = 14 \text{ palés/día}$$

Por motivos de seguridad solo se pueden apilar 3 palés, por tanto, se necesita un espacio de:

$$\frac{1,2 \text{ m}^2/\text{palé} \times 14 \text{ palés/día}}{3} = 5,6 \text{ m}^2/\text{día}$$

Teniendo en cuenta que la venta del producto acabado no es inmediata se aplican 20 días de margen, por lo tanto la superficie del almacén de producto acabado es de:

$$5,6 \text{ m}^2/\text{día} \times 20 \text{ días} = 112 \text{ m}^2 \text{ almacén}$$

Para permitir el trasiego de los palés en el almacén se ha estimado un área del almacén de producto acabado de 180 m<sup>2</sup>.

### **7.3 Distribución en planta y cálculo del área total**

La distribución en planta o layout es la ordenación de los elementos de un sistema de producción industrial. Para distribuir los diferentes elementos dentro de la planta hay que buscar la minimización de la distancia recorrida por los materiales, que las áreas de trabajo estén ordenadas, acorde al proceso productivo siempre buscando un trabajo satisfactorio y seguro para los materiales, máquinas y operarios.

Más concretamente se han ubicado los depósitos y silos de las materias primas cerca de la puerta de entrada a la planta para facilitar el abastecimiento de las materias primas y lejos de las oficinas para evitar las molestias ocasionadas por el ruido y el polvo generado. El silo de las CV y el granero de tiesto se han colocado cerca de la tamizadora y de la trituradora de mandíbulas respectivamente, además los depósitos del hidróxido y

silicato sódico se han situado cerca de la amasadora para reducir el trasiego de los activadores alcalinos.

El resto de los equipos se han situado ordenados en consecuencia al orden del proceso productivo intentando reducir el trasiego de los materiales y las excesivas conducciones a lo largo de la planta.

El almacenamiento de producto acabado se ha ubicado dentro de la planta industrial lejos del silo de CV y de los equipos de molienda del tiesto para evitar que se contaminen los adoquines. Además, este almacén se ha ubicado cerca de la puerta de salida de la planta para facilitar su expedición. En la tabla 7.26 se pueden ver las áreas aproximadas de cada uno de los equipos de la planta.

**Tabla 7.26.** Áreas de los equipos.

Equipos	Área (m <sup>2</sup> )
Silo de CV	10
Granero de tiesto	10
Depósitos de Hidróxido sódico	12
Depósito de silicato sódico	3
Tamizadora industrial	4
Trituradora mandíbulas	2
Molino martillos	1
Tamizadora del tiesto	2
Amasadora de palas	4
Máquina de moldeo	2
Secadero	63
Pulidora	11
Granalladora	4
<b>Total</b>	<b>128</b>

En la tabla 7.27 se pueden ver las áreas de los diferentes elementos que componen la planta industrial.

**Tabla 7.27.** Área de los elementos de la industria.

Elementos	Área (m <sup>2</sup> )
Equipos	128
Oficinas y laboratorios	150
Cintas transportadoras	67
Zona de paletizado	28
Parking	200
Almacén de producto acabado	180
<b>Área total</b>	<b>753</b>

Teniendo en cuenta todos los elementos presentes en la instalación se necesita un área total de 753 m<sup>2</sup>. Se debe dejar espacio en la planta para el trasiego de los trabajadores y los materiales, por lo tanto, el área de la parcela debe de ser de 1500 m<sup>2</sup> como mínimo.

#### 7.4 Ubicación de la planta

Para definir la ubicación geográfica de la planta industrial es necesario conocer el origen de las materias primas utilizadas para fabricar el producto, las cenizas volantes vienen de la central termoeléctrica de Teruel y el tiesto cerámico procede de las industrias cerámicas de Castellón de la Plana.

Por todo ello se ha decidido que la mejor zona para ubicar la industria cerámica es dentro de la provincia de Castellón tal y como indica la figura 7.29.



**Figura 7.29.** Provincia en la que se ubica la planta.

Una de las principales características del sector azulejero español es la alta concentración geográfica de la industria en la provincia de Castellón, en especial en el área delimitada al norte por Alcora y Borriol, al oeste por Onda, al sur por Nules y al este por Castellón de la Plana. Aproximadamente el 94% de la producción nacional tiene su origen en esta provincia, donde se ubica el 80% de las empresas del sector.

La parcela se va a ubicar en la carretera Villarreal-Onda cerca de la AP-7 debido a que es una zona con fácil acceso y muy cercana al polígono industrial de Villarreal y de Onda de donde proviene el tiesto que se va a utilizar. Según el apartado 7.3 la dimensión de la parcela debe de ser de 1500 m<sup>2</sup> como mínimo. En base a los datos de la Sede Electrónica del Catastro la parcela industrial utilizada tiene una superficie de 2234 m<sup>2</sup> los cuales se dividen en 42,87 metros de ancho y 52,11 metros de largo tal y como se puede ver en la figura 7.30. El precio de la parcela se ha estimado en función de parcelas próximas en un coste de 200.000 €.



**Figura 7.30.** Parcela en la que se encuentra la nave industrial.

## 8. Estudio de viabilidad económica

En este apartado se va a estudiar la viabilidad económica de la actividad productiva estudiada. Todos los valores mostrados contienen incorporado el impuesto sobre el valor añadido del 21%.

### 8.1 Resumen del presupuesto

Para poder llevar a cabo el estudio de viabilidad económica es necesario conocer el presupuesto del proyecto. En la tabla 8.1 se recoge un resumen del presupuesto de ejecución material de la planta.

**Tabla 8.1.** Presupuesto de ejecución material de la planta industrial.

Elemento	Precio total (€)
Parcela y obra civil	307700
Equipos	776689
Conducciones y accesorios	18743
Mano de obra	165470
Total	1268602

En la tabla 8.2 se recoge el presupuesto de ejecución por contrata de la planta industrial.

**Tabla 8.2.** Presupuesto de Ejecución por contrata.

Elemento	Precio (€)
PEM total	1268602
Gastos generales	190290
Beneficio industrial	76116
PEC	1535008



## 8.2 Presupuesto de Explotación

En este apartado se cuantifican la inversión y amortización de la planta, así como los diferentes gastos e ingresos, a partir de los cuales se obtienen los beneficios. En este apartado también se obtiene el VAN, TIR y el periodo de retorno de la instalación.

### 8.2.1 Inversión inicial

Dentro de la inversión se encuentra el precio de compra de la parcela, la obra civil, los equipos y la instalación de los mismos. La inversión de este proyecto corresponde al presupuesto de ejecución material, gastos generales y beneficio industrial, es decir al PEC. Por tanto la inversión de la planta industrial es de 1535008 €.

### 8.2.2 Amortización

La amortización es la contabilidad de la pérdida de valor a lo largo del tiempo de los equipos de la instalación. El dinero reservado para la renovación de estos equipos tiene un tratamiento especial, ya que no es afectado por los impuestos y aunque es parte del flujo de caja no se incluyen en los beneficios. Para todos los equipos de la instalación se ha tenido en cuenta un tiempo de amortización de 10 años. Por lo tanto el coste de la amortización anual corresponde al 10 % del coste de los equipos y las conducciones:

$$\text{Amortización (€)} = \frac{\text{Coste equipos (€)} + \text{Coste conducciones (€)}}{10 \text{ años}} = \frac{776689 + 18743}{10} = 79543 \text{ €}$$

### 8.2.3 Gastos

Los gastos de la planta industrial se pueden dividir en gastos directos y en gastos indirectos, en base a la dependencia que tienen con la producción.

#### 8.2.3.1 Gastos directos

Los gastos directos o variables son aquellos que se incorporan directamente sobre el producto, siendo por tanto proporcionales a las cantidades fabricadas. Los gastos directos de la planta son el consumo energético, las materias primas, las nóminas de los trabajadores de producción y el coste por la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Para el cálculo de la electricidad consumida hay que tener en cuenta la potencia de cada equipo y el consumo energético en función del tiempo que trabajan. Estos datos se pueden observar en la tabla 8.3. Los cálculos de dicha tabla se han realizado teniendo en

cuenta que en la planta industrial se trabaja 5280 horas/año y que el precio actual de la energía eléctrica es de 0,155659 €/kWh.

**Tabla 8.3.** Consumo eléctrico de cada equipo.

Equipos	Potencia (kW)	Tiempo de trabajo (h/día)	Consumo energético (kWh/día)	Consumo eléctrico (€/año)
Compresor	11	0,8	8,8	450
Tamizadora de cenizas	1,1	8	8,8	450
Triturador de mandíbulas	5,5	8	44	2251
Molino de martillos	5	8	40	2046
Tamizadora del tiesto	2	8	16	818
Amasadora	5,8	6,4	37,1	1898
Máquina de moldeo	7	1,6	11,2	573
Pulidora	3	2	6	307
Granalladora	2	2,7	5,4	276
Carretillas elevadoras	8,4	4	33,6	1719
Cintas transportadoras	14,3	8	114,4	5852
Bomba hidróxido	0,18	8	1,44	74
Bomba silicato	0,09	8	0,72	38
<b>Total</b>				<b>16752</b>

Al consumo eléctrico de los equipos se le debe sumar el consumo térmico del secadero, cuyo coste (15372 €) se ha calculado en el apartado 7.2.11 y el consumo energético de los laboratorios y oficinas, el cual se ha estimado en 3000 €, por tanto, el coste energético es de 35124 €.

Otro gasto directo es el consumo de materias primas, en la tabla 8.4 se pueden ver las materias primas necesarias en la planta industrial y el precio de cada una de ellas. El precio del hidróxido sódico es de 850 € un tanque de 1000 litros y el del silicato sódico

es de 1200 € el tanque de la misma cantidad. Tanto las cenizas volantes como el tiesto cerámico no suponen ningún gasto ya que es un residuo de las empresas y no lo cobran.

**Tabla 8.4.** Coste de las materias primas.

Materia prima	Cantidad anual (kg)	Coste (€/kg)	Coste total (€)
Hidróxido sódico	1536480	0,64	983347
Silicato sódico	269280	0,89	239659
<b>Total</b>			<b>1223006</b>

En los últimos años los precios de los derechos de emisión del CO<sub>2</sub> a la atmósfera están experimentando una fuerte subida debido al gran impacto que supone para el medio ambiente. Por tanto, se tienen que tener en cuenta los gastos de estas emisiones (tabla 8.5).

**Tabla 8.5.** Coste anual de la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Precio emisión CO <sub>2</sub> (€/t CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> emitido (t CO <sub>2</sub> /t adoquín fabricado)	Adoquines fabricados (t/año)	Coste total (€/año)
23,29	0,014	4392	1432

El último gasto directo que hay que tener en consideración son las nóminas de los trabajadores relacionados directamente con la producción (tabla 8.6).

**Tabla 8.6.** Nóminas de los trabajadores de producción.

Tipo de trabajo	Nóminas (€/mes)	Nº trabajadores	Nóminas (€/año)
Operario de planta	1200	10	144000
Jefes de operarios	1500	1	18000
Ingenieros de planta	1400	3	50400
Jefe de ingenieros	1600	1	19200
Transportistas	1100	2	26400
<b>Total</b>		<b>16</b>	<b>258000</b>

En la tabla 8.7 se pueden ver los gastos directos de la planta industrial para 10 años.

**Tabla 8.7.** Gastos directos de la planta industrial para 10 años.

Año	Consumo energético (€)	Emisión de CO <sub>2</sub> (€)	Materias primas (€)	Nóminas (€)	Gastos directos (€)
2019	35124	1.432	1223006	258000	1517562
2020	35595	1.451	1239394	261457	1536446
2021	36072	1.471	1256002	264961	1557035
2022	36555	1.490	1272833	268511	1577899
2023	37045	1.510	1289889	272109	1599043
2024	37541	1.531	1307173	275756	1620470
2025	38044	1.551	1324689	279451	1642184
2026	38554	1.572	1342440	283195	1664189
2027	39071	1.593	1360429	286990	1686489
2028	39594	1.614	1378658	290836	1709088

Como se puede observar en la tabla 8.7 cada año los gastos indirectos son más elevados ya que se tiene en cuenta la inflación (IPC) que es de 1,34 %. La inflación también se tiene en cuenta para el cálculo de los gastos directos, los ingresos y los beneficios.

### 8.2.3.2 Gastos indirectos

Los gastos indirectos o fijos son los que no siendo imputables al producto, son necesarios para la producción.

Su cuantía dentro de ciertos límites, no depende de la cantidad producida. Los gastos indirectos considerados en este trabajo son las nóminas de los trabajadores de administración, el transporte de las materias primas y un consumo anual de agua, luz, telefonía, material de papelería y seguros.

Se va a englobar como un solo gasto indirecto al consumo de agua, luz, telefonía, material de papelería y seguros. Se ha estimado un gasto por trabajador de 200 euros al mes (tabla 8.8).

**Tabla 8.8.** Consumo anual de agua, luz, teléfono, material de papelería y seguros de la planta industrial.

Gasto/trabajador (€/mes)	Nº trabajadores	Gasto/trabajador (€/año)	Gasto total (€/año)
200	25	5000	60000

Un gasto indirecto que también hay que considerar son las nóminas de los trabajadores no relacionados con la producción, dichas nóminas varían en función del cargo del trabajador y se pueden ver en la tabla 8.9.

**Tabla 8.9.** Nóminas de los trabajadores.

Tipo de trabajo	Nóminas (€/mes)	Nº trabajadores	Nóminas (€/año)
Administrativo	1300	2	31200
Jefe administración	1600	1	19200
Operario de laboratorio	1400	3	50400
Jefe de laboratorio	1700	1	20400
Personal de limpieza	1000	2	24000
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>145200</b>

El último gasto indirecto que hay que tener en consideración es el transporte de las materias primas hasta la planta y el alquiler del camión de cenizas volantes en el cual se incluye el gasto de su vaciado hasta el silo mediante transporte neumático (tabla 8.10).

**Tabla 8.10.** Transporte de las materias primas y alquiler del camión de CV.

Transporte de las materias primas (€/año)	Alquiler del camión de CV(€/año)	Total (€/año)
45000	20000	65000

Una vez calculados los consumos energéticos anuales de agua, luz, telefonía, seguros y material de papelería (englobado en varios), las nóminas de los trabajadores y el transporte de las materias primas hasta la planta se pueden calcular los gastos indirectos de la planta industrial (tabla 8.11).

**Tabla 8.11.** Gastos indirectos de la planta industrial.

Año	Varios (€)	Nóminas (€)	Transporte materias primas (€)	Gastos indirectos (€)
2019	60000	145200	65000	270200
2020	60804	147146	65871	273821
2021	61619	149117	66754	277490
2022	62444	151116	67648	281208
2023	63281	153141	68555	284976
2024	64129	155193	69473	288795
2025	64989	157272	70404	292665
2026	65859	159380	71348	296587
2027	66742	161515	72304	300561
2028	67636	163680	73273	304588

## 8.2.4 Ingresos

Para el cálculo de los ingresos se ha utilizado el precio de adoquín necesario para obtener beneficios en la planta y para poder calcular el TIR del proyecto, este precio es de 1,37 €/adoquín. En la tabla 8.12 se pueden ver los ingresos de la planta industrial con la venta de los adoquines activados alcalinamente.

**Tabla 8.12.** Ingresos de la planta industrial.

Año	Ingresos (€/adoquín)	adoquines fabricados/año	Ingresos (€/año)
2019	1,37	1385489	1898120
2020	1,39	1385489	1923555
2021	1,41	1385489	1949330
2022	1,43	1385489	1975451
2023	1,44	1385489	2001922
2024	1,46	1385489	2028748
2025	1,48	1385489	2055933
2026	1,50	1385489	2083483
2027	1,52	1385489	2111402
2028	1,54	1385489	2139694

### 8.2.5 Beneficios

Los gastos totales se obtienen a partir de la suma de los gastos directos y de los gastos indirectos de la planta industrial. El beneficio bruto de la planta industrial se calcula restando los gastos totales a los ingresos. Los beneficios netos se han calculado restando un 25% de los beneficios brutos. En la tabla 8.13 se pueden ver los gastos, ingresos y beneficios de la planta industrial para diez años.

