

# Trabajo Fin de Máster Ingeniería Industrial

## Proyecto Básico de Fábrica de Producción de Cartón Ondulado

Autor: Javier Bastos Hernández

Tutor: Pablo José Matute Martín

**Dpto. de Ingeniería de la Construcción y  
Proyectos de Ingeniería  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería**

Sevilla, 2024





Trabajo Fin de Máster  
Ingeniería Industrial

# **Proyecto Básico de Fábrica de Producción de Cartón Ondulado**

Autor:

Javier Bastos Hernández

Tutor:

Pablo José Matute Martín

Profesor asociado

Dpto. de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2024



Trabajo Fin de Máster: Proyecto Básico de Fábrica de Producción de Cartón Ondulado

Autor: Javier Bastos Hernández  
Tutor: Pablo José Matute Martín

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2024

El secretario del Tribunal



# Agradecimientos

---

En primer lugar, me gustaría agradecer este trabajo de fin de máster a mi madre, quien siempre está ahí para prestarme todo el apoyo que necesito, mostrándome su confianza en mí.

Agradecer y dedicar lo conseguido a mi familia y amigos, que después de tantos años de estudio, nunca han dejado de animarme a seguir consiguiendo lo que me propongo.

Por último, dar las gracias a D. Pablo José Matute Martín, mi tutor, que en todo momento ha mostrado un gran interés en ayudarme y guiarme en la realización de este trabajo, además de ser unos de los profesores de los que mejor recuerdo me llevo en mi paso por el máster.

Con este trabajo de fin de máster doy por terminada, de momento, mi etapa de estudio, de la que me llevo innumerables momentos felices y mucho sacrificio para lograrlo. Ahora queda por delante otra etapa que espero sea igual o más gratificante.

Mil gracias.

*Javier Bastos Hernández*

*Sevilla, 2024*



# Resumen

---

El presente Trabajo de Fin de Máster estudia un proyecto básico de una fábrica de producción de cartón ondulado, enfocándose en el proceso productivo y en las instalaciones de la planta, partiendo de unas necesidades concretas de producción de cajas de cartón para posteriormente caracterizar y dimensionar las instalaciones más relevantes de la planta.

Se realiza un análisis de los factores de diseño para los sistemas críticos, centrándose en las instalaciones de protección contra incendios, media y baja tensión, producción de vapor e instalaciones auxiliares como la cocina de colas. Estas instalaciones son las fundamentales para el buen funcionamiento de la planta, y un estudio preciso enfocado en priorizar la eficiencia energética y la productividad es el primer paso antes de la implantación del proyecto.

Este proyecto da una visión general e integral del diseño de una planta de producción de cartón ondulado, estableciendo un marco técnico sólido que sirva como referencia a una implantación real en el sector.



# Índice

---

Agradecimientos .....	vii
Resumen .....	ix
Índice .....	xi
<b>DOCUMENTO Nº1 – MEMORIA DESCRIPTIVA.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 OBJETO Y ALCANCE.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	3
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>4</b>
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CARTÓN ONDULADO.....	4
2.1.1. CARTÓN ONDULADO.....	4
2.1.2. MATERIAS PRIMAS .....	4
2.1.3. PROPIEDADES DEL CARTÓN.....	5
2.1.3.1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAPEL .....	5
2.1.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAPEL.....	6
2.1.4. PROCESO DE FABRICACIÓN .....	7
2.1.4.1. RECEPCIÓN DE BOBINAS PAPEL KRAFT.....	7
2.1.4.2. ONDULADO .....	7
2.1.4.3. TROQUELADO .....	8
2.1.4.4. PLEGADO Y ENCOLADO .....	8
2.1.4.5. IMPRESIÓN .....	8
2.1.4.6. PALETIZADO .....	8
2.1.5. CÓDIGO INTERNACIONAL DE CAJAS DE CARTÓN .....	8
2.1.6. MEJORAS Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO.....	10
2.2. NECESIDADES PRODUCTIVAS .....	10
2.3. MAQUINARIA Y EQUIPOS .....	12
2.3.1. ONDULADORA .....	12
2.3.2. TROQUELADORA .....	13
2.3.3. PLEGADORA-ENCOLADORA.....	14
2.3.4. IMPRESORA FLEXOGRÁFICA .....	14
2.3.5. PALETIZADORAS.....	15
2.3.6. COMPACTADORA DE RECORTES .....	16
2.3.7. MAQUINARIA AUXILIAR .....	16
2.4. UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO .....	18
2.5. DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN.....	19
2.5.1. ZONA EXTERIOR.....	19
2.5.1.1. CERRAMIENTO DE LA PARCELA .....	19
2.5.1.2. SOLERA Y PAVIMENTO .....	20
2.5.1.3. APARCAMIENTO .....	21
2.5.1.4. ZONA DE CARGA Y DESCARGA.....	21

2.5.2.	ZONA INTERIOR, NAVE INDUSTRIAL .....	22
2.5.3.	ZONAS QUE COMPONEN LA FÁBRICA DE CARTÓN .....	28
2.5.3.1.	OFICINA.....	28
2.5.3.2.	PLANTA DE PRODUCCIÓN .....	29
2.6.	<b>INSTALACIONES AUXILIARES .....</b>	<b>34</b>
2.6.1.	ESTUDIO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS .....	34
2.6.1.1.	CARACTERIZACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL .....	34
2.6.1.2.	REQUISITOS CONSTRUCTIVOS DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL.....	38
2.6.1.3.	SECTORIZACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL .....	39
2.6.1.4.	ESTABILIDAD AL FUEGO DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PORTANTES.....	39
2.6.1.5.	VENTILACIÓN Y ELIMINACIÓN DE HUMOS Y GASES DE LA COMBUSTIÓN .....	41
2.6.1.6.	REQUISITOS DE LAS INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES.....	42
2.6.1.7.	SISTEMAS AUTOMÁTICOS Y MANUALES DE DETECCIÓN CONTRA INCENDIOS .....	42
2.6.1.8.	SISTEMA DE HIDRANTES EXTERIORES.....	42
2.6.1.9.	SISTEMA DE BOCA DE INCENDIO EQUIPADAS .....	45
2.6.1.10.	SISTEMA DE ROCIADORES.....	47
2.6.1.11.	SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA CONTRA INCENDIOS .....	49
2.6.1.12.	EXTINTORES DE INCENDIO.....	50
2.6.1.13.	ALUMBRADO DE EMERGENCIA Y SEÑALIZACIÓN .....	51
2.6.2.	COCINA DE COLAS .....	52
2.6.2.1.	DIMENSIONAMIENTO DE LA COCINA DE COLAS.....	53
2.6.3.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA .....	55
2.6.3.1.	INSTALACIÓN DE MEDIA TENSIÓN .....	56
2.6.3.1.1.	CARATERIZACIÓN DEL TRANSFORMADOR.....	56
2.6.3.1.2.	ACOMETIDA EXTERIOR Y CENTRO DE TRANSFORMACIÓN .....	57
2.6.3.1.3.	CARACTERÍSTICAS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN .....	59
2.6.3.1.4.	CELDAS DE MEDIA TENSIÓN .....	60
2.6.3.2.	INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN .....	61
2.6.3.2.1.	CAJA GENERAL DE PROTECCIÓN .....	61
2.6.3.2.2.	CUADRO GENERAL DE BAJA TENSIÓN .....	62
2.6.3.2.3.	SUBCUADROS DE DISTRIBUCIÓN .....	64
2.6.4.	INSTALACIÓN DE VAPOR.....	68
2.6.4.1.	GENERACIÓN DE VAPOR .....	68
2.6.4.2.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA .....	71
2.6.4.3.	DISTRIBUCIÓN DE VAPOR .....	71
2.6.4.4.	RETORNO DE CONDENSADOS .....	72
3.	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>74</b>
3.1.	<i>COSTOS DE INVERSIÓN .....</i>	<i>74</i>
	<b>DOCUMENTO Nº2 – PLANOS .....</b>	<b>77</b>
4.	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>78</b>

# **DOCUMENTO N°1 – MEMORIA DESCRIPTIVA**

---



# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 OBJETO Y ALCANCE

El objetivo principal en este proyecto es el diseño integral de una planta industrial de producción de cartón ondulado, ubicada en la ciudad de Plasencia, en Cáceres. La planta deberá satisfacer unas necesidades concretas de producción de cajas de cartón para el embalaje de cerezas, en una región con alto volumen de negocio agrícola. El proyecto incluirá la selección y dimensionamiento de la maquinaria clave en el proceso productivo, además de la implementación de las instalaciones y sistemas auxiliares como son la cocina de colas, la instalación de protección contra incendios, las instalaciones eléctricas de media y baja tensión y la generación de vapor.

El proyecto muestra una introducción teórica del producto a fabricar, presentando una solución específica según las necesidades, para posteriormente estudiar de forma integral la planta industrial. Se incluye en el proyecto la elección de ubicación y emplazamiento de la planta, una solución constructiva básica para la zona exterior e interior de la misma, incluyendo la zona de oficinas, la distribución de maquinaria y zonas de producción y las instalaciones auxiliares. Finalmente, se realizará un análisis económico de los costes de inversión para la implementación de la planta.

Quedan fuera del alcance del proyecto el dimensionamiento de las instalaciones auxiliares de la zona de oficinas por no formar parte directa del proceso de producción de cartón ondulado. También quedan fuera del alcance de estudio instalaciones auxiliares como la climatización, aire comprimido o tratamiento de aguas.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La necesidad de embalajes sostenibles y reciclables ha aumentado considerablemente en los últimos años, centrándose en el objetivo de reducir el consumo de plásticos. Especialmente, en el sector agrícola, donde la necesidad de embalajes es muy alta, el uso de cartón ondulado para la fabricación de cajas de cartón es una solución óptima gracias a sus propiedades mecánicas y su sostenibilidad.

El presente proyecto es motivado por la posibilidad de aplicación al problema descrito de todos los conocimientos adquiridos durante el estudio en el grado y máster de ingeniería industrial, haciendo hincapié en la ingeniería de la construcción y los proyectos de ingeniería.

La ejecución del proyecto ha requerido la aplicación integral de conocimientos adquiridos en diversas áreas de la ingeniería además de la necesidad de cumplir con normativas de seguridad y sostenibilidad, lo que ha sido de gran valor formativo.

# 2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

---

## 2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CARTÓN ONDULADO

La actividad principal del proceso industrial objeto de estudio es la fabricación de cartón ondulado, para conformar cajas y envases.

La fabricación del cartón ondulado se consigue a través de un proceso lineal de transformación de papel Kraft. El cartón ondulado consiste en la unión de forma alterna de láminas de papel liso y papel ondulado, pegados entre sí de forma que acaben formando una plancha.

Existen diversos tipos de cartón ondulado en función de la cantidad de láminas lisas y onduladas que lo conforman. Otra cualidad que diferencia el tipo de cartón es la calidad y gramaje de las láminas utilizadas en su conformado.

### 2.1.1. CARTÓN ONDULADO

El cartón ondulado fue patentado en Inglaterra en el año 1856, aunque por entonces era utilizado como revestimiento de sombreros de copa. Fue en 1879 cuando Rober Gair, quien es considerado el padre del cartón plegado, diseñó por primera vez la caja de cartón a partir de planchas de cartón ondulado. Fue el mismo Rober quien diseñó las primeras máquinas de fabricación mediante la técnica de corte y hendido de forma simultánea. Las primeras máquinas tenían una anchura de entre 30,5 cm y 45,7 cm por lo que el uso del cartón estaba muy limitado.

Con el aumento de la anchura de las máquinas, estas pasaron a ser accionadas mediante correas desde una línea superior. Los rodillos se calentaban con inyectores de vapor. Las láminas exteriores se pegaban a mano haciendo uso de brochas y como pegamento se utilizaba una pasta hecha de harina cocida. Para que el pegamento hiciera efecto era necesario más de 24 horas de secado mediante evaporación.

Todos los tipos de cartón ondulado se fabrican por superposición de capas, pero existen diferencias en función de la cantidad de capas, o la calidad de las materias.

### 2.1.2. MATERIAS PRIMAS

Las materias primas que conforman el cartón ondulado son las siguientes:

#### **Papel Kraft:**

El papel Kraft es un componente esencial en la fabricación del cartón ondulado. Se obtiene a partir de la pulpa de madera, especialmente de árboles de pino y eucalipto. Lo que hace que el papel Kraft sea especialmente adecuado para esta aplicación es su proceso de producción y sus características únicas.

Proceso de producción: El papel Kraft se fabrica a través de un proceso de blanqueo que implica el uso de menos productos químicos, lo que lo hace más resistente y duradero en comparación con otros tipos de papel. El término "Kraft" proviene del alemán y significa "fuerte", lo que refleja su resistencia inherente.

Características del papel Kraft: Este papel se caracteriza por su tono marrón natural y su superficie rugosa. La pulpa de celulosa se entrelaza en un patrón irregular, lo que le confiere una alta resistencia a la tracción y una excelente capacidad de absorción de líquidos. Esto lo hace ideal para su uso en envases que requieren resistencia y durabilidad, como los fabricados con cartón ondulado.

Versatilidad: Además de su aplicación en la fabricación de cartón ondulado, el papel Kraft se utiliza en una amplia variedad de sectores, incluyendo la industria alimentaria, la construcción y la elaboración de bolsas de papel, entre otros. Su maleabilidad y resistencia lo hacen valioso en muchas aplicaciones.

### **Adhesivo a base de almidón:**

El adhesivo a base de almidón es fundamental para el proceso de fabricación del cartón ondulado. Este adhesivo se utiliza para unir las diferentes capas de papel Kraft, creando la estructura característica del cartón ondulado.

**Naturaleza del adhesivo:** El adhesivo a base de almidón es una opción común debido a su naturaleza respetuosa con el medio ambiente y su capacidad de unir firmemente las capas de papel. Es seguro y no tóxico, lo que es especialmente importante en aplicaciones de envasado de alimentos.

**Proceso de aplicación:** El adhesivo se aplica a una de las capas de papel, generalmente a la lámina ondulada, antes de unir las capas. Una vez aplicado, el adhesivo se activa mediante calor y presión, lo que permite que las capas se adhieran de manera segura.

**Resistencia y flexibilidad:** El adhesivo a base de almidón proporciona la flexibilidad necesaria para que el cartón ondulado conserve su forma ondulada característica mientras mantiene su resistencia estructural. Este equilibrio entre flexibilidad y resistencia es fundamental para su uso en envases y embalajes.

### **Tintas y Recubrimientos:**

En la producción de cartón ondulado para envases personalizados o con impresiones gráficas, se pueden utilizar tintas y recubrimientos para mejorar la apariencia y funcionalidad. Las tintas se aplican para la impresión de diseños y etiquetas en las cajas de cartón, mientras que los recubrimientos pueden dar propiedades adicionales, como resistencia al agua o brillo.

### **Refuerzos Internos:**

En ocasiones, se incorporan refuerzos internos en forma de tiras de papel Kraft o cartón más grueso para aumentar la resistencia de las cajas en puntos específicos. Estos refuerzos se utilizan en aplicaciones donde se requiere una mayor capacidad de carga o para resistir impactos durante el transporte.

### **Materiales Reciclados:**

En un esfuerzo por aumentar la sostenibilidad, muchas fábricas de cartón ondulado utilizan materiales reciclados en parte de su proceso de fabricación. Esto puede incluir papel y cartón reciclados para reducir la demanda de pulpa de madera virgen y minimizar los residuos.

### **Aditivos para Mejorar Propiedades:**

En algunos casos, se añaden aditivos químicos al papel Kraft o al adhesivo para mejorar ciertas propiedades, como la resistencia al agua, la resistencia al fuego o la protección contra insectos. Estos aditivos pueden adaptarse a necesidades específicas de los clientes o a condiciones de almacenamiento y transporte particulares.

Es importante destacar que la elección de las materias primas y componentes adicionales dependerá de los requisitos del producto final y de las especificaciones del cliente. La fabricación de cartón ondulado es altamente adaptable para satisfacer una amplia variedad de necesidades de embalaje y envío.

## **2.1.3. PROPIEDADES DEL CARTÓN**

La fabricación de uno u otro tipo de cartón ondulado depende directamente de las propiedades del papel utilizado y de la disposición de este durante el proceso de fabricación.

### **2.1.3.1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL PAPEL**

**Gramaje:** el gramaje es una propiedad crítica del papel Kraft que se utiliza en la fabricación del cartón ondulado. Se refiere a la cantidad de papel presente en una unidad de superficie y se expresa en gramos por metro cuadrado ( $g/m^2$ ). Cuanto mayor sea el gramaje, mayor será la cantidad de papel en una hoja y, por lo tanto, mayor será la resistencia del cartón resultante. Esta propiedad es fundamental para determinar la resistencia y la durabilidad del cartón, lo que es especialmente importante en aplicaciones de embalaje y transporte.

**Espesor:** el espesor del cartón ondulado se relaciona directamente con la dimensión de las ondas en las láminas onduladas que componen las planchas de cartón. Un mayor espesor de las ondas puede proporcionar una mayor capacidad de absorción de impactos y mayor aislamiento térmico. La elección del espesor adecuado depende de las necesidades específicas de embalaje y las condiciones de transporte de los productos.

**Tonalidad:** el color del papel Kraft utilizado en la fabricación de cartón ondulado generalmente es de tonalidad marrón o beige. A diferencia de otros tipos de papel, el papel Kraft rara vez se somete a un proceso de blanqueamiento, lo que le confiere su característica tonalidad natural. Esta tonalidad marrón es apreciada por su aspecto rústico y su capacidad para ocultar la suciedad y las manchas, lo que lo hace adecuado para envases y embalajes que deben resistir condiciones adversas.

**Humedad:** la humedad del papel Kraft es una propiedad crítica que puede influir en las propiedades mecánicas del cartón ondulado. El equilibrio adecuado de humedad es esencial para mantener la integridad y la resistencia del cartón. Un exceso de humedad puede debilitar el cartón, mientras que un nivel insuficiente puede volverlo quebradizo. El control preciso de la humedad es esencial en la fabricación para evitar defectos y garantizar la calidad del cartón.

Estas propiedades físicas son fundamentales en la fabricación de cartón ondulado, ya que influyen en la resistencia, la durabilidad y otras características clave del producto final. El conocimiento y la gestión adecuados de estas propiedades son esenciales para garantizar la calidad y la eficiencia en la producción de cartón ondulado.

### **2.1.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL PAPEL**

Las propiedades mecánicas del papel están ligadas principalmente a su gramaje, y algunas de las más relevantes son:

#### **Resistencia al plegado:**

La resistencia al plegado es una medida de la capacidad del papel para resistir ser doblado repetidamente sin romperse. Esta propiedad es esencial en la fabricación de cartón ondulado, ya que el cartón debe ser capaz de soportar dobleces durante su procesamiento y uso final, como en el ensamblaje de cajas.

#### **Resistencia al aplastamiento en plano:**

La resistencia al aplastamiento en plano es una propiedad que mide la capacidad del papel ondulado para resistir fuerzas de compresión en una dirección bidimensional. Depende en gran medida del espesor de las ondas y del gramaje del papel. Esta propiedad es crucial en aplicaciones donde las cajas de cartón pueden estar sujetas a cargas externas que presionan sobre su superficie, como durante el apilamiento en almacenes o durante el transporte.

#### **Resistencia a la compresión de canto:**

La resistencia a la compresión de canto es una medida de la capacidad de la lámina ondulada, utilizada en la estructura del cartón ondulado, para resistir fuerzas de compresión aplicadas en dirección perpendicular al plano de la lámina. Esta propiedad es especialmente importante en aplicaciones en las que las cajas de cartón pueden estar sujetas a fuerzas de compresión en sus bordes, como cuando se apilan en posición vertical.

#### **Resistencia a la compresión estática y dinámica:**

La resistencia a la compresión estática se refiere a la capacidad del cartón para soportar cargas sin deformación significativa durante un período prolongado, como cuando las cajas están apiladas en un almacén. La resistencia a la compresión dinámica se relaciona con la capacidad del cartón para soportar cargas durante un transporte en movimiento, donde puede estar sujeto a golpes y vibraciones.

## 2.1.4. PROCESO DE FABRICACIÓN

La fabricación del cartón ondulado comprende un proceso con diferentes etapas, en las que se transforma la lámina de papel Kraft en lámina de cartón ondulado, troquelada, doblada e impresa según demanda.



*Ilustración 1. Proceso de fabricación del cartón ondulado*

### 2.1.4.1. RECEPCIÓN DE BOBINAS PAPEL KRAFT

Se reciben las bobinas de papel Kraft, las cuales se adquirirán de proveedores cercanos a la fábrica, con el objeto de abaratar costes.

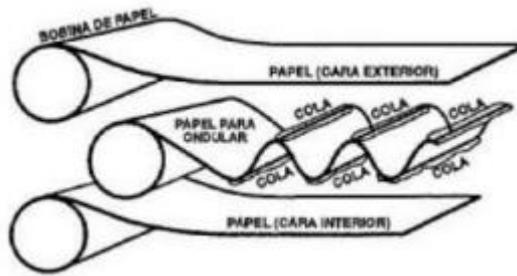
Las bobinas de papel Kraft pesan en torno a los 1000kg y tiene una altura de unos 2,2 metros.

La recepción se realiza en la zona habilitada para la descarga de camiones, se descargan por el lateral del mismo y posteriormente se almacenan cerca de la línea de ondulado.

### 2.1.4.2. ONDULADO

Se trata del primer proceso en la línea de producción del cartón ondulado. La bobina de papel Kraft se introduce en la onduladora, que superpone y pega varias capas lisas de papel con capas onduladas. Para el pegado de las láminas se utiliza un adhesivo creado a base de almidón, en la denominada sala de colas.

La consecución de láminas de papel pegadas unas con otras y alternas con capas onduladas da como resultado láminas de cartón. En función del número de capas lisa-ondulada-lisa que se fabrique, se obtienen los diferentes tipos de cartón según su estructura, difiriendo sobre todo en la resistencia entre ellos. Cuanto mayor número de capas mayor resistencia tendrá el cartón.



*Ilustración 2. Croquis del funcionamiento del proceso de ondulado*

### 2.1.4.3. TROQUELADO

El troquelado es el proceso consistente en cortar las láminas de cartón con las formas exactas para el conformado de la caja de cartón. Se hace uso de rodillos y moldes específicos para cada modelo de caja.

El molde-troquel ejerce presión sobre las pletinas troqueladoras, realizando los cortes y perforaciones que forman las tapas, asas y formas finales.

Una vez finalizado, se doblan las planchas de cartón, resultando en una caja terminada pero aún sin doblar, lista para su uso.

### 2.1.4.4. PLEGADO Y ENCOLADO

Tras el proceso troquelado donde se consigue el patrón concreto de la caja a fabricar, el siguiente proceso es el doblado y encolado de la misma con las formas deseadas, asegurando la estabilidad y resistencia una vez la caja sea montada.

### 2.1.4.5. IMPRESIÓN

Mediante el proceso de impresión se personaliza el embalaje acorde a las especificaciones del cliente. Existen diferentes tipos de impresión, entre los que destacan la impresión directa sobre el cartón, la impresión sobre lámina blanca, que ofrece una mayor calidad de impresión, y los autoadhesivos, que, con un proceso separado, se agregan a la plancha de cartón terminada.

### 2.1.4.6. PALETIZADO

Las cajas de cartón dobladas en forma de plancha se agrupan formando pallets, y se fijan haciendo uso de flejadoras. Una vez terminado este proceso, los pallets se envían al almacén de expedición.

Durante todos los procesos descritos, se realizan labores de inspección de calidad, que aseguren que cada paso que se de cumpla y respete las normas de calidad establecidas y los criterios definidos en la fase de diseño.

## 2.1.5. CÓDIGO INTERNACIONAL DE CAJAS DE CARTÓN

La FEFCO, cuyo nombre completo es Fédération Européenne des Fabricants de Carton Ondulé (Federación Europea de Fabricantes de Cartón Ondulado), es una organización que se enfoca en el diseño y la promoción de cajas de cartón ondulado en toda Europa. Su objetivo principal es estandarizar y promover el uso eficiente y efectivo de cajas de cartón ondulado en una amplia variedad de aplicaciones.

Uno de los aspectos más destacados de la FEFCO es su sistema de codificación, que proporciona un estándar común para describir y clasificar diseños específicos de cajas de cartón ondulado. Este sistema de codificación se utiliza ampliamente en la industria y facilita la comunicación entre fabricantes, distribuidores y usuarios de cajas de cartón ondulado en Europa. La codificación FEFCO consta de cuatro dígitos, y cada número tiene un significado específico:

**Primer Dígito (Tipo de Estilo):** Indica el estilo general de la caja, como si es una caja de solapas regulares, una caja de solapas telescópicas, una caja con tapa y base, etc.

**Segundo Dígito (Tipo de Solapa):** Define cómo se cierran las solapas de la caja, ya sea por solapas superpuestas, enclavadas o con otro método.

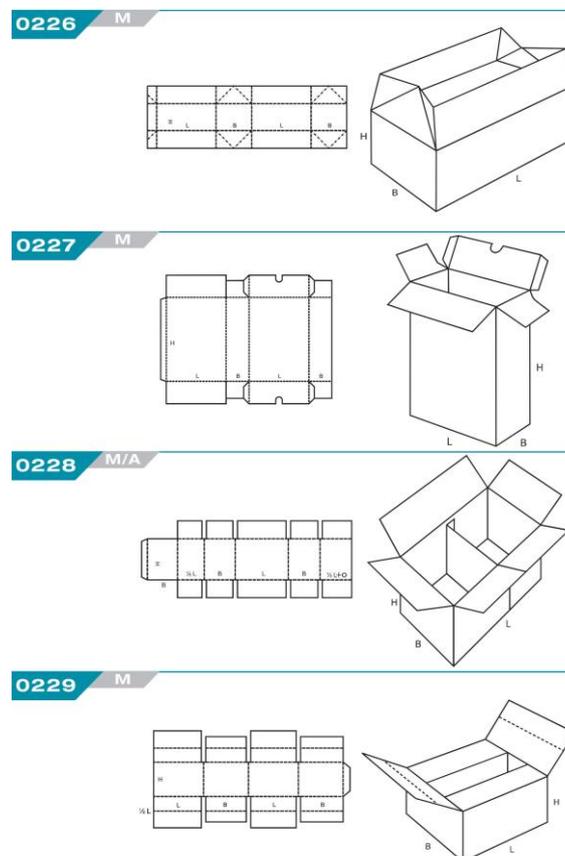
**Tercer Dígito (Tipo de Base):** Describe el tipo de base de la caja, como una base de cierre automático, una base con cierre de pestañas, etc.

