

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

# **Diseño de una planta industrial de elaboración de cerveza en la provincia de Sevilla**

Autor:  
José Vargas Cruz

Tutor:  
Emilio Romero Rueda  
Profesor titular

Dep. de Ingeniería de la construcción y proyectos de ingeniería  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2018

# Resumen

Actualmente, la industria cervecera española se encuentra en pleno auge y crecimiento tecnológico, dedicando inversiones millonarias en la innovación del producto. Las empresas cerveceras más importantes de nuestro país constituyen uno de los principales focos de creación de empleo de los ciudadanos españoles, participando de forma proactiva en el desarrollo económico de España.

Este proyecto está basado en el diseño de la ingeniería básica de una planta industrial de elaboración de cerveza, incluyendo todas las tecnologías necesarias para el desarrollo, ejecución e implantación de un proyecto de tal calibre. Comenzando con el desarrollo conceptual de una planta cervecera, continuando con el diseño de los procesos, obra civil, layout e instalaciones auxiliares, y finalizando con los detalles más profundos relacionados con el impacto ambiental que causan las actividades y operaciones llevadas a cabo en la industria de este sector, se ha elaborado este proyecto que, a pesar de ser académico, tiene un enfoque científico y profesional en el sector cervecero.

# Índice

<b>Agradecimientos</b>	<b>i</b>
<b>Resumen</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>1 La cerveza</b>	<b>1</b>
1.1 Historia de la cerveza	1
1.2 Tipos de cerveza	1
1.2.1 Cerveza de fermentación alta	2
1.2.2 Cerveza de fermentación baja	3
1.2.3 Cerveza de fermentación espontánea	3
1.3 Materias primas	4
1.3.1 El agua	4
1.3.2 La malta	4
1.3.3 El lúpulo	5
1.3.4 Las levaduras	6
1.4 La cerveza y la economía	7
1.4.1 Consumo	7
1.4.2 Ventas	8
1.4.3 Producción	9
1.4.4 Comercio exterior	11
1.4.5 Cerveza y economía nacional	12
<b>2 Procesos</b>	<b>13</b>
2.1 Diagrama de flujo de procesos	13
2.2 Obtención del mosto cervecero	14
2.2.1 Etapa 1. Fase previa	15
2.2.1.1 Preparación de la malta	15
2.2.1.1.1 Limpieza	15
2.2.1.1.2 Molienda	17
2.2.1.2 Sistemas de transporte y manejo de la malta	20
2.2.1.3 Preparación del agua	23
2.2.1.3.1 Tratamientos generales	23
2.2.1.3.2 Tratamientos específicos	24
2.2.2 Etapa 2. Maceración	24
2.2.2.1 Factores que intervienen en la formación del extracto soluble	24
2.2.2.2 Transformaciones durante la maceración	25
2.2.2.2.1 Degradación del almidón	25
2.2.2.2.2 Degradación de $\beta$ -glucano	26
2.2.2.2.3 Degradación de sustancias albuminoideas	26
2.2.2.2.4 Transformación de lípidos	27
2.2.2.2.5 Transformación de polifenoles	27
2.2.2.2.6 Liberación de zinc	27
2.2.2.3 Fases en el proceso de maceración	27

2.2.2.4	Métodos de maceración	28
2.2.2.4.1	Método de maceración por infusión	28
2.2.2.4.2	Método de maceración por decocción	30
2.2.2.4.3	Método de maceración por adición	31
2.2.3	Etapa 2. Filtración y lavado	31
2.2.3.1	Filtración	31
2.2.3.2	Lavado	31
2.2.3.3	Equipos utilizados en el proceso de filtración y lavado	32
2.2.4	Etapa 3. Cocción	34
2.2.4.1	Procesos y transformaciones durante la cocción	34
2.2.4.1.1	Disolución y transformación de los componentes del lúpulo	34
2.2.4.1.2	Formación de “turbios” o “trub”	35
2.2.4.1.3	Evaporación del agua	35
2.2.4.1.4	Evaporación de compuestos volátiles indeseables	35
2.2.4.1.5	Otros procesos y transformaciones	35
2.2.4.2	Fases de la cocción	35
2.2.4.2.1	Cocción por calentamiento directo	36
2.2.4.2.2	Cocción por calentamiento con vapor	36
2.2.4.2.3	Cocción a baja presión	36
2.2.4.2.4	Cocción a alta temperatura	37
2.2.4.3	Adición del lúpulo	37
2.2.4.3.1	Cantidad de lúpulo aportada	38
2.2.4.3.2	Reglas de adición del lúpulo	38
2.2.4.4	Ahorro energético	39
2.2.4.4.1	Condensación de vahos	39
2.2.4.4.2	Compresión de vahos	39
2.2.5	Etapa 4. Clarificación	40
2.2.6	Etapa 5. Enfriamiento	41
2.2.6.1	Sistemas de enfriamiento	41
2.2.6.2	Reutilización del agua de enfriamiento del mosto	41
2.2.7	Soluciones adoptadas para la obtención del mosto	41
2.2.7.1	Etapa previa	42
2.2.7.2	Etapa 1	44
2.2.7.2.1	Método	44
2.2.7.2.2	Equipo	44
2.2.7.2.3	Ejecución	45
2.2.7.3	Etapa 2	45
2.2.7.3.1	Método	45
2.2.7.3.2	Equipo	45
2.2.7.3.3	Ejecución	46
2.2.7.4	Etapa 3	46
2.2.7.4.1	Manejo de la cocción	46
2.2.7.4.2	Adición del lúpulo	46
2.2.7.4.3	Equipo para la cocción del mosto	47

2.2.7.4.4	Instalación para la dosificación del lúpulo	47
2.2.7.5	Etapa 4	49
2.2.7.5.1	Manejo	49
2.2.7.5.2	Equipo	49
2.2.7.6	Etapa 5	49
2.2.7.6.1	Manejo	49
2.2.7.6.2	Equipo	49
2.3	Elaboración de la cerveza	50
2.3.1	Etapa 1. Preparación del mosto para la fermentación	50
2.3.1.1	Aportación de oxígeno	51
2.3.1.2	Aportación de levaduras	51
2.3.1.2.1	Levaduras usadas a nivel industrial	52
2.3.2	Etapa 2. Fermentación	52
2.3.2.1	Transformaciones durante la fermentación	53
2.3.2.1.1	Metabolismo de azúcares	53
2.3.2.1.2	Metabolismo de proteínas	53
2.3.2.1.3	Metabolismo de ácidos grasos	53
2.3.2.1.4	Metabolismo de minerales	53
2.3.2.1.5	Generación de sulfuro de dimetilo (DMS)	54
2.3.2.2	Equipos para la fermentación	54
2.3.2.3	Operativa de la fermentación	54
2.3.2.3.1	Levaduras de fermentación baja	54
2.3.2.3.2	Levaduras de fermentación alta	56
2.3.3	Etapa 3. Maduración	57
2.3.3.1	Fases del proceso	57
2.3.3.2	Equipos para la maduración y reposo	58
2.3.4	Etapa 4. Tratamientos complementarios	58
2.3.4.1	Clarificación	58
2.3.4.2	Filtración	59
2.3.4.2.1	Filtración con tierras diatomeas (Kieselgur)	59
2.3.4.2.2	Filtros de placas	61
2.3.4.2.3	Filtros de membrana	61
2.3.4.3	Estabilización biológica	61
2.3.4.3.1	Tratamientos térmicos	61
2.3.4.3.2	Filtración anacrónica	63
2.3.4.4	Estabilización organoléptica	63
2.3.5	Etapa 5. Carbonatación	64
2.3.5.1	Recuperación del CO <sub>2</sub>	64
2.3.6	Limpieza CIP	65
2.3.7	Soluciones adoptadas para la elaboración de cerveza	67
2.3.7.1	Etapa 1	67
2.3.7.1.1	Manejo	67
2.3.7.1.2	Equipos	68
2.3.7.2	Etapa 2	68