**Tabla 8.13.** Beneficios de la planta industrial.

Año	Gastos directos (€)	Gastos indirectos (€)	Gastos totales (€)	Ingresos (€)	Beneficios brutos (€)	Beneficios netos (€)
2019	1517562	270200	1787762	1898120	110358	82768
2020	1536446	273821	1810267	1923555	113288	84966
2021	1557035	277490	1834524	1949330	114806	86104
2022	1577899	281208	1859107	1975451	116344	87258

Año	Gastos directos (€)	Gastos indirectos (€)	Gastos totales (€)	Ingresos (€)	Beneficios brutos (€)	Beneficios netos (€)
2023	1599043	284976	1884019	2001922	117903	88428
2024	1620470	288795	1909265	2028748	119483	89612
2025	1642184	292665	1934849	2055933	121084	90813
2026	1664189	296587	1960776	2083483	122707	92030
2027	1686489	300561	1987050	2111402	124351	93263
2028	1709088	304588	2013677	2139694	126017	94513

### 8.2.6 Flujo de caja

El flujo de caja se calcula mediante la suma de los beneficios netos y la amortización. En la tabla 8.14 se puede observar el cálculo del flujo de caja de la planta industrial.

**Tabla 8.14.** Flujo de caja de la planta.

Año	Beneficios netos (€)	Amortización (€)	Flujo de caja (€)
2019	82768	79543	160012
2020	84966	79543	162292
2021	86104	79543	163405
2022	87258	79543	164533
2023	88428	79543	165677
2024	89612	79543	166835
2025	90813	79543	168009
2026	92030	79543	169199
2027	93263	79543	170405
2028	94513	79543	171627
<b>Sumatorio</b>			<b>1685187</b>



### 8.2.7 Valor actual neto

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador de la rentabilidad de un proyecto. Pueden darse tres casos:

1. VAN < 0: el proyecto no es rentable en un determinado período de tiempo.
2. VAN > 0: el proyecto es rentable, las ganancias superan a los costes.
3. VAN = 0: el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.

El valor actual neto (VAN) se calcula mediante la ecuación 8.1.

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1+i_r)^n} \quad (\text{Ecuación 8.1})$$

El cálculo del valor actual neto de la planta industrial se puede ver en la tabla 8.15. Este cálculo depende del flujo de caja de la planta industrial. La inversión inicial es de 1535008 €. El interés real ( $I_r$ ) se obtiene dividiendo el interés nominal (3%) entre el IPC (1,34%) y es de 2,24%.

**Tabla 8.15.** Cálculo del valor actual neto.

Año	Flujo de caja (€)	$(1+I_r)^n$	$FC/(1+I_r)^n$
2019	160012	1	162311
2020	162292	1,022	160905
2021	163405	1,045	158469
2022	164533	1,069	156076
2023	165677	1,093	153727
2024	166835	1,117	151420
2025	168009	1,142	149153
2026	169199	1,168	146928
2027	170405	1,194	144741
2028	171627	1,221	142594
Sumatorio			1526324
<b>VAN</b>			<b>- 8684</b>

Como se puede observar en la tabla 8.14 el valor actual neto de la planta industrial es negativo, con lo cual se puede decir que el proyecto no es rentable si se realiza el estudio a 10 años y se venden los adoquines al precio establecido.

### 8.2.8 Tasa interna de retorno

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. La tasa de retorno se calcula haciendo 0 el VAN, es decir igualando a cero la ecuación 9.2. Interesa realizar aquellos proyectos cuyo TIR sea superior al interés nominal del dinero (3%), y además cuanto mayor sea el TIR más viable es el proyecto.

$$-I_0 + \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1+i_r)^n} = 0 \quad \text{(Ecuación 9.2)}$$

La tasa interna de retorno de este proyecto es de 2,1 %, un poco por debajo del interés nominal del dinero, por lo tanto, se puede afirmar que el proyecto no es viable económicamente para el intervalo de tiempo en el que se han realizado los cálculos.

### 8.2.9 Periodo de retorno

El periodo de retorno (PR) es el tiempo que se necesita para recuperar la inversión inicial realizada en el proyecto y es un indicador de su liquidez.

Es el resultado del cociente entre la inversión total del proyecto y el promedio anual del flujo de caja (ecuación 9.3).

$$PR = \frac{\text{Inversión total}}{\text{FC promedio anual}} \quad \text{(Ecuación 9.3)}$$

En la tabla 8.16 se puede ver el periodo de retorno de la planta industrial.

**Tabla 8.16.** Periodo de retorno de la planta industrial.

FC promedio anual (€)	Inversión total (€)	Periodo de retorno (años)
168519	1535008	9,1

Como se puede ver en la tabla 8.16 en menos de 10 años la planta industrial habrá recuperado el dinero de la inversión realizada para su montaje y puesta en marcha.

## 9. Planificación

En este apartado se define la planificación de las obras e instalaciones necesarias en la planta industrial. El objetivo de la planificación es conseguir finalizar un proyecto en el tiempo requerido con los recursos disponibles.

La planificación permite tener una visión anticipada de cómo se llevará a término un proyecto, cuáles serán las actividades más complicadas y cuando se acabará el proyecto, entre otras cosas.

Una de las técnicas más usadas para elaborar la planificación de un proyecto es el diagrama de Gantt o de barras.

Para elaborar el diagrama de Gantt es necesario:

- Determinar las actividades en las que se divide el proceso y definir cuáles son las actividades principales.
- Estimar la duración efectiva de cada actividad.
- Representar gráficamente la duración de las actividades mediante barras rectas.
- Establecer las dependencias entre las actividades.
- Realizar una conversión de escala para ajustarse a una escala de los días de calendario.

Las diferentes actividades en las que se divide el proyecto son:

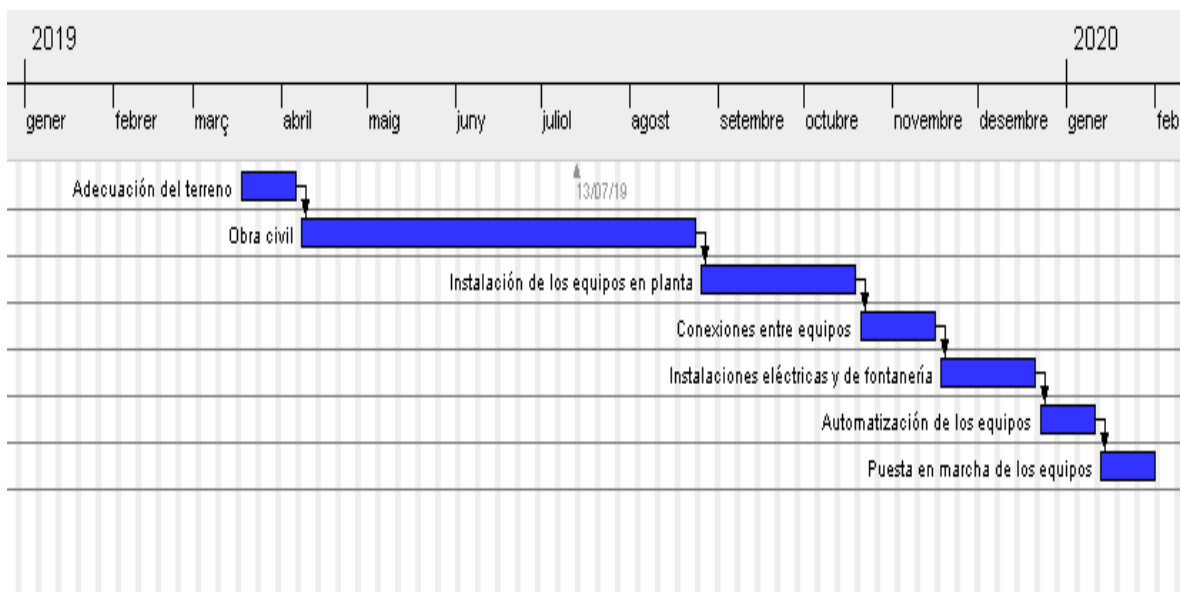
1. Adecuación del terreno
2. Obra civil
3. Instalación de los equipos en la planta.
4. Conexiones entre equipos.
5. Instalaciones eléctricas y de fontanería.
6. Automatización de los equipos.
7. Puesta en marcha de la instalación.

Para llevar a cabo estas actividades se trabajan 8 horas diarias de lunes a viernes. En la tabla 9.1 se pueden ver las diferentes actividades de la planta industrial y la duración de cada una de ellas. Todas las actividades se realizan de forma consecutiva y son dependientes de las anteriores. En el tiempo estimado para cada una de las actividades se han tenido en cuenta los posibles imprevistos que puedan surgir.

**Tabla 9.1.** Actividades de la planta industrial.

Tarea	Duración (días)
Adecuación del terreno	15
Obra civil	100
Instalación de los equipos en la planta.	40
Conexiones entre equipos.	20
Instalaciones eléctricas y de fontanería.	25
Automatización de los equipos.	15
Puesta en marcha de la instalación.	15

En la figura 9.1 se puede ver el diagrama de Gantt obtenido.



**Figura 9.1.** Diagrama de Gantt

Como se puede ver en el diagrama de Gantt y en la tabla 10.1 el tiempo estimado en la construcción de la planta industrial es de 230 días y la actividad más costosa es la obra civil (100 días).

## 10. Resultados finales

La planta diseñada cumple los objetivos fijados inicialmente de fabricar un producto de características técnicas similares a los adoquines existentes actualmente en el mercado y con un menor consumo de energía y menores emisiones de dióxido de carbono.

Con respecto a las características técnicas de los adoquines activados alcalinamente, la característica más importante que deben cumplir los adoquines es la carga de rotura transversal, como se puede ver en el apartado 6.2 los adoquines activados alcalinamente cumplen la norma más estricta para esta característica técnica, la cual es de 80 N/mm y se sobredimensionan en un 30 % de esa carga de rotura normativa.

Como se puede ver en la ecuación 6.1 la carga de rotura está directamente relacionada con la resistencia mecánica a flexión y con el espesor de los adoquines. Para conseguir una misma carga de rotura, cuanto mayor es la resistencia mecánica menor debe ser el espesor y viceversa.

Como se puede ver en la tabla 10.1 el espesor calculado del adoquín activado alcalinamente es mayor al espesor del adoquín cerámico. Esto es debido a que la resistencia mecánica de los adoquines cerámicos es superior a la de los adoquines activados alcalinamente y se pueden permitir un espesor más bajo con el cual siguen cumpliendo las tolerancias de carga de rotura transversal. En el caso de los adoquines de hormigón, como su resistencia mecánica es más baja para cumplir la normativa de carga de rotura transversal su espesor debe ser mayor.

Por lo tanto, se puede concluir que se ha fabricado un adoquín que cumple la norma de carga de rotura, y que tiene una resistencia mecánica y espesor medio entre los adoquines cerámicos y los de hormigón.

**Tabla 10.1.** Resistencia mecánica y espesor de los adoquines cerámicos, de hormigón y activados alcalinamente.

Tipo de adoquín	Resistencia mecánica a flexión (MPa)	Espesor (mm)
Cerámico	12	60
Hormigón	8	70
Activado alcalinamente	8,8	65,2

En referencia al consumo energético, se ha conseguido reducirlo con respecto a los productos actuales en el mercado, 9 veces con respecto al adoquín cerámico y 3 veces con respecto al de hormigón, al eliminar las etapas de cocción y obtención del clínker (tabla 10.2).

Con respecto a las emisiones de dióxido de carbono, el que mayores emisiones presenta es el adoquín de hormigón (un 45% mayores que el adoquín cerámico), debido sobre todo al empleo de combustibles sólidos y líquidos, con mayor emisión específica de CO<sub>2</sub>. Como era de esperar el producto de menores emisiones de CO<sub>2</sub> es el adoquín activado alcalinamente, 13 veces menores al del adoquín de hormigón y 9 veces menor al del adoquín cerámico (tabla 10.2).

**Tabla 10.2.** Consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> de los adoquines cerámicos, de hormigón y activados alcalinamente.

Tipo de adoquín	Consumo energético (kWh/t adoquín)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> /t adoquín)	Precio (€/adoquín)
Cerámico	630	0,127	0,78
Hormigón	225	0,187	0,48
Activado alcalinamente	70	0,014	1,37

Como se puede observar en la tabla 10.2 el precio de venta de los adoquines activados alcalinamente es dos veces el de los adoquines cerámicos y tres el de los de hormigón, aunque es un gasto asumible teniendo en cuenta las grandes reducciones energéticas y en emisiones que se consiguen.

Los costes más importantes del proceso de fabricación de los adoquines activados alcalinamente se deben principalmente al precio de los activadores alcalinos (hidróxido sódico y silicato sódico). Si se consiguiera reducir la cantidad de activador alcalino en la composición de los adoquines se reducirían drásticamente los costes y los adoquines se podrían vender a un precio menor. Para conseguirlo se puede reducir la relación líquido-sólido en la composición de los adoquines, sin embargo no se han hecho estudios para saber si con esa relación se obtienen las prestaciones mecánicas deseadas en los adoquines. Otra opción para disminuir la cantidad de activador alcalino en los

adoquines es reducir su espesor, sin embargo se reduciría su carga de rotura y podría no cumplir con la normativa.

Una acción para reducir el precio de venta de los adoquines es abaratar el coste de los activadores alcalinos para ello se podrían obtener las disoluciones, sobre todo de sosa, en la propia planta de fabricación del adoquín.

Otra alternativa para reducir el precio de fabricación de los adoquines activados es utilizar combustibles más baratos para el secado de los adoquines tales como; el carbón, el fuelóleo o el coque de petróleo, sin embargo, estos combustibles son más contaminantes y se producirían emisiones de CO<sub>2</sub> mayores.

En conclusión, en este proyecto se ha demostrado que se puede fabricar un tipo de adoquín alternativo a los cerámicos y de hormigón cumpliendo las normas de prestaciones mecánicas y con una clara reducción en el consumo energético y emisiones de CO<sub>2</sub> pero a un precio de venta del adoquín superior a los existentes.

## **11. Orden de prioridad entre los documentos básicos**

En base a la norma UNE-EN 157001:2014 el orden que tiene que seguir los documentos de un proyecto técnico es:

0. Introducción
1. Objetivo y campo de aplicación
2. Normas para consulta
3. Definiciones
4. Requisitos generales
5. Índice
6. Memoria
7. Anexos
8. Planos
9. Pliego de condiciones
10. Mediciones
11. Presupuesto





# **3. Anexos**

## Índice

1. Experimentación en el laboratorio.....	1
2. Cálculo de la potencia de las bombas para propulsar los activadores alcalinos.....	6
2.1 Cálculos generales.....	6
2.2 Cálculos para el hidróxido sódico.....	10
2.3 Cálculos para el silicato sódico.....	12
3. Catálogos.....	15
3.1 Trituradora de mandíbulas.....	15
3.2 Molino de martillos.....	15
3.3 Amasadora.....	16
3.4 Granalladora.....	17
3.5 Tanque de hidróxido sódico y silicato sódico.....	18
3.6 Tamizadora de las cenizas.....	19
3.7 Máquina pulidora.....	20
3.8 Carretilla elevadora.....	21
3.9 Palés.....	23
3.10 Bombas peristálticas.....	25
3.11 Válvulas de bola.....	26
3.12 Compresor de aire.....	27

## 1. Experimentación en el laboratorio

En la asignatura de prácticas externas se realizó un trabajo previo con 4 composiciones con distintos porcentajes de tiesto cocido (0-25%) tal y como se puede ver en la tabla 1.1, con la finalidad de estudiar su efecto sobre la carga de rotura y la densidad aparente, justificando los resultados obtenidos (tabla 1.2).