**Cuarto Dígito (Características Adicionales):** Este dígito se utiliza para especificar características adicionales o personalizaciones en el diseño de la caja, como perforaciones, ventanas, asas, etc.

Por ejemplo, el código FEFCO 0201 representa una caja de cartón ondulado estándar con solapas superpuestas, base de cierre automático y sin características adicionales. Este sistema de codificación simplifica la comunicación y la especificación de cajas de cartón ondulado entre fabricantes y usuarios, lo que es especialmente valioso en un contexto de producción y logística.

En resumen, la FEFCO desempeña un papel importante en la estandarización y promoción de cajas de cartón ondulado en Europa a través de su sistema de codificación y sus esfuerzos en la promoción de las mejores prácticas en el diseño y uso de cajas de cartón ondulado.

En la siguiente imagen se observa a modo de ejemplo diferentes tipos de cajas según su codificación.



*Ilustración 3. Tipos de cajas de cartón según su clasificación FEFCO*

## 2.1.6. MEJORAS Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO

Para mejorar la optimización del proceso productivo en la fabricación de cartón ondulado, se pueden considerar diversas estrategias. Una de las posibles mejoras podría ser la implementación de tecnologías avanzadas de automatización y control de calidad. Esto incluiría la incorporación de sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real para identificar y corregir de manera proactiva cualquier desviación en la producción. Además, la adopción de sistemas de gestión de la cadena de suministro más eficientes y la optimización de la logística de transporte podrían reducir costos y tiempos de entrega. La introducción de prácticas sostenibles, como la gestión de residuos y la utilización de energías renovables, no solo mejoraría la eficiencia, sino que también contribuiría a la responsabilidad ambiental de la empresa. Además, la capacitación continua del personal en las últimas técnicas y mejores prácticas de producción sería fundamental para garantizar un proceso optimizado y una calidad consistente del producto.

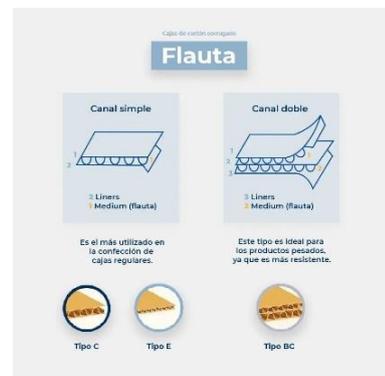
## 2.2. NECESIDADES PRODUCTIVAS

Se plantea el encargo de proyectar una planta de producción de cartón ondulado para la fabricación de cajas de cartón para el embalaje de fruta, más en concreto de cerezas. Dichas cajas tienen unas dimensiones de 495x295x91 mm, tal y como la que se muestra en la foto.



*Ilustración 4. Caja de cartón tipo a producir*

Por las características físicas que requiere este tipo de embalaje, se propone como solución fabricarlas partiendo de planchas de cartón ondulado de doble canal con onda BC. Este tipo de cartón es el ideal para el transporte de productos delicados como es la fruta, ya que muestra una buena combinación entre resistencia y amortiguación.



*Ilustración 5. Plancha de cartón ondulado tipo doble canal con onda BC*

Las necesidades productivas que se plantean son las de superar los 15 millones de cajas al mes, teniendo en cuenta que en la planta se pretende trabajar 5 días a la semana con dos turnos de 8 horas al día, lo que supone un total de 320 horas mensuales.

Como primer paso en el dimensionamiento de la planta, comenzaremos con el proceso productivo y la maquinaria necesaria. Primero, se calcula la cantidad de cartón ondulado que debemos producir mensualmente, para ello, teniendo en cuenta que la caja de cerezas tiene un área aproximada de:

$$\text{Área Total} = (0,495m \times 0,295m) + 2 \times (0,495m \times 0,091m) + 2 \times (0,295 \times 0,091) = \mathbf{0,2895 m^2}$$

Teniendo en cuenta que el porcentaje de desperdicios de cartón se sitúa en torno al 10%, y que fabricaremos 15 millones de cajas al mes, la fabricación de planchas de cartón ondulado asciende a:

$$\text{Área Total sin desperdicio} = 0,2895m^2 \times 15.000.000 \text{ cajas} = \mathbf{4.342.500 m^2}$$

$$\text{Área Total con desperdicio} = 4.342.500 m^2 \times (1 + 0,10) = \mathbf{4.776.750 m^2}$$

Se hará uso de bobinas de papel Kraft de 2200mm de ancho y de 1000 metros de longitud, lo que supone un total de bobinas mensual de:

$$\text{Área bobina} = 2,2m \times 1000m = \mathbf{2.200 \frac{m^2}{bobina}}$$

$$\text{Número de bobinas aprox.} = \frac{4.776.750 m^2}{2.200 \frac{m^2}{bobina}} = 2.171 \approx \mathbf{2.200 bobinas}$$

Para poder visualizar mejor las necesidades, lo trasladamos a necesidad/hora, teniendo en cuenta una eficiencia en producción del **90%**:

$$\text{Horas efectivas por mes} = 320 \frac{\text{horas}}{\text{mes}} \times 0,90 = \mathbf{288 \frac{\text{horas efectivas}}{\text{mes}}}$$

1. Producción de cajas de cereza: aprox. **52.000 cajas/hora**
2. Producción de cartón ondulado: **16.585 m<sup>2</sup>/hora**
3. Producción línea de cartón: aprox. **125metros/min**
4. Bobinas utilizadas: aprox. **8 bobinas/hora**

## 2.3. MAQUINARIA Y EQUIPOS

Una vez definidas las necesidades productivas de la planta, se pasa a caracterizarla, comenzando por la maquinaria. La parte más importante y la que marca todo el proceso es la onduladora, encargada de transformar el papel Kraft en cartón ondulado, en nuestro caso, de doble capa con onda BC

### 2.3.1. ONDULADORA

La onduladora es una máquina central en el proceso de fabricación del cartón ondulado. Se utiliza para crear el perfil ondulado en el papel Kraft mediante la superposición y adhesión de capas lisas de papel con capas onduladas.

La propia onduladora lleva integrada la máquina de adhesión, que se encarga de aplicar el adhesivo (generalmente a base de almidón) en una de las caras del papel ondulado para unir las láminas lisas y onduladas y formar el cartón ondulado.



*Ilustración 6. Onduladora*

El ritmo de producción marcado es de 125 metros/min, pero en miras de buscar la escalabilidad y crecimiento de la planta, se realiza la búsqueda de onduladora que tenga una capacidad de producción de 200metros/min, lo que nos lleva a la siguiente máquina, de la que se tiene algunos datos relevantes como la potencia eléctrica:

**Modelo: BHS Modul Facer MF-A**

Velocidad de Producción: Hasta 200 metros por minuto.

Ancho de Trabajo: 2,200 mm (ajustable para diferentes anchos).

Potencia Total: Aproximadamente 500 kW.

Capacidades: Alta eficiencia, precisión en el control de temperatura y presión, y flexibilidad para trabajar con diferentes tipos de papel.

Automatización: Integración con sistemas de control avanzado para maximizar la eficiencia y minimizar el desperdicio.



*Ilustración 7. Onduladora tipo BHS modul facer MF-A*

### 2.3.2. TROQUELADORA

La troqueladora tiene como función cortar la plancha de cartón con las dimensiones y diseño concreto de la caja a fabricar. En nuestra planta, instalaremos 2 unidades de troqueladora, de forma que no se genere cuello de botella en esta operación y que permita disponer de diferentes troqueles en cada una de las máquinas y así poder fabricar diferentes diseños de caja de forma simultánea.

Dado que la onduladora es la máquina principal del proceso, se ha buscado que el resto de maquinaria sea lo más compatible a esta. En el caso de las troqueladoras se ha escogido el siguiente modelo, con las características que se muestran a continuación:

#### **Troqueladora Elegida: Bobst Mastercut 2.1**

Velocidad de Troquelado: Adaptada para sincronizarse con la producción de la onduladora, manejando volúmenes altos sin sacrificar calidad.

Ancho de Trabajo: Capaz de procesar hojas grandes hasta 2200 mm de ancho.

Potencia: Aproximadamente 100-130 kW, ideal para soportar la carga de trabajo de una línea de alta producción.

Automatización: Alto nivel de automatización que reduce tiempos de inactividad y optimiza el rendimiento.



*Ilustración 8. Troqueladora Bobst Mastercut 2.1*

### 2.3.3. PLEGADORA-ENCOLADORA

El siguiente paso tras el troquelado es plegar y encolar la plancha de cartón siguiendo el diseño de la caja, para dejarla lista para su montaje.

La máquina seleccionada cumple los requisitos productivos marcados principalmente por la capacidad de ondulado.

#### **Plegadora-Encoladora: Bobst EXPERTFOLD 165**

Velocidad de Producción: Hasta 450 metros por minuto.

Ancho Máximo de Trabajo: 1650 mm.

Potencia: 60-90 kW.



*Ilustración 9. Plegadora encoladora Bobst Expertfold*

### 2.3.4. IMPRESORA FLEXOGRÁFICA

Una vez la plancha de cartón ondulado está troquelada, plegada y encolada con el diseño de la caja a producir, el siguiente paso es imprimir las cajas con logos, instrucciones de manejo y/o información relevante del producto.

#### **Impresora Flexográfica Recomendada: Gopfert Ovation HBL**

Velocidad de Producción: Hasta 300 metros por minuto.

Ancho de Trabajo: 2200 mm.

Número de Colores: Hasta 8 colores.

Tecnología de Secado: UV y aire caliente.



*Ilustración 10. Impresora flexográfica Gopfert Ovation*

### **2.3.5. PALETIZADORAS**

El último paso tras la producción de las cajas de cartón es formar palets para su almacenamiento y distribución. Para ello es importante la elección de la paletizadora, un sistema automatizado optimiza el proceso de empaque final, garantizando que las cajas estén listas para su uso sin daños.

#### **Paletizadora: Movitec TP 150**

Capacidad de Paletizado: Hasta 1.500 cajas por hora.

Velocidad de Paletizado: Hasta 30 palets por hora.

Sistema de Alimentación: Automático, integrado con la línea.



*Ilustración 11. Paletizadora*

### 2.3.6. COMPACTADORA DE RECORTES

Es una máquina que se utiliza para compactar y comprimir desechos de cartón, como recortes o desperdicios de producción, en fardos más compactos y manejables.

La compactadora desempeña un papel importante en la gestión de residuos y la sostenibilidad en la fabricación de cartón ondulado. Ayuda a reducir costos, mejorar la eficiencia y promover prácticas ambientalmente responsables al facilitar el manejo y el reciclaje de los residuos de cartón.



*Ilustración 12. Compactadora de recortes*

### 2.3.7. MAQUINARIA AUXILIAR

Además de la maquinaria principal para el proceso que ya hemos visto, existe maquinaria auxiliar y secundaria que será igualmente imprescindible para el buen funcionamiento de la planta. Entre otras se encuentran las siguientes:

- Climatizadora: será necesario tanto para la planta como para la zona de oficinas. Este sistema de climatización ayuda a controlar humedad y temperatura en las zonas que lo requieran. Dada la imposibilidad de climatizar la planta industrial al completo, los esfuerzos se deben enfocar en la climatización de zonas clave como son los puestos de trabajo de personal o las zonas productivas que requieran un control de temperatura y humedad que preserven la buena calidad del producto. La implantación de un sistema de climatización requiere de un cálculo frigorífico en función de las condiciones ambientales y los espacios a climatizar, y no entra dentro del alcance del presente proyecto.
- Compresores aire: imprescindible en la totalidad del proceso, desde el correcto funcionamiento de la maquinaria principal, accionada de forma neumática en muchas de sus partes, como en el sistema de transporte del material dentro de la planta. Este transporte de las planchas de cartón y del producto terminado entre las diferentes máquinas se realiza por medio de cintas transportadoras neumáticas.
- Caldera de vapor: el vapor es parte fundamental en el proceso de producción de cartón ondulado, desde su uso para calentar y ablandar las bobinas de papel Kraft, como para ayudar a la formación de las ondulaciones del cartón o para conseguir las condiciones de temperatura y humedad óptimas para la aplicación de las colas. Para ello, existirá una sala específica con caldera de vapor, que se dimensionará en capítulos posteriores.

- Sistema de bombeo PCI: será necesario implantar un sistema robusto de protección contra incendios dado que tanto la materia prima utilizada como el producto final tiene una alta carga de fuego y el riesgo de posibles incendios es alto. El sistema de protección contra incendios requiere de un estudio completo teniendo en cuenta la sectorización de la planta y la densidad de carga el fuego a la que está expuesto cada uno de ellos. Este estudio entra dentro del alcance del proyecto y se verá en capítulos posteriores, presentando soluciones concretas que doten a la planta de la seguridad necesaria ante el peligro de incendios. Para ello se seguirán los criterios establecidos en el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales, RD 2267/2004.
- Maquinaria de taller: la complejidad de las máquinas utilizadas en el proceso requiere de un mantenimiento continuo, tanto preventivo como predictivo como correctivo. Para ello, se requiere contar con una sala de taller equipada con maquinaria destinada a ello.

## 2.4. UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

La construcción y el diseño de las instalaciones de una fábrica de cartón ondulado desempeñan un papel fundamental en el éxito y la eficiencia de la operación. Estas instalaciones no solo deben ser funcionales, seguras y cumplir con los requisitos normativos, sino que también deben ser diseñadas para optimizar el flujo de trabajo y la producción. En este apartado, se explorará en detalle las necesidades en cuanto a edificación e instalaciones necesarias para el funcionamiento de una fábrica de cartón ondulado. Desde la elección estratégica de la ubicación hasta la disposición de los edificios y áreas de trabajo, se abordará cada aspecto crítico que contribuye al éxito de esta industria.

La planta industrial será construida en Plasencia, en la provincia de Cáceres, más en concreto en su Polígono Industrial, en la Avenida Martín Palomino.



*Ilustración 13. Ubicación de la planta*

La superficie escogida comprende 3 parcelas que en la actualidad se encuentran libres de construcción, y que entre las tres suman una superficie de 37.300 metros cuadrados, donde se ubicará la nave industrial, la zona de oficinas, y el resto de las instalaciones auxiliares.



*Ilustración 14. Emplazamiento de la planta en el polígono industrial*

Las parcelas seleccionadas para la ubicación de la planta se encuentran estratégicamente situadas junto a una carretera que ofrece conexión directa con la autovía A-66, a tan solo unos pocos kilómetros de distancia. Esta ubicación garantiza un acceso rápido y eficiente tanto para la entrada de materias primas como para la distribución de nuestros productos terminados.

Esta ubicación se beneficiará de la infraestructura existente en el polígono, como el suministro de agua, telecomunicaciones, el servicio de saneamiento o el suministro eléctrico dada su cercanía a la subestación eléctrica STR Plasencia Industrial, situada a aproximadamente 800 metros. Esta subestación es la principal fuente de energía para todo el polígono industrial, lo que asegura un suministro eléctrico fiable y constante, esencial para las operaciones continuas de nuestra planta.

Otro punto clave es su proximidad con la ciudad de Plasencia y pueblos de alrededor, muy ligados a la industria agrícola, más en concreto a la cereza, lo que sitúa la planta en un lugar estratégico del negocio.

## 2.5. DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN

A continuación, se describirá la situación y distribución de la planta, tanto la zona exterior como la interior, planteando de forma general las soluciones constructivas adecuadas al proyecto.

### 2.5.1. ZONA EXTERIOR

#### 2.5.1.1. CERRAMIENTO DE LA PARCELA

La elección del cerramiento perimetral para la parcela de nuestra fábrica es una decisión de gran importancia, ya que afecta tanto a la seguridad como a la presentación de nuestras instalaciones. Tras una cuidadosa evaluación de las opciones disponibles, se ha optado por utilizar vallas de acero pintadas tipo "expo" con una altura de 3 metros.

Las vallas de acero pintadas tipo "expo" de 3 metros de altura son una elección sólida para el cerramiento perimetral de la parcela ya que proporcionan seguridad, durabilidad y una apariencia estética, y pueden contribuir al buen funcionamiento de la instalación.

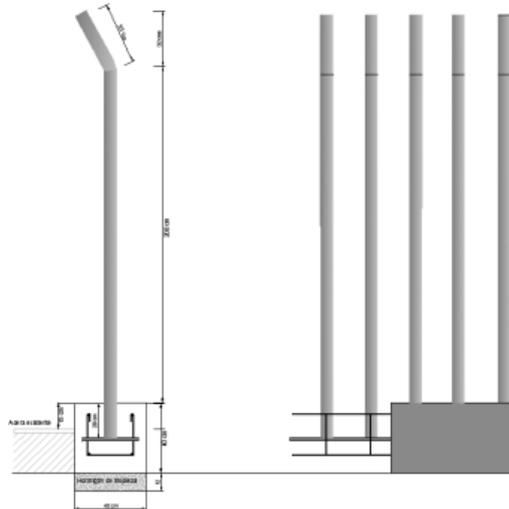


*Ilustración 15. Cerramiento de la planta con valla tipo expo*

Para su instalación en primer lugar se prepara el terreno, excavando zanjas en el terreno siguiendo las dimensiones especificadas, que serán de 40x40 centímetros. Estas zanjas actuarán como la base donde se colocará el zuncho de apoyo.

El zuncho generalmente está hecho de concreto o algún otro material resistente. Debe ser lo suficientemente fuerte para soportar el peso de la valla y proporcionar una base sólida.

Una vez que el zuncho está en su lugar y fijado adecuadamente, se procede a la construcción del murete de sujeción. Este murete se levanta sobre el zuncho y se utiliza como soporte para el cerramiento perimetral, la valla expo.

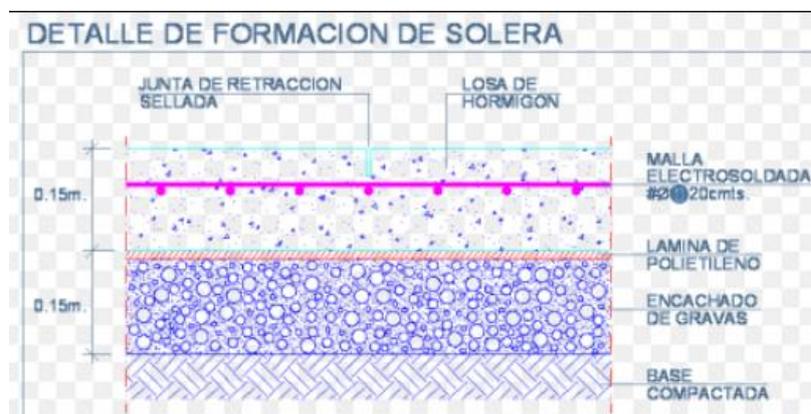


*Ilustración 16. Detalle constructivo de la valla tipo expo*

### 2.5.1.2. SOLERA Y PAVIMENTO

La elección de solera y pavimento adecuados en cada zona de la fábrica contribuye a la seguridad, la eficiencia y la durabilidad de la instalación, y debe ser considerada cuidadosamente durante el diseño y la construcción de la fábrica. Debe ser robusta y adecuada para soportar las cargas pesadas de maquinaria y equipos.

Por esto, la decisión es construir una solera de hormigón de 30 cm de espesor con mallazo de refuerzo que garantice en la zona de maniobra de camiones la durabilidad y resistencia en áreas sometidas a cargas pesadas y maniobras de vehículos de carga. Esta elección protege contra daños, proporciona estabilidad, y reduce los costos de mantenimiento a largo plazo. El hormigón es conocido por su resistencia al desgaste y es ideal para áreas de alto tráfico.



*Ilustración 17. Detalle constructivo de la solera*

Se optará por pavimentación asfáltica en las áreas de tránsito de vehículos, considerando su mayor asequibilidad en contraste con el pavimento de hormigón. Esta elección se aconseja específicamente para áreas con un tráfico de vehículos limitado, asegurando al mismo tiempo que exista el espacio necesario para las maniobras de giro de los camiones. El pavimento asfáltico, además de ser más económico, se adapta adecuadamente a zonas con movimientos de vehículos esporádicos, manteniendo un equilibrio entre eficiencia y costos en la fábrica de cartón ondulado.



*Ilustración 18. Pavimento asfáltico utilizado en zona aparcamiento*

### **2.5.1.3. APARCAMIENTO**

Se destinará este espacio para brindar un estacionamiento seguro y con videovigilancia a los vehículos personales de los empleados. El diseño considerará las dimensiones de los vehículos, la cantidad a albergar y todas las medidas de seguridad necesarias.

El pavimento para esta zona se realizará en asfalto pintado con elastómero acrílico. Esta elección se fundamenta en que los vehículos de los empleados no generan esfuerzos tan significativos como para requerir pavimento de hormigón, lo que permite reducir los costos sin comprometer la calidad.

### **2.5.1.4. ZONA DE CARGA Y DESCARGA**

Este espacio está cuidadosamente planificado para optimizar la eficiencia en las operaciones de descarga y carga de materiales clave en la fábrica, en este caso, las bobinas de papel Kraft y los palets de cajas de cartón terminadas.



*Ilustración 19. Zona de carga y descarga del materias primas y producto terminado*

La elección de realizar estas operaciones bajo una marquesina ofrece varias ventajas significativas. En primer lugar, proporciona una protección esencial contra las condiciones climáticas, lo que garantiza que el proceso pueda llevarse a cabo de manera continua, independientemente de las condiciones meteorológicas. Esto es especialmente importante en una fábrica de cartón ondulado, donde la protección de las materias primas y los productos terminados es crítica.



*Ilustración 20. Carretilla transportadora de bobinas de papel Kraft*

La decisión de no utilizar muelles de carga se basa en la naturaleza de la descarga lateral de los materiales desde los camiones de transporte. Esta técnica no solo simplifica el diseño al eliminar la necesidad de crear una pendiente en el muelle de carga, sino que también ahorra tiempo y recursos, ya que no se requiere equipamiento especializado para la elevación o el posicionamiento de los camiones.

La zona exterior de carga y descarga de bobinas de papel Kraft tendrá una superficie aproximada de unos 500 m<sup>2</sup> con capacidad de estacionamiento de 3 camiones tráiler y espacio suficiente para la maniobra de las carretillas transportadores de bobinas, que realizaran la carga y descarga por el lateral de los camiones.

La zona de carga del material terminado será similar a la anterior y se ubicará contigua a esta, en el exterior de la zona de almacenamiento interno de las cajas terminadas.

En resumen, esta área ha sido diseñada con una combinación de enfoque en la eficiencia operativa y en la reducción de costos, garantizando al mismo tiempo la seguridad de las operaciones de carga y descarga.

## **2.5.2. ZONA INTERIOR, NAVE INDUSTRIAL**

La estructura principal de la fábrica cumple un papel crucial al albergar el proceso productivo y proporcionar protección tanto a los operarios como a los equipos y materiales contra las inclemencias del clima exterior.

Esta estructura se caracterizará por su diseño diáfano, lo que significa que será espaciosa y sin obstáculos internos significativos. Se construirá utilizando elementos de hormigón prefabricado. La elección del hormigón prefabricado se fundamenta en varias consideraciones esenciales:

**Alta Carga Térmica:** Dado que en este proceso industrial se manipulan materiales que pueden generar una carga térmica significativa, como el cartón, el hormigón prefabricado ofrece una excelente resistencia al calor y al fuego. Esto garantiza la seguridad y la protección en caso de eventos relacionados con el fuego.

Facilidad de Montaje: Los elementos de hormigón prefabricado se fabrican en condiciones controladas y luego se ensamblan en el sitio de construcción.

Altura y Luz Adecuadas: La estructura principal no requerirá una altura o luz excepcionalmente altas, y el hormigón prefabricado es adecuado para este propósito sin la necesidad de estructuras más complejas o costosas.



*Ilustración 21. Estructura de la nave industrial de hormigón prefabricado*

La nave industrial tendrá unas dimensiones de 162 metros de largo, 85 metros de ancho y una altura de 10 metros. La necesidad de una nave con esa longitud viene dada por la propia línea de producción, puesto que la onduladora, la máquina principal, tiene unas dimensiones cercanas a 100 metros de longitud. También será necesario una anchura adecuada que permita organizar la línea productiva de la manera más eficiente, además de poder disponer de las salas auxiliares como taller mecánico, cocina de colas, sala de cuadro eléctrico, etc.

La disposición de los pórticos transversales será tal que hay una distancia entre ellos de 8 metros, teniendo por tanto un total de 21 pórticos transversales. La distancia entre ellos facilita el uso de placas de hormigón de dimensiones estándar.

Dado que la nave tiene una luz de 85 metros, será necesario contar con dos apoyos intermedios en cada pórtico transversal, de forma que se reduzca la luz por debajo de los 30 metros, dimensiones óptimas para una estructura de hormigón prefabricado.



*Ilustración 22. Ejemplo de disposición de pórticos con apoyo intermedio*

Este diseño siempre irá acorde al Código Técnico de la Edificación, más en concreto al documento básico SE-AE de seguridad estructural y acciones en la edificación.

Aunque la construcción de la nave con hormigón prefabricado muestra importantes ventajas, también presenta algunos inconvenientes como son:

- Desde una perspectiva estructural, los elementos prefabricados presentan puntos vulnerables, especialmente en las uniones, lo que puede resultar en una limitada rigidez frente a fuerzas horizontales.
- Los componentes prefabricados están sujetos a cargas transitorias continuas desde su transporte hasta su instalación final, lo que puede afectar su resistencia estructural.
- La inversión inicial requerida para la adquisición de elementos prefabricados puede ser sustancial.
- Durante el proceso de montaje, se hace necesario el uso de maquinaria pesada y un espacio considerable para maniobrar de manera efectiva.



*Ilustración 23. Proceso de montaje de cerramiento de hormigón prefabricado*

El diseño de la cubierta de la fábrica se ha concebido con varios objetivos clave en mente:

Tipo de Cubierta: Se ha optado por una cubierta tipo Deck con una ligera inclinación del 0.5-1%. Esta inclinación permite una evacuación efectiva del agua de lluvia hacia las zonas laterales de la industria, evitando desniveles significativos. Esta elección es fundamental para prevenir problemas como posibles atascos en los desagües y garantizar la protección de la línea de proceso, donde se manejan materiales altamente sensibles a la humedad.