2.3.7.2.1	Manejo	68
2.3.7.2.2	Equipos	69
2.3.7.3	Etapa 3	69
2.3.7.4	Etapa 4.	70
2.3.7.4.1	Manejo	70
2.3.7.4.2	Equipos	70
2.3.7.5	Etapa 5	70
2.4	Elaboración de cerveza sin alcohol	70
2.5	Envasado de la cerveza	74
2.5.1	Embotellado	74
2.5.2	Embarrilado	74
2.5.3	Solución adoptada para el envasado	75
2.6	Gestión y programación de la producción	75
2.6.1	Recepción de materias primas	75
2.6.2	Programación de la producción	75
2.6.3	Envasado y almacenamiento del producto final	77
2.7	ATEX	78
2.7.1	Medidas preventivas	80
2.7.2	Medidas de protección de las explosiones	80
2.7.3	Electroestática ATEX	81
2.7.4	Soluciones adoptadas	82
<b>3</b>	<b>Control de calidad</b>	<b>83</b>
3.1	Agua	83
3.2	Malta	84
3.3	Lúpulo	86
3.4	Mosto cervecero	87
3.5	Cerveza	89
<b>4</b>	<b>Layout</b>	<b>91</b>
4.1	Layout general	91
4.1.1	Viales	93
4.1.2	Acceso para peatones	98
4.1.3	Control de Seguridad	99
4.1.4	Parking de vehículos	100
4.1.5	Báscula	102
4.1.6	Laboratorio	102
4.1.7	Parking de camiones	103
4.1.8	Edificio de descarga y silos	104
4.1.9	Instalaciones auxiliares	106
4.1.10	Zona para futuras ampliaciones	108
4.1.11	Zonas verdes	108
4.1.12	Otras zonas	108
4.2	Nave de producción	111
4.2.1	Vista general del interior de la nave	113

4.2.2 Zonas de la nave	114
4.2.2.1 Zona de elaboración de mosto.	114
4.2.2.2 Sala de enfriadores	116
4.2.2.3 Sala de control	117
4.2.2.4 Almacén de lúpulo	118
4.2.2.5 Almacén de levadura	120
4.2.2.6 Sala de fermentadores	121
4.2.2.7 Zona de filtración con tierras diatomeas	123
4.2.2.8 Zona de depósitos buffer	124
4.2.2.9 Almacén de productos para sistemas CIP	126
4.2.2.10 Zona equipos CIP	127
4.3 Nave de envasado	128
4.3.1 Vista interior de la nave de envasado	129
4.3.2 Recorrido de las botellas en la línea de envasado	133
4.4 Nave de almacenamiento	144
4.5 Edificio de descarga y limpieza	150
4.5.1 Zonas del edificio de descarga y limpieza	151
4.6 Edificio de oficinas	157
<b>5 Obra civil</b>	<b>169</b>
5.1 Descripción del solar	169
5.2 Edificios y naves proyectados	170
5.3 Terreno. Características	172
5.3.1 Características del suelo	172
5.3.2 Limpieza del solar. Excavaciones	172
5.4 Descripción de los elementos constructivos	173
5.4.1 Nave de producción	173
5.4.1.1 Cimentación	173
5.4.1.2 Solera	175
5.4.1.3 Estructura	176
5.4.1.4 Cerramientos	179
5.4.1.5 Cubierta	181
5.4.1.6 Forjados	182
5.4.1.7 Sala de fermentación	183
5.4.2 Nave de envasado	185
5.4.2.1 Cimentación	185
5.4.2.3 Estructura	186
5.4.2.4 Cerramiento	187
5.4.2.5 Cubierta	188
5.4.3 Nave de almacenamiento	188
5.4.3.1 Cimentación y solera	188
5.4.3.2 Estructura	190
5.4.3.3 Cerramientos	192
5.4.3.4 Cubierta	193
5.4.3.5 Muelle de carga	193

5.4.4 Edificio de descarga y limpieza	194
5.4.4.1 Cimentación	194
5.4.4.2 Forjado	196
5.4.4.3 Estructura	196
5.4.4.4 Cerramientos	197
5.4.4.5 Cubierta	198
5.4.5 Silos	198
5.4.6 Sala de molienda	198
5.4.7 Oficinas	199
5.4.7.1 Cimentación	199
5.4.7.2 Forjado y solera	200
5.4.7.3 Estructura	200
5.4.7.4 Cerramientos	200
5.4.7.5 Cubierta	201
5.5 Urbanización	201
5.5.1 Acerado	201
5.5.2 Viales	202
5.6 Elementos auxiliares	204
5.6.1 Estructura de aparcamientos	204
5.6.2 Plataformas	205
5.6.2.1 Plataforma para la toma de muestra en camiones	205
5.6.2.2 Plataforma de los silos	205
5.7 Cercado y cerramientos exteriores	206
5.7.1 Cerramiento perimetral de la planta	206
5.7.2 Cercado del depósito de gas natural	207
<b>6 Instalaciones auxiliares</b>	<b>209</b>
6.1 Instalación de Gas Natural	209
6.1.1 Utilidad de gas natural en la planta	209
6.1.2 Caldera	209
6.1.3 Sala de calderas	212
6.1.4 Tanque de almacenamiento de gas natural	213
6.1.5 Tuberías	214
6.1.6 Equipo de regulación y medida (ERM)	215
6.1.7 Evacuación de humos	215
6.1.8 Solución adoptada	215
6.2 Instalación de aire comprimido	218
6.2.1 Utilidad de aire comprimido en la planta	218
6.2.2 Elementos básicos de una instalación de aire comprimido	218
6.2.2.1 Compresor	218
6.2.2.2 Depósito	219
6.2.2.3 Enfriador	219
6.2.2.4 Deshumificador	220
6.2.2.5 Líneas de suministro	220
6.2.2.6 Secadores de aire comprimido	220