**Tabla 1.1.** Composiciones de las piezas realizadas en el laboratorio.

Referencia	Relación líquido/sólido	CV (%)	Tiesto cerámico (%)
C1	0,35	100,00	0,00
C2	0,35	75,00	25,00
C3	0,35	87,50	12,50
C4	0,35	93,75	6,25

**Tabla 1.2.** Densidad aparente y resistencia mecánica de las composiciones C1-C4.

Referencia	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia mecánica a flexión (MPa)
C1	1640 ± 0,013	7,3 ± 1,0
C2	1719 ± 0,007	7,4 ± 0,7
C3	1704 ± 0,010	7,8 ± 0,4
C4	1689 ± 0,011	8,8 ± 0,8

Los resultados obtenidos se han utilizado para elegir la composición con la cual se ha realizado el trabajo de diseño de la planta industrial, con el criterio de maximizar la resistencia mecánica de la muestra y mantener o aumentar su densidad con respecto a la no utilización de tiesto cerámico.

En los resultados obtenidos se vio que la resistencia mecánica presenta un máximo para valores del porcentaje de tiesto cerámico de aproximadamente el 6%. Al incrementarse el porcentaje de tiesto, la resistencia mecánica inicialmente aumenta (sobre un 50% respecto de la inicial) para, a partir de un porcentaje de tiesto cerámico de aproximadamente el 6% reducirse. Este hecho puede deberse a que inicialmente, para

pequeños porcentajes de árido, la mejora en el empaquetamiento y por tanto el aumento de la densidad aparente es el mecanismo dominante. Sin embargo, al aumentar la cantidad de árido se reduce la de las cenizas volantes, responsables del fraguado de la pieza, compensando el efecto del empaquetamiento y disminuyendo la resistencia mecánica.

Con respecto a la densidad aparente de las piezas, esta aumenta al aumentar la cantidad de tiesto cocido en la composición, esto es debido a dos motivos, el primero es que el tiesto tiene mayor densidad aparente que las cenizas volantes, por tanto, al aumentar la cantidad de tiesto cerámico en la composición también aumenta la densidad aparente de la misma. El segundo motivo de que aumente la densidad aparente de las piezas al aumentar el porcentaje de tiesto en la composición se debe a la mejora del empaquetamiento, la distribución de tamaño de partícula del tiesto es menor que la de las cenizas volantes con lo que esa diferencia de tamaños hace que mejore el empaquetamiento y la pieza tenga mayor densidad aparente.

Después del estudio de las características de las diferentes composiciones se ha llegado a la conclusión de que la composición que se va a utilizar para la producción de adoquines para pavimento urbano es la que presenta un porcentaje de tiesto del 6,25%. Esta composición es la que más resistencia mecánica a flexión ofrece para un tamaño de tiesto de 1000 micras. Se constató que, al reducir el tamaño del tiesto cocido, se pueden conseguir resistencias mecánicas más elevadas (tabla 1.3), sin embargo, los adoquines para pavimento urbano no necesitan una resistencia mecánica tan elevada. El hecho de no tener que reducir el tamaño de partícula del tiesto por debajo de las 1000 micras supone un ahorro en el gasto energético y una disminución del impacto ambiental.

**Tabla 1.3.** Tamaño del tiesto, densidad aparente y resistencia mecánica de las composiciones C4-C7.

Referencia	Tamaño del tiesto (micras)	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Resistencia mecánica a la flexión (MPa)
C4	1000	1689 ± 0,011	8,8 ± 0,8
C5	500	1703 ± 0,009	8,5 ± 0,3
C6	200	1689 ± 0,006	9,0 ± 1,0
C7	100	1697 ± 0,009	9,2 ± 1,4

Adicionalmente, se han realizado los siguientes ensayos sobre las piezas: eflorescencias, lixiviación y rehidratación.

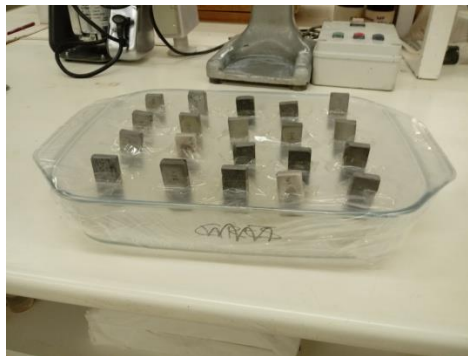
### **Eflorescencias**

El ensayo de eflorescencias consiste en comprobar la formación de estas en las piezas debidas a la cristalización de sales solubles (figura 1.1). Cuanto mayor es la cantidad de activador alcalino más eflorescencias se producen en las piezas.



**Figura 1.1.** Eflorescencias formadas en las piezas.

Para realizar el ensayo de eflorescencias se sumerge la mitad de las piezas en agua y se dejan reposar (figura 1.2). Este experimento se ha realizado de forma visual durante 7 días, en las cuales se ha ido observando la formación de eflorescencias.



**Figura 1.2.** Ensayo de eflorescencias.

### **Lixiviado**

Otro de los ensayos que se llevaron a cabo en las piezas fue el lixiviado, este ensayo es necesario ya que se están utilizando residuos como materia prima sólida (cenizas volantes y tiesto cerámico cocido) y esos residuos pueden lixiviar.

En la tabla 1.4 se pueden ver los valores máximos permitidos para diferentes tipos de residuos, los componentes que se recogen en la tabla son los que se han encontrado en las piezas caracterizadas en el laboratorio; el bario, el plomo y los sulfatos.

**Tabla 1.4.** Valores máximos permitidos para diferentes tipos de residuos en vertederos.  
Ensayo de lixiviado según norma de ensayo UNE-EN 12457-2.

Componente	Valores máximos permitidos ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )		
	Vertederos para residuos inertes	Vertederos para residuos no peligrosos	Vertederos para residuos peligrosos
Ba	20	100	300
Pb	0,5	10	50
$\text{SO}_4^{2-}$	1000	20000	50000

Los resultados del ensayo de lixiviado en las piezas han sido:

Bario (Ba)..... $33 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ )..... $418 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

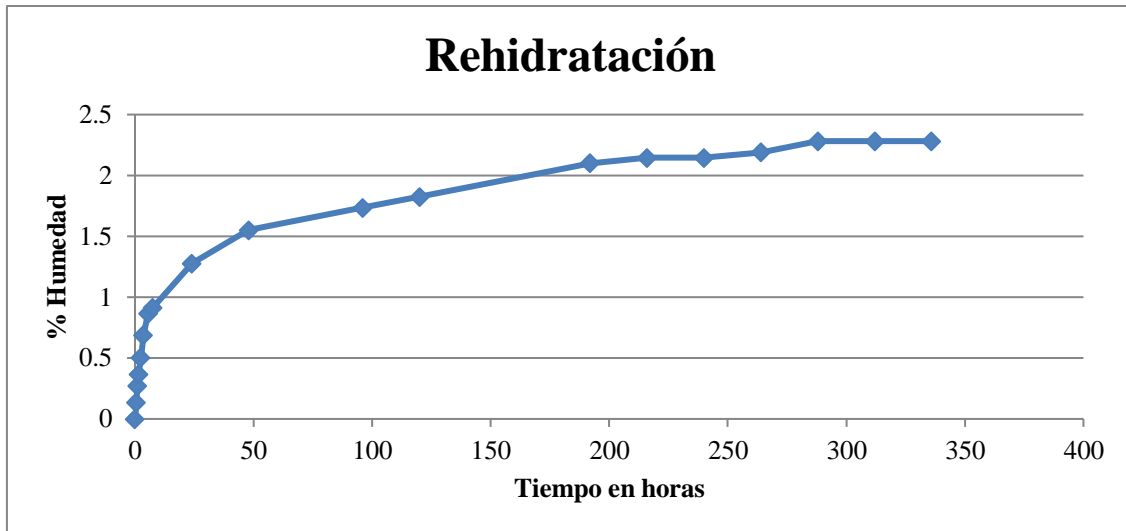
Plomo (Pb)..... $0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Como se puede comprobar las piezas no superan los valores máximos permitidos recogidos en la tabla 1.4.

### **Rehidratación**

Finalmente, en el laboratorio se llevó a cabo un ensayo de rehidratación que consiste en comprobar la absorción de humedad de las piezas. Para ello se calientan las piezas en una estufa a  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  en la cual se elimina toda su humedad, más tarde se dejan las piezas a la intemperie y se van pesando para calcular la humedad que van cogiendo.

La gráfica 1.1 muestra los resultados del experimento comentado anteriormente de forma más visual. Como se puede ver en dicha gráfica las masas van cogiendo humedad hasta llegar a una humedad máxima sobre el 2,3% en la cual se mantienen constantes.



**Gráfica 1.1.** Rehidratación de las piezas.

Este ensayo se ha llevado a cabo para descartar la posibilidad de secar los adoquines completamente (eliminar toda la humedad) ya que estos la vuelven a absorber hasta un 2,3 %. Por lo tanto se ha llegado a la conclusión de que no se necesita secar los adoquines una vez curados.



## 2. Cálculo de la potencia de las bombas para propulsar los activadores alcalinos

### 2.1 Cálculos generales

Para propulsar el hidróxido sódico y el silicato sódico a través de las conducciones sería necesario el uso de bombas. Sin embargo, como la distancia a la que se transportan los líquidos en la planta es pequeña es posible que no sea necesario su uso. Para conocer si es necesario o no se va a realizar un balance de energía mecánica entre el punto inicial (1) y el punto final (2) tal y como se puede ver en el esquema 2.1.



**Esquema 2.1.** Transporte de los líquidos desde el depósito hasta la amasadora.

Para realizar el balance de energía mecánica se va a utilizar la ecuación 2.1. Esta ecuación se utiliza en estado estacionario cuando hay una entrada (1) y una salida (2) para fluidos homogéneos, newtonianos e incompresibles que circulan en conducciones cilíndricas.

$$(z_2 - z_1) \times g + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{V_2^2}{2 \times \alpha_2} - \frac{V_1^2}{2 \times \alpha_1} + \Delta F = W \quad \text{(Ecuación 2.1)}$$

Donde:

$z_2$  = altura del punto de salida (m).

$z_1$  = altura del punto de entrada (m).

$g$  = gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>).

$p_2$  = presión en el punto de salida (Pa).

$p_1$  = presión en el punto de entrada (Pa).

$\rho$  = densidad fluido (kg/m<sup>3</sup>).

$V_2$  = velocidad del fluido a la entrada (m/s).

$V_1$  = velocidad del fluido a la salida (m/s).

$\alpha_2 = \alpha_1 = \text{constante}$ .

$\Delta F$  = pérdida de energía mecánica por unidad de masa (J/kg).

$W$  = trabajo por unidad de masa (J/kg).

Se va a suponer que no es necesario el uso de una bomba para propulsar el líquido, tanto en el caso del silicato sódico como del hidróxido sódico el tramo a calcular es horizontal por lo tanto las alturas ( $z$ ) son nulas y las velocidades del fluido son las mismas ya que el caudal y el diámetro no varían. Realizando las simplificaciones, la pérdida de energía mecánica por unidad de masa ( $\Delta F$ ) se reduce a la ecuación 2.2.

$$\Delta F = \frac{p_1 - p_2}{\rho} \quad \text{(Ecuación 2.2)}$$

La presión en el punto 2 es la atmosférica, sin embargo en el punto 1 la presión es la atmosférica más la ejercida por el líquido del depósito. La presión ejercida por un líquido en un depósito se calcula mediante la ecuación 2.3.

$$P_L = \rho \times g \times h \quad \text{(Ecuación 2.3)}$$

Donde:

$P_L$  = presión que ejerce un líquido en un depósito (Pa).

$\rho$  = densidad fluido ( $\text{kg/m}^3$ ).

$g$  = gravedad ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

$h$  = altura del nivel del líquido (m).

Realizando estas simplificaciones se obtiene la ecuación 2.4.

$$\Delta F = g \times h \quad \text{(Ecuación 2.4)}$$

Si la pérdida de energía por unidad de masa ( $\Delta F$ ) es mayor que la presión que ejerce el líquido ( $g \times h$ ) se puede considerar necesario el uso de una bomba. Si por el contrario la pérdida de energía por unidad de masa ( $\Delta F$ ) es menor que la presión que ejerce el líquido ( $g \times h$ ) no se necesita el uso de ninguna bomba ya que la presión que ejerce el líquido es suficiente para transportarlo a través de la conducción.

Como valor de la altura del líquido ( $h$ ) se ha utilizado la mitad de la altura del depósito ( $H$ ).

Para conocer el régimen de circulación del líquido por el interior de la conducción se calcula el número de Reynolds mediante la ecuación 2.5.

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} \quad \text{(Ecuación 2.5)}$$

Donde:

$Re$  = número de Reynolds.

$\rho$  = densidad fluido ( $\text{kg/m}^3$ ).

$D$  = diámetro conducción (m).

$V$  = velocidad del fluido (m/s).

$\mu$  = viscosidad del fluido ( $\text{kg/m} \times \text{s}$ ).

Si el Reynolds es inferior a 2100 el régimen es laminar, si es superior a 10000 es turbulento, si está entre 2100 y 4000 se dice que el régimen está en la zona crítica y si está entre 4000 y 10000 el régimen es de transición.

A su vez, la velocidad de circulación del fluido por el interior de la conducción ( $V$ ) se obtiene mediante la ecuación 2.6.

$$V = \frac{4 \times Q_L}{\pi \times D^2} \quad \text{(Ecuación 2.6)}$$

Donde:

$Q_L$  = caudal volumétrico de circulación del líquido ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$D$  = diámetro conducción (m).

La pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los fenómenos de rozamiento ( $\Delta F$ ) se produce tanto en los tramos rectos como en los accidentes. Para calcular la pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los tramos rectos ( $\Delta F_r$ ) en régimen laminar se usa la ecuación 2.7.

$$\Delta F_r = \frac{32 \times \mu \times V \times L}{\rho \times D^2} \quad \text{(Ecuación 2.7)}$$

Donde:

$\Delta F_r$  = pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los tramos rectos ( $\text{J/kg}$ ).

$\mu$  = viscosidad del fluido ( $\text{kg/m} \times \text{s}$ )

$V$  = velocidad de circulación del fluido (m/s).

L = longitud de la conducción (m).

$\rho$  = densidad fluido (kg/m<sup>3</sup>).

D = diámetro de la conducción (m).

Para calcular la pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los accidentes ( $\Delta F_a$ ) se usa la ecuación 2.8.

$$\Delta F_a = \sum K \times \frac{v^2}{2} \quad \text{(Ecuación 2.8)}$$

Donde:

$\Delta F_a$  = pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los accidentes (J/kg)

K = constante característica de cada accidente.

V = velocidad de circulación del fluido (m/s).

Por lo tanto la suma de las dos contribuciones de pérdida de energía mecánica por unidad da la total, tal y como se puede ver en la ecuación 2.9.

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a \quad \text{(Ecuación 2.9)}$$

Una vez realizados los cálculos se deben comparar los términos de la ecuación 2.9, existen dos casos posibles:

Si  $\Delta F < (g \times h)$  no hace falta el uso de ninguna bomba para propulsar el líquido a través de las conducciones.

Si  $\Delta F > (g \times h)$  sería necesario la instalación de una bomba para poder propulsar el líquido a través de las conducciones.

Si resulta que es necesario la instalación de la bomba se debe calcular cual es la potencia necesaria de la misma. Teniendo en cuenta esta consideración el balance simplificado lo daría la ecuación 2.10.

$$W = \Delta F - g \times h \quad \text{(Ecuación 2.10)}$$

Una vez obtenido el trabajo por unidad de masa (W), se calcula la potencia de la bomba mediante la ecuación 2.11.

$$w_t = W \times m \quad \text{(Ecuación 2.11)}$$

Donde:

W = trabajo por unidad de masa (J/kg)

m = caudal másico líquido (kg/s)

w<sub>t</sub> = potencia teórica necesaria de la bomba (W)

Esta potencia es la que debe recibir el fluido para poder circular, pero al comunicar dicha energía al fluido se puede perder parte de esta en las partes móviles de la bomba, por ello se debe calcular la potencia real de la bomba mediante la ecuación 2.12.

$$w_r = \frac{w_t}{\varphi} \times 100 \quad \text{(Ecuación 2.12)}$$

Donde:

w<sub>t</sub> = potencia teórica de la bomba (W).

w<sub>r</sub> = potencia real de la bomba (W).