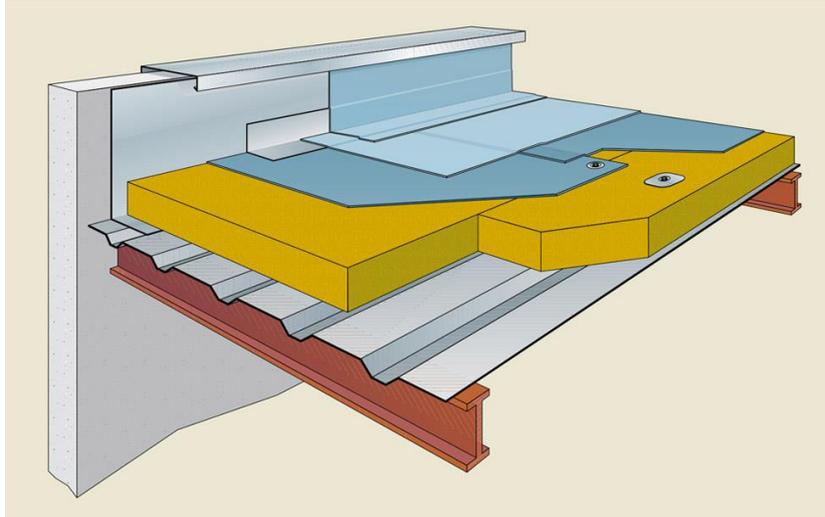


*Ilustración 24. Cubierta tipo Deck*

Algunas de las ventajas que presenta la cubierta tipo Deck son:

1. Seguridad Contra Incendios: Estas cubiertas incorporan lana de roca como aislante, lo que le confiere una sólida resistencia al fuego, lo cual es fundamental en términos de seguridad.
2. Estanqueidad Continua: Estas cubiertas se caracterizan por su ejecución continua, lo que elimina la necesidad de juntas de estanqueidad y contribuye a una excelente impermeabilización.
3. Resistencia Sin Apoyos Intermedios: A pesar de abarcar grandes distancias, estas cubiertas no requieren soportes intermedios adicionales, lo que las hace ideales para estructuras con numerosos elementos en la cubierta.
4. Ligereza y Autoprotección: Son estructuras ligeras que cuentan con propiedades de autoprotección, lo que significa que tienen la capacidad de resistir y protegerse por sí mismas.
5. Absorción Acústica: Estas cubiertas permiten la perforación de la placa de soporte, lo que contribuye a una excelente absorción acústica y, por ende, a un entorno de trabajo más silencioso y cómodo.
6. Aislamiento Térmico Eficaz: Gracias al uso de aislantes de alta calidad y a la combinación de materiales, estas cubiertas ofrecen un aislamiento térmico eficaz, ayudando a mantener temperaturas interiores adecuadas.
7. Versatilidad en el Diseño: Su versatilidad en el diseño permite la creación de espacios amplios con grandes luces, adaptándose a diversas necesidades y requisitos de diseño.
8. Estas características hacen de las cubiertas de tipo moderno una opción versátil y efectiva para una variedad de aplicaciones, garantizando al mismo tiempo la seguridad, el rendimiento y el confort en el entorno de trabajo.

En la siguiente imagen se observan las partes que conforman la cubierta tipo Deck, cada una de estas aporta características aislantes, resistentes y de estanqueidad, que proporcionan a esta cubierta las ventajas antes citadas.



**Ilustración 25.** Detalle constructivo de cubierta tipo Deck

Se incorporarán claraboyas de policarbonato en la cubierta para aprovechar al máximo la luz natural en el interior de la industria. Estas claraboyas representarán aproximadamente el 10-20% de la superficie total de la cubierta. Esta solución no solo reduce la necesidad de iluminación artificial durante el día, sino que también crea un ambiente más agradable para los trabajadores.



**Ilustración 26.** Claraboya de policarbonato

La cubierta no solo albergará las claraboyas, sino que también servirá como soporte para los exutorios y las máquinas de ventilación forzada. Esto contribuirá a mantener un ambiente interior óptimo en términos de temperatura y calidad del aire, lo que es especialmente importante en un entorno industrial donde se busca un control preciso del clima para la producción de cartón ondulado. Además, los exutorios desempeñan un papel crucial en la seguridad contra incendios al facilitar la evacuación de humo y gases nocivos en situaciones de emergencia



*Ilustración 27. Exutorio de evacuación de gases y humos*

En resumen, la elección de una cubierta tipo Deck con inclinación y la incorporación de claraboyas de policarbonato y sistemas de ventilación demuestran un enfoque integral para crear un entorno de trabajo eficiente y cómodo en la fábrica de cartón ondulado. Estos elementos no solo mejoran la iluminación natural y el control del clima, sino que también optimizan la gestión del agua de lluvia, minimizando los riesgos asociados con la humedad en la línea de proceso.

El cerramiento de la nave industrial se realizará mediante el uso de placas prefabricadas de hormigón alveolar, que estarán recubiertas con paneles sándwich lisos y pintados. Esta elección tiene como objetivo lograr la apariencia estética deseada y proporcionar un efectivo aislamiento térmico



*Ilustración 28. Placas de hormigón prefabricadas*

El proceso de instalación de las placas de hormigón generalmente implica las siguientes etapas. Se prepara la superficie donde se colocarán las placas, asegurándose de que esté nivelada y adecuadamente compactada. Se coloca una base, que puede consistir en una capa de grava o arena, para proporcionar un soporte estable. Las placas de hormigón prefabricado se levantan e instalan en su posición correspondiente, utilizando equipos de elevación o maquinaria adecuada. Se verifica que las placas estén correctamente alineadas y niveladas para garantizar una superficie uniforme. En algunos casos, es necesario unir las placas entre sí mediante sistemas de anclaje o conectores para asegurar la estabilidad y continuidad. Si es necesario, se sellan las juntas entre las placas para evitar la infiltración de agua o humedad. Por último, se puede aplicar un acabado superficial o revestimiento según las especificaciones del proyecto.

La elección de la solera dependerá de cada una de las zonas de la nave industrial. Se pueden construir diferentes tipos de soleras según sus requisitos y uso previsto. Aquí se describen algunos de los tipos de soleras para cada zona:

- **Zona de Producción:** En esta área, donde se llevará a cabo el proceso de fabricación de cartón ondulado, se requiere una solera resistente y duradera. Se podría utilizar una solera de hormigón con un espesor de aproximadamente 15-20 cm para soportar el peso de la maquinaria y el tráfico constante.
- **Zona de Almacenamiento:** En las áreas de almacenamiento de productos terminados o materias primas, una solera de hormigón con un espesor menor, alrededor de 10-15 cm, podría ser suficiente para soportar cargas estáticas y movimientos de palets.
- **Zona de Carga y Descarga:** En la zona de carga y descarga de camiones, donde se manejarán cargas pesadas y habrá movimiento constante de vehículos, se podría utilizar una solera reforzada de hormigón con un espesor de al menos 20-25 cm para resistir las cargas dinámicas.
- **Área de Oficinas y Vestuarios:** En las áreas destinadas a oficinas y vestuarios, donde se requiere un suelo más cómodo y estético, se podría optar por soleras de hormigón más delgadas, de alrededor de 10 cm, y agregar un revestimiento como baldosas.



*Ilustración 29. Detalle constructivo de la solera*

## **2.5.3. ZONAS QUE COMPONEN LA FÁBRICA DE CARTÓN**

### **2.5.3.1. OFICINA**

La zona destinada a albergar al personal de oficina encargado de la administración del proceso industrial está diseñada para ofrecer un ambiente cómodo y climatizado, diferenciándose de las áreas de producción. A continuación, se detallan las características y elecciones de diseño para esta zona:

Cerramientos: Al igual que el resto de la nave, los cerramientos de esta área también estarán compuestos por placas de hormigón alveolar prefabricado recubiertas con panel sándwich en la vista exterior. Esto proporcionará continuidad visual y estética con el resto de la estructura de la nave.

Interior: En contraste con el exterior industrial, el interior de esta zona de oficinas se revestirá con placas de cartón yeso laminadas en color blanco. Este material crea un ambiente luminoso y limpio, contribuyendo a un entorno de trabajo agradable.



*Ilustración 30. Revestimiento del interior de la zona de oficinas*

Falso techo registrable de escayola: La oficina contará con un falso techo compuesto por placas de escayola suspendidas a una altura de 3 metros. Uno de los beneficios más significativos de un falso techo registrable es que proporciona acceso fácil a sistemas ocultos, como cableado eléctrico, conductos de aire acondicionado, fontanería y redes de datos. Esto facilita la instalación, el mantenimiento y las reparaciones sin necesidad de desmontar todo el techo.



*Ilustración 31. Falso techo registrable de la zona de oficinas*

La elección de estos materiales y diseños no solo crea un ambiente cómodo y estéticamente agradable para el personal de oficina, sino que también demuestra una consideración cuidadosa de la eficiencia en costos y tiempos de construcción. La diferenciación de la zona de oficinas climatizadas junto al comedor resalta la atención a las necesidades de comodidad y bienestar del personal.

### 2.5.3.2. PLANTA DE PRODUCCIÓN

Estará compuesta por espacios diferenciados, pero sin barreras físicas entre ellos, y comunicados mediante un sistema de cintas transportadoras neumáticas que moverán el material y materias primas entre ellas y las máquinas que las componen. Las zonas son las siguiente:

- Zona de carga y descarga de bobinas: se trata del espacio donde comienza el proceso, con la recepción de las bobinas de papel Kraft. Estas serán descargadas de los camiones por su parte lateral y trasladadas hasta el almacén

mediante carretillas elevadoras adaptadas al manejo de estas. Esta zona debe ser lo suficientemente amplia y libre de obstáculos para permitir la maniobrabilidad de varias de estas carretillas. Dado que en nuestra planta la demanda de materia prima es alta, en esta zona habrá un continuo tránsito de carga y descarga de bobinas.



*Ilustración 32. Zona de carga y descarga de bobinas de papel Kraft*

- Almacén de bobinas: una vez descargadas, las bobinas serán almacenadas en una zona contigua a la onduladora, para facilitar la alimentación continua al proceso. Dado que las necesidades de producción requieren un gasto de unas 8 bobinas cada hora, esto significa que en un día se necesitarán unas 130 bobinas de papel Kraft.

Si consideramos necesario contar con un stock de seguridad que cubra las necesidades de 3 días más las necesidades de un día normal, se tendrá un total de 520 bobinas almacenadas a la vez.

Para un correcto almacenamiento y manejo de las bobinas, se considera que el espacio necesario por unidad será de unos 3 m<sup>2</sup>, lo que resulta en un área total en la zona de almacén de aproximadamente 1.500 m<sup>2</sup>.



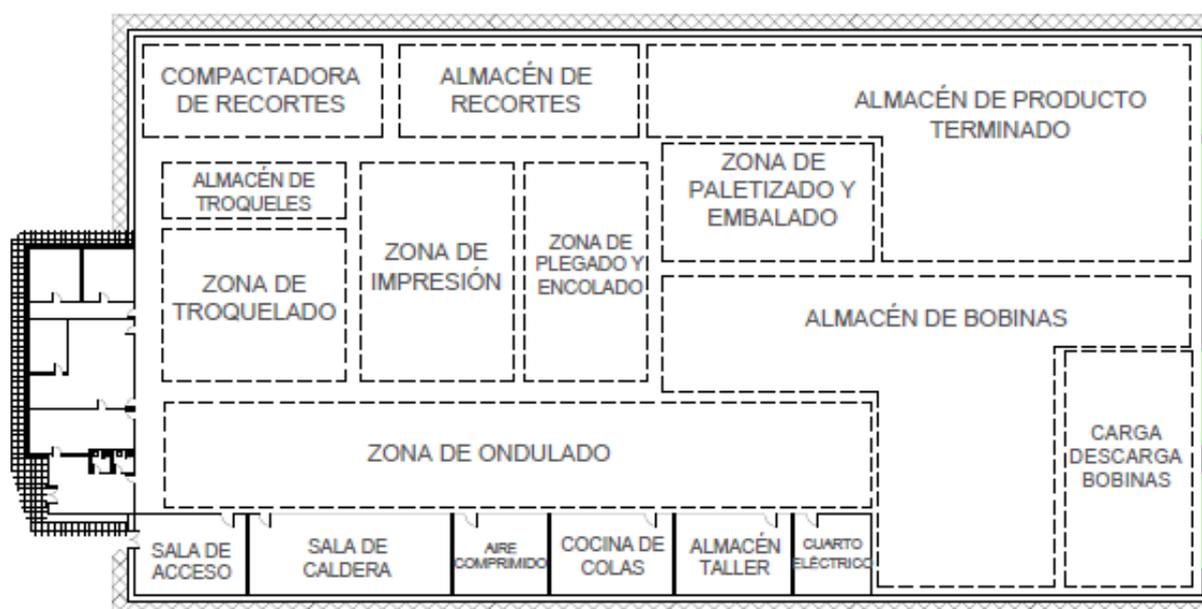
*Ilustración 33. Almacén de bobinas de papel Kraft*

- Zona de ondulado: contiguo al almacén de bobinas se encuentra la onduladora, de unos 100 metros de largo por 15 metros de ancho. Para facilitar la carga y descarga de bobinas y el tránsito de los operarios a lo largo de la máquina, el ancho de esta zona se amplía en 5 metros, resultando un total de unos 2.000 m<sup>2</sup>.
- Zona de troquelado: una vez las planchas de cartón salen de la onduladora, son transportadas mediante cintas hasta las troqueladoras, dispuestas en paralelo, lo que permitirá producir dos modelos de caja al mismo tiempo. Considerando esta disposición y una zona de operación y mantenimiento, será suficiente con contar con unos 300 m<sup>2</sup> de zona de troquelado.

- Zona de impresión: en esta zona se ubicará la impresora flexográfica y constituirá el último paso del proceso previo al paletizado y embalado del producto final. La impresora flexográfica a instalar tiene unas dimensiones de unos 15 metros de largo y 5 metros de ancho, que, añadidos a la zona correspondiente al transporte del producto y la zona de operación y mantenimiento, resultan en unos 200 m<sup>2</sup>.
- Zona de paletizado: una vez el producto se ha terminado, pasa a la zona de paletizado, donde se realiza el proceso final de acondicionamiento para su posterior distribución. Esta zona se sitúa al final de la línea, y antes del almacén de producto terminado. Aquí las cajas que llegan a través de cintas transportadoras se organizan según el patrón de la caja, se apilan y envuelven formando pallets que se almacenan hasta su distribución. La superficie de esta zona rondará los 600 m<sup>2</sup> de manera que se pueda ubicar la máquina paletizadora y haya espacio para la maniobra de las carretillas transportadores de producto terminado.
- Compactadora de recortes: se trata de una instalación crucial en la línea de producción ya que permite reducir el volumen de residuos generados en el proceso de troquelado, donde los recortes de cartón son enviados mediante cintas transportadoras a la compactadora, situada cercana a la línea y que compacta en balas todo el residuo. Esta zona tendrá una superficie de 500 m<sup>2</sup>.
- Almacén de recortes y deshechos: situado a continuación de la compactadora de recortes, es el lugar donde se almacenan las balas de cartón compactado fruto del residuo generado en el proceso de las cajas de cartón. Al igual que la zona de compactadora de recortes, la superficie de esta zona será de 500 m<sup>2</sup>.
- Almacén de troqueles: se trata de una pequeña zona, de unos 300 m<sup>2</sup>, equipada con mobiliario de almacenamiento, situada al lado de la zona de troquelado, donde se almacenan los diferentes modelos de troqueles y elementos que componen la troqueladora.
- Almacén de producto terminado: la última zona dentro de la planta. Es donde se almacenará el producto terminado una vez ha salido de la paletizadora. Estos pallets se almacenan hasta su distribución mediante camiones. Esta zona tendrá una superficie de unos 2.000 m<sup>2</sup>, siendo la más grande dentro de la planta junto con la zona de ondulado. Tendrá la capacidad suficiente para almacenar todo el producto terminado requerido por los clientes.

Además, existirá una zona con salas auxiliares diferenciadas como la cocina de colas, el taller mecánico, la sala de calderas, la sala de impulsión PCI, el almacén de recambios, la sala de compresores y la sala de cuadro eléctrico.

El Layout de la planta es el siguiente:



*Ilustración 34. LayOut de la planta*

Este Layout se ha diseñado de manera que el flujo de materia siga un camino definido, desde el almacén de bobinas, próximo a su zona de descarga y contiguo a la onduladora, para un posterior transporte de las planchas de cartón hacia las troqueladoras.

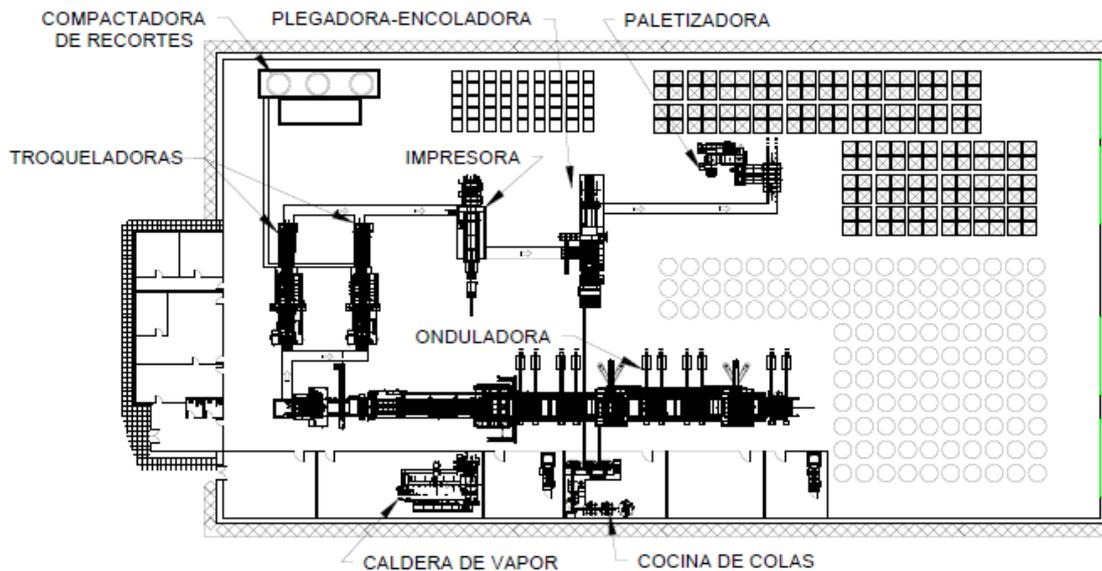
Para facilitar los posibles cambios en los diseños de las cajas, se habilita un pequeño almacén de troqueles que permitirá mayor diversidad en la producción y cortos periodos de tiempos muertos al realizar estos cambios.

Una vez la caja tiene la forma y el diseño buscado, pasará directamente a la impresora flexográfica, para terminar en la zona de paletizado y embalado y ser almacenado próximo al muelle de carga.

Además, cercano a la zona de troquelado, donde se producen los deshechos de cartón procedentes de los cortes, se encuentra la compactadora de recortes. Este sistema es fundamental para reducir el volumen del cartón no utilizado, facilitando su almacenamiento y transporte. Estos residuos serán vendidos para su reciclaje, contribuyendo así a una correcta gestión de residuos además de optimizar costes.

En el lateral de la planta donde está la onduladora, se disponen las diferentes salas auxiliares comentadas anteriormente.

Se observa a continuación el plano de planta con las diferentes máquinas que componen el proceso:



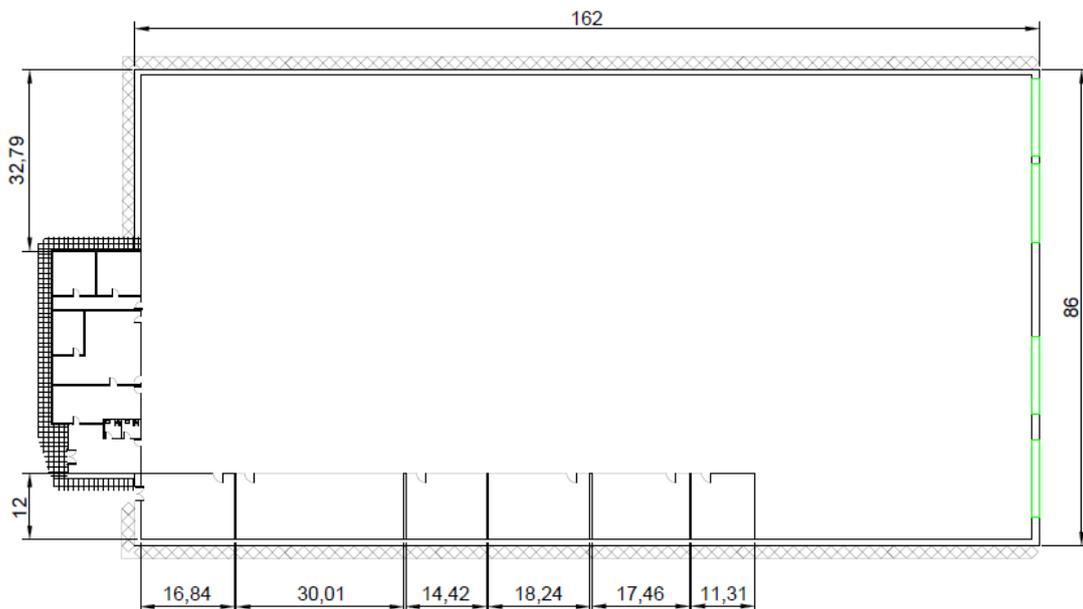
*Ilustración 35. LayOut de la planta y línea de producción*

En la tabla se puede observar las dimensiones de cada una de las áreas citadas, dando por resultado un total de unos 14.000 metros cuadrados de zona de producción.

*Tabla 1 – Áreas de las diferentes zonas de la planta*

ESPACIO	ÁREA (m <sup>2</sup> )
Carga/Descarga Bobinas	600
Almacén de Bobinas	1.400
Zona de Ondulado	2.000
Zona de Troquelado	800
Almacén de Troqueles	300
Zona de Impresión	800
Zona de Paletizado y Embalado	600
Almacén de Recortes	500
Compactadora Recortes	500
Almacén de Producto Terminado	2.000
Pasillos y otros espacios	300
Salas auxiliares	900
Zona de Transporte	3.300
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>14.000 m<sup>2</sup></b>

A continuación, se observa un plano de planta acotado de la nave:



*Ilustración 36. LayOut de la planta acotado*

## 2.6. INSTALACIONES AUXILIARES

En este capítulo se pasa a estudiar y dimensionar las instalaciones auxiliares que componen la planta industrial, que aunque no formen parte directa del proceso productivo del cartón, son esenciales para su correcto funcionamiento.

Se estudian en profundidad la instalación de protección contra incendios, la instalación auxiliar de la cocina de colas, la instalación eléctrica de media y baja tensión y el sistema de producción de vapor.

### 2.6.1. ESTUDIO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

Para el diseño de la instalación de protección contra incendios en la nave industrial hay que irse a la normativa “*REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales*”

#### 2.6.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL

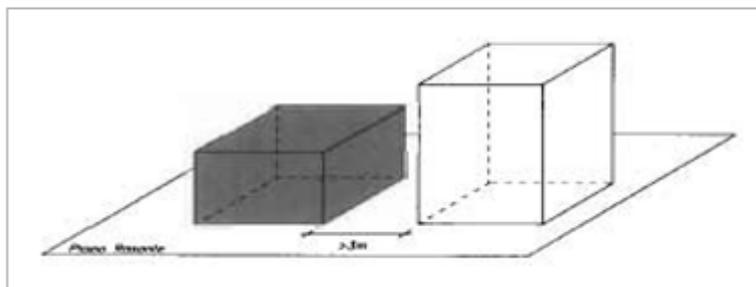
Esta normativa nos dice en primer lugar que debemos conocer el tipo de establecimiento frente al que nos encontramos, y para ello vamos al ANEXO I. Este anexo define un establecimiento como “*el conjunto de edificios, edificio, zona de este, instalación o espacio abierto de uso industrial o almacén, según lo establecido en el artículo 2, destinado a ser utilizado bajo una titularidad diferenciada y cuyo proyecto de construcción o reforma, así como el inicio de la actividad prevista, sea objeto de control administrativo.*”

Dichos establecimientos se caracterizan por:

- a) Su configuración y ubicación con relación a su entorno.
- b) Su nivel de riesgo intrínseco.

Siguiendo las diferentes opciones que muestra el reglamento, el establecimiento ante el que nos encontramos se trata de un TIPO C, “*el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio.*”

#### TIPO C



*Ilustración 37. Establecimiento industrial tipo C*

Una vez conocida la configuración, el siguiente paso es conocer el riesgo intrínseco de cada área del establecimiento, para lo cual será necesario calcular la densidad de carga de fuego, haciendo uso de las tablas que muestra la norma.

La disposición de la planta hace lógica la diferenciación entre dos áreas de fuego, la zona de producción y almacenaje, donde se encuentra la mayor parte de maquinaria, materia prima y producto final, y por otro lado, la zona donde se ubican las salas auxiliares, descritas anteriormente.



*Ilustración 38. Diferentes sectores de incendios en la planta*

Para evaluar la densidad de carga de fuego de cada una de estas áreas se aplica la siguiente fórmula cuando la actividad realizada en ella es de producción:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{si} \cdot S_i \cdot C_i}{A} \cdot R_a \text{ [MJ/m}^2\text{]}$$

Donde:

**$Q_s$**  = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m<sup>2</sup> o Mcal/m<sup>2</sup>.

**$q_{si}$**  = densidad de carga de fuego de cada zona con proceso diferente según los distintos procesos que se realizan en el sector de incendio (i), en MJ/m<sup>2</sup> o Mcal/m<sup>2</sup>

**$S_i$**  = superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego,  $q_{si}$  diferente, en m<sup>2</sup>.

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

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

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

**$A$**  = superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m<sup>2</sup>.

En el caso de que la actividad en dicha área sea de almacenamiento, la fórmula es:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} \cdot C_i \cdot h_i \cdot S_i \cdot x}{A} \cdot R_a \text{ [MJ/m}^2\text{]}$$

Donde:

*Qs, Ci, Ra, Si, A* Significan lo mismo que en la fórmula anterior.