6.2.2.7	Puntos de consumo	220
6.2.2.8	Otros elementos	220
6.2.3	Ubicación	222
6.2.4	Ventilación	222
6.2.5	Solución adoptada	223
6.3	Climatización y ventilación	224
6.3.1	Uso de climatización y ventilación en la planta. Normativa aplicable.	224
6.3.2	Instalación de climatización	224
6.3.3	Sistemas de climatización en la planta	228
6.3.3.1	Edificio de oficinas	228
6.3.3.2	Sala de fermentación	228
6.3.4	Instalación de ventilación	228
6.3.4.1	Oficinas	229
6.3.4.2	Nave de producción, envasado y almacenamiento	233
6.4	Instalación eléctrica	233
6.4.1	Introducción	233
6.4.2	Acometida	234
6.4.3	Centro de seccionamiento	234
6.4.3.1	Celdas	234
6.4.3.2	Medición de energía eléctrica en el centro de seccionamiento	235
6.4.4	Centro de transformación.	235
6.4.4.1	Celdas	236
6.4.4.2	Transformadores	236
6.4.5	Grupo electrógeno	236
6.4.6	Puesta a tierra	237
6.4.6.1	Tomas de tierra	239
6.4.7	Pararrayos	240
6.4.8	Cuadros y líneas de la instalación eléctrica	241
6.4.8.1	Cuadro general de baja tensión (CGBT)	242
6.4.8.2	Cuadros secundarios (CS)	242
6.4.8.3	Líneas principales	242
6.4.8.4	Líneas de derivación a cuadros secundarios y tomas eléctricas	243
6.4.8.5	Sección de los cables	243
6.4.8.6	Distribución de instalación eléctrica	243
6.4.9	Alumbrado	245
6.4.9.1	Cálculo del flujo luminoso y número de luminarias necesarias	247
6.4.9.1.1	Método de los lúmenes	248
6.4.9.2	Cálculo lumínico de los edificios y naves de la planta	253
6.5	Protección contra incendios (PCI)	266
6.5.1	Caracterización de los establecimientos industriales.	267
6.5.2	Evaluación del nivel de riesgo intrínseco	268
6.5.3	Requisitos constructivos de los establecimientos	272
6.5.4	Requisitos de las instalaciones de PCI en establecimientos industriales.	278
6.5.4.1	Sistemas automáticos de detección de incendio	278

6.5.4.2	Sistemas manuales de alarma de incendio	279
6.5.4.3	Sistemas de hidrantes exteriores	279
6.5.4.4	Extintores de incendio	280
6.5.4.5	Sistemas de bocas de incendio equipadas	281
6.5.4.6	Sistemas de columna seca	282
6.5.4.7	Sistemas de rociadores automáticos de agua.	282
6.5.4.8	Sistemas de alumbrado de emergencia	282
6.5.4.9	Señalización	282
6.5.4.10	Grupo de presión	282
6.5.5	Requisitos de las instalaciones de PCI en el edificio de oficinas	283
6.5.6	Resistencia al fuego de la estructura en edificio de oficinas, electricidad y parking	283
6.5.7	Planos	285
6.6	Instalación de abastecimiento de agua	288
6.6.1	Justificación de la necesidad de un sistema de abastecimiento de agua en la planta.	288
6.6.2	Normativa utilizada	288
6.6.3	Descripción general de la instalación de abastecimiento de agua	288
6.6.4	Diseño de la instalación de abastecimiento de agua	290
6.6.4.1	Material de las tuberías	290
6.6.4.2	Tuberías	290
6.6.5	Dimensionado de la red de abastecimiento de agua sanitaria y ACS	291
6.6.5.1	Exterior	291
6.6.5.2	Interior del edificio de oficinas	293
6.6.6	Generación de agua caliente sanitaria.	298
6.6.7	Depósitos de agua	301
6.7	Red de saneamiento	302
6.7.1	Red de evacuación de aguas fecales	302
6.7.1.1	Dimensionado de la red de evacuación de aguas fecales	304
6.7.2	Red de evacuación de aguas pluviales	307
6.7.2.1	Dimensiones de la red de evacuación de aguas pluviales	308
6.7.3	Red de evacuación de aguas de procesos	309
6.7.3.1	Depuración del agua de procesos	309
6.7.3.2	Distribución de tuberías de aguas de procesos	309
<b>7</b>	<b>Evaluación de impacto ambiental</b>	<b>311</b>
7.1	Valores de consumo y emisiones	311
7.2	Niveles de emisión	311
7.3	Niveles de consumo	313
	<b>Índice de figuras</b>	<b>315</b>
	<b>Índice de tablas</b>	<b>325</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>329</b>





# 1 La cerveza

La cerveza es la bebida alcohólica más consumida en todo el mundo, fundamentalmente en el continente europeo y americano. A lo largo de la historia, se han ido desarrollando técnicas cada vez más innovadoras que permiten producir grandes cantidades de cerveza utilizando la menor cantidad de recursos con el mayor ahorro económico posible.

## 1.1 Historia de la cerveza

Según historiadores especializados en este campo, los orígenes de la cerveza se remontan al año 11.000 a.C, tras el nacimiento de las técnicas de agricultura. En aquellos tiempos, la cerveza era conocida como “pan líquido” debido a que se trataba de un producto pastoso que se utilizaba más bien como un alimento que como una bebida.

En el Imperio Inca, las mujeres se encargaban de preparar la cerveza con maíz, llevándose a cabo la fermentación con sus propias salivas. Por otro lado, los escandinavos también comenzaron a suplir el vino como bebida tradicional y comenzaron a consumir cerveza.

Sin embargo, la mayoría de los investigadores centran la cuna de la cerveza en Mesopotamia, a orillas de los ríos Éufrates y Tigris. Existen hallazgos que datan del año 4.000 a.C basados en tablillas de arcillas en las que aparecen escrituras cuneiformes sobre una bebida de cebada fermentable llamada “sikaru” elaborada a partir de pan de cebada. En esta época las mujeres utilizaban la espuma de la cerveza para untárselas y conservar el frescor de la piel.

En el siglo II a.C comenzó a producirse en China cerveza elaborada con mijo y arroz, a la vez que en Japón ya elaboraban la famosa bebida obtenida del arroz conocida como “sake”.

Alrededor del año 300 a.C, los celtas y germanos comenzaron a consumir bebidas fermentadas de cebada, los cuales la consideraban como un producto sagrado. Para ellos, la cerveza era el producto que les permitía integrarse en la sociedad y evitar padecer de enfermedades mentales.