φ = rendimiento de la bomba (%).

## 2.2 Cálculo para el hidróxido sódico

Para realizar los cálculos del transporte del hidróxido sódico a través de las conducciones es necesario conocer los datos iniciales.

H = 2,185 m

ρ = 1330 kg/m<sup>3</sup>

D = 0,015 m

h = 1,093 m

μ = 0,078 kg/m x s

m = 0,081 kg/s

Teniendo en cuenta las pérdidas el caudal másico de hidróxido sódico es de 318 kg/h, para obtener el caudal volumétrico se recurre a la ecuación 2.13.

$$Q_L = \frac{291 \frac{kg}{h}}{3600 \frac{s}{h} \times 1330 \frac{kg}{m^3}} = 6,08 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} \quad \text{(Ecuación 2.13)}$$

La velocidad de circulación del hidróxido sódico por el interior de las conducciones se calcula mediante la ecuación 2.6.

$$V = \frac{4 \times Q_L}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 6,08 \times 10^{-5}}{\pi \times 0,015^2} = 0,344 \text{ m/s}$$

Inicialmente se debe calcular el Reynolds mediante la ecuación 2.5.

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} = \frac{1330 \times 0,344 \times 0,015}{0,078} = 87,98$$

El régimen de circulación del hidróxido sódico por el interior de las conducciones es laminar.

La pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los fenómenos de rozamiento ( $\Delta F$ ) se produce tanto en los tramos rectos como en los accidentes. Para calcular la pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los tramos rectos ( $\Delta F_r$ ) en régimen laminar se usa la ecuación 2.7.

$$\Delta F_r = \frac{32 \times \mu \times V \times L}{\rho \times D^2} = \frac{32 \times 0,078 \times 0,344 \times 11,37}{1330 \times 0,015^2} = 32,62 \text{ J/kg}$$

Para calcular la pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los accidentes ( $\Delta F_a$ ) se usa la ecuación 2.8. Para dicho cálculo es necesario conocer las constantes características de cada accidente (K) las cuales se recogen en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Constantes características de los accidentes existentes en la conducción del hidróxido sódico.

Accidente	Valor de la constante característica (K)
Válvula de bola	0,17
Entrada de cantos vivos	0,5
Salida de cantos vivos	1
2 codos de 90° estándar	1,5
T estándar usada como codo	1
<b>Sumatorio</b>	<b>4,17</b>

$$\Delta F_a = \sum K \times \frac{V^2}{2} = 4,17 \times \frac{0,344^2}{2} = 0,25 \text{ J/kg}$$

Por lo tanto la suma de las dos contribuciones de pérdida de energía mecánica por unidad da la total, tal y como se puede ver en la ecuación 2.9.

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a = 32,62 + 0,25 = 32,87 \text{ J/kg}$$

El término de la presión ejercida por el líquido (g x h) da un total de 10,72 lo que es menor que la pérdida de energía mecánica ( $\Delta F$ ), por lo tanto no se puede propulsar el hidróxido sódico simplemente con la presión ejercida por el líquido y es necesario el

uso de una bomba. Se va a calcular la potencia necesaria de la bomba mediante la ecuación 2.10.

$$W = \Delta F - g \times h = 32,87 - 10,72 = 22,15 \text{ J/kg}$$

Una vez obtenido el trabajo por unidad de masa (W), se calcula la potencia de la bomba mediante la ecuación 2.11.

$$w_t = W \times m = 22,15 \times 0,081 = 1,79 \text{ w}$$

Esta potencia es la que debe recibir el fluido para poder circular, pero al comunicar dicha energía al fluido se puede perder parte de esta en las partes móviles de la bomba, por ello se debe calcular la potencia real de la bomba mediante la ecuación 2.12. Considerando un rendimiento de la bomba del 80 % se tiene:

$$w_r = \frac{w_t}{\varphi} \times 100 = \frac{1,79}{80} \times 100 = 2,24 \text{ w}$$

La potencia necesaria de la bomba impulsora del hidróxido sódico debe ser de 2,24 vatios.

### 2.3 Cálculo para el silicato sódico

Para realizar los cálculos del transporte del silicato sódico a través de las conducciones es necesario conocer los datos iniciales.

$$H = 2,185 \text{ m}$$

$$\rho = 1350 \text{ kg/m}^3$$

$$D = 0,015 \text{ m}$$

$$h = 1,093 \text{ m}$$

$$\mu = 0,150 \text{ kg/m} \times \text{s}$$

$$m = 0,014 \text{ kg/s}$$

Teniendo en cuenta las pérdidas el caudal másico de silicato sódico es de 56 kg/h, para obtener el caudal volumétrico se recurre a la ecuación 2.13.

$$Q_L = \frac{51 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} \times 1350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,05 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

La velocidad de circulación del silicato sódico por el interior de las conducciones se calcula mediante la ecuación 2.6.

$$V = \frac{4 \times Q_L}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1,15 \times 10^{-5}}{\pi \times 0,015^2} = 0,059 \text{ m/s}$$

Inicialmente se debe calcular el Reynolds mediante la ecuación 2.5.

$$Re = \frac{\rho \times V \times D}{\mu} = \frac{1350 \times 0,059 \times 0,015}{0,15} = 7,96$$

El régimen de circulación del silicato sódico por el interior de las conducciones es laminar.

La pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los fenómenos de rozamiento ( $\Delta F$ ) se produce tanto en los tramos rectos como en los accidentes. Para calcular la pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los tramos rectos ( $\Delta F_r$ ) en régimen laminar se usa la ecuación 2.7.

$$\Delta F_r = \frac{32 \times \mu \times V \times L}{\rho \times D^2} = \frac{32 \times 0,15 \times 0,059 \times 17,73}{1350 \times 0,015^2} = 16,53 \text{ J/kg}$$

Para calcular la pérdida de energía mecánica por unidad de masa debida a los accidentes ( $\Delta F_a$ ) se usa la ecuación 2.8. Para dicho cálculo es necesario conocer las constantes características de cada accidente (K) las cuales se recogen en la tabla 2.2.

**Tabla 2.6.** Constantes características de los accidentes existentes en la conducción del silicato sódico.

Accidente	Valor de la constante característica (K)
Válvula de bola	0,17
Entrada de cantos vivos	0,5
Salida de cantos vivos	1
2 Codos de 90° estándar	1,5
T estándar usada como codo	1
<b>Sumatorio</b>	<b>4,17</b>

$$\Delta F_a = K \times \frac{V^2}{2} = 4,17 \times \frac{0,059^2}{2} = 0,01 \text{ J/kg}$$

Por lo tanto la suma de las dos contribuciones de pérdida de energía mecánica por unidad da la total tal y como se puede ver en la ecuación 2.9.

$$\Delta F = \Delta F_r + \Delta F_a = 16,53 + 0,01 = 16,54 \text{ J/Kg}$$



El término de la presión ejercida por el líquido ( $g \times h$ ) da un total de 10,72 lo que es menor que la pérdida de energía mecánica ( $\Delta F$ ), por lo tanto no se puede propulsar el silicato sódico simplemente con la presión ejercida por el líquido y es necesario el uso de una bomba. Se va a calcular la potencia necesaria de la bomba mediante la ecuación 2.10.

$$W = \Delta F - g \times h = 16,54 - 10,72 = 5,82 \text{ J/kg}$$

Una vez obtenido el trabajo por unidad de masa ( $W$ ), se calcula la potencia de la bomba mediante la ecuación 2.11.

$$w_t = W \times m = 5,82 \times 0,014 = 0,08 \text{ w}$$

Esta potencia es la que debe recibir el fluido para poder circular, pero al comunicar dicha energía al fluido se puede perder parte de esta en las partes móviles de la bomba, por ello se debe calcular la potencia real de la bomba mediante la ecuación 2.12. Considerando un rendimiento de la bomba del 80 % se tiene:

$$w_r = \frac{w_t}{\varphi} \times 100 = \frac{0,08}{80} \times 100 = 0,10 \text{ w}$$

La potencia necesaria de la bomba impulsora del silicato sódico debe ser de 0,10 vatios.

### 3. Catálogos

#### 3.1 Trituradora de mandíbulas



#### Trituradora de mandíbulas serie PE

**TAMAÑO DE ALIMENTACIÓN:** 125-1200mm  
**CAPACIDAD:** 1 - 1100(Ton/H)  
**CATEGORÍA:** Trituradora primaria, Trituradora secundaria  
**PRECIO:** Cotización Rápida [Añadir a su escritorio](#)

La trituradora de mandíbulas también se llama trituradora de quijadas, la reducción de tamaño se consigue por compresión entre una placa fija y otra con movimiento excéntrico. consiste en la cámara de trituración por las placas de mandíbula dinámica y estática, para imitar el movimiento de dos mandíbulas de animales para completar operación de los materiales triturados. La trituradora de mandíbulas serie PE se destina principalmente al uso de la maquinaria de trituración primaria (trituración gruesa y media), La Trituradora de mandíbulas serie PE es la mejor

**DESEA COMPRAR**

opción para la trituración fuerte y de materias muy corrosivas con alta eficiencia.

Trituradora de mandíbulas serie PE utiliza ampliamente en industrias de minería, metalurgia, construcción, transportación, hidráulica y química, etc.

#### Componente y estructura de Trituradora de mandíbulas serie PE

Los componentes principales de Trituradora de mandíbulas serie PE son: armazón principal, placa móvil, placa fija, perno de ajuste, resorte, alerón lateral, placa de codo, placa de codo trasera, rueda de cinturón, volante, mandíbula móvil y eje excéntrico. Aquí es el diagrama de la estructura de la trituradora de mandíbulas serie PE:

#### Notas sobre de funcionamiento de trituradora de mandíbulas

La trituradora de mandíbula debe examinar cada parte de los sujetadores antes de usar, especialmente la parte lubricantes y los ministerios pernos. la que necesita mantener suficiente petróleo y los que debe fijar bien los pernos. Luego limpiar el resto de la cavidad roto, a continuación empezar a funcionar.

#### Trituradora de mandíbulas serie PE para Rocas, piedras o minerales

Trituradora de mandíbula serie PE puede romper todo tipo de metálicos y no metálicos minerales. las trituradoras de mandíbulas puede elaborar las piedras en las que son: Mármol, piedra caliza, piedras de granito,

#### 3.2 Molino de martillos

##### Molino de martillos

El Molino de Martillos marca PULVEX muele, tritura y destroza toda clase de productos por medio de una serie de martillos rotativos que impactan repetidamente el producto en su interior, reduciendo su tamaño hasta hacerlo pasar a través de una criba perforada. Misma que es intercambiable fácilmente para variar el tamaño de las partículas

##### CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO:

Consta de estructura muy robusta para trabajos pesados, un cuerpo bipartido con bisagras y clamps, tolva de carga con compuerta dosificadora, 20 martillos intercambiables, criba intercambiable, tolva de descarga de producto y portamartillos sobre eje con chumaceras reforzadas. Tienen buena ventilación en su interior y su diseño permite una fácil y rápida limpieza del equipo.



MM 200

CAPACIDADES: 50 A 3,000 KG/HR

MATERIALES:

ACERO AL CARBON

ACERO INOXIDABLE 304

ACERO INOXIDABLE 316

Modelos y características del modelo de martillos

MODELO	MOTOR	CÁMARA DE MOLIENDA (cm)	No. de martillos	TOLVA DE CARGA	PRODUCCIÓN KG/HR
MM 200	5	15x25 cm	18	30 cm	50 - 100
MM 300	15	40 x 60 cm	35	80 cm	300 - 500
MM 400	30	60 x 90 cm	75	120 cm	700 - 1000
MM 500	40	100x115 cm	125	200 cm	1200 - 1500
MM 600	50	120x150 cm	150	230 cm	2000 - 3000

## 3.3 Amasadora

MEZCLADORA BATCH / DE PALAS / LÍQUIDO-SÓLIDO / PARA LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA  
MR 600



Encontrar al distribuidor más cercano



DÓNDE COMPRAR

### Características

- |  |   |                                    |
|--|---|------------------------------------|
| ▪ Tecnología:<br>de palas                                    | ▪ Proceso de producción:<br>batch                                   | ▪ Aplicaciones:<br>líquido-sólido  |
| ▪ Ámbito de aplicación:<br>para la industria agroalimentaria | ▪ Otras características:<br>de 2 ejes, de acero inoxidable, cocedor | ▪ Capacidad:<br>595 l (157,18 gal) |

### Descripción

Capacidad de tolva de aprox. 595 litros  
Capacidad de mezcla aprox. 150 - 350 kg (según producto)  
Considerablemente en acero inox.  
2 ejes mezcladores, conectable independientemente con marcha adelante y atrás así como velocidades rápidas y lentas  
2 motores reductores de corriente trifásica, con 2 velocidades, cada uno de 2,6/3,2 kW  
Indicación digital para programar los intervalos (conmutación marcha adelante y marcha atrás) así como tiempo total de mezcla en una caja separada inoxidable  
2 salidas de tolva con una tapa de descarga común, accionadas neumáticas  
Plataforma de trabajo en acero inox., a la derecha (a petición a la izquierda)  
4 pies de alzamiento para altura de salida para carros cargador BW 200  
Numerosas opciones adicionales

### 3.4 Granalladora



#### Descripción del Producto

MODELO	CARGA MÁX	DIMENSIONES ÚTILES	
	Kg/m	L (mm)	H (mm)
SNP/400 TG		400	200
SNP/550 TG		550	450
SNP/850 TG	1000	850	450
SNP/850-4T TG	1000	850	450
SNP/1250 TG		1250	450

**Granalladoras** indicadas para el granallado de paso de piezas planas o de sección simple sin límites de longitud.

Las piezas son tratadas en la parte superior a 180°.

### 3.5 Tanques del hidróxido sódico y del silicato sódico

#### RAPQ

#### Tanques Verticales con Cubeto Retención

- El tanque de almacenamiento garantiza absoluta tranquilidad en la instalación a realizar, evitando costes de obra civil y organizando la instalación en una superficie menor. En estos casos la distancia entre paredes mojadas de los tanques es de 1 metro solamente.
- Pudiendo colocar uno al lado del otro, tanques que contengan productos que generen reactividad entre ellos, cumpliendo así con la normativa vigente.
- La altura de la retención tiene que ser con mínimo igual a la altura cilíndrica del tanque interno.
- Para su instalación solo precisan una superficie que sea plana y resistente.
- Fabricación de los cubetos de retención como tanques independientes.
- Se realiza plano para la instalación de accesorios.
- La normativa RAPQ exige disponer de un cubeto de seguridad, ya sea hecho de obra civil o con otro tanque que actúe como doble pared.
- Al igual que el tanque interior están fabricados en PEHD de alta resistencia de total inalterabilidad ante los productos más agresivos, ácidos, bases y todo tipo de líquidos corrosivos incluso en alta concentraciones.



#### Especificaciones Técnicas

	Volumen	Peso	Diámetro	Altura
Códigos	 Lt.	 Kg.	 mm.	 mm.
SQ-D14-1000-02	1000	54	1600	940
SQ-D14-1500-02	1500	83	1600	1450
SQ-D14-2000-02	2000	120	1850	1050
SQ-D14-3000-02	3000	120	1850	1550

### 3.6 Tamizadora de las cenizas



La tamizadora separadora móvil se usa esencialmente para separar partículas finas de granel respecto al tamaño especificado. Esta tamizadora separa las partículas en un grupo o más según la distribución definida de las mallas y las clasifica en el caso de que haya alguna propiedad asociada con el tamaño.