*qvi* = carga de fuego, aportada por cada m3 de cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio, en MJ/m3 o Mcal/m3.

*hi* = altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles, (i), en m.

*si* = superficie ocupada en planta por cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio en m2

Dado que en nuestras áreas de fuego coexisten tanto actividades de producción como de almacenamiento, la densidad de carga de fuego será el sumatorio de las individuales para cada actividad.

Haciendo uso de la TABLA 1.1 Valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad, C, TABLA 1.2 Valores de densidad de carga de fuego media de diversos procesos industriales, de almacenamiento de productos y riesgo de activación asociado, Ra y TABLA 1.4 Poder calorífico (q) de diversas sustancias, obtenemos los siguientes valores de los coeficientes a aplicar en las fórmulas descritas.

### ÁREA DE FUEGO 1: Producción y almacén

**Tabla 2 – Coeficientes de cálculo de la densidad de carga al fuego en Sector 1**

ESPACIO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ACTIVIDAD	Ci	FABRICACIÓN Y VENTA		ZONA DE ALMACENAMIENTO			
				Qs	Ra	qv	Ra	Hi	% Ocupación
Carga/Descarga Bobinas	600	Cartón embreado	1,6	2000	2				
Zona de Corrugado	2.000	Máquinas	1,3	200	1				
Zona de Troquelado	800	Máquinas	1,3	200	1				
Zona de Impresión	800	Máquinas	1,3	200	1				
Zona de Paletizado y Embalado	600	Máquinas	1,3	200	1				
Compactadora Recortes	500	Máquinas	1,3	200	1				
Almacén de Recortes	500	Cartón	1,6			4200	1,5	4	0,8
Almacén de Bobinas	1.400	Cartón embreado	1,6			2500	2	4	0,8
Almacén de Producto Terminado	2.000	Cartón ondulado	1,6			1300	2	4	0,8
Pasillos y otros espacios	300	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Zona de Transporte	3.300	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Almacén de Troqueles	300	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

En la tabla se observa la diferencia entre las zonas de fabricación y venta, las zonas de almacenamiento y las zonas que no tienen aporte a la densidad de carga de fuego, como son los pasillos, zonas de transporte o almacén de troqueles.

La zona de almacenamiento tendrá una altura media de unos 4 metros, por lo que el coeficiente  $H_i = 4$ , y el porcentaje de ocupación de los almacenes se marca en un 80%.

El valor del coeficiente  $R_a$  a aplicar es el mayor riesgo de activación, cuya actividad ocupa al menos el 10% de la superficie, en el caso de estudio es  $R_a=2$ .

Con esto, y aplicando las fórmulas anteriores, obtenemos que la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida del *Área de fuego 1* es:

$$Q_s = 6.889,47 \text{ MJ/m}^2$$

### ÁREA DE FUEGO 2: Producción y almacén

*Tabla 3 – Coeficientes de cálculo de la densidad de carga al fuego en Sector 2*

ESPACIO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ACTIVIDAD	Ci	FABRICACIÓN Y VENTA		ZONA DE ALMACENAMIENTO			
				Qs (MJ/m2)	Ra	qv (MJ/m2)	Ra	Hi	% Ocupación
Taller mecánico	220	Taller de reparación	1,3	400	1				
Sala de calderas	210	Máquinas	1,3	200	1				
Sala de compresor	190	Máquinas	1,3	200	1				
Cocina de colas	230	Pegamentos Combustibles	1,3	1000	1,5				
Almacén de recambios	50	Aparatos eléctricos	1,6			400	1	4	0,80

El sector de incendios de las salas auxiliares cuenta con un único espacio de almacenamiento y cuatro espacios de producción.

Para el cálculo de la densidad de carga de fuego se siguen los mismos pasos que en el caso anterior, siendo  $H_i = 4$ , el porcentaje de ocupación de almacén el 80% y  $R_a=1,5$ .

Con esto se obtiene que:

$$Q_s = 1.033,00 \text{ MJ/m}^2$$

Una vez obtenida la densidad de carga de fuego de los dos sectores el siguiente paso es obtener el Nivel de Riesgo Intrínseco, para lo que se comparan los valores obtenidos con los mostrados en la TABLA 1.3 del reglamento, que se muestra a continuación.

Nivel de riesgo intrínseco		Densidad de carga de fuego ponderada y corregida	
		Mcal/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>
BAJO	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1.275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1.275 < Q_s \leq 1.700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1.700 < Q_s \leq 3.400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1.600$	$3.400 < Q_s \leq 6.800$
	7	$1.600 < Q_s \leq 3.200$	$6.800 < Q_s \leq 13.600$
	8	$3.200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

*Ilustración 39. TABLA 1.3 del reglamento. Nivel de riesgo intrínseco*

La comparativa nos da como resultado que el *Área de fuego 1* tiene un nivel de riesgo intrínseco **ALTO 7**, al estar en el rango de  $6.800 < Q_s < 13.600 \text{ MJ/m}^2$

El *Área de fuego 2* tiene un nivel de riesgo intrínseco **MEDIO 3** al estar en el rango de  $850 < Q_s < 1.275 \text{ MJ/m}^2$

*Tabla 4 – Riesgo intrínseco en los diferentes sectores*

SECTOR DE INCENDIOS	DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO	RIESGO INTRÍNSECO
1	6889,47 (MJ/m <sup>2</sup> )	ALTO 7
2	1033,00 (MJ/m <sup>2</sup> )	MEDIO 3

### 2.6.1.2. REQUISITOS CONSTRUCTIVOS DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL

El ANEXO II del reglamento define los requisitos constructivos de los establecimientos industriales y más en detalle su sectorización.

#### A. Fachadas accesibles

Se consideran fachadas accesibles de un establecimiento industrial aquellas que cuenten con huecos que permitan el acceso exterior del personal de extinción de incendios. El planteamiento urbanístico, las condiciones de diseño y construcción, los accesos, huecos, etc, deben posibilitar su intervención.

Se considera fachada accesible si se cumple que:

- Facilitar el acceso a cada una de las plantas del edificio, de forma que la altura del alféizar respecto del nivel de la planta a la que accede no sea mayor que 1,20 m
- Sus dimensiones horizontal y vertical deben ser al menos 0,80 m y 1,20 m, respectivamente. La distancia máxima entre los ejes verticales de dos huecos consecutivos no debe exceder de 25 m, medida sobre la fachada.
- No se deben instalar en fachada elementos que impidan o dificulten la accesibilidad al interior del edificio a través de dichos huecos, a excepción de los elementos de seguridad situados en los huecos de las plantas cuya altura de evacuación no exceda de nueve m.

Además de esto, también se deben cumplir las siguientes condiciones del entorno del edificio, resumidas a continuación:

- Anchura mínima libre: 6m.
- Altura libre: la del edificio.
- Separación máxima del edificio: 10 m.
- Distancia máxima hasta cualquier acceso principal al edificio: 30 m
- Pendiente máxima: 10 por ciento.
- Capacidad portante del suelo: 2000 kp/m<sup>2</sup>.
- Resistencia al punzonamiento del suelo: 10 t sobre 20 cm Ø.

El espacio de maniobra debe estar libre de mobiliario, árboles o jardines y otros obstáculos.

En cuanto a proximidad con resto de edificios, el espacio de maniobra y los viales de acceso a la fachada deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Anchura mínima libre: cinco m.
- Altura mínima libre o gálibo: 5,0 m
- Capacidad portante del vial: 2000 kp/m<sup>2</sup>.

### 2.6.1.3. SECTORIZACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL

La TABLA 2.1 muestra la superficie máxima admisible de cada uno de los sectores de incendio según el tipo de establecimiento.

Riesgo intrínseco del sector de incendio	Configuración del establecimiento		
	TIPO A (m <sup>2</sup> )	TIPO B (m <sup>2</sup> )	TIPO C (m <sup>2</sup> )
4	400	3000	4000
5	300	2500	3500
ALTO	NO ADMITIDO	(3)	(3)(4)
6		2000	3000
7		1500	2500
8		NO ADMITIDO	2000

*Ilustración 40. TABLA 2.1 del reglamento. Superficie máxima por sector de incendio*

Esta tabla arroja como resultado que el área de fuego 1 que se ha considerado no cumpliría con la normativa al superar los 2.500 metros cuadrados de superficie. Para suplir este inconveniente está la nota (4) de la tabla, que dice lo siguiente “(4) En configuraciones de tipo C, si la actividad lo requiere, el sector de incendios puede tener cualquier superficie, siempre que todo el sector cuente con una instalación fija automática de extinción y la distancia a límites de parcelas con posibilidad de edificar en ellas sea superior a 10 m.”

Esto obliga por tanto a contar con una instalación fija automática de extinción y a mantener mínimo 10 metros hasta el límite de la parcela sin edificar.

El área de fuego 2 cumple sin problema al estar dentro de los límites marcados en la tabla.

### 2.6.1.4. ESTABILIDAD AL FUEGO DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PORTANTES

El siguiente paso en el estudio de los requisitos constructivos en función del riesgo intrínseco es conocer la estabilidad al fuego de los elementos constructivos portantes, que la norma lo define como “el tiempo en minutos, durante el que dicho elemento debe mantener la estabilidad mecánica (o capacidad portante) en el ensayo normalizado conforme a la norma correspondiente.”

Esta norma nos dice que los elementos estructurales portantes no tendrán un valor inferior al indicado en la TABLA 2.2

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante
BAJO	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)	R 60 (EF - 60)	R 30 (EF - 30)
MEDIO	NO ADMITIDO	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)
ALTO	NO ADMITIDO	NO ADMITIDO	R 180 (EF - 180)	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)

*Ilustración 41. TABLA 2.2 del reglamento. Elementos estructurales portantes*

En el caso de estudio, el nivel de riesgo intrínseco es ALTO, con establecimiento TIPO C y planta sobre rasante, lo que implica que dichos elementos deben mantener su estabilidad mecánica durante al menos 90 minutos expuesto al fuego.

En el caso de estudio, la estructura portante está fabricada de hormigón armado, uno de los materiales con mejores características de estabilidad frente al fuego. En las siguientes imágenes se observa la resistencia al fuego de algunos elementos constructivos de hormigón.

Esesor en cm sin considerar los revestimientos	29	24	14	11	9	5,5
<b>Elemento constructivo</b>						
Elemento de fábrica de bloques huecos de hormigón:						
Sin revestir.	RF-180	RF-180	RF-120	RF-90	RF-60	RF-30
Con 1,5 cm de revestimiento de mortero de yeso o cemento en la cara expuesta.	RF-240	RF-180	RF-120	RF-120	RF-90	RF-60
Con mortero de yeso o cemento en ambas caras.	RF-240	RF-240	RF-180	RF-180	RF-120	RF-90
Con 1,5 cm de mortero vermiculita y yeso en la cara expuesta.	RF-240	RF-240	RF-240	RF-240	RF-180	RF-120
Elemento de fábrica de bloques macizos de hormigón:						
Sin revestir.	RF-240	RF-180	RF-120	RF-90	RF-60	RF-30
Con 1,5 cm de revestimiento de mortero de yeso o cemento en la cara expuesta.	RF-240	RF-240	RF-180	RF-120	RF-90	RF-60
Con mortero de yeso o cemento en ambas caras.	RF-240	RF-240	RF-240	RF-180	RF-120	RF-90
Con 1,5 cm de mortero de vermiculita y yeso en la cara expuesta.	RF-240	RF-240	RF-240	RF-240	RF-180	RF-120
Resistencia al fuego, en minutos.						

*Ilustración 42. Resistencia al fuego de tabiques y muros de fábrica de bloque de hormigón*

Las placas de hormigón prefabricado suelen tener un espesor de entre 12 y 20 cm, que comprobando con la anterior tabla se tiene que siempre se estará por encima de una resistencia al fuego de RF-90.

De la misma forma, para los pilares de hormigón armado, que como se muestra en la siguiente tabla, obliga a que estos sean de una dimensión mínima de 20 cm en la sección transversal con un recubrimiento de la armadura principal de 2 cm para obtener una resistencia al fuego de al menos RF-90

Dimensión mínima, en cm, de la sección transversal	50	40	30	24	20	15
Recubrimiento, en cm, de la armadura principal	3,5	3,5	3,5	3,0	2,0	1,0
<b>Elemento constructivo</b>						
Pilar de hormigón armado exento:						
Sin revestir.	RF-240	RF-180	RF-120	RF-90	RF-60	RF-30
Con 1,5 cm de revestimiento de mortero de yeso o cemento sobre malla metálica.		RF-180	RF-120	RF-90	RF-90	RF-30
Con 1,5 cm de mortero de yeso y vermiculita o perlita sobre malla metálica.		RF-180	RF-120	RF-90	RF-90	RF-30
Con 1,5 cm de mortero de amianto sobre malla metálica.	RF-240	RF-180	RF-120	RF-90	RF-90	RF-60
Resistencia al fuego, en minutos.						

*Ilustración 43. Resistencia al fuego de pilares de hormigón armado*

En el caso de los elementos constructivos que separan o delimitan diferentes sectores de incendio respecto de otros, no puede ser inferior a la estabilidad del fuego exigida para los elementos estructurales portantes, obtenido anteriormente. Las puertas que separan diferentes sectores de incendios tendrán una resistencia al fuego de al menos la mitad de la exigida a elemento delimitador de ambos sectores.

### 2.6.1.5. VENTILACIÓN Y ELIMINACIÓN DE HUMOS Y GASES DE LA COMBUSTIÓN

Otro requisito constructivo dependiente del nivel de riesgo intrínseco es el sistema de ventilación de humos y gases de la combustión de los sectores de incendios y obliga a disponer de sistema de evacuación de humos siempre que:

- 1- Se trate de sector con actividad de producción con riesgo intrínseco alto y superficie construida  $> 1000 \text{ m}^2$
- 2- Se trate de sector con actividad de almacenamiento con riesgo intrínseco alto y superficie construida  $> 800 \text{ m}^2$

Esta ventilación, aunque el reglamento permita que sea natural, se propone como forzada. Se dispondrá uniformemente de huecos practicables en la cubierta de la nave, denominados exutorios. El número de exutorios a instalar y el área total de ventilación de la nave se deben calcular conforme a la norma UNE 23585 de control de humos.



*Ilustración 44. Exutorios de evacuación*

## 2.6.1.6. REQUISITOS DE LAS INSTALACIONES DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS DE LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES

En este apartado se describen y justifican todos los sistemas, equipos y componentes requeridos para la instalación de protección contra incendios según el reglamento.

## 2.6.1.7. SISTEMAS AUTOMÁTICOS Y MANUALES DE DETECCIÓN CONTRA INCENDIOS

El ANEXO III del reglamento obliga a la instalación de sistemas automáticos de detección de incendios siempre que en los diferentes sectores se desarrollen:

- 1- Actividades de producción en edificio de TIPO C con nivel de riesgo intrínseco alto y superficie construida superior a los 2.000 m<sup>2</sup>
- 2- Actividades de almacenamiento en edificios de TIPO C con nivel de riesgo intrínseco alto y superficie construida superior a 800 m<sup>2</sup>

También deberán instalarse sistemas manuales de alarma de incendio, situando un pulsador junto a cada salida de evacuación del sector.

Se debe instalar un sistema de comunicación de alarma de incendios en cada uno de los sectores al superar la superficie total los 10.000 m<sup>2</sup>. Este sistema de comunicación diferenciará entre alarma por emergencia parcial y emergencia general, y se implementará mediante un sistema de megafonía.

## 2.6.1.8. SISTEMA DE HIDRANTES EXTERIORES

Lo siguiente es conocer qué necesidades de sistemas de extinción tenemos según las exigencias del reglamento.

Se instalarán hidrantes exteriores al disponer de áreas de incendios con riesgo intrínseco alto, superficie mayor a 2.000 m<sup>2</sup>. La TABLA 3.1 del reglamento recoge los requerimientos.

Configuración de la zona de incendio	Superficie del sector o área de incendio (m <sup>2</sup> )	Riesgo Intrínseco		
		Bajo	Medio	Alto
A	≥ 300	NO	SÍ	
	≥ 1000	SÍ*	SÍ	
B	≥ 1000	NO	NO	SÍ
	≥ 2500	NO	SÍ	SÍ
	≥ 3500	SÍ	SÍ	SÍ
C	≥ 2000	NO	NO	SÍ
	≥ 3500	NO	SÍ	SÍ
D o E	≥ 5000	SÍ	SÍ	SÍ
	≥ 15000	SÍ	SÍ	SÍ

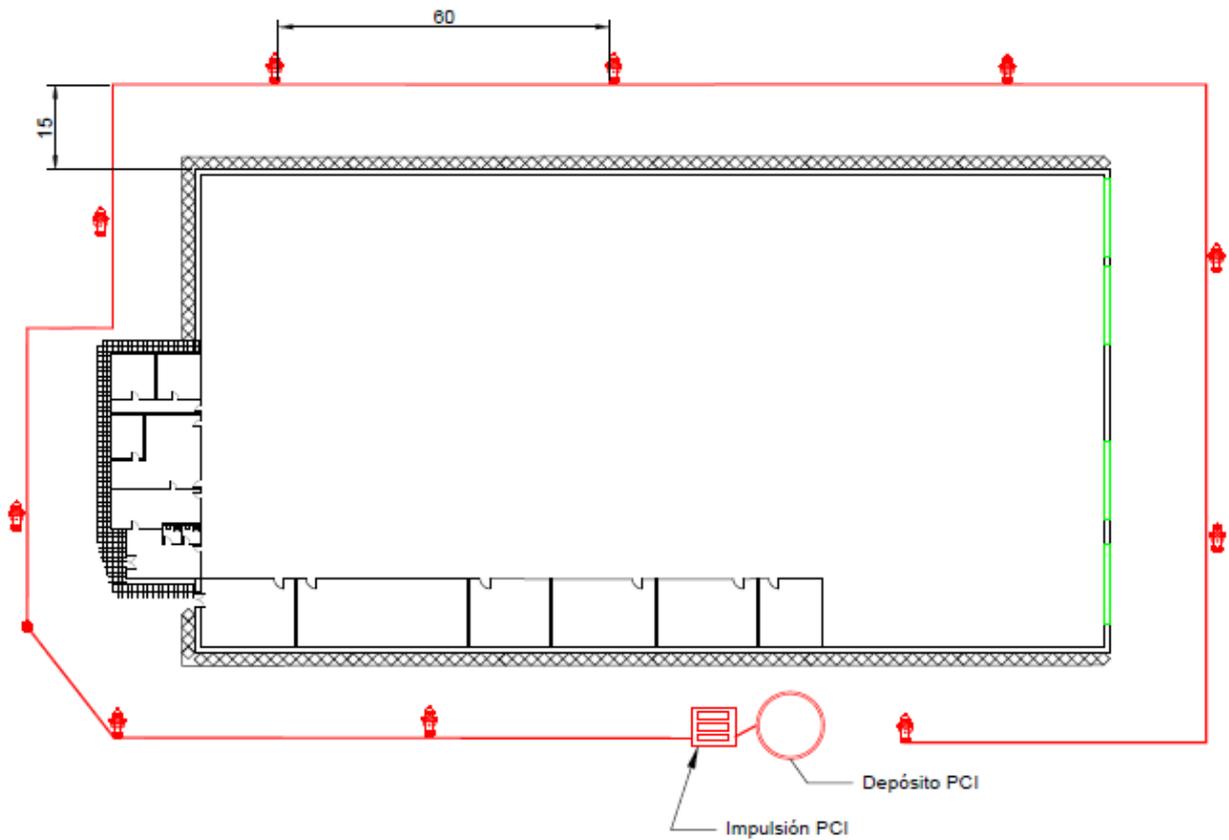
*Ilustración 45. TABLA 3.1 del reglamento. Necesidad de hidrantes exteriores*

Se indica que cuando este sistema de hidrantes es necesario en alguno de los sectores que conforman el establecimiento industrial, estos deben proteger todas las zonas de incendio que existan.



*Ilustración 46. Sistema de hidrantes exteriores*

Se deben instalar hidrantes de forma que cada uno de ellos cubra un radio de 40 metros medidos en horizontal desde el hidrante. Uno de estos hidrantes se situará a la entrada del establecimiento debe tener una salida de 100mm.



*Ilustración 47. Plano de ubicación de hidrantes exteriores*

La distancia ente el emplazamiento del hidrante y el límite exterior del edificio o zona protegidos, medida perpendicularmente a la fachada, debe estar comprendida entre 5m y 15m. Estos hidrantes estarán instalados en lugares fácilmente accesibles, fuera de espacios destinados a la circulación y estacionamiento de vehículos, y debidamente señalizados.

Los hidrantes a instalar serán de 100mm de tipo enterrado en arqueta UNE-EN 14339, con su correspondiente válvula de corte, con una salida de 100mm, racor tipo Barcelona y tapa de fundición.

Como se observa en el plano, se instalarán un total de 10 hidrantes exteriores, cubriendo la totalidad del establecimiento industrial.

La normativa marca las necesidades de agua para hidrantes exteriores, se observa en la siguiente tabla:

Configuración del establecimiento industrial	Nivel de riesgo intrínseco					
	Bajo		Medio		Alto	
	Caudal (L/Min.)	Autón. (Min)	CauDal (L/Min.)	Autón. (Min)	Caudal (L/Min.)	Auton. (Min)
A	500	30	1000	60	–	–
B	500	30	1000	60	1000	90
C	500	30	1500	60	2000	90
D y E	1000	30	2000	60	3000	90

*Ilustración 48. Necesidades de agua para hidrantes exteriores*

Esto obliga en el caso de estudio a contar con un caudal de 2000L/min y una autonomía de suministro de 90 minutos.

Estas necesidades mínimas marcan por tanto las dimensiones de las tuberías de distribución del agua desde el depósito instalado en el exterior del edificio. Para el cálculo, se parte de la expresión del caudal necesario:

$$Q = A \times V$$

Donde:

- Q es el caudal en m<sup>3</sup>/s = 0,0333 m<sup>3</sup>/s
- A es el área de la sección transversal de la tubería, en m<sup>2</sup>
- V es la velocidad del agua, en m/s, que tiene un valor típico de 2 m/s para evitar pérdidas de presión y el efecto de golpe de airete

Con esto, se tiene que el área de la tubería a instalar es:

$$A = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

Y se tiene que el diámetro es:

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{Q}{\pi \times V}}$$

Aplicando los valores del caso de estudio:

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{0,03333}{\pi \times 2}} = 0,146m = 146mm$$

Se tiene que para cumplir con las especificaciones mínimas de la norma, se debe instalar una tubería de 146mm, que en la práctica se aproximaría al valor estándar más cercanos, que es una tubería de 150mm (6 pulgadas).

### 2.6.1.9. SISTEMA DE BOCA DE INCENDIO EQUIPADAS

Será obligatorio la instalación de bocas de incendio equipadas (BIEs) al ser un establecimiento industrial de tipo C con riesgo intrínseco alto y superficie mayor a 500 m<sup>2</sup>.



*Ilustración 49. Boca de Incendios Equipada (BIE)*

Este sistema debe cumplir las siguientes características en cuanto a tipo de BIE, simultaneidad en su uso y tiempo de autonomía:

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL	TIPO DE BIE	SIMULTANEIDAD	TIEMPO DE AUTONOMÍA
BAJO	DN 25 mm	2	60 min
MEDIO	DN 45 mm*	2	60 min
ALTO	DN 45 mm*	3	90 min

*Ilustración 50. Características BIE*

Para la realización de esta instalación se colocarán BIE repartidas por la toda la superficie del sector de incendios, con una densidad tal que la distancia máxima desde cualquier punto de la planta hasta un equipo de manguera sea inferior a 25 metros.

El número y distribución será el suficiente para que la totalidad del espacio esté cubierta, teniendo en cuenta que el radio de acción de la BIE es de la longitud de la manguera incrementada en 5 metros. La máxima longitud que pueden tener las mangueras es de 20 metros para las BIEs DN 45 mm. La separación máxima entre BIE será de 50 metros

Las BIE se deberán instalar sobre un soporte rígido de forma que su altura media esté a máximo 1,50 metros del suelo. Siempre que sea posible, se instalarán a máximo 5 metros de distancia de las salidas del sector de incendios. La instalación de estos equipos se hará acorde a la norma UNE-EN 671-2.

Los alrededores de cada BIE estarán libres de obstáculos de forma que se permita el acceso y maniobra de las mismas.

Se deberá comprobar periódicamente que la presión en la boquilla de la BIE se encuentre entre los 2 bar y 5 bar

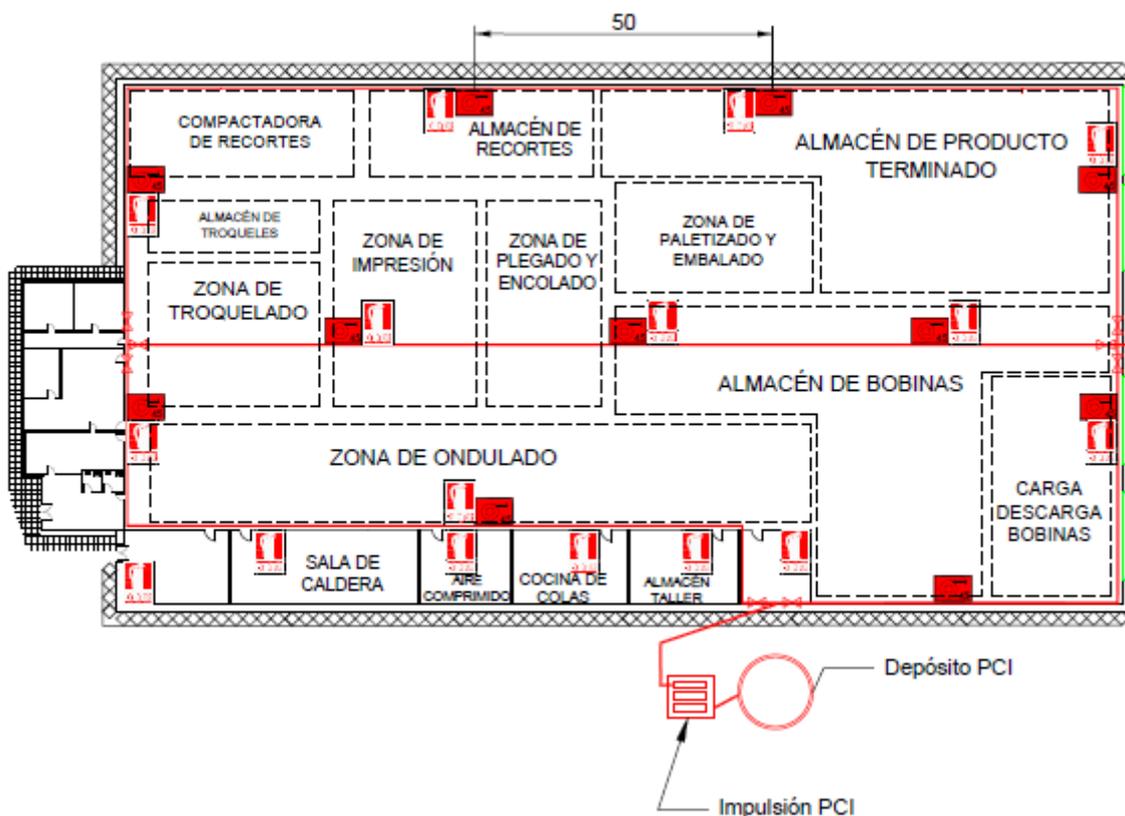
Por el interior de la planta existirá una red de tuberías, según distribución indicada en planos, de donde partirán las derivaciones para alimentar las conexiones a las BIE, esta red efectuará un recorrido horizontal, con bajas verticales a dichas conexiones.