Más tarde, en torno al siglo V d.C los monjes de los monasterios en Europa adquirieron los conocimientos necesarios para elaborar cerveza. Los monjes fabricaban cerveza de cebada, avena y un tercer tipo conocido como “tertia”. Cada una de ellas, en función de la calidad se administraban a distintos rangos sociales, siendo la cerveza de cebada la que se reservaba para las autoridades de alto rango, la de avena para el consumo propio en los monasterios y la “tertia” para el pueblo llano.

Las primeras fábricas de cerveza artesanal surgieron en Europa entre los siglos XI y XIII d.C. Desde entonces la producción de cerveza se convirtió en un negocio rentable que más tarde se convertiría en una tendencia seguida por los ciudadanos, de forma que comenzaron a fabricar sus propias cervezas en los hogares.

En el siglo XVI el príncipe Guillermo IV de Baviera aprobó la ley de pureza de la cerveza, la cual limitaba los ingredientes utilizados en la elaboración de cerveza, permitiéndose solamente el uso de agua, cebada y lúpulo.

A finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, los avances tecnológicos y estudios científicos propulsaron cambios en la elaboración de cerveza, y se empezaron a fabricar cervezas de fermentación alta y baja.

## 1.2 Tipos de cerveza

A lo largo de los tiempos se ha ido ampliando la variedad de cervezas, haciéndose la clasificación atendiendo a distintos factores como el tipo de levadura utilizada, color, lugar de origen e ingredientes, entre otros.

Independientemente del tipo de cerveza, se establece en cualquier caso una serie de parámetros básicos

que definen las características de la cerveza en cuestión. Dichos parámetros son:

- Grado alcohólico, valorando en % vol.
- Nivel de amargor, medido en unidades IBU (International Bitterness Unit)
- Densidad del mosto y de la cerveza final, valorada en gramos por litro.
- Color de la cerveza, según las unidades EBC (European Brewery Convention) o SRM (Standard Reference Method).

A pesar de lo anteriormente expuesto, la gran clasificación de cerveza se rige según sea el tipo de fermentación: cervezas de fermentación alta, cervezas de fermentación baja y cervezas de fermentación espontánea.

## 1.2.1 Cerveza de fermentación alta

Las cervezas de fermentación alta se conocen comúnmente como cervezas “ale”

Las cervezas “ale” se pueden clasificar a su vez en familias, las cuales presentan características organolépticas distintas:

- Familia Pale Ale

Se caracterizan por ser unas cervezas claras y limpias, fáciles de beber, con bajo contenido en alcohol y nivel medio de amargor.

El grado de alcohol varía desde los 3,8 % vol en la variedad de “Golden Ale British” (Gran Bretaña) hasta 7,5 % vol en el caso del estilo “Blond Belgian Ale” (Bélgica).

El amargor suele ser bajo, variando desde 10 hasta 30 unidades IBU.

- Familia India Pale Ale

Lo que define a esta familia de cervezas es el alto nivel de amargor, debido a que están muy lupuladas. Son cervezas con un contenido medio-alto de alcohol.

El grado de alcohol, dependiendo del estilo de cerveza suele variar de 5-10 % vol.

En cuanto al amargor, presentan unos niveles IBU desde 35 unidades en el estilo “IPA Argentine” (Argentina) hasta 120 unidades en el caso de “IPA Double” (EE. UU.).

- Familia Amber-Red-Brown Ale

Se tratan de cervezas tostadas con un bajo contenido en alcohol. Los niveles de amargor suelen ser bajos-intermedios, aunque existen estilos de cervezas dentro de esta familia muy amargos.

El grado alcohólico suelen variar desde 2,5 % vol hasta 8,5 % vol, lo que hacen que sean cervezas apropiadas para consumirlas durante la comida.

En un extremo se encuentra el estilo “Ale Scottish” (Escocia) con 20 unidades IBU y en el extremo opuesto se sitúa la “Bière de Garde” (Francia) con 280 unidades IBU.

- Familia Porter-Stout

Son cervezas oscuras con un sabor y olor intenso a tostado, siendo el contenido de alcohol muy variable.

El nombre de esta familia tiene su origen en que los trabajadores del puerto consumían este tipo de cerveza.

- Familia Strong Ale  
Son cervezas con un contenido muy elevado de alcohol, y con unos niveles de amargor muy variables. Suelen ser fabricadas en Europa (Gran Bretaña, Escocia y Bélgica) aunque actualmente también se están fabricando cervezas de este tipo en el continente americano.
- Familia Abbey/Trappist Ale  
Su nombre tiene su origen en que eran elaboradas en las abadías de la región belga. Los estilos más destacados de esta familia son la “Trappist Single” y la “Duvel Belgian”.

## 1.2.2 Cerveza de fermentación baja

Son conocidas generalmente como cervezas tipo “lager”, término que hace referencia al tipo de levaduras (levaduras de fermentación baja) utilizadas en la elaboración. Las cervezas “lager” son la variedad de cerveza que más se produce a nivel industrial.

Al igual que en las cervezas “ale”, las cervezas de fermentación baja se pueden clasificar en cuatro familias:

- Familia Pilsner  
Se caracterizan por ser familias claras y limpias, fácilmente bebibles, muy carbonatadas y recomendables para beber durante comidas. Tienen un bajo contenido en alcohol, presentan un color ámbar y tiene un contenido amargo bajo-intermedio.  
Los principales fabricantes de estas cervezas se encuentran en Alemania, EE. UU. y República Checa.
- Familia Amber Lager  
La familia Amber Lager incluye cervezas rubias que puedan llegar a ser cobrizas y con contenido en alcohol moderado.  
Las cervezas más destacadas de esta familia son la “Amber Lager Czech” (República Checa), Festbier “Oktoberfest” y “Rauchbier” (cerveza ahumada).
- Familia Dark Lager  
Como su nombre indica, son cervezas de color oscuro, presentando un contenido de alcohol similar al resto de familias.  
Las cervezas negras más comercializadas actualmente son la “Schwarzbier” (Alemania) y la “Dark Lager Czech” (República Checa).
- Familia Bock “Stark”  
Son las cervezas tipo lager más fuertes e intensas, presentando mayor cuerpo y grado de alcohol que el resto de las familias de esta variedad.

## 1.2.3 Cerveza de fermentación espontánea

Las cervezas de fermentación espontánea son fermentadas con la actuación de diferentes levaduras, hongos, y bacterias que se desarrollan de forma espontánea. Este tipo de cervezas fermentan en depósitos abiertos conocidos como “piscinas”

La principal característica de estas cervezas es que contienen un contenido nulo o muy bajo de lúpulo, por lo que el nivel de amargor suele variar desde 0 hasta 10 unidades IBU.

## 1.3 Materias primas

Los ingredientes fundamentales para la obtención del mosto son el agua, la malta y el lúpulo, y para la elaboración de la cerveza propiamente dicha, el lúpulo. Estas materias primas fueron elegidas componentes básicos en la Ley de Pureza Bávara en el siglo XVI, y desde entonces son los que se han usado en todas las recetas de elaboración de cerveza tanto a nivel artesanal como industrial.