#### APLICACIONES

- Alimentación
- Alimentación animal
- Fertilizantes
- Productos químicos
- Medicamentos
- Materiales de construcción

#### DESCRIPCIÓN

Para que los granos caedan en contacto con el coladero lo máximo posible, el material a tamizar se somete al balanceo de una mesa vibrante. La tamizadora está equipada con un motor hacia arriba. Este sistema robusto y fácil de usar se construye de acuerdo con los requerimientos específicos del cliente.

#### CERTIFICADOS

La producción en fábrica se basa en las siguientes normas y directivas:

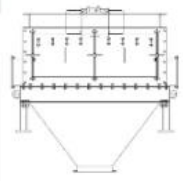
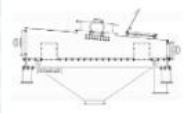
- CE 2006/42/EC (Directiva de maquinaria)
- CE 2011/92/EU (Directiva de bajas de presión)
- CE 2014/53/EU (Directiva de cables de presión)
- Productos eléctricos ATEX 2014/34/EU
- IMEDIC (Directiva de higiene)
- GPP (Buenas prácticas de fabricación)
- FDA (Administración de alimentación y medicina de Estados Unidos)
- EMC (Compatibilidad Electromagnética)

también tiene el certificado de calidad ISO 9001, el de medio ambiente ISO 14001, el de tecnología de soldadura y supervisión ISO 3834 & 14731 y el de control de tecnología 2006/42/EC.



#### CARACTERÍSTICAS

Composición:	carpa, tamices, motor
Materia:	Acero de carbono, acero duplex, acero resistente al desgaste, acero inoxidable
Superficie:	Perforado, cepillado, pulido, pulido espejo
Dimensiones:	1.400 x 1.500 x 1.400 mm
Forma del tamiz:	Rectangular
Tamaño del tamiz:	1.000 x 1.000 mm
Mallado del tamiz:	0.15 - 5.35 mm
Superficie del tamiz:	2 - 4 m <sup>2</sup>
Cantidad tamices:	1 - 3
Máquina vibrante:	1 unit
KW:	1.1
Frecuencia:	50 Hz



#### OPCIONALES

- Sensores de emergencia
- Sistema PLC (Controlador lógico programable)
- Control remoto
- Estructura y plataforma
- Válvulas neumáticas



## Diseño de una planta para fabricar adoquines mediante activación alcalina

Esta tabla está basada en las características estándar de la tamizadora separadora industrial e incluye los siguientes:

**Estructura:** pintada, acero de carbono S235JR  
**Cuerpo:** Acero inoxidable (1,4301)  
**Forma del tamiz:** Rectangular

**Superficie:** cepillado (fuera), pulido (dentro)  
**Máquina vibrante:** 1  
**Tamaño del malla:** 0.15 - 5.35 mm

Superficie Tamiz	Cantidad Tamiz	Cantidad Secciones	Dimensiones	Peso	Accionamiento
m <sup>2</sup>	Cantidad	Cantidad	altura/longitud (mm)	kg	kW
2	1	2	1.500 x 2.750	1.100	0.85

Asimismo además diseñamos los equipos según las especificaciones del cliente. Esto incluye la elección del material, de los modelos de accionamiento y cualquier otra opción deseada en el equipo.

Para más información vea por favor nuestro folleto o póngase en contacto con nosotros por favor. Estamos a su entera disposición.



### CERTIFICACIONES:

Nuestros equipos fabricados según las siguientes directivas y normativas internacionales:

- CE 2006/42/EC - Directiva sobre la Maquinaria
- CE 2014/25/UE - Directiva sobre la Equipos a Presión
- CE 2014/68/UE - Directiva sobre la Equipos a Presión
- Directiva ATEX 2014/28/UE
- EN ISO 9001:2015 - Sistema de Gestión de Calidad
- GMP (Buenas prácticas de Manufactura)
- Normativas de FDA
- EAC Normativas de conformidad Europeas/Asia

## 3.7 Máquina pulidora



[View larger image](#)



Add to Compare  Share

[Contact Supplier](#)

[Leave Messages](#)

Payment: [VISA](#) [MasterCard](#) [TT](#) [e-Checking](#) [Pay Later](#) [More](#) [v](#)

Shipping: [Alibaba.com Ocean Shipping Service from China to U.S](#)  
[Get shipping quote](#)

**Product Details**

**Company Profile**

[Report Suspicious Activity](#)

### Overview

#### Product Highlights

Type: tile surface polishing ma...  
 Production Capacity: 1.5 m/min  
 Power(W): 239.5

#### Specifications

Condition:	New	Tile Type:	Ceramic
Use:	Floor	Place of Origin:	Guangdong, China (Mainland)
Brand Name:	Kingoun	Model Number:	KS-JP 650-1200/20
Voltage:	100-450V	Dimension(L*W*H):	16230X2500-3100X2310
Weight:	31-35	polishing machine:	tile
Warranty:	1 YEAR	After-sales Service:	Engineers available to service machinery overseas

#### Packaging & Delivery

Packaging Details: Nude Packing in container  
 Port: FOSHAN  
 Lead Time: 30 days

## 3.8 Carretilla elevadora

### MODELOS DEL PRODUCTO

172828-EA	Carretilla eléctrica Jungheinrich EJC M10 ZT, elevación 2300 mm	Zona de elevación: 85 - 2300 mm	4.343,90 € / Unidad 3.909,51 € / Unidad	<input type="button" value="seleccionar:"/>
172829-EA	Carretilla eléctrica Jungheinrich EJC M10 ZT, elevación 2500 mm	Zona de elevación: 85 - 2500 mm	4.464,90 € / Unidad 4.018,41 € / Unidad	<input type="button" value="seleccionar:"/>
172830-EA	Carretilla eléctrica Jungheinrich EJC M10 ZT, elevación 2900 mm	Zona de elevación: 85 - 2900 mm	4.585,90 € / Unidad 4.127,31 € / Unidad	<input type="button" value="seleccionar:"/>

[Mostrar todos los modelos](#)

#### Descripción del artículo

#### Detalles técnicos

La EJC M10 ZT es el modelo más económico de acceso al segmento de las carretillas eléctricas Jungheinrich. Le ayuda a transportar cargas de hasta 1000 kg y a apilar palets hasta 3300 mm de altura. El apilador eléctrico sirve sobre todo para empresas pequeñas y medianas con necesidades ocasionales de transporte y almacenamiento. Diseñado para el movimiento de mercancías en interiores.

- Disponible con distintas alturas de elevación (2300, 2500, 2900, 3300 mm)
- De alto rendimiento y económica gracias al motor de tracción de corriente trifásica
- Desconexión automática inteligente tras 30 minutos sin uso
- Es muy maniobrable gracias a sus dimensiones compactas
- Mango de la barra timón ergonómico accesible desde ambos lados
- Batería de gel de plomo sin mantenimiento y cargador integrado

La carretilla eléctrica Jungheinrich EJC M10 ZT – capacidad de carga 1000 kg para usos ligeros de movimiento de mercancías internas.

La EJC M10 ZT se ha desarrollado especialmente para usarla en empresas pequeñas y medianas con necesidades ocasionales de transporte de mercancías. Su motor de 0,6 kW le asiste en el transporte de palets y bultos de hasta 1000 kg en recorridos cortos. El apilador eléctrico es ideal para el picking ocasional o para el apilado de palets hasta una altura de 3300 mm.

El mango ergonómico de la barra timón accesible desde ambos lados es de uso especialmente agradable. Podrá controlar todas las funciones de elevación y descenso cómodamente desde el cabezal multifunción de la barra timón y así se podrá concentrar por completo en las funciones de apilado o desapilado. Todos los instrumentos de control, como indicador de carga de batería, contador de horas de servicio, desconectador de emergencia y llave están en el centro y directamente a la vista.

Diversos dispositivos de seguridad proporcionan un manejo seguro de la carretilla eléctrica. La escasa distancia al suelo, de solamente 30 mm, reduce el riesgo de lesiones en los pies. Además, un carenado completo de la carretilla ofrece protección adicional. La reducida altura del chasis y la visión optimizada a través del mástil permiten que los usuarios más bajos también tengan en todo momento una visión óptima de las puntas de la horquilla.

Con su estructura compacta y longitud delantera reducida, la EJC M10 ZT es sumamente manejable y permite un uso seguro en los espacios más estrechos.

El apilador con barra timón lleva un mástil elevador telescópico doble. El mástil ZT o Simplex se eleva en 2 fases que se extienden directamente del propio mástil. Una elevación de 200 mm del carro portahorquillas genera un desplazamiento del mástil de 100 mm.

Es de destacar que la EJC M10 tiene una altura de construcción proporcionalmente baja incluso con grandes alturas de elevación, lo que es ideal con alturas de techo reducidas.

La carretilla eléctrica es especialmente eficiente en la gestión de la energía. Gracias a su tecnología de corriente trifásica sin mantenimiento y de alto rendimiento, se reducen los costes de explotación y se consiguen las mejores condiciones para trasladar mercancías de forma rápida y rentable. Los frenos por regeneración también ayudan a una gestión económica de la energía, gracias a la regeneración energética cuando se reduce la velocidad de marcha.

Al cabo de 30 minutos sin uso la carretilla se apaga automáticamente. Con este inteligente sistema automático de desconexión se cuida la batería.

La batería de gel de plomo sin mantenimiento y el cargador integrado facilitan un uso flexible. La batería se puede cargar cómodamente con cualquier enchufe de 230 V.

Aproveche el acceso económico al segmento de las carretillas eléctricas de Jungheinrich y adquiera la EJC M10 ZT con una capacidad de carga de 1000 kg para la altura de elevación deseada en nuestro surtido.

[Ver Detalles técnicos](#)



## Diseño de una planta para fabricar adoquines mediante activación alcalina

Zona de elevación	85 - 3300 mm
Elevación	3300 mm
Mástil de elevación	Mástil telescópico de doble (ZT)
Altura mástil de elevación	2115 - 3730 mm
Capacidad de carga	1000 kg
Centro de gravedad de la carga	600 mm
Longitud horquilla	1150 mm
Ancho total	800 mm
Longitud total	1685 mm
Ancho de pasillo	2103 mm
Distancia al suelo	30 mm
Potencia motor de elevación	2.2 kW
Velocidad de marcha con/sin carga	4,5 / 5 km/h
Radio de giro	1270 mm
Tensión de la batería	24 V/per unit
Capacidad de la batería	105 Ah/per unit
Material de la rueda de tracción	Elastómeros termoplásticos a base de uretano (TPU)
Material rodillo horquilla	Poliuretano (PU)
Color chasis	amarillo Jungheinrich
Peso propio incl. batería	634 kg
Superficie barra timón	revestido de polvo
Altura barra timón	1190 mm
Diámetro delantero de la rueda de tracción	230 mm
Superficie del chasis	revestido de polvo
Diámetro rodillo horquilla	80 mm
Equipamiento rodillos horquilla	Tándem
Ancho exterior sobre horquillas	540 mm
Elevación libre	100 mm
Velocidad de descenso con / sin carga	0,15 / 0,12 m/s
Modelo	Jungheinrich EJC M10 ZT
Capacidad de ascensión con/sin carga	4 / 10 %
Peso de la batería	52 kg
Desconexión automática sin uso	30 min
Potencia del motor de traslación	0.6 kW
Ancho horquilla	172 mm
Tracción	eléctrico
Botón de marcha lenta	sí
Nivel de intensidad acústica según EN 12 053 (para el conductor)	66 dB(A)
Capacidad de rampa	5 %
Ancho rodillo horquilla	70 mm
Ancho rueda adicional	50 mm
Ancho de rueda de tracción delantera	65 mm
Velocidad de elevación con / sin carga	0,12 / 0,22 m/s
Cargador	integrado
Diámetro rueda adicional	100 mm
Tipo de control de conducción	AC Speed Control
Freno	eléctrico
Manejo	A pie
Altura de horquilla	55 mm
Elemento de mando	con ambas manos
Color RAL barra timón	RAL 7016 gris antracita

## 3.9 Palés

### Resumen

Esta plataforma de madera de 1200 x 1000 mm es idónea para el transporte de mercancías en numerosos sectores industriales, incluidos los bienes de consumo, los alimentos frescos, el comercio minorista, la fabricación y la automoción.

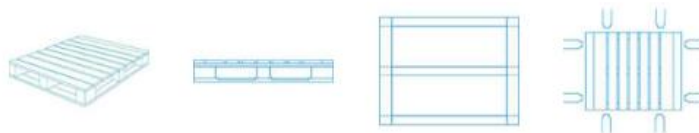
Este pallet puede utilizarse de forma segura en la mayoría de las aplicaciones de la cadena de suministro y transporte de Europa.

CHEP facilita 3 medidas estándar de pallet con el fin de responder a las necesidades de la cadena de suministro.



### Características y Beneficios

- Su construcción robusta reduce el riesgo de daños en el producto y aumenta la estabilidad de las cargas pesadas
- Su estabilidad dimensional incrementa la eficiencia operativa. Idónea para sistemas automáticos de producción y almacenaje
- El diseño de 4 entradas (4-way-entry) aumenta la eficiencia durante el almacenamiento y el transporte y asegura que pueda ser utilizado con todos los equipos normalizados
- Los materiales de alta calidad reducen los riesgos de seguridad e higiene del personal y aseguran que los pallets puedan manipularse de forma segura



## Especificaciones

[Cambiar a sistema imperial](#)

		Largo	Ancho	Alto
Dimensiones - en milímetros	Exterior	1200	1000	162
Ventana / Entrada del pallet - en milímetros	1200 mm lado		390.0	95.0
	1000 mm lado		357.0	120.0
Capacidad de carga nominal y peso	Tara			28 kg
Configuración y apilado	CHEP recomienda un peso máximo de 1.500 kg como carga de seguridad y no exceder de 6.000 kg cuando se apilen pallets cargados en una superficie sólida y lisa. Se pueden apilar hasta 40 pallets vacíos.			

## Notas:

### Materiales

**Madera:** de alta calidad, procedente de una selección exhaustiva y controlada

**Pintura:** a base de agua que cumple con la legislación europea pertinente

**Clavos:** estándar o de materiales que cumplen con la legislación europea sobre contenidos de metales pesados

### Manipulación

- Aprovechar completamente la superficie de la paleta
- Evitar la elevación por la parte inferior de los patines
- Colocar los pallets en rack debajo de los bloques exteriores

### Rendimiento y normas

Pallet de uso general que puede utilizarse de forma segura en la mayoría de las aplicaciones de la cadena de distribución y transporte de Europa.

### Aplicaciones y uso recomendado

Bienes de rápido consumo, bebidas, productos, hardware e industrias de la automoción

### 3.10 Bombas peristálticas



#### Serie F

Las [bombas peristálticas](#) de la serie F son ideales para la impulsión de pequeños caudales (hasta 2.000 l/h) a bajas presiones (máx 2 bar).

#### FUNCIONAMIENTO

Dos rodillos opuestos, en rotación, comprimen alternativamente un tubo. El retorno del tubo a la posición de reposo crea un vacío que provoca la aspiración del producto, el cual va avanzando, empujando por el rodillo siguiente (Ver imagen).

El tubo, es el único elemento de contacto con el líquido, por tanto, las partes mecánicas, o en movimiento, están totalmente aisladas del producto. TRASVASE, MEDICIÓN o DOSIFICACIÓN a través de un tubo.

#### VENTAJAS

- Volumétrica: excelente bomba dosificadora.
- Autocebante: no precisa válvula de pie.
- Sin válvulas ni sellado del eje: puede trasegar líquidos sucios y con sólidos, sin obturaciones ni desgastes.
- No emulsiona: ni crea turbulencias.
- Trabaja en seco: sin ningún riesgo ni desgaste del tubo.
- Reversible: con solo invertir el sentido de giro del motor.
- Bomba de Vacío: puede efectuar el vacío en presencia de productos agresivos.
- Bajo mantenimiento: por la duración de los tubos y su facilidad de sustitución.