En la red de distribución se montarán válvulas de corte, indicadas en los planos, para poder aislar diferentes tramos de la instalación en caso necesario, por averías o mantenimiento. Las válvulas dispondrán de indicador de estado abierto-cerrado con interruptor final de carrera y conexión con la instalación de detección de incendios.

Las Bocas de Incendio Equipadas que se instalarán serán de 45 mm y estarán compuestas por los siguientes elementos:

- Armario metálico adosado o empotrado, según el caso, con tapa, marco e inscripción alusiva a su uso
- Llave de paso de DN 45 homologado con racor normalizado tipo Barcelona de 45 mm, UNE 23.400-1
- Devanadera circular apta para contener 20 metros de manguera semirrígida de 45 mm, UNE-EN 694, con juego de racores normalizados tipos Barcelona.
- Lanza de agua multiefecto (cierre, chorro, niebla y protección)
- Manómetro 0-1-600 kPa con grifo de comprobación.

En el sector de incendios 1 se instalarán un total de 11 BIE, recorriendo su perímetro, e incluyendo 3 de ellas en la parte central de la planta, en recorrido longitudinal, tal y como se observa en el siguiente plano de planta:



*Ilustración 51. Plano de ubicación de BIE y Extintores*

El material empleado en la instalación de la red de tuberías será el tubo de acero negro estirado, según UNE-EN 10255 serie media (M), con uniones mediante juntas victaulic.



*Ilustración 52. Tuberías de distribución de agua contra incendios*

Las tuberías de la red de distribución estarán pintadas con dos capas de pintura antioxidante y dos capas de pintura normalizada, de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

Para el cálculo de las tuberías de la red de distribución de las BIE, es necesario conocer el caudal de agua mínimo y la velocidad del agua en la tubería. El Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios indica que una BIE de 45mm debe suministrar un caudal mínimo de 200 litros/minuto. La velocidad recomendada del agua en una red de tuberías suele estar entre 1,5 m/s y 2,5 m/s para evitar pérdidas de carga y golpes de ariete. La fórmula para hallar el diámetro de la tubería es la siguiente:

$$DN(mm) = 2 \times \sqrt{\frac{Q}{V \times \pi}}$$

Donde:

$$Q = 0,00333m^3/s$$

$$V = 2 \text{ m/s}$$

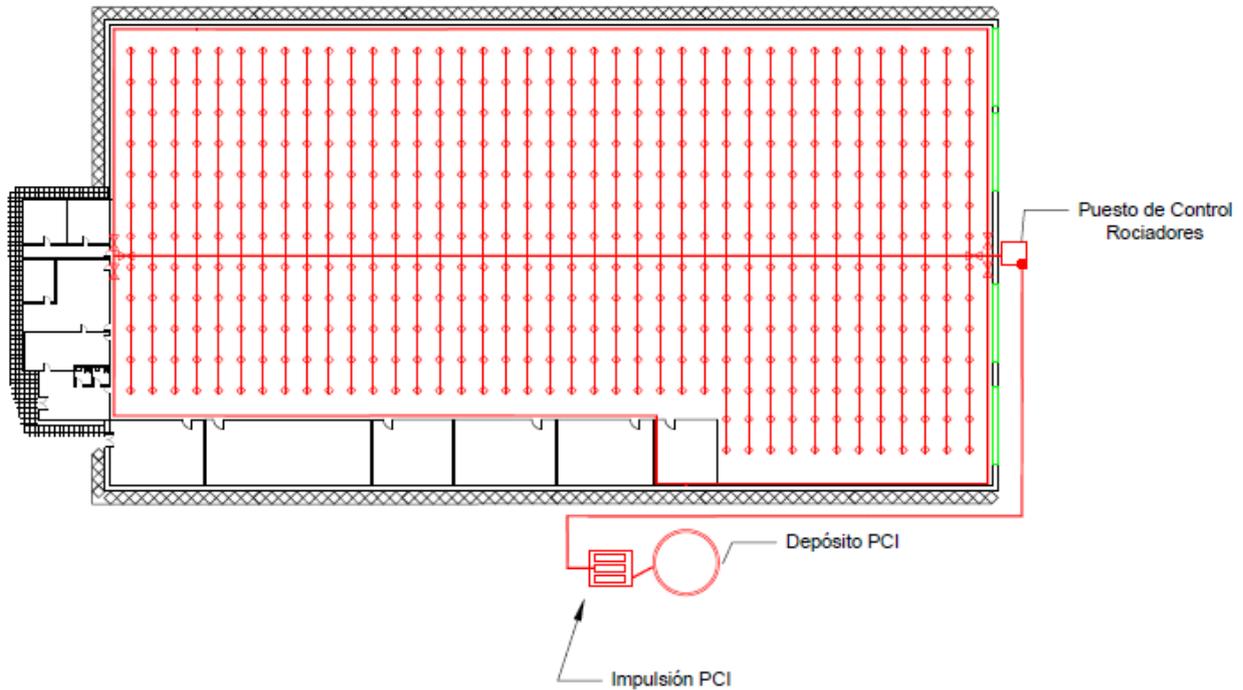
$$DN(mm) = 0,046m = 46 \text{ mm}$$

La tubería con dimensión estándar que se utilizará en la alimentación a las BIE será de 50mm (2 pulgadas).

#### **2.6.1.10. SISTEMA DE ROCIADORES**

También será necesario la instalación de un sistema de rociadores automáticos de agua, en la zona de producción al superar los 2.000 m<sup>2</sup> de superficie y en la zona de almacenamiento al superar los 1.000 m<sup>2</sup>.

Este sistema estará instalado a lo largo y ancho del sector de incendios mediante un sistema de tuberías a la altura del techo, en una disposición en árbol, cubriendo toda la superficie del sector de incendios número 1. Cada rama de tuberías se encuentra separada de la consiguiente 4 metros.



**Ilustración 53.** Plano de ubicación sistema de rociadores automáticos

El caudal mínimo que debe suministrar cada uno de los rociadores instalados será de entre 12 y 15 litros por minuto por metro cuadrado, teniendo en cuenta que cada rociador cubre un área de entre 9 y 12 m<sup>2</sup>.

Para el cálculo de la tubería de distribución a instalar se necesitan conocer principalmente tres datos:

- El caudal requerido en cada rociador, que dependerá de la densidad de descarga requerida y el área cubierta por cada rociador. En el caso de estudio se tiene que el caudal será de 12 litros por minuto por metro cuadrado de superficie, cubriendo cada uno de ellos 12m<sup>2</sup>, por lo que el caudal requerido en cada rociador será de 0,144m<sup>3</sup>/min.
- El número de rociadores en cada ramal de tuberías de alimentación, que es de unos 7 elementos de forma generalizada.
- La velocidad del agua en la tubería, que al igual que en los casos anteriores, se recomienda sea de entre 1,5m/s y 3m/s para evitar pérdidas de presión elevadas.

Con esto se tiene que el caudal que debe circular por cada ramal es de:

$$Q = 0,144 \frac{m^3}{min} \times 7 \text{ rociadores} = 1,008 \frac{m^3}{min} = 0,0168 \frac{m^3}{s}$$

El diámetro de la tubería teniendo en cuenta una velocidad de 3m/s será:

$$DN(mm) = 2 \times \sqrt{\frac{0,0168}{3 \times \pi}} = 0,084m = 84mm$$

Que escogiendo una tubería estándar sería de 80mm (3 pulgadas).



*Ilustración 54. Tuberías de distribución de rociadores automáticos*

El tipo de rociador a instalar será de tipo ESFR (early suppression, fast response), un tipo de rociador de respuesta rápida diseñado para suprimir incendios incluso antes de que lleguen los equipos de extinción externos. Al contar con una instalación con riesgo de incendios tan elevado y en la que existe maquinaria altamente valiosa, la extinción temprana de cualquier incendio es base fundamental del estudio de la instalación de PCI.



*Ilustración 55. Rociador automático tipo ESFR*

### 2.6.1.11. SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA CONTRA INCENDIOS

El reglamento proporciona un cuadro resumen para el cálculo del caudal y reserva de agua para abastecer los diferentes sistemas de extinción requeridos. Se observa a continuación:

TIPO DE INSTALACIÓN	BIE [1]	HIDRANTES [2]	ROCIADORES AUTOMÁTICOS [3]	AGUA PULVERIZADA [4]	ESPUMA [5]
[1] BIE	$Q_B/R_B$	(a) $Q_H/R_H$ (b) $Q_B + Q_H/R_B + R_H$ $0,5 Q_H + Q_{RA} 0,5 R_H + R_{RA}$	$Q_{RA}/R_{RA}$		
[2] HIDRANTES	(a) $Q_H/R_H$ (b) $Q_B + Q_H/R_B + R_H$ $0,5 Q_H + Q_{RA} 0,5 R_H + R_{RA}$	$Q_H/R_H$	Q mayor R mayor (una instal.)	$0,5 Q_H + Q_{AP}/$ $0,5 R_H + R_{AP}$ $Q_{AP} + Q_E R_{AP} + R_E$	Q mayor, R mayor (una instalación)
[3] ROCIADORES AUTOMÁTICOS	$Q_{RA}/R_{RA}$	Q mayor R mayor (una instal.)	$Q_{RA}/R_{RA}$	Q mayor, R mayor (una instalación)	Q mayor, R mayor (una instalación)
AGUA PULVERIZADA [4]		$0,5 Q_H + Q_{AP}/ 0,5 R_H + R_{AP}$	Q mayor, R mayor (una instalación)	$Q_{AP}/R_{AP}$	$Q_{AP} + Q_E$ $R_{AP} + R_E$
ESPUMA [5]		Q mayor R mayor (una instal.)	$Q_{AP} + Q_E$ $R_{AP} + R_E$	Q mayor, R mayor (una instalación)	$Q_E/R_E$

*Ilustración 56. Cuadro resumen caudal necesario y de reserva*

El caso de estudio plantea la necesidad de contar con BIE + Hidrantes + Rociadores Automáticos, lo que obliga a tener un abastecimiento de caudal igual a la suma del 50% requerido para hidrantes ( $0,5 Q_H$ ) y el requerido para rociadores automáticos ( $Q_{RA}$ ).

La reserva de agua será la suma del 50% de la reserva de agua para hidrantes ( $R_H$ ) y la necesaria para rociadores automáticos ( $R_{RA}$ ).

Para poder hacer frente a este caudal necesario en caso de incendio, se instalará en la parte exterior de la nave un depósito circular de 1.000 m<sup>3</sup>, el cual también se podrá usar para labores auxiliares que requieran agua, siempre contando con la cantidad mínima de agua para los hidrantes y demás sistemas de extinción.



*Ilustración 57. Depósito de abastecimiento de agua contra incendios*

### 2.6.1.12. EXTINTORES DE INCENDIO

Otro elemento con el que debe contar la instalación de protección contra incendios son los extintores portátiles. La dotación de estos viene dada por la carga de fuego aportada por los potenciales combustibles que existan, y se determina con las siguientes tablas:

Para combustible de clase A:

Grado de riesgo intrínseco del sector de incendio	Eficacia mínima del extintor	Área máxima protegida del sector de incendio
Bajo	21A	Hasta 600 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> , o fracción, en exceso).
Medio	21A	Hasta 400 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> , o fracción, en exceso).
Alto	34A	Hasta 300 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> , o fracción, en exceso).

*Ilustración 58. Dotación de extintores portátiles clase A*

Para combustibles de clase B:

	VOLUMEN MÁXIMO, V (1), DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS EN EL SECTOR DE INCENDIO (1) (2)			
	V ≤ 20	20 < V ≤ 50	50 < V ≤ 100	100 < V ≤ 200
EFICACIA MÍNIMA DEL EXTINTOR	113 B	113 B	144 B	233 B

*Ilustración 59. Dotación de extintores portátiles clase B*

Se dotará de extintores de tipo ABC y de CO<sub>2</sub> por toda la planta, no se permite el empleo de agentes extintores conductores de la electricidad sobre fuegos que se desarrollan en presencia de aparatos, cuadros, conductores y otros elementos bajo tensión eléctrica superior a 24 V. Las principales premisas a seguir en su instalación son las siguientes:

- Fácilmente visibles y accesibles.
- Colocados en puntos estratégicos donde se encuentre mayor probabilidad de incendio.
- Situados próximos a las salidas de evacuación.
- Deberá colocarse un extintor por cada 15 m en su recorrido horizontal.
- Instalados sobre soportes fijados a una altura en la cual la parte superior del extintor quede entre 80 cm y 120 cm sobre el suelo
- Se debe colocar un extintor por cada 200 m<sup>2</sup> de superficie en áreas de riesgo bajo o medio, y un extintor por cada 100 m<sup>2</sup> en áreas de alto riesgo.



*Ilustración 60. Extintores manuales contra incendio*

### 2.6.1.13. ALUMBRADO DE EMERGENCIA Y SEÑALIZACIÓN

Los medios de protección contra incendios de utilización manual (extintores, bocas de incendio, hidrantes exteriores, etc) se deben señalar mediante señales definidas en la norma UNE 23033-1, cuyo tamaño sea:

- 210 x 210 mm cuando la distancia de observación de la señal no exceda de 10 m.
- 420 x 420 mm cuando la distancia de observación esté comprendida entre 10 y 20 m.
- 594 x 594 mm cuando la distancia de observación esté comprendida entre 20 y 30 m.

Las señales deben ser visible incluso en caso de fallo de suministro del alumbrado normal. Cuando estas sean fotoluminescentes, deben cumplir lo establecido en las normas UNE 23035-1, UNE 23035-2 y UNE 23035-4.



*Ilustración 61. Señalización de emergencia*

### 2.6.2. COCINA DE COLAS

La cocina de colas es una instalación esencial en la planta ya que es donde se preparan los adhesivos que se utilizan para unir las capas de papel que conforman las planchas de cartón en el proceso del ondulado. Es, por tanto, junto con el papel Kraft, la otra materia prima principal del cartón ondulado.

Los adhesivos o colas producidos son a base de almidón, que es un polisacárido derivado principalmente del maíz, la patata o el trigo. Estas colas proporcionan las propiedades adhesivas necesarias para garantizar la resistencia y durabilidad del cartón ondulado.

Las colas están compuestas principalmente por:

- Almidón: Es el componente básico, actuando como el agente adhesivo principal. La proporción de almidón puede variar según la formulación.
- Agua: Disolvente utilizado para disolver el almidón y ajustar la viscosidad.
- Bórax (tetraborato de sodio): Añadido para mejorar las propiedades adhesivas y aumentar la viscosidad. También contribuye a la resistencia final del adhesivo.
- Hidróxido de sodio (sosa cáustica): Sirve para gelatinizar el almidón, haciendo que el adhesivo se vuelva más efectivo en las uniones entre las capas de papel.
- Aditivos (opcional): Pueden incluir conservantes para evitar el crecimiento de microorganismos, agentes modificadores de viscosidad o productos químicos que mejoren las propiedades adhesivas bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad.

El proceso de producción de colas comienza con la recepción de las materias primas. El almidón se recibe en forma de polvo y se almacena en silos o depósitos controlados para mantener sus propiedades y calidad. El bórax y la sosa cáustica se reciben en forma de polvo o gránulos, que se almacenan en tanques. El agua es proveniente de la red de abastecimiento.



*Ilustración 62. Cocina de colas*

En función de la receta a seguir, se mezclan el almidón y agua en las proporciones indicadas, en un tanque de mezcla inicial, con agitación constante que consigue una suspensión homogénea de la mezcla.

A esta mezcla se le añade sosa cáustica, lo que provoca la gelatinización del almidón. Durante este proceso, el almidón absorbe agua y forma una pasta adhesiva. Este proceso se acelera mediante la aplicación de calor, elevando la temperatura de la mezcla.

Una vez se ha gelatinizado, se agrega el bórax, que aumenta la viscosidad del adhesivo y mejor su resistencia y adherencia. Durante este proceso es importante controlar la temperatura y agitación en el tanque para conseguir que el bórax se disuelva por completo.

La mezcla ya preparada se almacena en tanques donde se mantienen las condiciones adecuadas para asegurar una perfecta viscosidad de la cola antes de su distribución a las máquinas.

Mediante un sistema de bombeo, las colas se distribuyen a los diferentes puntos de la línea donde son utilizadas, alimentado a la ondulatora y a la plegadora-encoladora. En la ondulatora, el adhesivo es aplicado sobre el papel acanalado, y con la aplicación de calor y presión general uniones fuertes entre las diferentes capas de papel.

### 2.6.2.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA COCINA DE COLAS

Las necesidades de adhesivo para la producción de cartón dependen del tipo de cartón a fabricar, la maquinaria utilizada y las propiedades físicas que requiera el producto final. Teniendo en cuenta que se va a instalar una maquinaria de última generación preparada para altos niveles de producción y que las necesidades son las siguientes:

1. Cartón ondulado de doble onda tipo BC
2. Producción de cartón ondulado: 16.585 m<sup>2</sup>/hora
3. Producción línea de cartón: aprox. 125metros/min

Se tiene que el rango de cantidad de adhesivo necesario está entre 5 y 8 gramos por metro cuadrado, por lo que se escogerá como valor medio  $6,5 \frac{g}{m^2}$ , lo que supone unas necesidades horarias y diarias de:

$$kg \text{ adhesivo} = 16.585 \frac{m^2}{hora} \times 6,5 \frac{g}{m^2} = 107.802,5 g = \mathbf{107,8 \frac{kg}{hora}}$$

$$kg \text{ adhesivo diario} = 107,8 \frac{kg}{hora} \times 16 \frac{hora}{jornada} = \mathbf{1.724,8 \frac{kg}{día}}$$

Teniendo en cuenta que se debe aplicar un factor de corrección del 10% a mayores a causa de las posibles pérdidas de adhesivo por evaporación y residuos y por la eficiencia de aplicación, se tiene:

$$kg \text{ adhesivo} = 107,8 \frac{kg}{hora} \times 1,1 = 118,6 \frac{kg}{hora}$$

$$kg \text{ adhesivo diario} = 1.724,8 \frac{kg}{día} \times 1,1 = 1.897,28 \frac{kg}{día}$$

Una vez se conoce las necesidades de adhesivo, se pasa al cálculo de las necesidades de materia prima para su producción. Una fórmula estándar para la generación de cola a base de almidón podría verse de la siguiente forma:

- Almidón: 30% en peso
- Agua: 55% en peso
- Bórax: 2% en peso
- Sosa cáustica: 1% en peso
- Otros aditivos: 12% en peso

Esto implica que será necesario contar con las siguientes cantidades de materia prima para satisfacer la producción diaria:

**Tabla 5 – Necesidad de materia prima en la producción de colas**

	Almidón (kg)	Agua (kg)	Borax (kg)	Sosa Cáustica (kg)	Otros Aditivos (kg)
Horario	35,58	59,30	2,37	1,19	14,23
Diario	569,18	948,64	37,95	18,97	227,67

Partiendo de los datos de necesidades de materias primas diarias para la producción de la cola, se puede dimensionar la maquinaria, silos de almacenamiento y red de distribución en la planta.

### 2.6.3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

El primer paso será conocer la potencia instalada y demandada dentro de la planta. Para ello se consideran los equipos y máquinas principales que forman parte del proceso. También se han considerado algunos de los sistemas auxiliares que tendrá la planta como es el sistema de seguridad, los equipos de mantenimiento o la iluminación, tratada en un capítulo posterior.

Se debe puntualizar que las potencias nominales utilizadas para el cálculo son aproximadas, basándose en las capacidades productivas de la planta tratadas anteriormente y que en la realidad pueden llegar a tener una variación de en torno a un 10%, por lo que este cálculo deberá ser revisado una vez se hayan adquirido todos los equipos y sistemas que compondrán la planta.

*Tabla 6 – Potencia nominal de la maquinaria*

EQUIPO/MÁQUINA	Unidades	Potencia Unitaria (kW)	Potencia Total (kW)
<b>MAQUINARIA PRODUCCIÓN</b>			
Onduladora	1	500	<b>500</b>
Troqueladora	2	120	<b>240</b>
Impresora Flexográfica	1	150	<b>150</b>
Plegadora-encoladora	1	100	<b>100</b>
Paletizadora	1	50	<b>50</b>
Compactadora Recortes	1	30	<b>30</b>
Cintas Transportadoras	4	15	<b>60</b>
<b>MAQUINARIA AUXILIAR</b>			
Compresores Aire	2	75	<b>150</b>
Máquinas Climatización	1	80	<b>80</b>
Grupo Contra Incendios	1	25	<b>25</b>
Caldera de Vapor	1	60	<b>60</b>
Cocina de Colas	1	20	<b>20</b>
<b>SISTEMAS AUXILIARES</b>			
Sistema de Ventilación	1	15	<b>15</b>
Sistema de Seguridad	1	5	<b>5</b>
Sistema de Iluminación	1	50	<b>50</b>
Equipos de Mantenimiento	1	10	<b>10</b>
<b>POTENCIA TOTAL INSTALADA (kW)</b>			<b>1.545</b>

A continuación, se calculará la potencia demandada, haciendo uso de la potencia total instalada, teniendo en cuenta el factor de simultaneidad de los equipos. Este factor tiene en cuenta que no todos los equipos estarán funcionando al mismo tiempo al máximo de su capacidad. Es esencial para ajustar la potencia instalada a la potencia realmente necesaria, evitando sobredimensionamientos y costos innecesarios. Basándose en plantas similares a la estudiada, se considera un *factor de simultaneidad* = 70%, lo que resulta:

$$\text{Potencia Demandada (kW)} = 1.545 \text{ kW} \times 0,7 = \mathbf{1.081,5 \text{ kW}}$$

Una vez conocida la Potencia Demandada, es preciso conocer la Potencia Aparente, a raíz de la cual se definirán las necesidades de instalación de Media y Baja Tensión de la planta. Para ello se utiliza el *factor de potencia*, el cual es una medida que refleja la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica. Es un coeficiente que sale de la relación entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente(kVa).

$$\mathbf{Factor\ de\ Potencia} = \frac{\mathbf{Potencia\ Activa\ (kW)}}{\mathbf{Potencia\ Aparente\ (kVa)}}$$

En plantas industriales similares a la de estudio el factor de potencia está en un rango entre 0,85 y 0,90. Este factor de potencia asegura una alta eficiencia sin requerir correcciones con sistemas de baterías de condensadores. Además, se asegura cumplir los requisitos que impone la red eléctrica y el distribuidor.

En el caso de estudio que acontece, se supone un *factor de potencia* de 0,90.

$$\mathbf{Potencia\ Aparente\ (kVa)} = \frac{1.081,50\ (kW)}{0.90} = \mathbf{1.201,66\ kVa}$$

### 2.6.3.1. INSTALACIÓN DE MEDIA TENSIÓN

#### 2.6.3.1.1. CARATERIZACIÓN DEL TRANSFORMADOR

Un transformador eléctrico es un dispositivo diseñado para modificar la tensión en un sistema de corriente alterna mediante inducción electromagnética. Se compone de el devanado primario y secundario, un núcleo ferromagnético y conexiones de media tensión y baja tensión. En su elección se debe tener en cuenta algunas de sus características principales como son la *relación de transformación*, el *núcleo magnético*, la *regulación de voltaje* y el *sistema de enfriamiento*, entre otros.

La elección del transformador de potencia a instalar se basa en la potencia aparente demandada, que como se ha visto en el anterior capítulo es de **1.201,66 kVa**. El transformador debe ser capaz de proporcionar un margen adicional que cubra picos de demanda alta y asegurar la fiabilidad de la instalación, por ello a la potencia demandada se le aplica un margen del 20%.

$$\mathbf{Potencia\ Transformador\ (kVa)} = \mathbf{1.201,66\ kVa} \times 1,20 = \mathbf{1.442\ kVa}$$

Obtenida la potencia del transformador y teniendo en cuenta lo equipos que se comercializan, se redondea al estándar más cercano, que será de **1.600 kVa**

El transformador escogido será de la marca ABB, marca con alta reputación por calidad y fiabilidad en la fabricación de transformadores industriales.

Dado que se requiere de una alta demanda de energía, se decide por un transformador sumergido en aceite, alimentación trifásica a 50 Hz de frecuencia nominal, refrigeración de tipo aceite sumergido con enfriamiento natural por aire (ONAN), cumpliendo con la Norma IEC 60076 y UNE EN 60076.