### 1.3.1 El agua

La cerveza está formada en un 95 % por agua y, además, es utilizada en todos los procesos de limpieza de equipos, dispositivos y conducciones.

El agua utilizada para la elaboración de cerveza debe de tener las características adecuadas que le atribuyan de acuerdo con la legislación vigente el nombre de “agua destinada a consumo humano”. El agua para consumo humano no debe tener una concentración de microorganismos o parásitos tal que suponga un riesgo para la salud humana, valorándose por tanto para que pueda considerarse como tal una serie de parámetros microbiológicos y químicos.

Las características fisicoquímicas del agua están condicionadas por los siguientes factores:

- Actividad de los iones

En función de la interacción con los componentes de la malta, en el proceso de elaboración del mosto los iones se clasifican en activos e inactivos.

Los iones activos proceden de las sales neutras como el cloruro y sulfato sódico y potásico.

Los iones inactivos proceden de sales de calcio y magnesio.

- Dureza del agua

La dureza del agua es aportada por los iones inactivos, y se puede clasificar en dureza permanente, temporal y total.

La dureza permanente es debida a las sales de calcio y magnesio, incluidos los sulfatos, cloruros y nitratos.

La dureza temporal es debida a los carbonatos y bicarbonatos, y su concentración se ve modificada por la presencia de  $\text{CO}_2$ .

La dureza total hace referencia a la suma de la dureza permanente y temporal.

El grado de dureza es una medida que está normalizada, usándose como unidades el grado francés, alemán, inglés y americano.

- Valor de pH

El agua de consumo humano debe tener unos valores de pH comprendidos entre 6,5 y 9,5, aunque en la industria alimentaria el valor de pH recomendable está en torno a 4,5.

El valor de pH y la dureza del agua están íntimamente relacionados, de forma que un valor de pH menor que 7 se considera agua blanda, valores comprendidos entre 7 y 7,2 significa que predomina la dureza permanente y valores superiores a 7,5 indica que predomina la dureza temporal.

- Contenido de cloro

El cloro es el elemento químico que se utiliza en tratamientos de desinfección del agua, de forma que exista 0,2-1 mg de cloro residual libre por cada litro de cerveza para asegurar que el agua está desinfectada y es potable.

### 1.3.2 La malta

Cuando se habla de malta, nos referimos a granos de cebada remojados, germinados, secados y tostados, aunque puede existir también malta de otros cereales como el trigo o la avena.

Generalmente se distinguen dos variedades de cebada:

- Cebada de dos carreras  
Esta variedad de grano son los más utilizados en los procesos de malteado, ya que son más homogéneos y densos, tienen mayor contenido de almidón y menor cantidad de proteínas.
- Cebada de seis carreras  
Se suelen utilizar para maltear cuando en la maceración se van a mezclar con otros adjuntos. Se caracterizan por tener un mayor contenido de cáscara y aportar mayor cantidad de proteínas de bajo peso molecular. Además, aportan precursores de sulfuro de dimetilo y polifenoles, compuestos que son indeseables en el proceso de elaboración de cerveza.

En cuanto a la estructura de los granos, estos están formados a grandes rasgos por una cáscara que encierra y cubre el embrión y el endospermo amiláceo. El endospermo amiláceo ocupa la mayor parte del grano y es donde se encuentran los granos de almidón.

La malta, se puede clasificar en tres grandes grupos:

- Maltas base  
Son las más utilizadas a nivel industrial debido al gran poder diastático que presentan, lo que les permite degradar con éxito el almidón que contienen.
- Maltas caramelizadas  
Se llaman así por el sabor y aroma a caramelo que transfieren a la cerveza. No se suelen utilizar a nivel industrial, aunque si se utilizan con bastante frecuencia en la elaboración de cerveza artesanal.
- Maltas especiales  
Son variedades de malta que se suelen mezclar en bajo porcentaje con las maltas bases. Este tipo de malta confieren a la cerveza características especiales en el sabor y aroma.

### 1.3.3 El lúpulo

El lúpulo es la materia prima que confiere el sabor y aroma amargo característico de la cerveza.

Los compuestos del lúpulo son los siguientes:

- $\alpha$ -ácidos y  $\beta$ -ácidos  
Son los llamados compuestos amargos. En el proceso de ebullición, los  $\alpha$ -ácidos se transforman en isómeros solubles en el líquido y transfieren al mosto el amargor característico. Los  $\beta$ -ácidos también se transforman, pero tienen menos influencia en la composición del mosto.
- Sustancias albuminoideas  
Las sustancias albuminoideas son liberadas al mosto durante la cocción, y participan en la formación de flóculos que dan lugar al “trub”. Estos compuestos son los responsables de las características organolépticas de la cerveza.
- Aceites esenciales  
Estos compuestos son muy inestables frente al calor, por lo que tras la cocción suelen desaparecer. Los aceites esenciales se pueden encontrar en la cerveza terminada cuando se lleva a cabo la técnica de “dry hopping”<sup>1</sup>.
- Polifenoles  
Los polifenoles más típicos son los taninos, los cuales presentan propiedades antioxidantes y son los responsables de la astringencia del líquido. Los polifenoles se combinan con las

---

<sup>1</sup> El dry hopping es una técnica basada en una adición extra de lúpulo tras la fermentación, justo antes de ser envasada la cerveza

proteínas en el proceso de cocción y forman el “trub”.

Por otro lado, el lúpulo suele comercializarse normalmente de tres formas:

- Lúpulo en flor

Es el formato menos utilizado debido al gran volumen que ocupan y a su menor capacidad de conservación en condiciones ambientales normales.

- Pellets

Los pellets de lúpulo son fáciles de manejar, transportar, almacenar y transportar. Los pellets se obtienen tras un proceso de trituración de los conos de lúpulo, los cuales se compactan y forman pequeños cilindros de alta densidad.

- Extracto

El extracto de lúpulo es muy utilizado a nivel industrial. Se suele presentar en forma de líquido viscoso de color verde amarillento contenido en bidones de aluminio. Este formato comercial mantiene una buena estabilidad en el tiempo, pudiendo llegar a conservarse hasta 8 años. Para su preparación y dosificación, es necesario disponer de equipos especiales formados por una cámara térmica donde se introducen los barriles y un depósito intermedio para mezclar el concentrado.



Figura 1: Lúpulo en flor (izda), pellets (centro) y extracto (dcha). Heineken en Sevilla

### 1.3.4 Las levaduras

Las levaduras son las materias primas que hacen posible que el mosto se convierta en cerveza mediante la transformación de azúcares fermentables en  $\text{CO}_2$  y etanol.

Las levaduras son hongos unicelulares que realizan un proceso de respiración en presencia de azúcares y  $\text{O}_2$ . Una vez consumido el oxígeno y aun presentes los azúcares, comienzan a transformar estos compuestos mediante un proceso de metabolismo de glicolisis anaerobia en alcohol, anhídrido carbónico y energía.