#### CONSTRUCCIÓN

- Cuerpo / carter: Aleación de aluminio.
- Rodillo de presión: Nylatron.
- Bloque guía: Aluminio.
- Dispositivo de ajuste de la presión del rodillo: Placa de acero soldada.
- Conexiones: PTFE.
- Partes varias: Acero.
- Tratamiento: Pintado / Niquelado.

#### TUBOS

Los tubos se pueden suministrar en distintos materiales. Elija el más apropiado para trasegar su producto: Neopreno, Varpreno, Hypalon y Silicona

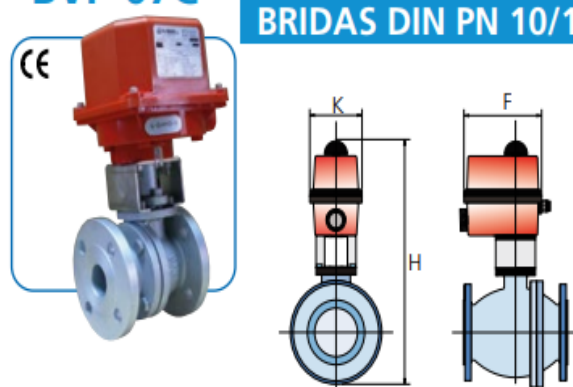
#### APLICACIONES

- Alimentación: Grasas, helados, melazas, miel, heces de vino, yogurt, sangre animal, queso fundido, etc.
- Tratamiento de aguas: Barros, aguas residuales, lechadas, sosa cáustica, excrementos, barros fundidos, etc.
- Química: Colorantes, látex, impermeabilizantes, betún, colas, barnices, etc.
- Cerámica y construcción: lechadas de cemento, hormigón, grafito, yeso, cuarzo, arcilla semilíquida, pasta de sílice, etc.
- Otras aplicaciones: Barros de carbón, antracita, jabones, champús, detergentes, cremas, perfumes, etc.

Modelo	Caudal l./h.	R.P.M.	CV	Peso (Kg)	Altura aspiración (m)	Altura impulsión (m)	BAR máximo
F1	30	23,3	0,12	8	5	15	1,5
	45	35	0,12	8	5	15	1,5
	60	46,6	0,12	8	5	15	1,5
	90	70	0,12	8	5	15	1,5
F2	110	40	0,25	12	5	15	1,5
	193	70	0,25	12	5	15	1,5
	386	140	0,25	12	5	15	1,5
F3	650	41	0,5	37	6	20	2
	1035	69	0,75	40	6	20	2
	1470	98	0,75	40	6	20	2
	2145	143	0,75	40	6	20	2

### 3.11 Válvulas de bola

**BVP-07C** **VÁLVULA DE BOLA PROINVAL ACTUADOR ELÉCTRICO BRIDAS DIN PN 10/16**



















**BVP-20**  
 ACTUADOR ELÉCTRICO PROINVAL  
 MONOFÁSICO 220V/50Hz - 24V AC/DC

**CARCASA:** PLÁSTICO.  
**REDUCTOR:** ACERO TRATADO.  
**EJE:** ACERO CROMADO.  
**LEVAS:** ACERO.  
 IP67.

MONOFÁSICO 220v / 50Hz					
DN	ACT.	H	F	K	Kgs.
15	UMS 220v	239	107	84	3,9
20	UMS 220v	247	107	84	4,2
25	UM1 220v	299	112	112	4,7
32	UM1 220v	315	112	112	8,5
40	UM1 220v	355	112	112	10
50	UM3 220v	396	165	165	13,2
65	UM3 220v	422	165	165	18
80	UM3 220v	472	165	165	23
100	UM3 220v	507	165	165	34,5
125	UM4 220v	640	173	165	58,5
150	UM5 220v	714	173	165	76,5

### 3.12 Compresor de Aire

																
	lT	volt	n.	hp	kw	l/min	dm	bar	psi	n.	n.	rpm	dB-A	cm	kg	
<b>GG 630</b>	500	400	3	5,5	4	653	23	10	145	2	2	1370	78	60x198x125	250	
<b>GG 650</b>	500	400	3	7,5	5,5	827	29,2	10	145	2	2	1450	78	60x198x130	270	
<b>GG 660</b>	500	400	3	10	7,5	1210	42,7	10	145	2	2	1300	78	60x198x137	298	
<b>GG 960</b>	500	400	3	15	11	1390	48,6	10	145	2	2	1100	79	60x198x145	345	
<b>GG 970</b>	500	400	3	20	15	2250	79,5	10	145	2	1	1570	79	60x198x170	430	
<b>GG 640</b>	1000	400	3	7,5	5,5	827	29,2	10	145	2	2	1450	78	80x220x158	320	
<b>GG 670</b>	1000	400	3	10	7,5	1210	42,7	10	145	2	2	1300	78	80x220x168	356	
<b>GG 940</b>	1000	400	3	15	11	1390	48,6	10	145	2	2	1100	79	80x220x198	386	
<b>GG 950</b>	1000	400	3	20	15	2250	79,6	10	145	4	2	900	78	80x220x198	465	
<b>GG 6200</b>	270	400	3	5,5	4	560	19,8	15	217	2	2	1100	77	60x150x145	172	
<b>GG 6210</b>	270	400	3	7,5	5,5	750	26	15	217	2	2	1100	78	60x150x145	186	
<b>GG 6220</b>	500	400	3	7,5	5,5	750	26	15	217	2	2	1000	78	60x198x130	310	
<b>GG 6623</b>	500	400	3	10	7,5	1100	39,5	15	217	2	2	1000	79	60x198x137	345	
<b>GG 700</b>	500	400	3	44	6	952	33,6	10	145	2	1	1450	82	60x198x110	275	
<b>GG 690</b>	500	400	3	5,5	5,5	8	1306	46	10	145	2	2	1370	83	60x198x125	309
<b>GG 710</b>	500	400	3	7,5	7,5	11	1654	58,4	10	145	2	2	1450	83	60x198x130	330
<b>GG 850</b>	500	400	3	10	10	15	242	85,4	10	145	2	2	1300	85	60x198x137	359
<b>GG 930</b>	1000	400	3	5,5	5,5	8	1306	46	10	145	2	2	1370	83	80x220x158	410
<b>GG 720</b>	1000	400	3	7,5	7,5	11	1654	58,4	10	145	2	2	1450	83	80x220x163	425
<b>GG 730</b>	1000	400	3	10	10	15	2420	85,4	10	145	2	2	1300	85	80x220x168	468
<b>GG 420</b>	1000	400	3	15	15	22	2780	97,2	10	145	2	2	1100	82	80x220x177	515

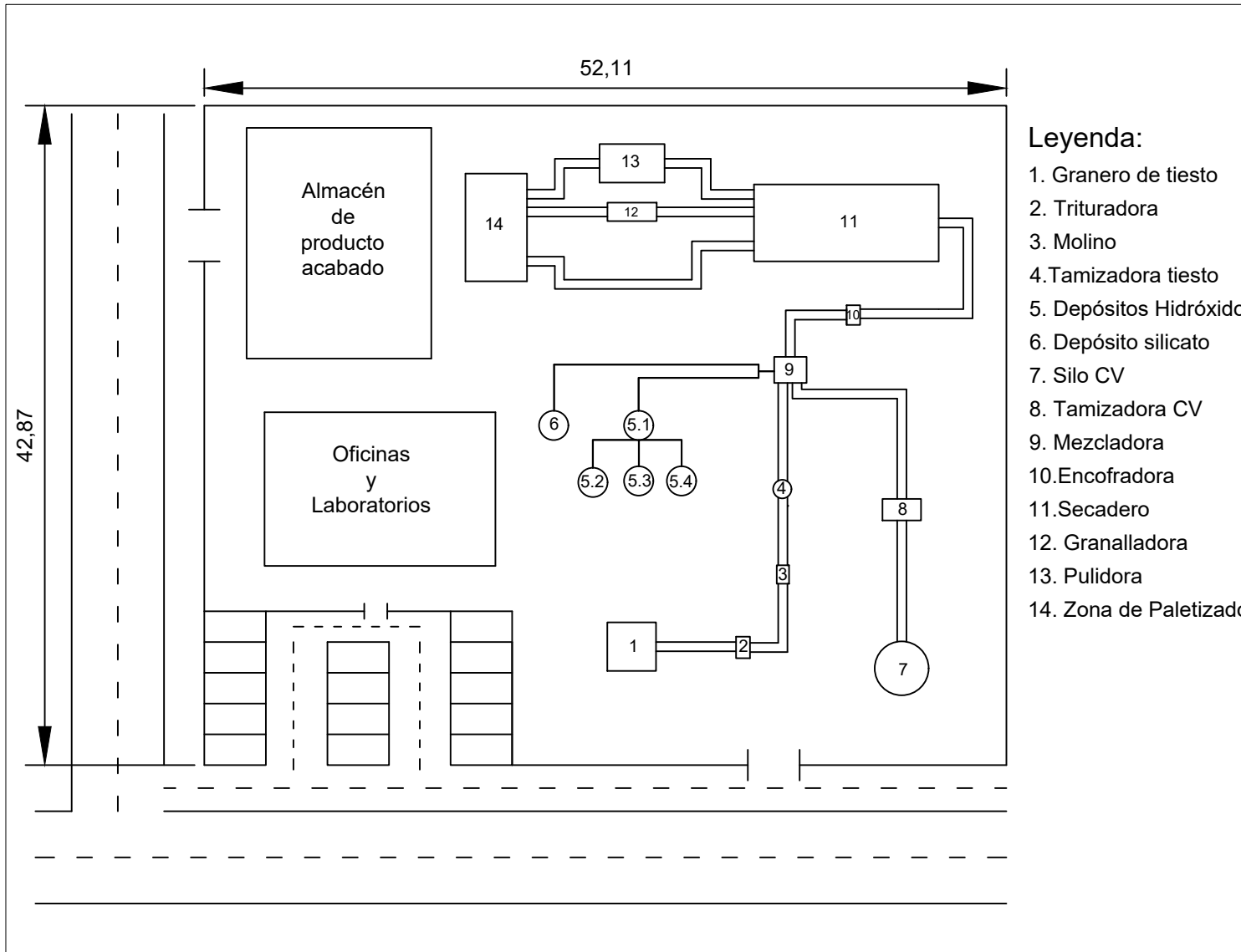


# 4. Planos




## Índice

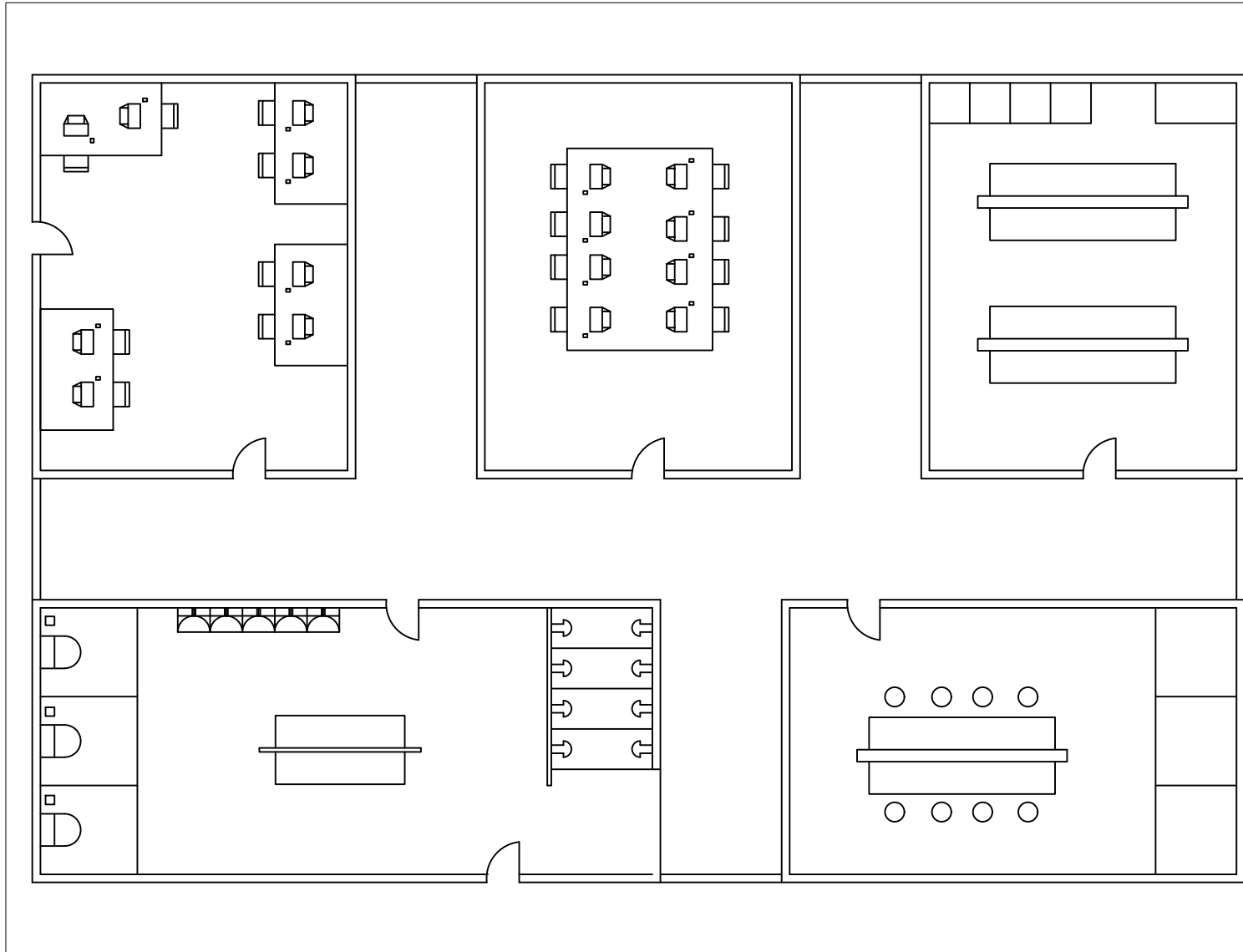
1. Distribución en planta.....	1
2. Oficinas, laboratorios y baños.....	2
3. Almacén de producto acabado.....	3