*Ilustración 63. Transformador de media tensión*

#### 2.6.3.1.2. ACOMETIDA EXTERIOR Y CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

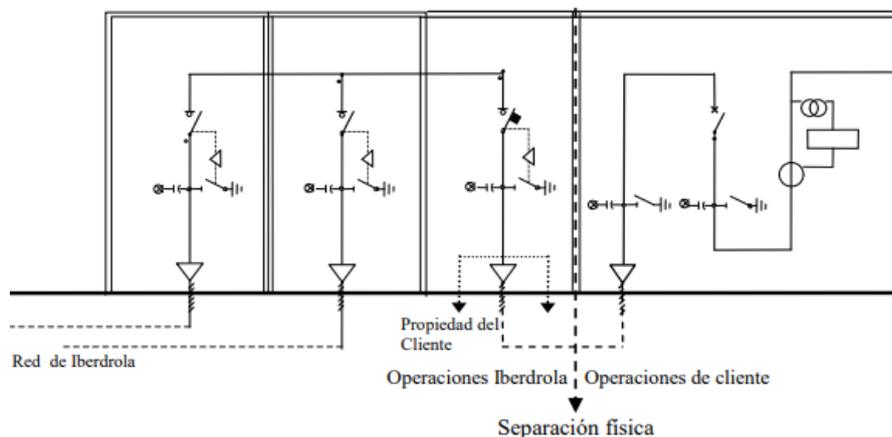
La acometida eléctrica de la planta se realizará desde el exterior mediante una línea aérea proveniente de la subestación eléctrica STR Plasencia industrial, ubicada a unos 800 metros. Dicha subestación está operada por la distribuidora Iberdrola, ahora llamada i-DE, y tiene una potencia de 60 MVa, con una tensión servicio de 15kV.



*Ilustración 64. Plano de situación de las diferentes distribuidoras eléctricas en España*

La alimentación desde la subestación es aérea, ya construida, con torres de distribución que llegan hasta la parcela donde se ubicará la planta.

Se instalará un centro de transformación propio, dentro de la parcela, y en el límite de esta. Dicho CT estará dividido, de forma que una parte de este se cede a Iberdrola, para la instalación del recinto de seccionamiento. La otra parte, será el recinto de transformación, donde se instalará el transformador de MT/BT. En la siguiente imagen se observan, según exigencias de Iberdrola, como será la configuración del Centro de Transformación.



**Ilustración 65.** Esquema de un centro de transformación

Este CT se ubicará próximo al punto de acometida desde la torre eléctrica, aunque la acometida al mismo será subterránea. Se realizará con cables de media tensión, adecuados para la distribución de la potencia requerida, minimizando las pérdidas.

Para la elección correcta del cable de media tensión de acometida se debe seguir lo que marca las *Normas Particulares para Instalaciones de Alta y Baja Tensión* de Iberdrola, que en su CAPITULO II indica que, para líneas subterráneas de alta tensión, el tipo de cable será unipolar, con conductores de aluminio y aislamiento seco extruido, teniendo como alternativas las mostradas en la tabla:

**Tabla 7– Selección de cable de acometida de Media Tensión**

TIPO DE CABLE	CONDUCTOR	AISLAMIENTO
HEPR-Z1	Al 240 ó 400	HEPR Etileno Popileno
XLPE-Z1	Al 240 ó 400	XLPE Polietileno Reticulado

El cable seleccionado es el siguiente:

**RHZ1-OL 18/30 kV 1x240 K AL+H25**

Se muestra en la imagen siguiente alguna de sus características. Este cable cumple con las especificaciones de Iberdrola para líneas de distribución.

#### Cables media tensión

### RHZI-OL 18/30 KV H25

1. Conductor circular de aluminio, clase 2
2. Pantalla semiconductora extrusionada sobre el conductor
3. Aislamiento en XLPE (polietileno reticulado)
4. Pantalla semiconductora extrusionada sobre el aislamiento (pelable)
5. Cinta hinchable (obturación longitudinal)
6. Pantalla metálica (corona de hilos continuos de cobre y cinta de cobre)
7. Cinta no conductora hinchable (obturación longitudinal)
8. Cubierta exterior en compuesto de poliolefina, color rojo



#### Normas y especificaciones:

- UNE HD 605, 620 10E-1
- UNE: 21022, 21143, 21167, 21175
- IEC: 60228, 60502-2
- UNE-EN 60754
- Especificaciones clientes: Iberdrola
- Reacción al fuego (CPR): Clase Fca

#### Informaciones generales

- Fabricantes: Fabricado en Turquía
- Tipo de cable: RHZI-OL+ H25
- Tensión asignada  $U_0/U$  ( $U_m$ ): 18/30 kV (36 kV)
- Tensión a impulsos  $U_{50}$ : 170 kV
- Temp. Máx. admisible conductor en servicio permanente [°C]: 90
- Temp. Máx. admisible conductor en régimen cortocircuito [°C]: 250

Ilustración 66. Ficha técnica del cable de acometida de MT

### 2.6.3.1.3. CARACTERÍSTICAS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

Se define un centro de transformación (CT) como una instalación capaz de transformar la energía desde los niveles de media tensión (MT), 15 kV en el caso de estudio, hasta niveles de baja tensión (BT), 420 V, para que sea utilizable en las instalaciones industriales. Es un nexo entre la red de distribución y el consumo de energía.

Un CT está compuesto principalmente por los siguientes equipos:

- Transformador: equipo principal, encargado de la reducción de la tensión. Ha sido estudiado en el capítulo anterior.
- Celdas de Media tensión: son dispositivos de protección y maniobra del lado de MT. Controlan el flujo de energía que llega desde la red de distribución hacia el transformador.
- Cuadro general de baja tensión (CGBT): es el elemento encargado de distribuir la energía de salida del transformador, en baja tensión, hacia los diferentes subcuadros y circuitos de consumo en la planta industrial.
- Sistemas de protección y control: compuesto por relés, fusibles y disyuntores diseñados para actuar y proteger ante fallos eléctricos, proporcionando seguridad a la instalación.
- Acometida: se trata del cableado por el que llega la energía eléctrica desde el exterior hasta el CT

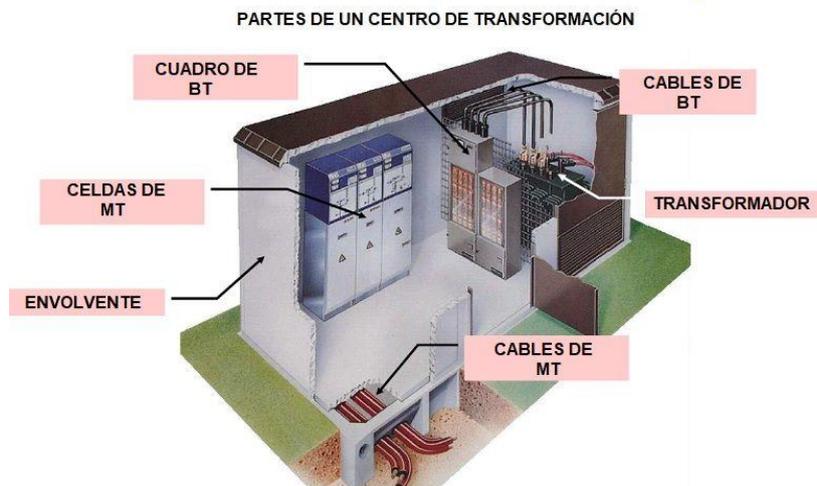


Ilustración 67. Croquis de un centro de transformación

En el caso particular de estudio, el centro de transformación a instalar será de tipo prefabricado, el cual consta de una envolvente de hormigón con estructura monobloque. En su interior se dispone de todos los elementos que componen un CT. Una de las ventajas de este tipo de centros de transformación es que permiten que su montaje y construcción se haga íntegramente en fábrica, facilitando mucho su instalación en la ubicación final.

Este CT tendrá doble acceso por puertas diferenciadas que permitan la entrada por una parte a la distribuidora Iberdrola y por otra a la explotación de la planta industrial.

#### 2.6.3.1.4. CELDAS DE MEDIA TENSIÓN

Celdas compactas de 15 kV, de tipo GIS, lo que significa que son celdas aisladas en gas y permiten una mayor compactación y seguridad.

Celdas de la compañía:

- Celda de Línea: es la encargada de proteger la entrada desde la red exterior hasta el transformador. Está compuesta por un interruptor seccionador que tiene tres posiciones: puesta a tierra, abierto o cerrado. Se instalarán dos celdas de línea en el interior del CT.
- Celda de Protección: encargada de la protección general del transformador frente a sobreintensidades y cortocircuitos.
- Celda de Transformación: se encarga de desconectar el transformador en caso de fallo en la instalación o en la red.

Celdas de Cliente:

- Celda de Seccionamiento: aísla la parte del CT de la compañía de la parte del cliente. Consta de un interruptor automático capaz de cortar el suministro en la parte del CT del cliente.
- Celda de Medida: permite la comunicación con el embarrado del centro de transformación, teniendo la función de monitorizar su funcionamiento.



*Ilustración 68. Celda de media tensión*

### 2.6.3.2. INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN

Una vez realizado el estudio de la instalación de Media Tensión, el siguiente paso lógico es estudiar la instalación de Baja Tensión.

Esta instalación está compuesta por el cuadro general de baja tensión (CGBT), la caja general de protección (CGP), la instalación de enlace, los cuadros secundarios de distribución, los circuitos derivados, los sistemas de protección, sistema de iluminación, puesta a tierra, etc.

La instalación de BT se estudiará y diseñará siempre cumpliendo el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y en función de las necesidades energéticas para un correcto funcionamiento y operatividad de la planta.

#### 2.6.3.2.1. CAJA GENERAL DE PROTECCIÓN

La Caja General de Protección (CGP) es el primer punto de la instalación de BT tras el transformador. Se ubica en el centro de transformación y tiene con función principal la protección de la instalación previa a la distribución hacia la planta.

Debe garantizar que la instalación está protegida ante sobrecargas y cortocircuitos que puedan llegar desde el transformador o la red de media tensión, cualquier fallo en ese punto de la instalación afectaría a toda la instalación por lo que es la primera barrera en la instalación de BT.



*Ilustración 69. Caja general de protección*

Su cálculo y diseño se debe hacer en función de la potencia demandada e instalada, en función del transformador instalado y en función del nivel de protección que se requiera según la normativa.

En el caso concreto de estudio, algunos de los parámetros claves para su diseño son:

- Potencia instalada:  $P_{inst} = 1.545 \text{ kW}$
- Potencia máxima demandada:  $P_{demanda} = 1.081,5 \text{ kW}$
- Tensión de servicio:  $V = 400 \text{ V}$
- Corriente nominal:  $I_{nom.} = \frac{P_{demanda}}{\sqrt{3} \times V \times \cos\theta} ; I_{nom.} = 1.737,65 \text{ A}$

Con estos datos, se obtiene que el interruptor General y los Fusibles deben soportar al menos 1.800 Amperios, pudiéndose ajustar a modelos concretos cercanos al valor de intensidad nominal obtenido.

El poder de corte del equipo estará entorno 50 kA o 65 kA, dependiendo directamente de las características de la red.

En función de estos datos de cálculo, se instalarán cada uno de los elementos de protección que conforman la CGP.

#### 2.6.3.2.2. CUADRO GENERAL DE BAJA TENSIÓN

Es el punto central desde el que se distribuye toda la energía eléctrica de baja tensión a los diferentes subsistemas y equipos dentro de la planta industrial. El CGBT cuenta con los siguientes elementos:

- Interruptores automáticos magnetotérmicos: encargados de proteger la línea de salida en caso de sobrecargas y cortocircuitos.
- Diferenciales y protecciones: encargados de evitar riesgos en caso de contactos indirecto con las personas.
- Equipos de medición: controlan y monitorizan las condiciones de funcionamiento del transformador.



*Ilustración 70. Cuadro general de baja tensión*

El CGBT será dimensionado para soportar la demanda máxima de la planta con márgenes de seguridad, cumpliendo con las normativas de baja tensión UNE-EN 61439-1.

Se instalará en el interior de la planta, en una sala independiente cercana a la zona de producción. De esta forma es accesible para los técnicos, en caso de ser necesario realizar maniobras eléctricas, ajustes o mantenimiento.

El CGBT debe cumplir las siguientes normativas:

- Reglamento electrotécnico de baja tensión (REBT).
- ITC-BT-13 Cuadros generales de baja tensión
- ITC-BT-16 Protección contra sobrecargas y cortocircuitos
- Normas UNE específicas para los materiales que lo componen

Desde el cuadro general de baja tensión nacen los diferentes circuitos que alimentarán la planta. Cada uno de los circuitos se conecta a un interruptor o disyuntor en el interior del CGBT y está destinado a alimentar un área, instalación o equipo específico.

Generalmente, en aplicaciones industriales, se diferencian 4 tipos de circuitos, que en el caso de estudio son:

- Circuitos de potencia: Estos circuitos alimentan la maquinaria de mayor consumo, como la ondulatora, troqueladoras, impresora, plegadora-encoladora, etc. Cada uno tiene su propio interruptor automático dentro del CGBT para proteger y gestionar la distribución de energía.
- Circuitos auxiliares: Estos incluyen los sistemas de compresores de aire, climatización, cintas transportadoras, compactadora de recortes, entre otros. También nacen del CGBT, y cada uno tiene su propio circuito protegido.
- Circuitos de iluminación y servicios: Los sistemas de iluminación, sistemas de seguridad, sistemas de emergencia y otros servicios menores también cuentan con sus propios circuitos en el CGBT.
- Circuitos de emergencia y sistemas críticos: Los sistemas de emergencia, como el grupo contra incendios o los sistemas de seguridad, pueden tener un circuito independiente con su propia protección, para garantizar su funcionamiento en todo momento.

Para simplificar la gestión y mejorar la protección de la instalación de BT, se instalarán 5 subcuadros que alimentarán los circuitos y estarán ubicados por las diferentes áreas de la planta. Todos estos cuadros secundarios cuentan con una protección general y protecciones en cada uno de los circuitos derivados.

### 2.6.3.2.3. SUBCUADROS DE DISTRIBUCIÓN

A continuación, se muestra la distribución de subcuadros que nacen del CGBT, los circuitos derivados que alimentan estos cuadros y la potencia aproximada de cada uno de ellos.

#### SUBCUADRO 1

El subcuadro 1 se ha destinado a las máquinas principales del proceso de producción, que tienen un alto consumo energético y forman el núcleo de la planta. Al agruparlas en un mismo cuadro, se asegura que el suministro eléctrico sea estable y se evita la sobrecarga de otros subcuadros que alimentan maquinaria auxiliar.

*Tabla 8– Subcuadro 1*

Maquinaria/Equipo	Uds.	Potencia Unitaria (kW)	Potencia Total (kW)
Corrugadora	1	500	500
Troqueladoras	2	120	240
Impresora Flexográfica	1	150	150
Plegadora-encoladora	1	100	100
Cintas Transportadoras	4	15	60
<b>POTENCIA TOTAL SUBCUADRO 1 (kW)</b>			<b>1.050</b>

#### SUBCUADRO 2

Este cuadro secundario alimenta las máquinas relacionadas con la manipulación y movimiento de productos, incluyendo los sistemas que gestionan el manejo y traslado de los productos terminados. La separación de estas áreas permite una mayor eficiencia operativa y una mejor gestión del flujo de productos en la planta.

*Tabla 9 – Subcuadro 2*

Maquinaria/Equipo	Uds.	Potencia Unitaria (kW)	Potencia Total (kW)
Compresores de Aire	2	75	150
Caldera de Vapor	1	60	60
Cocina de Colas	1	20	20
Compactadora de Recortes	1	30	30
<b>POTENCIA TOTAL SUBCUADRO 2 (kW)</b>			<b>260</b>

### SUBCUADRO 3

Los sistemas auxiliares críticos están separados en este subcuadro para garantizar la continuidad de su operación, especialmente en situaciones de emergencia o si se necesita mantenimiento en otras áreas.

*Tabla 10 – Subcuadro 3*

Maquinaria/Equipo	Uds.	Potencia Unitaria (kW)	Potencia Total (kW)
Sistema de Iluminación	1	50	50
Ventilación y Extracción	1	15	15
Sistemas de Seguridad y CCTV	1	5	5
Equipos de Mantenimiento	1	10	10
<b>POTENCIA TOTAL SUBCUADRO 3 (kW)</b>			<b>80</b>

### SUBCUADRO 4

Dedicado a la climatización y la ventilación, este subcuadro asegura un ambiente adecuado para el personal y las máquinas, controlando la temperatura y las condiciones ambientales de la nave industrial. La separación de estos sistemas evita interferencias con las máquinas principales y los sistemas críticos.

*Tabla 11 – Subcuadro 4*

Maquinaria/Equipo	Uds.	Potencia Unitaria (kW)	Potencia Total (kW)
Sistemas de Climatización	1	80	80
Grupo Contra Incendios	1	25	25
<b>POTENCIA TOTAL SUBCUADRO 4 (kW)</b>			<b>105</b>

### SUBCUADRO 5

Este subcuadro se ha destinado a los sistemas generales y de iluminación. Estos requieren una alimentación estable y constante para garantizar tanto la seguridad como el funcionamiento continuo de la planta. Separar la iluminación y los equipos de mantenimiento de los circuitos principales evita fluctuaciones y problemas de estabilidad.

*Tabla 12 – Subcuadro 5*

Maquinaria/Equipo	Uds.	Potencia Unitaria (kW)	Potencia Total (kW)
Sistemas de Respaldo/UPS	1	10	10
Equipos de Control y Supervisión	1	5	5
Pequeños Servicios Generales	1	20	20
<b>POTENCIA TOTAL SUBCUADRO 5 (kW)</b>			<b>35</b>

## PUESTA A TIERRA

Se trata de un sistema fundamental e imprescindible en cualquier instalación eléctrica ya que se encarga de proteger tanto a las personas como a los equipos de planta frente a posibles fallos eléctricos. Para su estudio y diseño se debe seguir norma *ITC-BT-08 Sistemas de conexión del neutro y de las masas en redes de distribución de energía eléctrica*.

El sistema de puesta a tierra (PAT) busca tres objetivos fundamentales:

- Proteger a las personas de posibles corrientes de falla, disipándolas a tierra de manera segura, evitando descargas que pueden ser fatales.
- Proteger a los equipos, garantizando que las corrientes de falla se dirijan a tierra y eviten daños en ellos.
- Estabilizar el sistema eléctrico en su conjunto.

El sistema de puesta a tierra está compuesto por tomas de tierra y conductores de tierra.

Las tomas de tierra o electrodos de tierra son conductores, generalmente de cobre o zinc, enterrados en el suelo a suficiente profundidad que garantice buena conductividad y baja resistencia a tierra.

Existen diferentes tipos de tomas de tierra, por un lado, están los anillos de puesta a tierra, en los que se instala un conductor alrededor de una instalación formando un circuito cerrado y por otro están las varillas de puesta a tierra, que se trata de un electrodo vertical clavado en el suelo. Este último sistema es utilizado en instalaciones poco críticas o auxiliares que no requieren una resistencia a tierra muy baja.



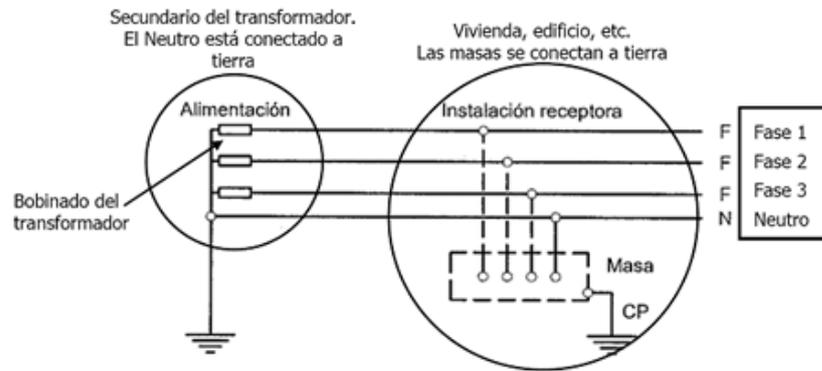
*Ilustración 71. Varilla de puesta a tierra*

En la instalación de estudio, se opta por instalar un anillo de tierra, que es el sistema habitual en plantas industriales, centros de transformación o subestaciones. Este sistema es el adecuado cuando se requiere una resistencia de tierra muy baja, por debajo de los 5 ohmios.

Se instalará un anillo general que cubra la totalidad de la planta, el cual estará conectado a anillos más pequeños que cubran zonas concretas y a puestas a tierra locales como varillas, que protejan equipos específicos.

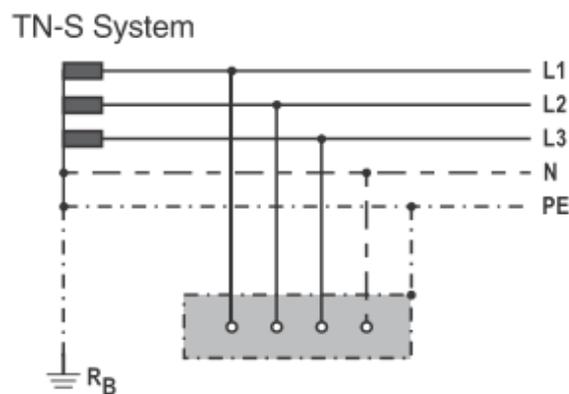
La norma *ITC-BT-08* diferencia entre tres tipos de esquemas eléctricos para el sistema de puesta a tierra, el sistema TT (Tierra-Tierra), el sistema TN (Tierra-Neutro) y el sistema IT (Aislado de tierra). Las principales características de cada uno son las siguientes:

- Sistema TT: el neutro de la red de suministro se conecta a tierra en la subestación de la compañía suministradora, y las masas metálicas a proteger de toda la instalación se conectan a tierra mediante tomas independientes. Es el sistema más económico, aunque no el más seguro.



*Ilustración 72. Esquema eléctrico de puesta a tierra tipo TT*

- Sistema IT: en este sistema ni el neutro ni las partes activas están conectadas directamente a la tierra de la instalación. Únicamente se encuentran a tierra las masas metálicas. Es el sistema que proporciona mayor nivel de seguridad y por tanto el más caro y complejo. Es el adecuado para instalaciones que requieren de protección elevada para mantener el suministro eléctrico continuo.
- Sistema TN: este sistema se caracteriza porque el neutro del transformador está directamente conectado a tierra. Es un sistema seguro utilizado en instalaciones industriales y comerciales.



*Ilustración 73. Esquema eléctrico de puesta a tierra tipo TN*

Este sistema será el instalado en la planta industrial de estudio, ya que la separación del conductor de protección (PE) y el neutro dotará a la instalación de seguridad y mayor fiabilidad, asegurando la operatividad continua del proceso al reducir el riesgo de fallos eléctricos.

## 2.6.4. INSTALACIÓN DE VAPOR

En una planta industrial de producción de cartón ondulado, la instalación de vapor tiene un papel fundamental en varios procesos, como el control de la humedad y temperatura en la producción del cartón, así como el calentamiento y acondicionamiento de las bobinas de papel Kraft para la transformación en cartón. Su estudio y correcta implantación garantiza que la producción sea eficiente y de alta calidad, ya que el vapor es un ingrediente más utilizado en el corazón de la producción, la onduladora.

El estudio de esta instalación se centra en varias partes: generación de vapor, distribución de vapor y recuperación de condensados. Este estudio debe incluir los cálculos de capacidad de generación, consumo de vapor y distribución para garantizar la demanda de producción de la planta sin exceder de los límites de eficiencia energética.

La instalación de vapor está compuesta por diferentes elementos que cumplen una función fundamental en la generación y suministro del vapor, se detallan a continuación:

### 2.6.4.1. GENERACIÓN DE VAPOR

Es el corazón de la instalación, la caldera, donde se transforma el agua en vapor mediante la combustión de gas, gasoil o biomasa. La elección de la caldera viene dada por las necesidades térmicas de la planta, teniendo en cuenta la eficiencia, la capacidad y el combustible utilizado.



*Ilustración 74. Caldera de vapor tipo acuotubular*

Para el cálculo de la generación de vapor es necesario conocer la demanda del mismo. Los equipos que requieren vapor en la planta son principalmente la onduladora, la plegadora-encoladora, la cocina de colas y el sistema de humidificación y climatización. Para cada equipo se necesita determinar el consumo de vapor por hora, en Kg/h, se estudiará en detalle la demanda de vapor de la onduladora:

La demanda de vapor de la onduladora viene dada por la capacidad productiva de la misma. En el caso de estudio se tiene una onduladora con los siguientes datos clave:

- Ancho de la onduladora: 2.200 mm
- Velocidad de producción: 200 m/min
- Tipo de cartón producido: BC (doble canal)
- Superficie procesada por minuto: 440 m<sup>2</sup>/min

La producción de un cartón de doble canal tipo BC, que es más grueso que el cartón simple pero no tanto como el de triple capa, requiere un uso de vapor de entre 0,2 kg/ m<sup>2</sup> y 0,4 kg/ m<sup>2</sup>, por lo que se tomará como valor medio **0,3 kg/ m<sup>2</sup>**.

$$\text{Vapor requerido por minuto} = 440 \frac{\text{m}^2}{\text{min}} \times 0.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 132 \frac{\text{kg vapor}}{\text{min}}$$

Suponiendo que el vapor de la caldera se genera a una presión de 8 bar y una temperatura de 170 °C, valores comunes en calderas industriales para procesos similares, y teniendo en cuenta que la entalpía del vapor en estas condiciones es aproximadamente de 2.100 kJ/kg, se obtiene:

$$\text{Energía térmica requerida (Q)} = m_{\text{vapor}} \times h_{\text{vapor}}$$

$$\text{Energía térmica requerida (Q)} = 132 \frac{\text{kg vapor}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \times 2100 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 16.632.000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Transformándolo a kW, se obtiene:

$$\text{Energía térmica requerida (Q)} = 4.620 \text{ kW}$$

Considerando una eficiencia del 85%, la energía térmica requerida para el proceso de ondulado es de:

$$\text{Energía térmica requerida (Q)} = 5.435 \text{ kW}$$

Siguiendo los mismos pasos se obtiene la energía térmica requerida ajustada a la eficiencia para el resto de los equipos y sistemas que requieren vapor. Se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 13– Energía térmica requerida*

Equipo/Proceso	Consumo de Vapor (kg/h)	Energía Térmica (kW)	Energía Ajustada (kW)
Pegadora-Encoladora	2.640,00	1.540,00	1.811,00
Cocina de Colas	200,00	116,70	137,30
Sistema de Humidificación	1.320,00	770,00	905,00

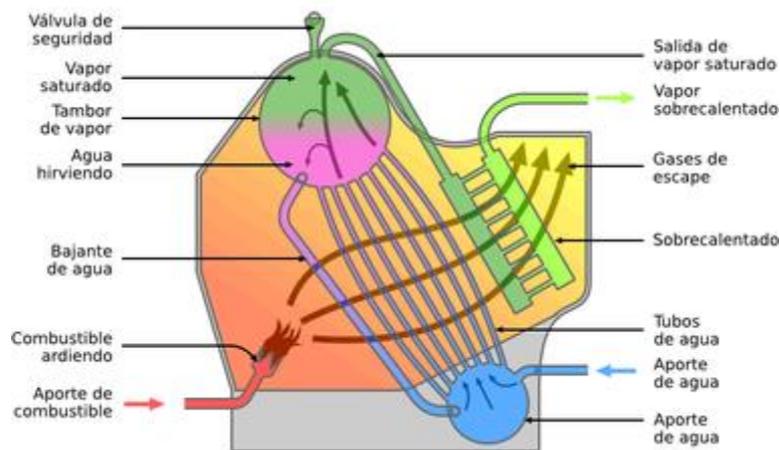
Por tanto, la energía térmica demandada por los equipos principales de la planta será la suma de las anteriores y la de la onduladora, calculado previamente:

$$\text{Energía térmica total } (Q) = 8.288,3 \text{ kW}$$

A continuación, se escogerá la caldera de vapor que pueda suplir la demanda, mayorada con un 15% de factor de seguridad, por lo que la caldera de vapor tendrá una potencia de:

$$\text{Potencia Caldera} = 9.500 \text{ kW}$$

Se selecciona una caldera de gas de tipo acuotubular, lo que significa que el agua a evaporar circula por unos tubos calentados externamente por fuego. En este tipo de calderas, el combustible, gas natural, se quema en el interior del horno, generando gases a altas temperaturas que calientan el agua contenida en el interior de los tubos, generando vapor de agua. Se trata de calderas con altas capacidad de producción de vapor a alta presión, con una eficiencia superior al 90% y con buena respuesta a cambios rápidos en la demanda, lo que las hace ideales para el proceso de producción de cartón ondulado.