Las células de levadura se reproducen por gemación, formándose las “hijas” de las células. Las hijas pueden mantenerse unidas en colonia o pueden separarse de la célula madre.

En la fermentación, las levaduras utilizadas pueden tener distinta procedencia y ser de distintos tipos:

- Levaduras secas activas

Comúnmente se conocen como LSA, y se comercializan en forma de gránulos contenidos en envases herméticos.

- Levaduras líquidas

Este tipo de formato tiene un periodo de conservación menor que en caso de las LSA. Se comercializan en frascos y se recomiendan usarse cuanto antes desde el momento en que se reciben.

- Levaduras de cultivos “máster”

Las grandes industrias cerveceras disponen de cepas puras específicas seleccionadas a partir de las cuales obtienen las levaduras que utilizarán en el proceso productivo.

- Levaduras recolectadas de una fermentación anterior

A nivel industrial, además de disponer de levaduras de cultivos “máster”, se suelen emplear levaduras recolectadas de fermentaciones anteriores. Este tipo de levadura necesita tratamientos complementarios para su activación y almacenamiento.

## 1.4 La cerveza y la economía

La Asociación Nacional Empresarial de la Industria Cervecera en España (ANEICE) nació en 1922 como Asociación de Fabricantes de Cerveza de España y fue fundada por las principales empresas de la industria cervecera en España, entre las que se encuentran MAHOU-SAN MIGUEL, Grupo DAMM, HEINEKEN ESPAÑA, LA ZARAGOZANA, HIJOS DE RIVERA y COMPAÑÍA CERVECERA DE CANARIAS.

ANEICE está integrada en la Federación Española de Industrias de la Alimentación y Bebidas (FIAB), participando activamente en eventos desarrollados por los organismos europeos Cerveceros de Europa y EBC (European Brewery Convention). Estos dos organismos se encargan de investigar, desarrollar y mejorar las técnicas de elaboración de cerveza con el objetivo de mejorar su calidad.

Las industrias del sector cervecero están muy involucradas participando en Ecovidrio, asociación encargada de promover y gestionar el reciclado de los envases de vidrios en España. De esta manera se busca proteger y conservar el medio ambiente reduciendo el impacto medioambiental de los residuos de envases.

Actualmente se elabora en España unos 36,5 millones de hectolitros de cerveza, cuatro puntos por encima de las cifras del año anterior. Por otro lado, España se ha convertido en el cuarto productor de cerveza de la UE, reflejándose en un incremento de la venta de cerveza del 3,4 %.

La cerveza no solo produce bienestar a los consumidores, sino que contribuye a crear alrededor de 350.000 puestos de trabajo, siendo el 90 % de esta cantidad el correspondiente a hostelería. De esta forma España se sitúa en el segundo puesto de la lista de países de la UE que generan más empleos en el sector cervecero, encontrándose en primer lugar Alemania.

En hostelería, la cerveza supone una cuarta parte de la facturación, mientras que en los pequeños locales con menos de 10 empleados puede suponer hasta un 40 % del total de facturación. Por otro lado, a la economía española la cerveza aporta hasta 7.000.000 de euros en valor añadido. En el mercado nacional, el valor de la cerveza supera los 15.500 millones de euros y supone un 1,4 % del PIB.

En la actualidad se ha conseguido que alrededor del 82 % de los envases se hayan recuperado, protegiendo y conservando de esta manera el medio ambiente a la vez que se disminuye el impacto ambiental.

España es uno de los principales exportadores de cerveza a nivel internacional, siendo Guinea Ecuatorial, Portugal, China y Reino Unido los destinos de la cerveza elaborada en nuestro país. En los últimos 10 años estas exportaciones han crecido un 261 %.

En relación con el consumo de cerveza, este aumentó en el último año un 3% respecto al año pasado, siendo el consumo per cápita de cerveza en nuestro país de 46,4 litros. No hay que olvidar que estas cifras están sujetas a un consumo moderado y responsable de esta bebida alcohólica. El principal canal de consumo en España es la hostelería. En los últimos tiempos, el consumo de cerveza sin alcohol ha aumentado hasta alcanzar el 14 % del consumo total en el año 2016. Un dato importante para destacar es que más del 90 % de la cerveza que consumen los españoles es de elaboración nacional, lo que refleja la gran satisfacción de los consumidores y la alta calidad que ofrece esta bebida.

### 1.4.1 Consumo

En el año 2016 el consumo de cerveza aumentó un 3 %, continuando el aumento que se venía produciendo en los últimos años. Este aumento en el consumo de cerveza se debe en primer lugar al turismo, ya que España recibió más de 75 millones de turistas extranjeros. Por otro lado, la estabilidad fiscal, la

generalización de un clima de confianza en la economía y la buena climatología registrada en nuestro país explican también el crecimiento en el consumo en el último año.

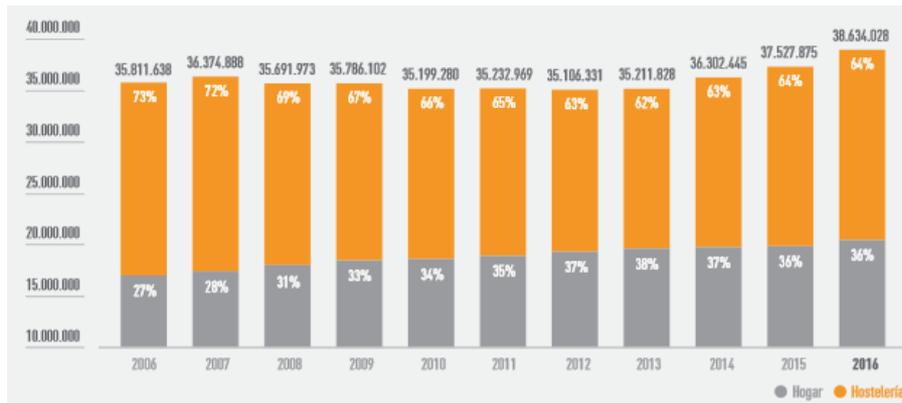


Figura 2: Evolución del consumo aparente de cerveza por canal (hL)

Tal y como se comentó previamente, el consumo de cerveza en la hostelería creció en 2016 un 2,4 % siendo este el principal canal de consumo en nuestro país. Fuera del hogar el porcentaje del consumo de cerveza fue del 64 % en el año 2016. El consumo de cerveza de los españoles en locales de hostelería se sitúa en torno al 46%. A la misma vez que el consumo de cerveza en el sector hostelero se ha visto incrementado, el empleo en este sector creció paralelamente un 6,6% traduciéndose en una generación de 100.000 nuevos empleos.