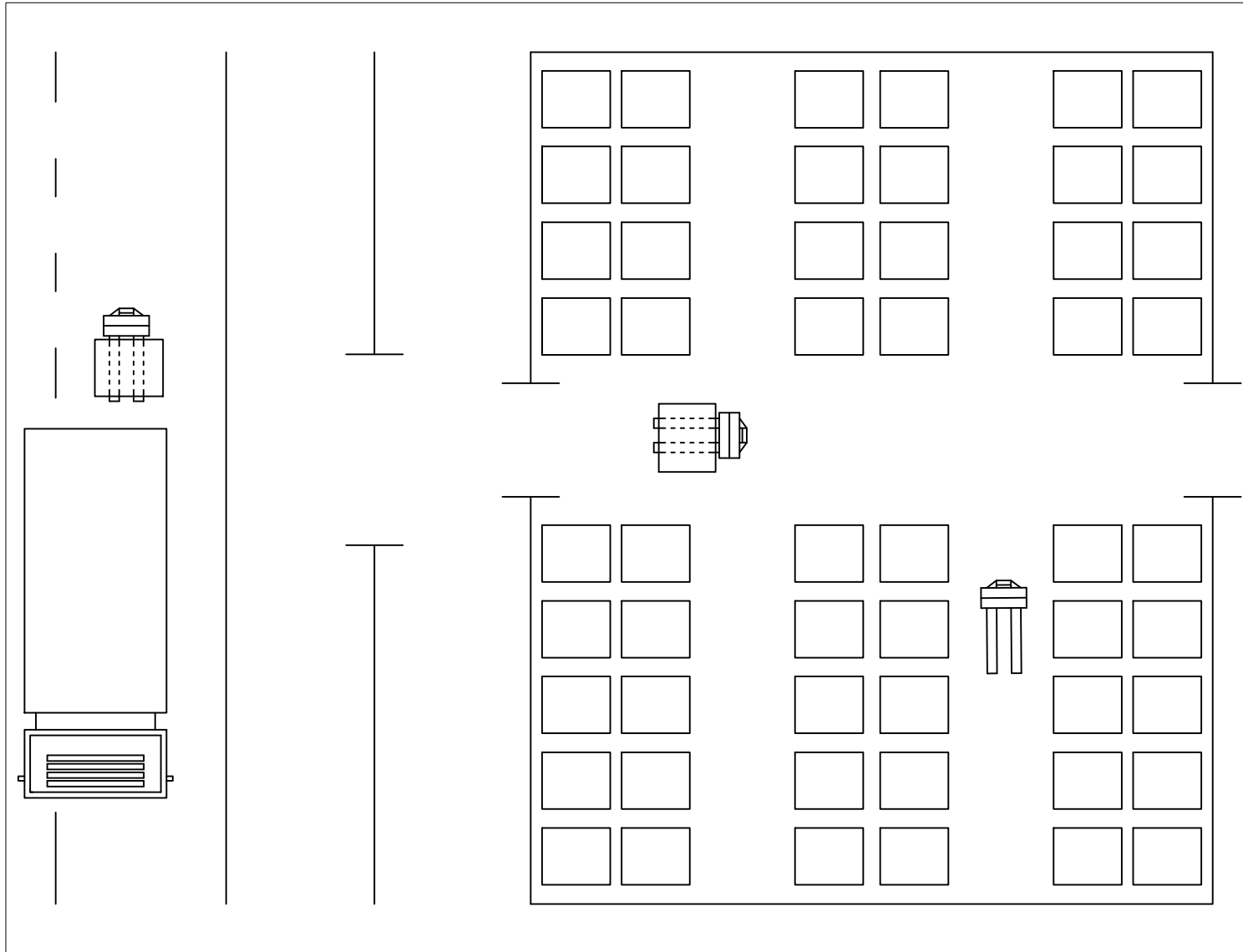
**Leyenda:**


- 1. Granero de tiesto
- 2. Trituradora
- 3. Molino
- 4. Tamizadora tiesto
- 5. Depósitos Hidróxido
- 6. Depósito silicato
- 7. Silo CV
- 8. Tamizadora CV
- 9. Mezcladora
- 10. Encofradora
- 11. Secadero
- 12. Granalladora
- 13. Pulidora
- 14. Zona de Paletizado

Razón <b>TFG</b>	Escala <b>1:200</b>	Título <b>Distribución en planta</b>	
	Unidades <b>m</b>		
 UNIVERSITAT JAUME I	Vista <b>Planta</b>	Autor <b>Martín Fabregat Miguel</b>	Nº Plano <b>1</b>



Razón <b>TFG</b>	Escala <b>1:50</b>	Título <b>Oficinas, laboratorios y baños</b>	
	Unidades <b>m</b>	Autor <b>Martín Fabregat Miguel</b>	Nº Plano <b>2</b>
 UNIVERSITAT JAUME I	Vista <b>Planta</b>		



Razón <b>TFG</b>	Escala <b>1:70</b>	Título <b>Almacén de producto acabado</b>	
	Unidades <b>m</b>	Autor <b>Martín Fabregat Miguel</b>	Nº Plano <b>3</b>
 UNIVERSITAT JAUME I	Vista <b>Planta</b>		



# **5. Pliego de condiciones**

## Índice

1. Pliego de condiciones generales.....	1
1.1 Disposiciones generales.....	1
1.1.1 Objetivo del pliego de condiciones.....	1
1.1.2 Contrato de obra.....	1
1.1.3 Documentación del contrato de obra.....	1
1.1.4 Reglamentación urbanística.....	2
1.1.5 Formalización del contrato de obra.....	2
1.1.6 Jurisdicción competente.....	2
1.1.7 Responsabilidad del contratista.....	3
1.1.8 Accidentes en el trabajo.....	3
1.1.9 Daños y perjuicios a terceros.....	3
2. Pliego de condiciones facultativas.....	4
2.1 Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación.....	4
2.2 Referentes al promotor.....	4
2.3 Referentes al proyectista.....	4
2.4 Referentes al constructor o contratista.....	5
2.5 Referentes al director de la obra.....	5
2.6 Referentes al director de la ejecución de la obra.....	5
2.7 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación.....	6
2.8 Los suministros de productos.....	6
3. Pliego de condiciones económicas.....	7
3.1 Definición.....	7
3.2 Contrato de obra.....	7
3.3 Criterio general.....	8
3.4 Fianzas.....	8

3.5 Precios.....	8
3.6 Obras por administración.....	8
3.7 Indemnizaciones mutuas.....	9
3.7.1 Indemnizaciones por retraso del plazo de fin de obras.....	9
3.7.2 Indemnización por demora de los pagos por parte del Promotor.....	9
3.8 Retenciones en concepto de garantía.....	9
3.9 Pazos de ejecución.....	10
3.10 Liquidación económica de las obras.....	10
3.11 Liquidación final de la obra.....	10
4. Pliego de condiciones legales.....	11
5. Pliego de condiciones técnicas.....	12
5.1 Condiciones técnicas generales.....	12
5.2 Condiciones técnicas particulares.....	12
5.2.1 Referente a los materiales.....	12
5.2.1.1 Garantías de calidad.....	13
5.3 Prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado.....	14
5.4 Condiciones técnicas de los equipos.....	16
5.4.1 Ámbito de la aplicación.....	16
5.4.2 Especificaciones de la instalación eléctrica.....	16
5.4.3 Especificaciones de la instalación de fontanería.....	17
5.4.4 Instalación de la maquinaria.....	17



## **1. Pliego de condiciones generales**

El pliego de condiciones establece las condiciones técnicas, económicas, administrativas, facultativas y legales para que el objeto del proyecto pueda materializarse. El pliego de condiciones del presente proyecto se ha realizado a partir de la información suministrada en el CTE (código técnico de la edificación) aprobado mediante el real decreto 314/2006, de 17 de marzo, el proyecto definirá las obras proyectadas con el detalle adecuado a sus características, de modo que pueda comprobarse que las soluciones propuestas cumplen las exigencias básicas del CTE y demás normativas aplicables.

### **1.1 Disposiciones generales**

El presente pliego de condiciones tiene por finalidad regular la ejecución de las obras fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, según el contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al promotor, al contratista o constructor de la misma, sus técnicos y encargados, al arquitecto y al aparejador o arquitecto técnico y a los laboratorios y entidades de control de calidad, así como las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

#### **1.1.1 Objetivo del pliego de condiciones**

El objeto del Pliego de Condiciones, es el de determinar los criterios de la relación establecida entre los agentes que intervendrán en las obras definidas en el proyecto y servir de guía para la realización del contrato de obra entre el Promotor y Contratista.

#### **1.1.2 Contrato de obra**

El presente contrato de obra, tiene por objetivo la construcción de una planta de geopolímeros para fabricar adoquines. Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. El Director de Obra ofrecerá la documentación necesaria para su realización.

#### **1.1.3 Documentación del contrato de obra**

A continuación, se enumeran en orden de prioridad, los documentos que componen el contrato de obra a fin de evitar posibles interpretaciones:

- Pliego de Condiciones.

- Documentación gráfica y escrita del Proyecto: memoria, planos, anexos, mediciones y presupuesto.

Si existieran diferentes interpretaciones, prevalecen las especificaciones fijadas en el presente documento.

#### **1.1.4 Reglamentación urbanística**

La obra a realizar, se ajustará a las limitaciones aprobadas por los organismos competentes, especialmente a lo que se refiere a volúmenes, alturas, emplazamientos y ocupación del solar, así como a todas las modificaciones del Proyecto que pueda exigir la Administración para que este se ajuste a las Ordenanzas y Normas vigentes.

#### **1.1.5 Formalización del contrato de obra**

Los Contratos de Obra, se formalizarán mediante un documento privado entre las partes interesadas. Dicho documento podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes intervinientes.

Estos contratos contendrán:

- La comunicación de la adjudicación.
- La copia del recibo de depósito de la fianza, en caso de haber fianza.
- La cláusula en la que se exprese que el Contratista se obliga al cumplimiento estricto del contrato de obra, conforme a lo previsto en el Proyecto.

El Contratista, antes de la formalización del contrato de obra, dará también su conformidad con la firma del Pliego de Condiciones, los Planos, Cuadro de Precios y Presupuesto General.

Serán a cuenta del Adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne al Contratista.

#### **1.1.6 Jurisdicción competente**

En caso de existir desacuerdos entre las partes, ambas quedan obligadas a someter a discusión las diferencias a las Autoridades y Tribunales Administrativos con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese ubicada la obra.

### **1.1.7 Responsabilidad del contratista**

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto.

En consecuencia, quedará obligado a la demolición y reconstrucción de todas las unidades de obras deficientes o mal ejecutadas, sin que pueda servir de excusa el hecho de que la Dirección Facultativa haya examinado y reconocido la construcción durante sus visitas de obra, ni que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

### **1.1.8 Accidentes en el trabajo**

Es de obligado cumplimiento el Real Decreto 1627/1 997, del 24 de Octubre, por el que se establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción y demás legislación vigente que, tanto directa como indirectamente inciden sobre la planificación de la seguridad y salud en el trabajo de construcción, conservación y mantenimiento de edificios. Es responsabilidad del Coordinador de Seguridad y Salud, en virtud del Real Decreto 1627/97, el control y seguimiento, durante toda la ejecución de la obra, del Plan de Seguridad y Salud redactado por el Contratista.

### **1.1.9 Daños y perjuicios a terceros**

El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sucedieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas o colindantes. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera lugar, y de todos los daños y perjuicios que puedan ocasionarse en las operaciones de ejecución de obra.

Asimismo, el Contratista será responsable de los daños y perjuicios, directos o indirectos que puedan ocasionarse a terceros como consecuencia de la obra, tanto en ella como en sus alrededores, incluso en los que se produzcan por omisión o negligencia del personal a su cargo, así como de los que se deriven de los subcontratistas e industriales que intervengan en la obra. Es de su responsabilidad mantener vigente durante la ejecución de los trabajos una póliza de seguros frente a terceros, en la modalidad de “Todo riesgo al derribo y la construcción”, suscrita por una compañía aseguradora con la suficiente solvencia para la cobertura de los trabajos contratados. Dicha póliza será aportada y ratificada por el Promotor o Propiedad, no pudiendo ser cancelada mientras no se firme el Acta de Recepción Provisional de la obra.

## **2. Pliego de condiciones facultativas**

### **2.1 Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación**

Las atribuciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas por la Ley 38/99 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.). Se definen agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación.

Sus obligaciones quedan determinadas por lo dispuesto en la L.O.E. y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

### **2.2 Referentes al 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.

El promotor debe 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.

### **2.3 Referentes al 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.

#### **2.4 Referentes al constructor o contratista**

Es el agente que asume, contractualmente ante el Promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al Proyecto y al Contrato de obra. Es el responsable explícito de los vicios o defectos constructivos, sin perjuicio del derecho de repetición de este hacia los subcontratistas.

#### **2.5 Referentes al director de la obra**

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas, y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

Podrán dirigir las obras de los proyectos parciales otros técnicos, bajo la coordinación del Director de Obra.

#### **2.6 Referentes al director de la ejecución de la obra**

Es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la Ejecución Material de la Obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y calidad de lo instalado.

Para ello es requisito indispensable el estudio y análisis previo del proyecto de ejecución una vez redactado por el Ingeniero, procediendo a solicitarle, con antelación al inicio de las obras, todas aquellas aclaraciones, subsanaciones o documentos complementarios que, dentro de su competencia y atribuciones legales, estimara necesarios para poder dirigir de manera correcta la ejecución de las mismas.

## **2.7 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación**

Son entidades de control de calidad de la instalación aquellas capacitadas para prestar asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable. Son laboratorios de ensayos para el control de calidad de la instalación los capacitados para prestar asistencia técnica, mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de la obra.

## **2.8 Los suministros de productos**

Se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción para la instalación.

Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra, incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

### **3. Pliego de condiciones económicas**

#### **3.1 Definición**

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, Promotor y Contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

#### **3.2 Contrato de obra**

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.

### **3.3 Criterio general**

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.

### **3.4 Fianzas**

El Contratista presentará una fianza con arreglo al procedimiento que se estipule en el contrato de obra.

### **3.5 Precios**

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construcción de la obra. Se descompone el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y en base a esos precios, se calcula el presupuesto.

### **3.6 Obras por administración**

Se denominan "Obras por administración" aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el Promotor, bien por sí mismo, por un representante suyo o por mediación de un Contratista. Las obras por administración se clasifican en dos modalidades:

- Obras por administración directa.
- Obras por administración delegada o indirecta. Según la modalidad de contratación, en el contrato de obra se regulará:



- Su liquidación.
- El abono al Contratista de las cuentas de administración delegada.
- Las normas para la adquisición de los materiales y aparatos.
- Responsabilidades del Contratista en la contratación por administración en general y, en particular, la debida al bajo rendimiento de los obreros.

### **3.7 Indemnizaciones mutuas**

#### **3.7.1 Indemnización por retraso del plazo de fin de obras**

Si, por causas imputables al Contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el Promotor podrá imponer al Contratista, con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

#### **3.7.2. Indemnización por demora de los pagos por parte del Promotor**

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

### **3.8 Retenciones en concepto de garantía**

Del importe total de las certificaciones se descontará un porcentaje, que se retendrá en concepto de garantía.

Este valor no deberá ser nunca menor del cinco por cien y responderá de los trabajos mal ejecutados y de los perjuicios que puedan ocasionarle al Promotor.

Esta retención en concepto de garantía quedará en poder del Promotor durante el tiempo designado como periodo de garantía, pudiendo ser dicha retención, "en metálico" o mediante un aval bancario que garantice el importe total de la retención.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La fianza retenida en concepto de garantía será devuelta al Contratista en el plazo estipulado en el contrato, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas atribuibles a la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros o subcontratos.

### **3.9 Plazos de ejecución**

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un Planning de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes.

### **3.10 Liquidación económica de las obras**

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el Promotor y el Contratista.

En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, los manuales, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la Normativa Vigente, así como los proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas.

Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las obras, para lo cual será conformada por el Promotor, el Contratista, el Director de Obra y el Director de Ejecución de la Obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del Promotor.

La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las Disposiciones Generales del presente Pliego.

### **3.11 Liquidación final de la obra**

Entre el Promotor y Contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta solo mediará en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

#### 4. Pliego de condiciones legales

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.

- La rescisión, si se produjera, se regirá por el Reglamento General de Contratación para Aplicación de la Ley de Contratos de Estado, por el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales y demás disposiciones vigentes. Serán causas suficientes de rescisión las siguientes:

- Muerte o incapacidad del Contratista.

- Quiebra del Contratista.

- Alteraciones del contrato por modificación del proyecto, variación en las unidades de obra, incumplimiento de contrato o abandono o suspensión de la obra sin causa justificada.

La formalización del contrato se verificará por documento privado con el compromiso por ambas partes, Propiedad y Contratista de elevarlo a Documento Público a petición de cualquiera de ellos, como complemento del Contrato, los Planos y demás documentos del Proyecto irán firmados por ambos.

## **5. Pliego de condiciones técnicas**

### **5.1 Condiciones técnicas generales**

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.

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.

En los materiales y equipos con garantía propia, se trasladará la garantía que concede el fabricante.

### **5.2 Condiciones técnicas particulares**

#### **5.2.1 Referente a los materiales**

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.