*Ilustración 75. Esquema de caldera de vapor acuotubular*

En concreto, se selecciona una caldera del fabricante Cleaver-Brooks, el modelo Cleaver-Brooks FLX Watertube, diseñado para aplicaciones industriales, con un rango de operación de presiones entre 2 bar y 18 bar, y una fácil instalación y mantenimiento.

A la salida de la caldera se instalan unos intercambiadores de calor que recogen los gases de salida producidos tras la combustión, recuperan el calor residual y precalientan el agua de alimentación, mejorando por tanto la eficiencia de la caldera.



*Ilustración 76. Recuperador de gases de la caldera de vapor*

#### **2.6.4.2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA**

Se trata del sistema que introduce en los intercambiadores de calor el agua que se convertirá en vapor tras la absorción del calor producido en la caldera. Este sistema está compuesto principalmente por las siguientes partes:

- Tanque de almacenamiento de agua: almacena agua previamente tratada para evitar que contenga materia orgánica que pueda provocar incrustaciones y corrosión en la caldera.
- Bombas de alimentación: sistema de bombas hidráulicas que impulsan el agua almacenada en el tanque hacia el interior de la caldera.
- Desaireador: se trata de un equipo que elimina gases no condensables del agua para evitar que se produzca corrosión en la caldera y sistema de tuberías de alimentación.

#### **2.6.4.3. DISTRIBUCIÓN DE VAPOR**

Una vez producido el vapor en el interior de la caldera, este debe ser distribuido a las diferentes zonas de la planta donde será utilizado.

El sistema de distribución de vapor se compone de tuberías de transporte, que deben ser correctamente diseñadas para asegurar que el vapor llegue a los equipos con la menor pérdida de presión, y que este vapor mantenga la temperatura adecuada para evitar una condensación prematura.

Los factores clave a tener en cuenta en el diseño son el diámetro de la tubería, que se calculará en función de la demanda de vapor de cada equipo, la distancia a recorrer y las presiones de operación, y la presión del vapor, que en el caso de estudio estará entre los 8 y 15 bares, lo que implica que las tuberías deben estar preparadas para soportar estas presiones sin sufrir pérdidas.

El material más adecuado para este tipo sistemas de distribución es el acero al carbono, con recubrimientos y aislamientos térmicos que eviten pérdidas de calor, minimicen el riesgo de condensación y aumenten la eficiencia energética del sistema.



*Ilustración 77. Tubería de acero al carbono de distribución de vapor*

El sistema de distribución para la planta de cartón será un sistema con tuberías a la vista, las cuales se instalarán expuestas por el techo de la planta, lo que permite un fácil acceso en caso de mantenimiento, además de ser el sistema más sencillo económico de instalar.

El sistema de tuberías integra en él válvulas de regulación y control de la presión y caudal que llega a cada una de las máquinas y equipos, garantizando la alimentación de vapor dentro de los límites de operación. Entre las válvulas que se instalan en el sistema de distribución se encuentran las denominadas trampas de vapor que son dispositivos que eliminan el condensado y gases no deseados antes de la entrada en los equipos consumidores de vapor.

#### **2.6.4.4. RETORNO DE CONDENSADOS**

En una instalación de vapor, el retorno de condensados es una parte fundamental para optimizar el uso del vapor. El condensado es el agua resultante del enfriamiento del vapor a su paso por la red de distribución y tras la cesión del calor útil al proceso productivo, en la onduladora, pegadora, cocina de colas, etc. El aprovechamiento del calor restante del condensado y de la propia agua, ya tratada, mejora la eficiencia energética del sistema, reduciendo el consumo de agua y energía. Las principales ventajas de un buen sistema de retorno de condensados son el ahorro energético, ahorro de agua y reducción de los procesos químicos de su tratamiento, el aumento de la vida útil de la caldera y la reducción de las emisiones de gases.

El circuito de retorno de condensados sigue principalmente por los siguientes pasos:

- 1- Trampas de Vapor: son válvulas automáticas que permiten el paso de los condensados generados a lo largo de todo el sistema de vapor y evitan que el este último escape.



*Ilustración 78. Válvula automática de trampa de vapor*

- 2- Tuberías de retorno de condensados: se trata de un sistema de tuberías que recolecta el agua condensada en diferentes puntos de la instalación y los transporta hasta un tanque de recogida o bien directamente a la caldera.
- 3- Tanque de recuperación de condensados: sirven como almacenamiento temporal del agua recuperada previo a su reutilización. Este sistema puede ser necesario en caso de necesitar calentar o desairear el agua antes de volver a introducirla a la caldera.
- 4- Bombas de impulsión del condensado: sistemas de bombas que evita que el condensado retorne a la caldera cuando el sistema de recuperación no es por gravedad.

# 3. ANÁLISIS ECONÓMICO

Como estudio final del proyecto se analizará los costes de implantación teniendo en cuenta cada una de las instalaciones estudiadas anteriormente. Este análisis se realiza con una estimación de costes y tomando como referencia proyectos similares. No se ha tenido en cuenta factores que pueden influir directamente en los costes como son la localización, el momento histórico, la inflación o las condiciones financieras y políticas regulatorias, por lo que el análisis real en el momento de puesta en marcha del proyecto puede sufrir variaciones sustanciales.

## 3.1. COSTOS DE INVERSIÓN

Los costes de inversión mostrados a continuación solo han tenido en cuenta los capítulos que abarca el alcance del proyecto, quedando excluidos el resto de ellos, que deberán ser estudiados en el proyecto definitivo.

*Tabla 14– Costos de inversión*

PARTIDA		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO ESTIMADO	IMPORTE TOTAL ESTIMADO
<b>0. OBRA CIVIL</b>					
0.1	Parcela	m <sup>2</sup>	37.300,0	80,00 €	2.984.000,00 €
0.2	Cercado Perimetral	m	800,0	55,00 €	44.000,00 €
0.3	Cimentación	m <sup>2</sup>	14.500,0	100,00 €	1.450.000,00 €
0.4	Estructura Hormigón	m <sup>2</sup>	14.500,0	180,00 €	2.610.000,00 €
0.5	Cubierta tipo Deck	m <sup>2</sup>	14.500,0	90,00 €	1.305.000,00 €
0.6	Aislamiento Térmico y Acústico	m <sup>2</sup>	14.500,0	35,00 €	507.500,00 €
0.7	Pavimento interior	m <sup>2</sup>	14.500,0	50,00 €	725.000,00 €
0.8	Pavimento exterior	m <sup>2</sup>	22.800,0	40,00 €	912.000,00 €
0.9	Instalación de Seguridad	Ud.	1,0	15.000,00 €	15.000,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO OBRA CIVIL</b>					<b>10.552.500,00 €</b>
<b>1. MAQUINARIA</b>					
1.1	Onduladora	Ud.	1,0	3.000.000,00 €	3.000.000,00 €
1.2	Troqueladora	Ud.	2,0	500.000,00 €	1.000.000,00 €
1.3	Impresora Flexográfica	Ud.	1,0	1.000.000,00 €	1.000.000,00 €
1.4	Plegadora-Encoladora	Ud.	1,0	400.000,00 €	400.000,00 €
1.5	Paletizadora	Ud.	1,0	250.000,00 €	250.000,00 €
1.6	Compactadora de Recortes	Ud.	1,0	150.000,00 €	150.000,00 €
1.7	Cintas Transportadoras	Ud.	1,0	80.000,00 €	80.000,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO MAQUINARIA</b>					<b>5.880.000,00 €</b>

<b>2. INSTALACIÓN DE PCI</b>					
2.1	Sistema de Ventilación y Exutorios	Ud.	1,0	20.000,00 €	20.000,00 €
2.2	Sistema de Detección	Ud.	1,0	15.000,00 €	15.000,00 €
2.3	Hidrantes Exteriores	Ud.	1,0	17.000,00 €	17.000,00 €
2.4	Bocas de Incendio Equipadas	Ud.	1,0	19.000,00 €	19.000,00 €
2.5	Rociadores Automáticos	Ud.	1,0	16.000,00 €	16.000,00 €
2.6	Extintores	Ud.	1,0	20.000,00 €	20.000,00 €
2.7	Depósito abastecimiento de agua	Ud.	1,0	100.000,00 €	100.000,00 €
2.8	Alumbrado y Señalización	Ud.	1,0	2.500,00 €	2.500,00 €
2.9	Grupo de presión	Ud.	1,0	50.000,00 €	50.000,00 €
2.10	Red de tuberías	Ud.	1,0	33.000,00 €	33.000,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO INSTALACIÓN DE PCI</b>					<b>292.500,00 €</b>

<b>3. COCINA DE COLAS</b>					
3.1	Tanques de Almacenamiento	Ud.	2,0	15.000,00 €	30.000,00 €
3.2	Silos de Almidón	Ud.	1,0	12.000,00 €	12.000,00 €
3.3	Silos de Bórax	Ud.	1,0	5.000,00 €	5.000,00 €
3.4	Silos de Sosa Cáustica	Ud.	1,0	4.000,00 €	4.000,00 €
3.5	Mezcladores	Ud.	1,0	10.000,00 €	10.000,00 €
3.6	Sistema de Bombeo	Ud.	1,0	4.000,00 €	4.000,00 €
3.7	Sistema de Calefacción	Ud.	1,0	6.000,00 €	6.000,00 €
3.8	Sistema de Distribución	Ud.	1,0	13.000,00 €	13.000,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO COCINA DE COLAS</b>					<b>84.000,00 €</b>

<b>4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>					
4.1	Transformador	Ud.	1,0	28.000,00 €	28.000,00 €
4.2	Centro de Transformación	Ud.	1,0	65.000,00 €	65.000,00 €
4.3	Celdas de MT	Ud.	5,0	50.000,00 €	250.000,00 €
4.4	Cables de MT	m	1.500,0	15,00 €	22.500,00 €
4.5	Caja General de Protección	Ud.	1,0	3.000,00 €	3.000,00 €
4.6	Cuadro General de Baja Tensión	Ud.	1,0	50.000,00 €	50.000,00 €
4.7	Subcuadros de BT	Ud.	5,0	3.500,00 €	17.500,00 €
4.8	Circuitos derivados	Ud.	5,0	18.000,00 €	90.000,00 €
4.9	Cables de BT	m	5.500,0	12,00 €	66.000,00 €
4.10	Sistemas de protección	Ud.	1,0	90.000,00 €	90.000,00 €
4.11	Sistema de Puesta a tierra	Ud.	1,0	30.000,00 €	30.000,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>					<b>712.000,00 €</b>

<b>5. INSTALACIÓN DE VAPOR</b>					
5.1	Caldera de Vapor	Ud.	1,0	400.000,00 €	400.000,00 €
5.2	Sistema de Tratamiento de Agua	Ud.	1,0	40.000,00 €	40.000,00 €
5.3	Red de Distribución	Ud.	1,0	25.000,00 €	25.000,00 €
5.4	Sistema de Retorno de Condensados	Ud.	1,0	20.000,00 €	20.000,00 €
5.5	Sistema de Bombeo	Ud.	1,0	20.000,00 €	20.000,00 €
<b>TOTAL CAPÍTULO INSTALACION DE VAPOR</b>					<b>505.000,00 €</b>

<b>PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE CARTÓN ONDULADO</b>	
	<b>PRESUPUESTO</b>
0. OBRA CIVIL	10.552.500,00 €
1. MAQUINARIA	5.880.000,00 €
2. INSTALACIÓN DE PCI	292.500,00 €
3. COCINA DE COLAS	84.000,00 €
4. INSTALACIÓN ELÉCTRICA	712.000,00 €
5. INSTALACIÓN DE VAPOR	505.000,00 €
<b>TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>18.026.000,00 €</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL CON I.V.A (21%)</b>	<b>21.811.460,00 €</b>

El presupuesto de ejecución material del proyecto “PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE CARTÓN ONDULADO”, asciende a un total de *VEINTI UN MILLONES OCHOCIENTOS ONCE MIL CUATROCIENTOS SESENTA EUROS*.

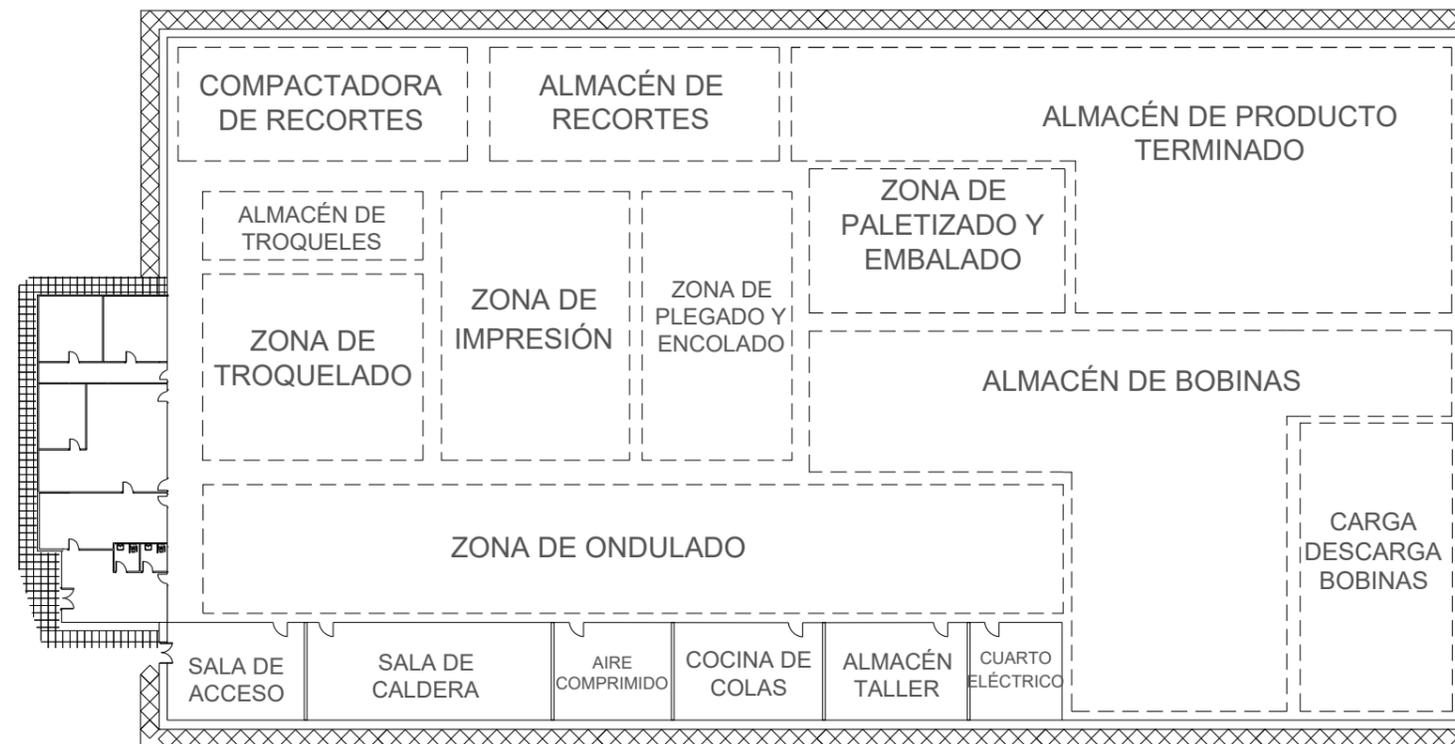
## **DOCUMENTO N°2 – PLANOS**

---

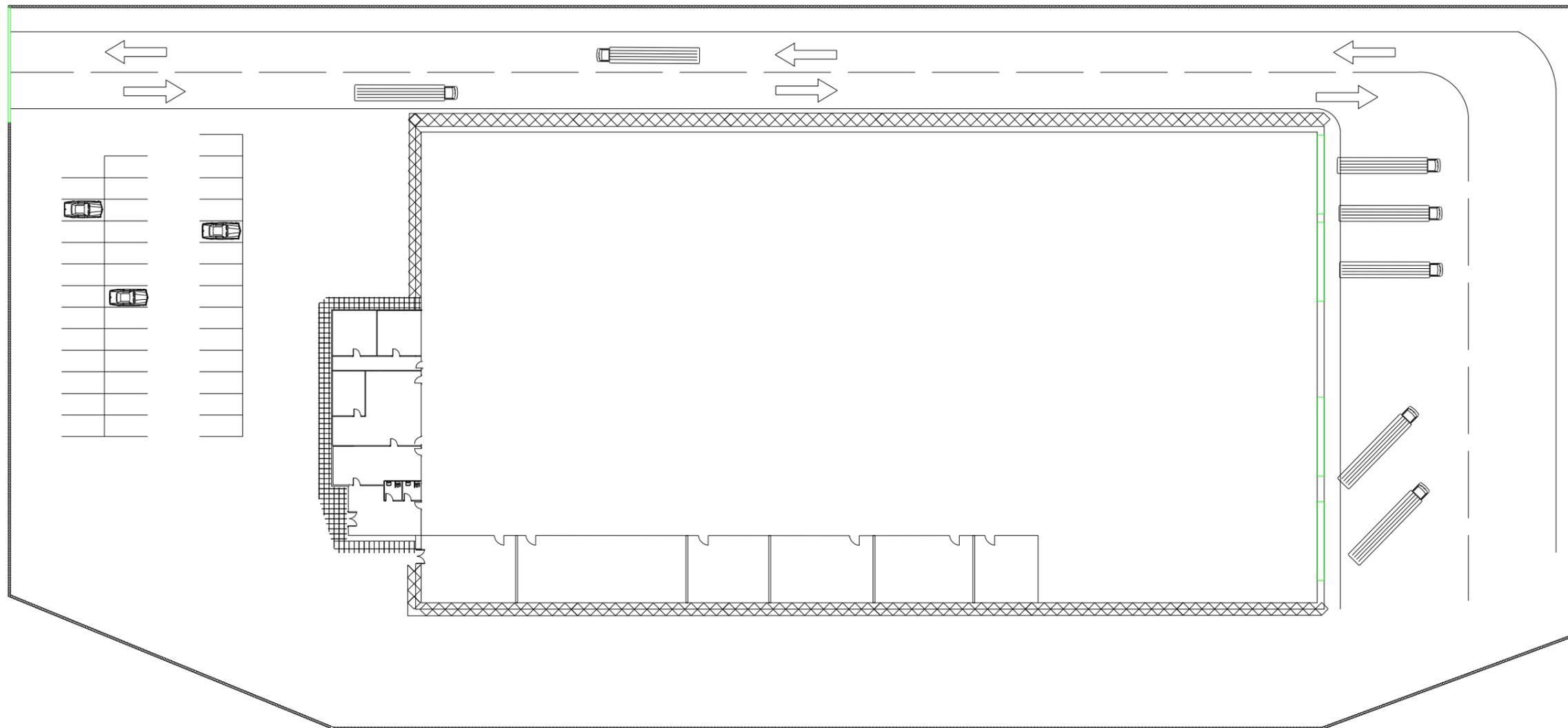


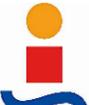
FORMATO: A3	Nombre: Javier	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	 <b>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</b>
	Apellidos: Bastos Hernández		
UBICACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DE LA PLANTA			Nº PLANO: 1
			Fecha: OCTUBRE 2024

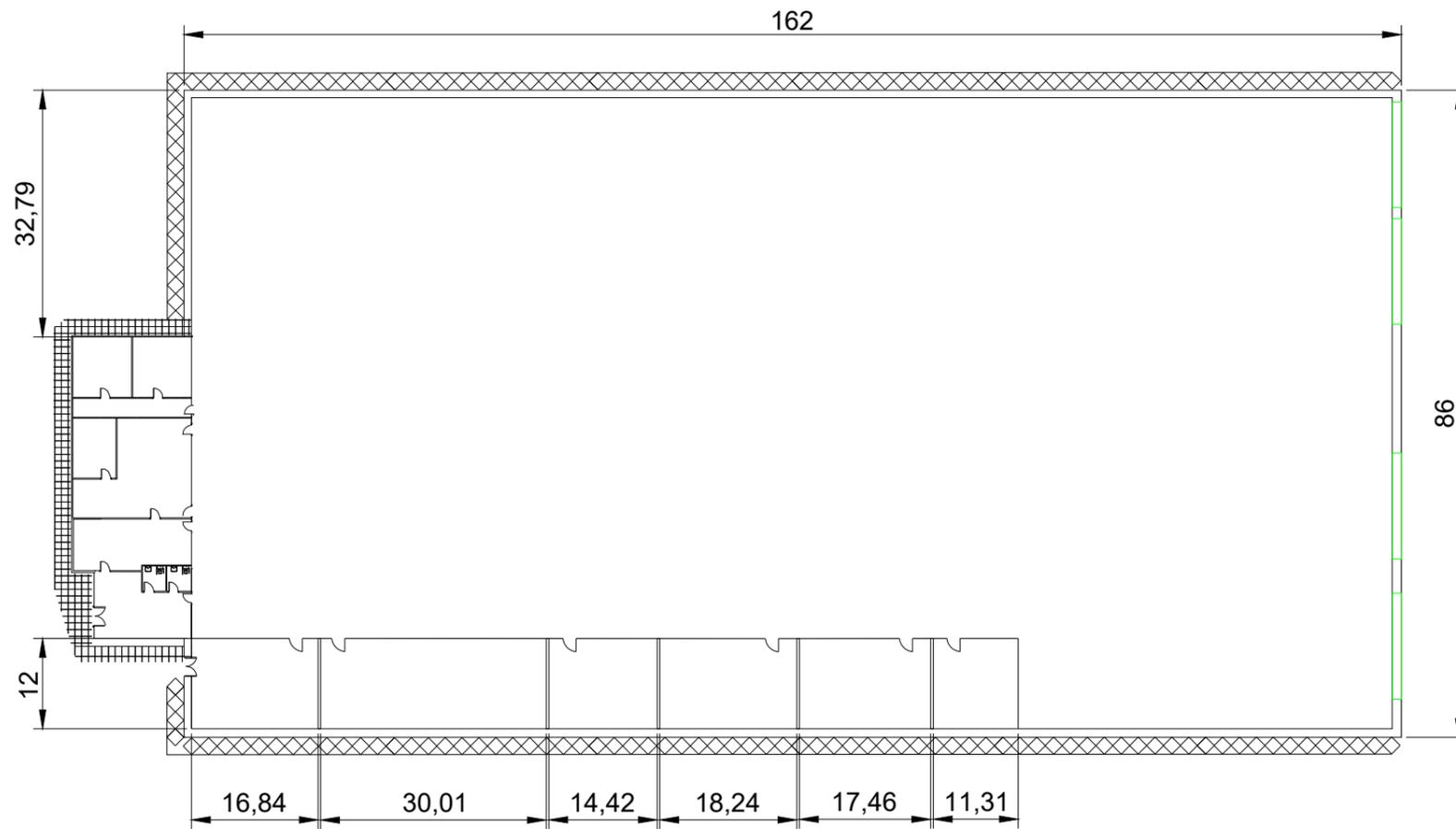
ESPACIO	ÁREA (m2)
Carga/Descarga Bobinas	600
Almacén de Bobinas	1.400
Zona de Ondulado	2.000
Zona de Troquelado	800
Almacén de Troqueles	300
Zona de Impresión	800
Zona de Paletizado	600
Almacén de Recortes	500
Compactadora de Recortes	500
Almacén de Producto Terminado	2.000
Pasillos y Otros Espacios	300
Salas Auxiliares	900
Zona de Transporte	3.300
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>14.000</b>