La cerveza es una bebida alcohólica de baja graduación con 4,5 grados de grado alcohólico. Aunque el grado alcohólico es relativamente bajo, es importante que el consumo de esta bebida se haga con responsabilidad y moderación, prestando los consumidores especial atención a su sabor, aroma y calidad. Todo esto se refleja en el hecho de que dentro de la UE España sea el país líder en consumo de cerveza sin alcohol, siendo el consumo de esta variedad del 14 %. Respecto a las pautas de consumo, España es uno de los países de la UE con consumo más moderado. El consumo en España per cápita es de 44,6 litros anual frente a la media de 70 litros anuales en otros países europeos y otros como República Checa o Alemania con un consumo de 134 y 116 litros anuales per cápita, respectivamente. Además, según la Organización Mundial de la Salud España presenta uno de los niveles más bajo de abuso de bebidas alcohólicas y el menor nivel de riesgo.

## 1.4.2 Ventas

Tal y como se comentó antes, el principal canal de consumo de cerveza en España es la hostelería, produciéndose un crecimiento del 3,2 % en 2016 alcanzando la cifra de 19.016.580 hectolitros. Además, las ventas de cerveza destinadas al hogar se incrementaron en un 3,7 % respecto al 2015 alcanzándose una cifra de 15.385.461 hectolitros. El envase que más vende el sector hostelero es el barril y la botella retornable, creciendo un 3,5 % y 1,4 % las ventas en barril y botella reutilizable, respectivamente. El material para envase que más utiliza el sector cervecero es el vidrio ya que es la mejor opción para llevar a cabo el reciclaje y reutilización, mostrándose así el compromiso del sector con el medio ambiente.



Figura 3: Evolución de las ventas de cerveza por canal en los últimos 5 años (millones de hL)

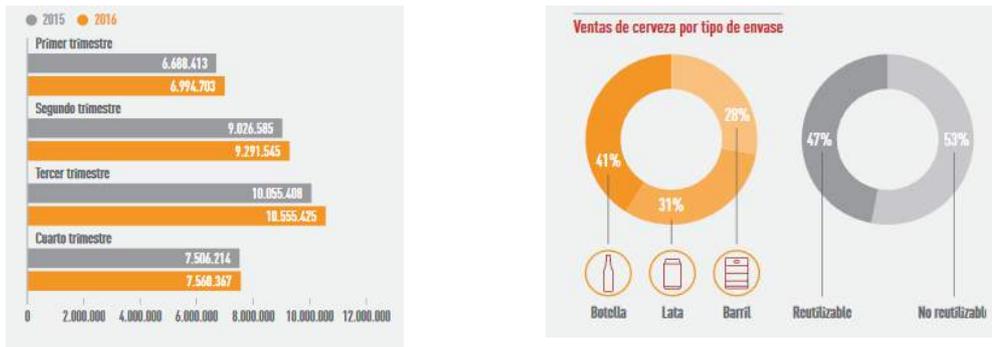


Figura 4: Ventas de cerveza por trimestre en hL (izda) y ventas por tipo de envase (dcha)

En cuanto a la venta de cerveza en España por zona geográfica Andalucía, sur de Extremadura, Ceuta y Melilla son las zonas líderes en venta de cerveza con una cifra de 8,1 millones de hectolitros vendidos en 2016 representando un 23 % del total de las ventas. En el centro del país y noroeste peninsular e Islas Baleares las cifras de ventas fueron en 2016 de 7,5 y 6,9 millones de hectolitros, respectivamente. Cabe destacar las Islas Canarias, zona donde la venta de cerveza ha aumentado un 9,6 %.

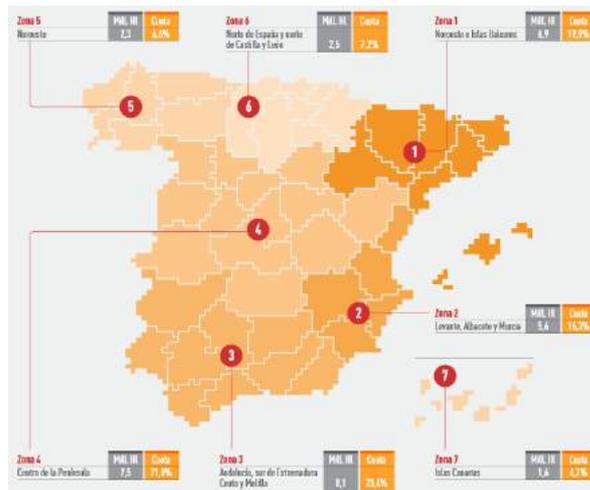


Figura 5: Distribución de ventas por zonas geográficas

### 1.4.3 Producción

En España la producción de cerveza creció cuatro puntos en el año 2016 respecto al año anterior, elaborándose más de 36 millones de hectolitros de cerveza. Junto a Alemania, Reino Unido y Polonia, España es uno de los principales países productores de cerveza estando situada en la undécima posición a nivel mundial.