#### **5.2.1.1 Garantías de calidad**

El término producto de construcción queda definido como cualquier producto fabricado para su incorporación, con carácter permanente, a las obras de edificación e ingeniería civil que tengan incidencia sobre los siguientes requisitos esenciales:

- Resistencia mecánica y estabilidad.
- Higiene, salud y medioambiente.
- Seguridad en caso de incendio.
- Seguridad de utilización.
- Protección contra el ruido.
- Ahorro de energía y aislamiento térmico.

El marcado CE de un producto de construcción indica:

- Que este cumple con unas determinadas especificaciones técnicas relacionadas con los requisitos esenciales contenidos en las Normas Armonizadas (EN) y en las Guías DITE (Guías para el Documento de Idoneidad Técnica Europeo).
- Que se ha cumplido el sistema de evaluación de la conformidad establecido por la correspondiente Decisión de la Comisión Europea. Siendo el fabricante el responsable de su fijación y la Administración competente en materia de industria la que vele por la correcta utilización del marcado CE.

Es obligación del Director de la Ejecución de la Obra verificar si los productos que entran en la obra están afectados por el cumplimiento del sistema del marcado CE y, en caso de ser así, si se cumplen las condiciones establecidas en el Real Decreto 1630/1992 por el que se transpone a nuestro ordenamiento legal la Directiva de Productos de Construcción 89/106/CEE.

El marcado CE se materializa mediante el símbolo "CE" acompañado de una información complementaria. El fabricante debe cuidar de que el marcado CE figure, por orden de preferencia:

- En el producto propiamente dicho.

- En una etiqueta adherida al mismo.
- En su envase o embalaje.
- En la documentación comercial que le acompaña.

Además del símbolo CE deben estar situadas en una de las cuatro posibles localizaciones una serie de inscripciones complementarias, cuyo contenido específico se determina en las normas armonizadas y Guías DITE para cada familia de productos, entre las que se incluyen:

- El número de identificación del organismo notificado (cuando proceda).
- El nombre comercial o la marca distintiva del fabricante.
- La dirección del fabricante.
- El nombre comercial o la marca distintiva de la fábrica.
- Las dos últimas cifras del año en el que se ha estampado el marcado en el producto.
- El número del certificado CE de conformidad (cuando proceda).
- El número de la norma armonizada y en caso de verse afectada por varias los números de todas ellas.
- La designación del producto, su uso previsto y su designación normalizada.
- Información adicional que permita identificar las características del producto atendiendo a sus especificaciones técnicas.

Las inscripciones complementarias del marcado CE no tienen por qué tener un formato, tipo de letra, color o composición especial, debiendo cumplir únicamente las características reseñadas anteriormente para el símbolo.

Dentro de las características del producto podemos encontrar que alguna de ellas presente la mención "Prestación no determinada" (PND).

La opción PND es una clase que puede ser considerada si al menos un estado miembro no tiene requisitos legales para una determinada característica y el fabricante no desea facilitar el valor de esa característica.

### **5.3 Prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado**

De acuerdo con el artículo 7.4 del CTE, en la obra terminada, bien sobre el edificio en su conjunto, o bien sobre sus diferentes partes y sus instalaciones, totalmente

terminadas, deben realizarse, además de las que puedan establecerse con carácter voluntario, las comprobaciones y pruebas de servicio previstas en el presente pliego, por parte del constructor, y a su cargo, independientemente de las ordenadas por la Dirección Facultativa y las exigidas por la legislación aplicable, que serán realizadas por un laboratorio acreditado.

Así mismo, es recomendable controlar los movimientos del terreno para cualquier tipo de construcción, por parte de la empresa constructora, y obligatorio en el caso de edificios del tipo C-3 (construcciones entre 11 y 20 plantas) y C-4 (conjuntos monumentales o singulares y edificios de más de 20 plantas), mediante el establecimiento por parte de una organización con experiencia en este tipo de trabajos, dirigida por un técnico competente, de un sistema de nivelación para controlar el asiento en las zonas más características de la obra, en las siguientes condiciones:

- El punto de referencia debe estar protegido de cualquier eventual perturbación, de forma que pueda considerarse como inmóvil durante todo el periodo de observación.
- El número de pilares a nivelar no será inferior al 10% del total de la edificación. En el caso de que la superestructura se apoye sobre muros, se preverá un punto de observación cada 20 m de longitud, como mínimo. En cualquier caso, el número mínimo de referencias de nivelación será de 4. La precisión de la nivelación será de 0,1 mm.
- La cadencia de lecturas será la adecuada para advertir cualquier anomalía en el comportamiento de la cimentación. Es recomendable efectuarlas al completarse el 50% de la estructura, al final de la misma, y al terminar la tabiquería de cada dos plantas.
- Las pruebas finales de la instalación se efectuarán, una vez esté el edificio terminado, por la empresa instaladora, que dispondrá de los medios materiales y humanos necesarios para su realización. Todas las pruebas se efectuarán en presencia del instalador autorizado o del director de Ejecución de la Obra, que debe dar su conformidad tanto al procedimiento seguido como a los resultados obtenidos.

Los resultados de las distintas pruebas realizadas a cada uno de los equipos, aparatos o subsistemas, pasarán a formar parte de la documentación final de la instalación. Se indicarán marca y modelo y se mostrarán, para cada equipo, los datos de funcionamiento según proyecto y los datos medidos en obra durante la puesta en marcha. Cuando para

extender el certificado de la instalación sea necesario disponer de energía para realizar pruebas, se solicitará a la empresa suministradora de energía un suministro provisional para pruebas, por el instalador autorizado o por el director de la instalación, y bajo su responsabilidad.

Serán a cargo de la empresa instaladora todos los gastos ocasionados por la realización de estas pruebas finales, así como los gastos ocasionados por el incumplimiento de las mismas.

## **5.4 Condiciones técnicas de los equipos**

### **5.4.1 Ámbito de la aplicación**

En el caso de los equipos que han sido construidos, las especificaciones se corresponderán con el anclaje y conexionado entre sí de los distintos elementos según la red de tuberías y red eléctrica proyectada.

El objeto del presente pliego de condiciones, será la descripción de las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos diseñados para la instalación a diseñar en el presente trabajo final de grado, bien sean construidos o bien sean seleccionados a un proveedor.

### **5.4.2 Especificaciones de la 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.



### **5.4.3 Especificaciones de la instalación de fontanería**

La planta está compuesta por una red de tuberías, las tuberías que transportan el hidróxido y silicato sódico y las tuberías de las instalaciones de sanitarios, limpieza de equipos, etc.

Las tuberías serán del tipo, diámetro y presión de servicio que se indican en las Mediciones y Presupuestos de este proyecto y cumplirán las especificaciones contenidas dichos documentos.

Las piezas especiales, serán capaces de soportar presiones de prueba y trabajo iguales a las tuberías en que hayan de instalarse. El cuerpo principal de estos elementos, será del material indicado en los Planos, y si no se especificase en estos, serán del material que garantice el fabricante de reconocida solvencia nacional, previa aprobación del Director de las obras, quien también ha de autorizar los modelos a utilizar. En todo caso, el acabado de las piezas especiales, será perfecto y de funcionamiento, durabilidad y resistencia. Deberán acreditarse mediante los oportunos certificados oficiales.

La superficie interior de cualquier elemento, sea tubería o pieza especial, será lisa, no pudiendo admitirse otros defectos de regularidad que los de carácter accidental o local que queden dentro de las tolerancias prescritas y que no representen ninguna merma de la calidad de circulación de agua. La reparación de tales desperfectos no se realizará sin la previa autorización del Director de obras.

Los tubos y demás elementos de las conducciones y redes, estarán bien terminados, con espesores regulares y cuidadosamente trabajados y deberán resistir sin daños todos los esfuerzos que estén llamados a soportar en servicio y durante las pruebas.

### **5.4.4 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.

Los elementos móviles deberán estar provistos de los debidos dispositivos de protección para el manejo del operador. Si en condiciones de trabajo normales una máquina, con fuerza de acondicionamiento suficiente y manejado 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 este, 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. 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.



# **6. Estado de Mediciones**

## Índice

1. Estado de mediciones.....	1
1.1 Parcela y obra civil.....	1
1.2 Equipos.....	1
1.3 Conducciones y accesorios.....	2

## 1. Estado de mediciones

El estado de mediciones es el documento que se encarga de la determinación de las partidas, es decir, de las distintas partes en las que puede dividirse el proyecto y que pueden medirse. En el estado de mediciones se debe incluir el número de unidades, la magnitud de medida y las características de cada partida que influya en el presupuesto final del proyecto.

### 1.1 Parcela y obra civil

En la tabla 6.1 se puede ver el estado de mediciones correspondiente a la parcela utilizada y la obra civil necesaria para construir la nave industrial la cual se diferencia entre la nave y el parking.

**Tabla 6.1.** Estado de mediciones de la parcela y la obra civil.

Elemento	Unidad	Cantidad
Parcela	m <sup>2</sup>	2234
Nave	m <sup>2</sup>	2034
Parking	m <sup>2</sup>	200

### 1.2 Equipos

En la tabla 6.2 se puede ver el estado de mediciones correspondiente a todos los equipos utilizados para el diseño de la planta industrial.

**Tabla 6.2.** Estado de mediciones de los equipos utilizados en la planta.

Equipos	Unidad	Cantidad
Silo de CV	Ud.	1
Estructura metálica del silo	Ud.	1
Paneles fluidificantes	Ud.	4
Compresor	Ud.	1
Depósitos de hidróxido sódico	Ud.	4

Equipos	Unidad	Cantidad
Depósito de silicato sódico	Ud.	1
Tamizadora de las CV	Ud.	1
Trituradora de mandíbulas	Ud.	1
Molino de martillos	Ud.	1
Tamizadora del tiesto	Ud.	1
Amasadora	Ud.	1
Máquina de moldeo	Ud.	1
Secadero	Ud.	1
Pulidora	Ud.	1
Granalladora	Ud.	1
Carretillas elevadora	Ud.	3
Palés	Ud.	300
Cintas transportadoras	Ud.	12
Caudalímetros	Ud.	2

### 1.3 Conducciones y accesorios

En la tabla 6.2 se puede ver el estado de mediciones correspondiente a las diferentes conducciones y accesorios utilizados para transportar el silicato sódico y el hidróxido sódico a través de la planta industrial.

**Tabla 6.2.** Estado de mediciones de las conducciones.

Elemento	Unidad	Cantidad
Tuberías de acero según norma UNE-EN 10255 (DIN 2440), DN=15, espesor 1,5 mm	m	70,3
Codo de acero galvanizado 90 ° DN-15	Ud.	6
T estándar acero galvanizado usada como codo DN-15	Ud.	1

Elemento	Unidad	Cantidad
Cruz acero galvanizado DN-15	Ud.	1
Bomba peristáltica DN-15 caudal 386 l/h	Ud.	1
Bomba peristáltica DN-15 caudal 90 l/h	Ud.	1
Válvula de bola DN-15 con actuador eléctrico	Ud.	5





# **7. Presupuesto**

## Índice

1. Presupuesto de Ejecución de material (PEM).....	1
1.1 Parcela y obra civil.....	1
1.2 Equipos.....	1
1.3 Conducciones y accesorios.....	2
1.4 Mano de obra.....	3
1.5 PEM total.....	3
2. Presupuesto de Ejecución por Contrata.....	4

## 1. Presupuesto de Ejecución del Material (PEM)

El presupuesto de ejecución del material es la suma del presupuesto de cada una de las partidas que forman el proyecto.

### 1.1 Parcela y obra civil

El coste de la parcela es de 200000 €. En la obra civil se tiene en cuenta el coste de construir la nave industrial y el parking, el coste por m<sup>2</sup> es de 50 y 30 euros respectivamente, por lo tanto si se tienen 2234 m<sup>2</sup> el gasto total de la obra civil es de 107700 €. En la tabla 7.1 se puede ver el presupuesto de ejecución material de la parcela utilizada y la obra civil necesaria para construir la nave industrial y el parking.

**Tabla 7.1.** Estado de mediciones de la parcela y la obra civil.

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Parcela	m <sup>2</sup>	2234	89,53	200000
Nave	m <sup>2</sup>	2034	50	101700
Parking	m <sup>2</sup>	200	30	6000
<b>Total</b>				<b>307700</b>

### 1.2 Equipos

En la tabla 7.2 se puede ver el presupuesto de ejecución material de los equipos de la planta industrial.

**Tabla 7.2.** Presupuesto de los Equipos de la planta industrial.

Equipos	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Silo de CV	Ud.	1	30555	30555
Estructura metálica del silo	Ud.	1	44253	44253
Paneles fluidificantes	Ud.	4	537,5	2150
Compresor	Ud.	1	8000	8000

Equipos	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Depósitos de hidróxido sódico	Ud.	4	6000	24000
Depósito de silicato sódico	Ud.	1	6000	6000
Tamizadora de las CV	Ud.	1	10250	10250
Trituradora mandíbulas	Ud.	1	15000	15000
Molino martillos	Ud.	1	10000	10000
Tamizadora del tiesto	Ud.	1	6000	6000
Amasadora	Ud.	1	40000	40000
Máquina de moldeo	Ud.	1	120000	120000
Secadero	Ud.	1	325000	325000
Pulidora	Ud.	1	20000	20000
Granalladora	Ud.	1	30000	30000
Carretillas elevadoras	Ud.	3	4127	12381
Palés	Ud.	300	30	9000
Cintas transportadoras	Ud.	12	varios	56100
Caudalímetros	Ud.	2	4000	8000
<b>Total</b>				<b>776689</b>

### 1.3 Conducciones y accesorios

En la tabla 7.3 se puede ver el presupuesto de las conducciones y de los diferentes accesorios utilizados en la planta industrial para transportar el hidróxido sódico y el silicato sódico.

**Tabla 7.3.** Presupuesto de conducciones y accesorios.

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio por unidad (€)	Precio total (€)
Tuberías de acero según norma UNE-EN 10255:2005 DN=15, espesor 1,5 mm	m	34,12	4,49	153
Codo de acero galvanizado 90 ° DN-15	Ud.	6	10	60
T estándar de acero galvanizado DN-15	Ud.	1	15	15
Cruz acero galvanizado DN-15	Ud.	1	15	15
Bomba peristáltica DN-15 caudal 386 l/h	Ud.	1	2000	2000
Bomba peristáltica DN-15 caudal 90 l/h	Ud.	1	1500	1500
Válvula de bola DN-15 con actuador eléctrico	Ud.	5	3000	15000
<b>Total</b>				<b>18743</b>

#### 1.4 Mano de obra

Para la construcción de la planta industrial y para la instalación de los equipos y conducciones dentro de la misma es necesaria una mano de obra. Los costes de la mano de obra se han estimado en un 15 % del resto de partidas (tabla 7.4).

**Tabla 7.4.** Presupuesto de mano de obra

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio total (€)
Mano de obra	%	15	165470

#### 1.5 Presupuesto de Ejecución material total

Una vez calculados los diferentes Presupuestos de Ejecución material de la planta industrial se puede obtener el Presupuesto de Ejecución Material total tal y como se puede ver en la tabla 7.5.

**Tabla 7.5.** Suma de los Presupuestos de ejecución material de la planta industrial.

Elemento	Precio total (€)
Parcela y obra civil	307700
Equipos	776689
Conducciones y accesorios	18743
Mano de obra	165470
Total	1268602

## 2. Presupuesto de Ejecución por Contrata

A partir del presupuesto de Ejecución Material total se puede obtener el Presupuesto de Ejecución por Contrata tal y como muestra la tabla 7.6. Se van a considerar los gastos generales un 15 % y el beneficio industrial un 6 % del PEM.

**Tabla 7.6.** Presupuesto de Ejecución por contrata.

Elemento	Precio (€)
PEM total	1268602
Gastos generales	190290
Beneficio industrial	76116
PEC	1535008

El presupuesto total del proyecto *Diseño de una planta industrial para fabricar adoquines mediante activación alcalina* asciende a **UN MILLÓN QUINIENTOS TREINTA Y CINCO MIL OCHO EUROS.**