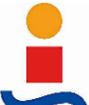


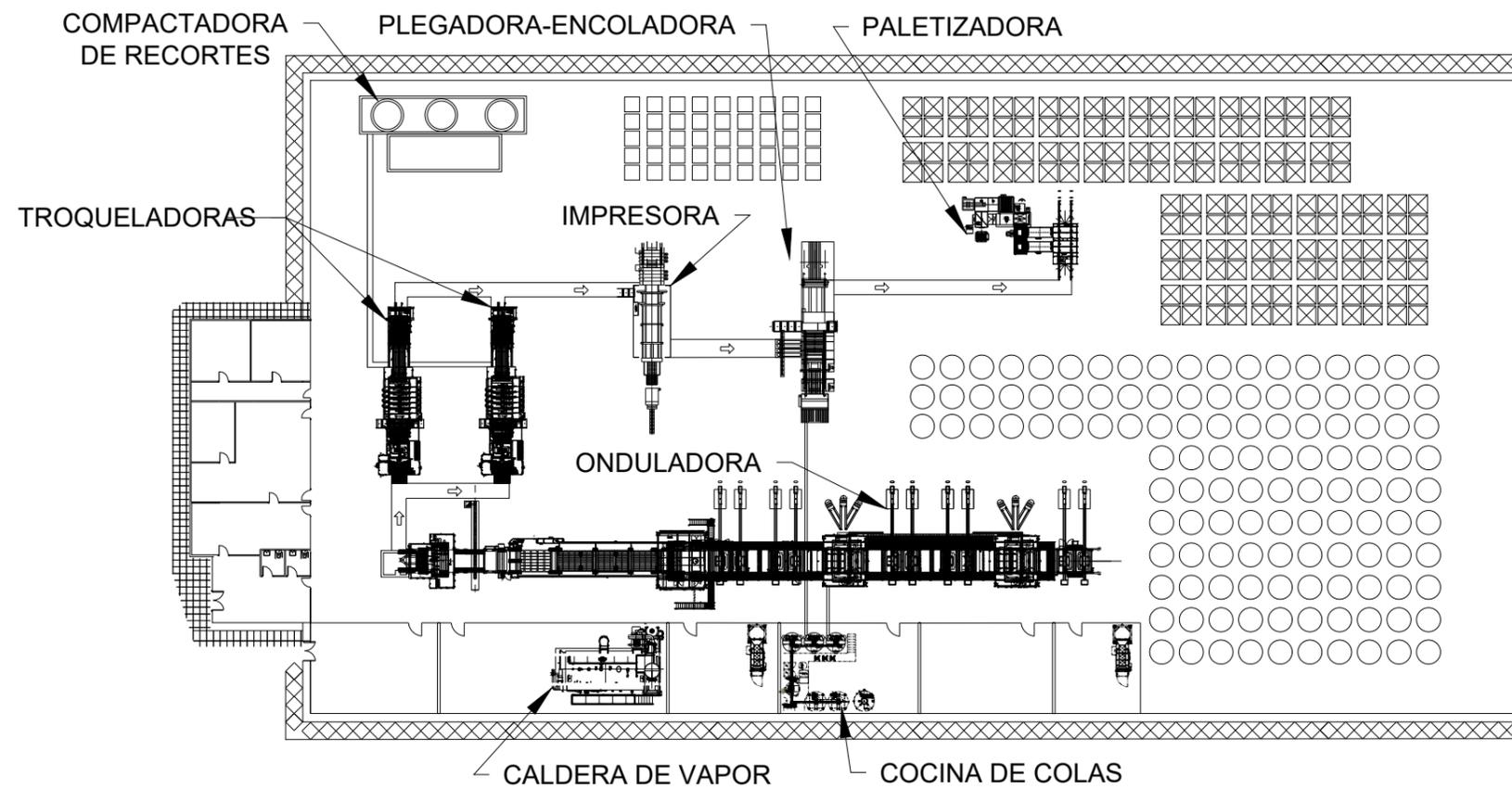
FORMATO: A3	Nombre: Javier	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	 <b>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</b>
	Apellidos: Bastos Hernández		
ESCALA:  1:800	<b>LAY OUT DE LA PLANTA</b>		Nº PLANO: 2
			Fecha: OCTUBRE 2024

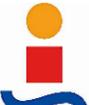


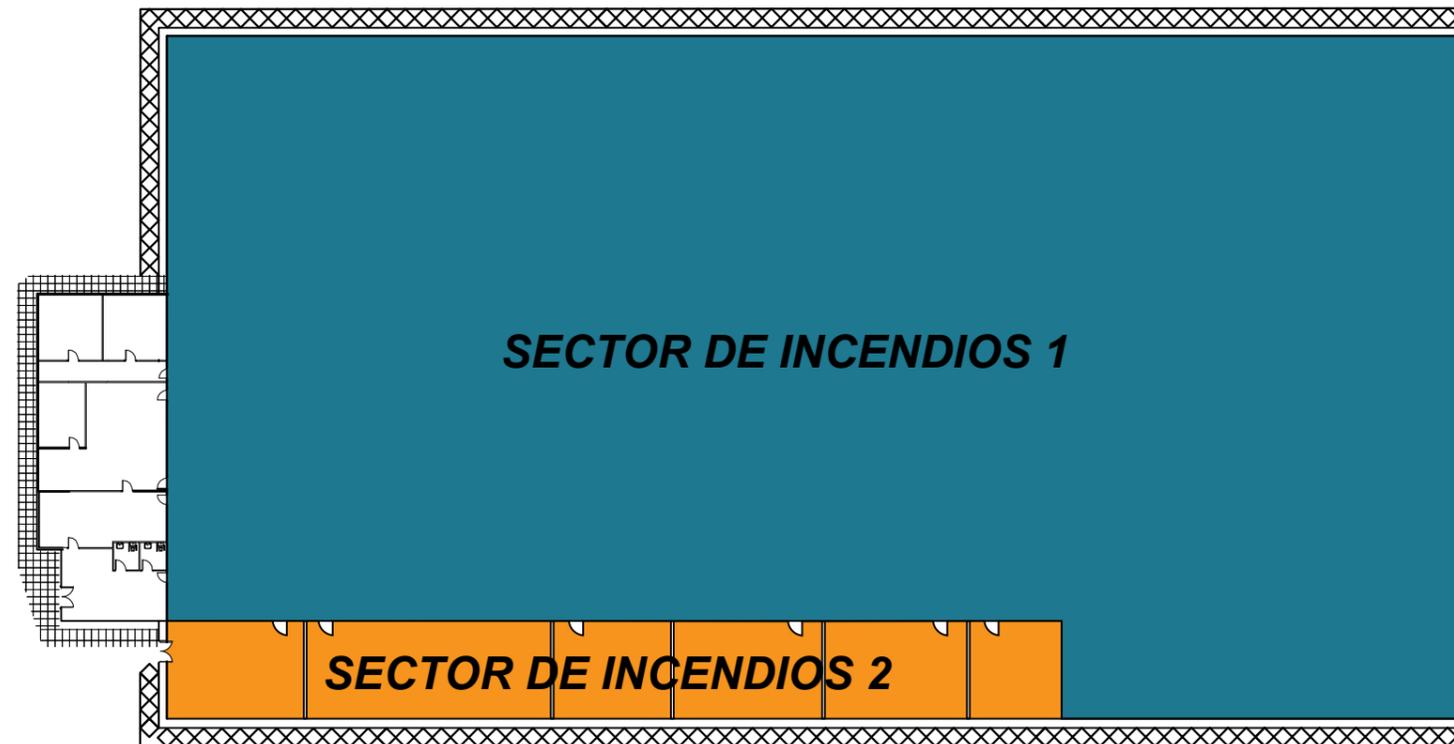
FORMATO: A3	Nombre: Javier	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	 <b>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</b>
	Apellidos: Bastos Hernández		
ESCALA: 1:800	<b>LAY OUT GENERAL</b>		Nº PLANO: 3
			Fecha: OCTUBRE 2024



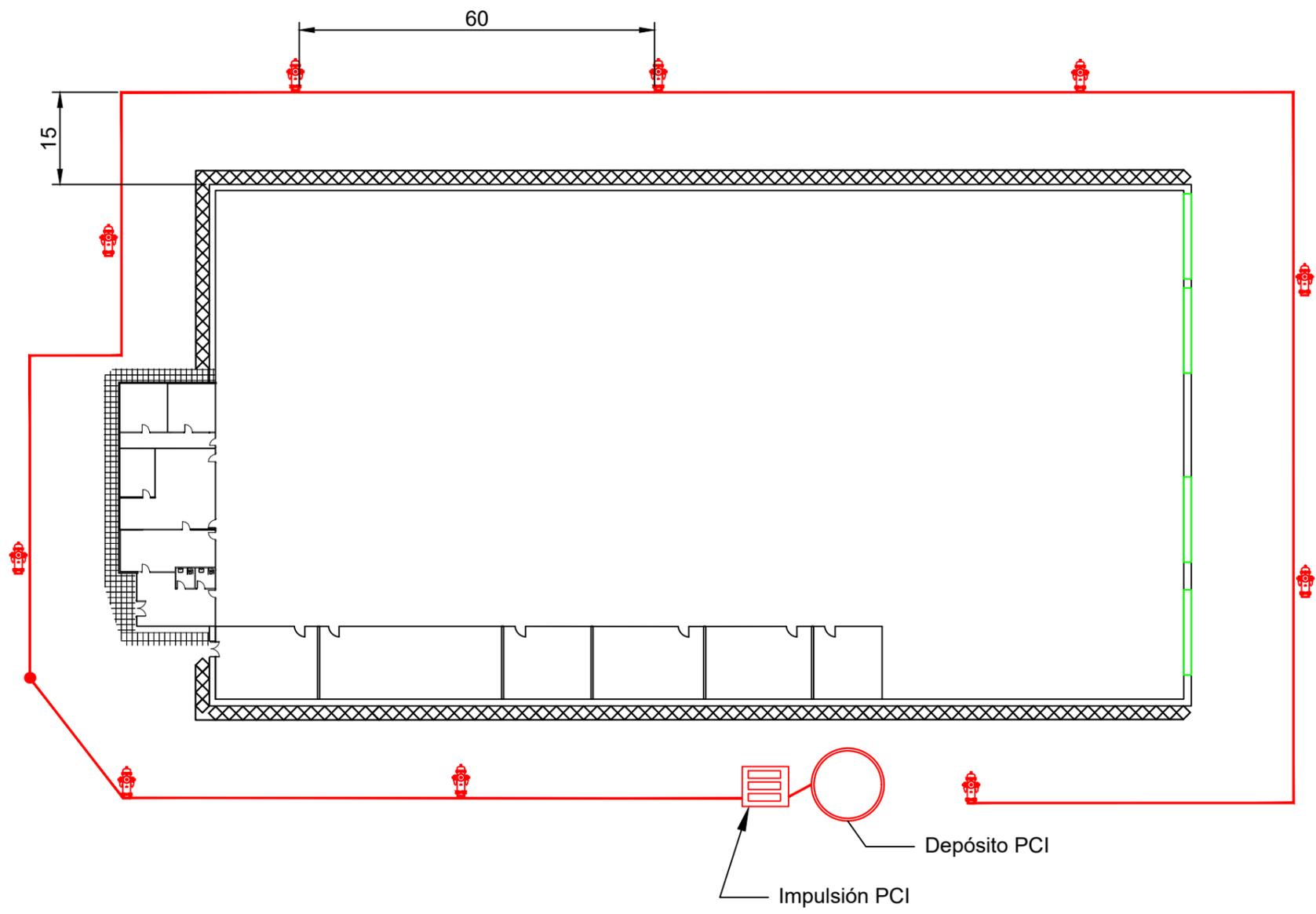
FORMATO: A3	Nombre: Javier	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	 <b>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</b>
	Apellidos: Bastos Hernández		
ESCALA: 1:800	LAY OUT ACOTADO		Nº PLANO: 4
			Fecha: OCTUBRE 2024



FORMATO: A3	Nombre: Javier	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	 <b>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</b>
	Apellidos: Bastos Hernández		
ESCALA: 1:800	<b>LAY OUT MAQUINARIA</b>		Nº PLANO: 5
			Fecha: OCTUBRE 2024



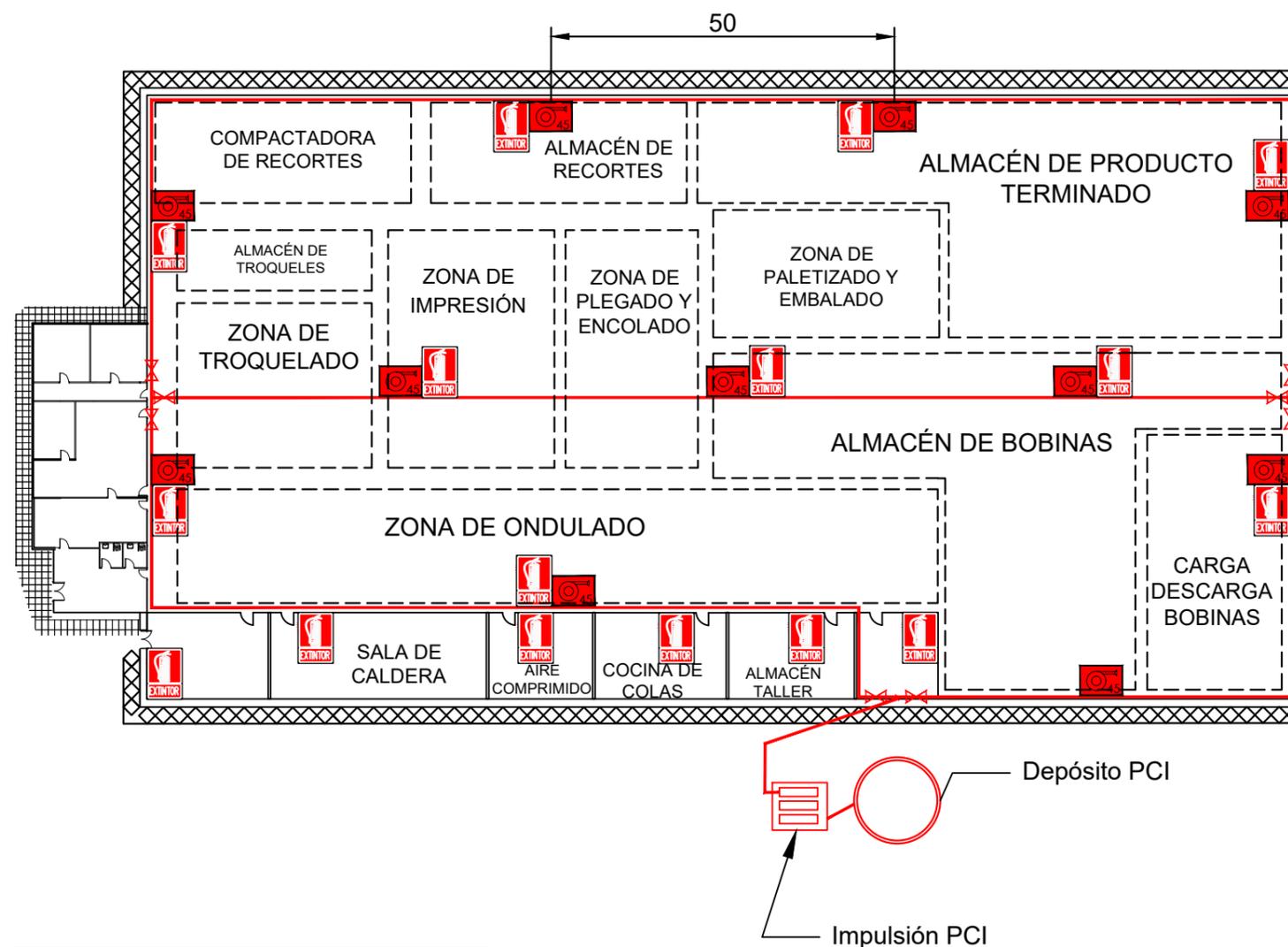
FORMATO: A3	Nombre: Javier	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	 <b>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</b>
	Apellidos: Bastos Hernández		
ESCALA: 1:800	SECTORES DE INCENDIOS		Nº PLANO: 6
			Fecha: OCTUBRE 2024



FORMATO: A3	Nombre: Javier	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	
	Apellidos: Bastos Hernández		
ESCALA: 1:800	HIDRANTES EXTERIORES		Nº PLANO: 7
			Fecha: OCTUBRE 2024

LEYENDA DE EXTINCIÓN MANUAL

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UDS.
	EXTINTOR CO2, 5kg, EFICACIA 89B EXTINTOR POLVO ABC 6kg, EFICACIA 27A-183B-C	16
	ARMARIO METÁLICO ESTANCO HORIZONTAL COMPUESTO DE : BIE Ø25mm, CON TOMA ADICIONAL DE 45mm. + EXTINTOR ABC + EXTINTOR CO2 + PULSADOR + SIRENA ÓPTICO-ACÚSTICA.	11



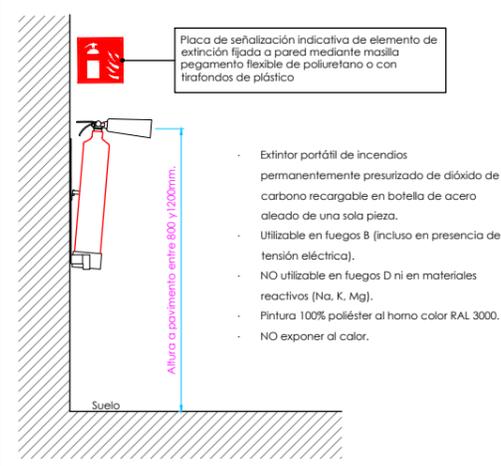
DETALLE EXTINTOR PORTATIL DE POLVO

ABC de 6Kg. Eficacia 27A-183B-C

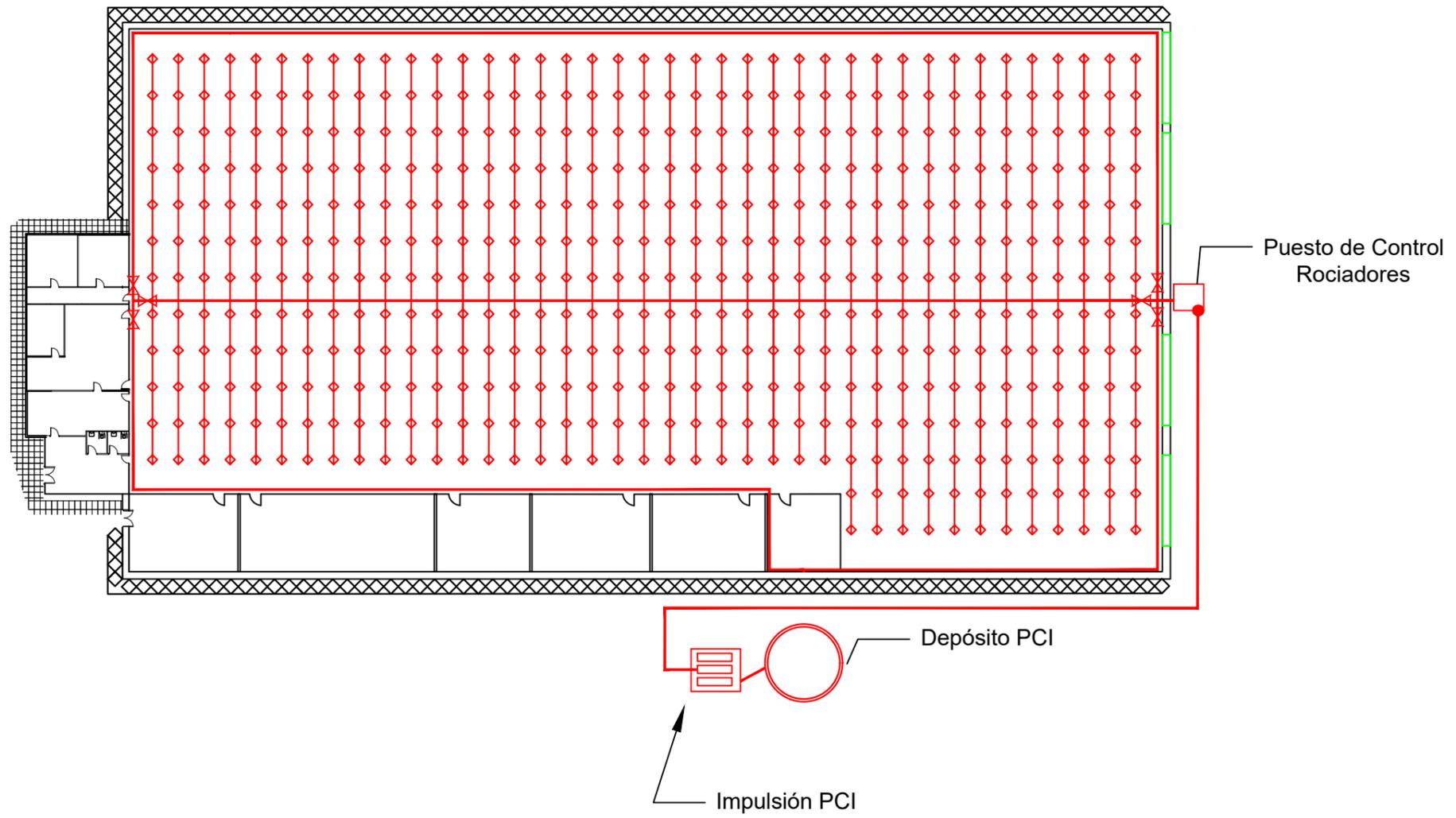


DETALLE EXTINTOR PORTATIL DE CO2

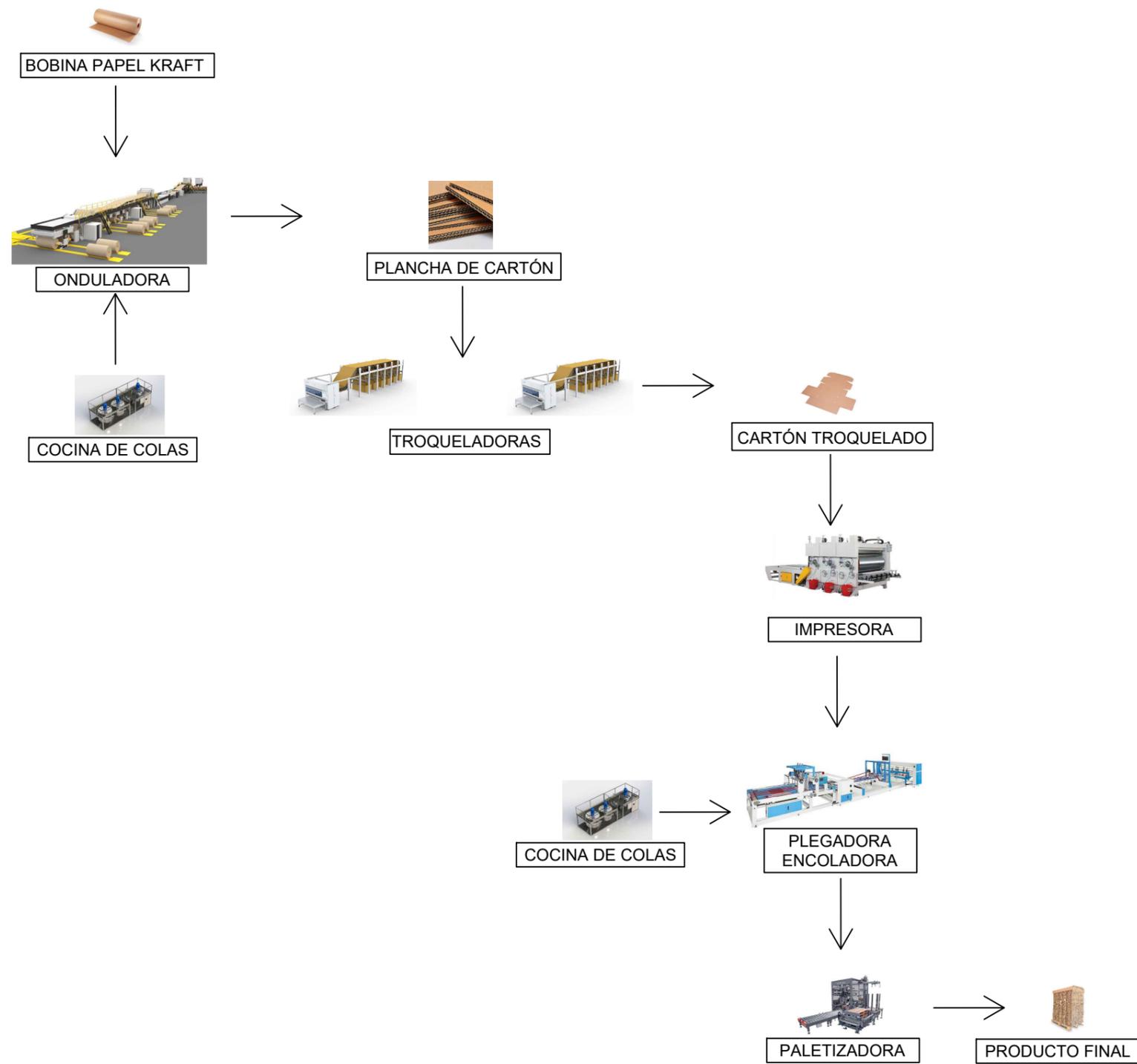
de 5Kg. Eficacia 89B



FORMATO: A3	Nombre: Javier Apellidos: Bastos Hernández	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	<p>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</p>
ESCALA: 1:800	BIE Y EXTINTORES		
			Fecha: OCTUBRE 2024



FORMATO: A3	Nombre: Javier	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	 <b>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</b>
	Apellidos: Bastos Hernández		
ESCALA: 1:800	<b>ROCIADORES AUTOMÁTICOS</b>		Nº PLANO: 9
			Fecha: OCTUBRE 2024



FORMATO: A3	Nombre: Javier	PROYECTO BÁSICO DE FÁBRICA DE DE PRODUCCIÓN DE CARTÓN ONDULADO	 <b>Escuela Técnica Superior de INGENIERÍA DE SEVILLA</b>
	Apellidos: Bastos Hernández		
DIAGRAMA DE PROCESO CARTÓN ONDULADO			Nº PLANO:
			Fecha: OCTUBRE 2024

## 4. BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] REAL DECRETO 842/2002. ACTUALIZADO SEGÚN EL RD 560/2010. (Parainfo 2013). *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, y sus instrucciones técnicas complementarias*
- [3] *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)*
- [4] *Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.*
- [5] Ley 38/1999 de 5 de noviembre. *Código Técnico de la Edificación (CTE).*
- [6] Normas UNE
- [7] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2019). *Guía técnica de diseño seguro para instalaciones industriales.*
- [8] Asociación Española de Ingenieros de Energía (AEE). (2019). *Guía de buenas prácticas en sistemas de vapor industrial.*
- [9] Endesa Distribución Eléctrica (2021). *Guía para el diseño de acometidas eléctricas y centros de transformación en industrias.*
- [10] CARMONA FERNANDÉZ, DIEGO. *Cálculo de instalaciones y sistemas eléctricos.*
- [11] SUAY BELENGUER, JUAN MIGUEL. (2010). *Manual de instalaciones contra incendios: el fuego. Agentes extintores. Cálculo hidráulico.*
- [12] <https://new.abb.com/es>
- [13] <https://wikipedia.org>
- [14] <https://www.bhs-world.com/en/lifecycle-corr-services/productivity-service-and-training/productivity-training/trainingdetail/modul-facer-mf-a-basics-and-maintenance>
- [15] <https://www.bhs-world.com/en/>
- [16] <https://www.bobst.com/mxes/>