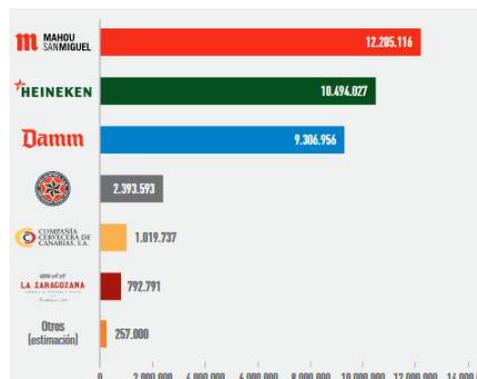


Figura 6: Producción de cerveza en España en 2016, en hectolitros

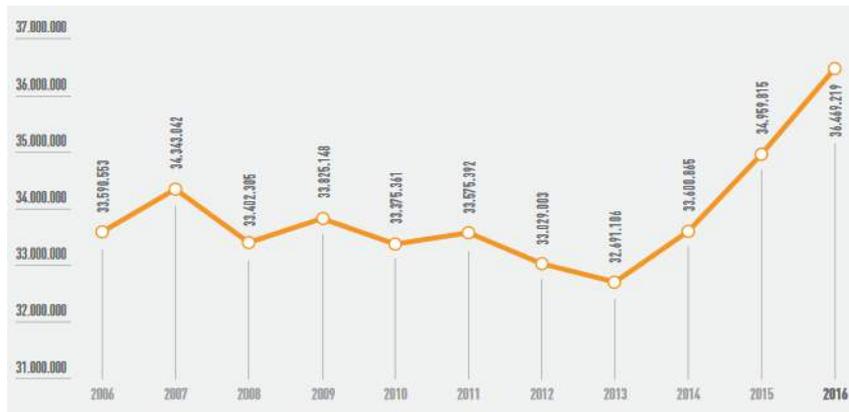


Figura 7: Producción de cerveza en España en los últimos 10 años, en hectolitros

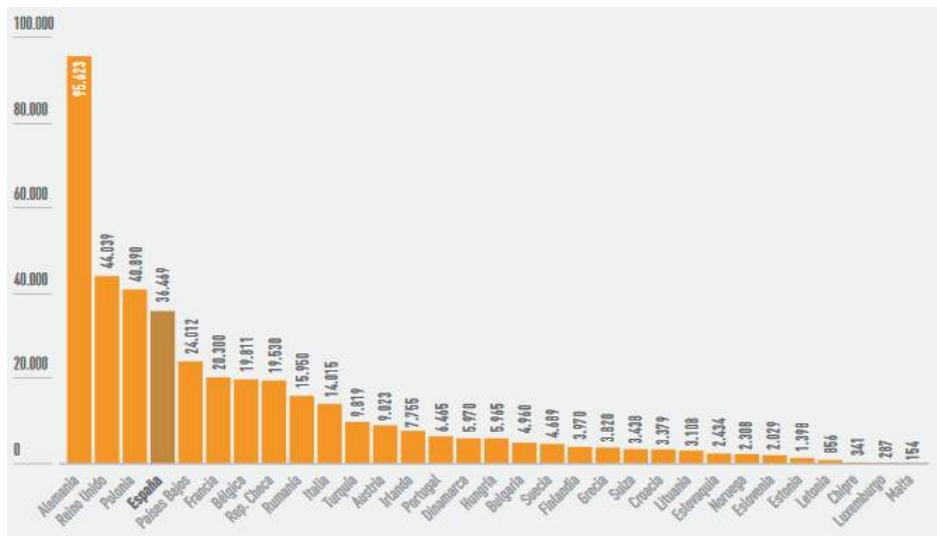


Figura 8: Producción de cerveza en Europa (miles de hL)

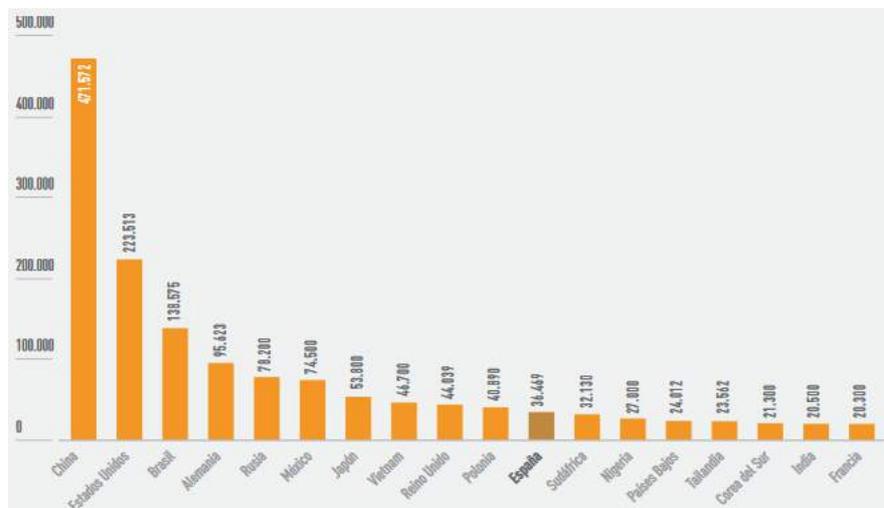


Figura 9: Producción de cerveza en el mundo (miles de hL)



Figura 10: Centros de producción de cerveza en España en 2016

### 1.4.4 Comercio exterior

La exportación de cerveza fuera de España alcanzó la cifra de 2,4 millones de hectolitros en 2016, siendo los principales destinos Guinea Ecuatorial, Portugal, China y Reino Unido. Esto refleja la buena calidad y nivel de reconocimiento que tiene la cerveza producida en nuestro país. El conocimiento de las marcas de cerveza españolas más allá de nuestras fronteras se debe a los millones de turistas que visitan España cada año. Por otro lado, España también recibe importaciones de cerveza de otros países europeos como Francia, Países Bajos y Alemania, siendo la cifra de estas importaciones de 4,5 millones de hectolitros. Esta cifra sufrió un decrecimiento del 6 % respecto al año 2015.

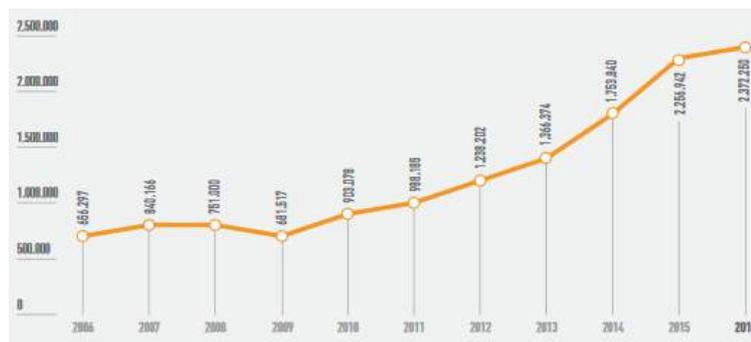


Figura 11: Evolución de las exportaciones de cerveza en España en los últimos 10 años (hL)

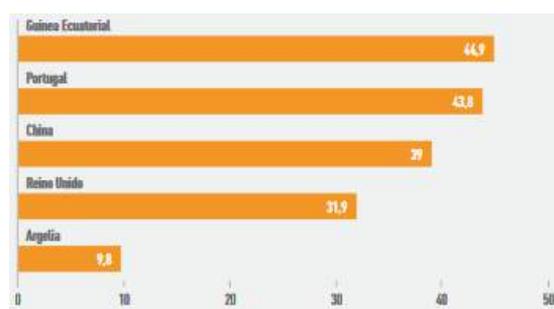


Figura 12: Principales destinos de las exportaciones de cerveza (millones de litros)

## 1.4.5 Cerveza y economía nacional

A través de la cerveza, el Estado español recauda una importante cantidad de impuestos y genera nuevos empleos debido al desarrollo actual del sector cervecero. La cerveza tiene un valor en el mercado que supera los 15.500 millones de euros suponiendo un 1,4 % del PIB.

La cerveza tiene un impacto socioeconómico muy elevado reflejándose este aspecto en la creación de 344.000 puestos de trabajo, sobre todo en la hostelería. De esos puestos de trabajo, 20.000 pertenecen al sector abastecedor, el 30 % a la agricultura y alrededor de 10.000 al sector minorista. Solo por debajo de Alemania, España es el segundo país de la UE en el que la cerveza genera más empleo.

En cuanto a la economía nacional, en 2016 se devengaron 324 millones de euros en concepto de impuestos especiales a la cerveza. Es claro que el sector cervecero está íntimamente relacionado con el turismo y la hostelería, generando 7.000.000 de euro de valor añadido. Además, la cerveza supone un 25 % de la facturación de la hostelería y un 40 % en los locales con menos de 10 empleados

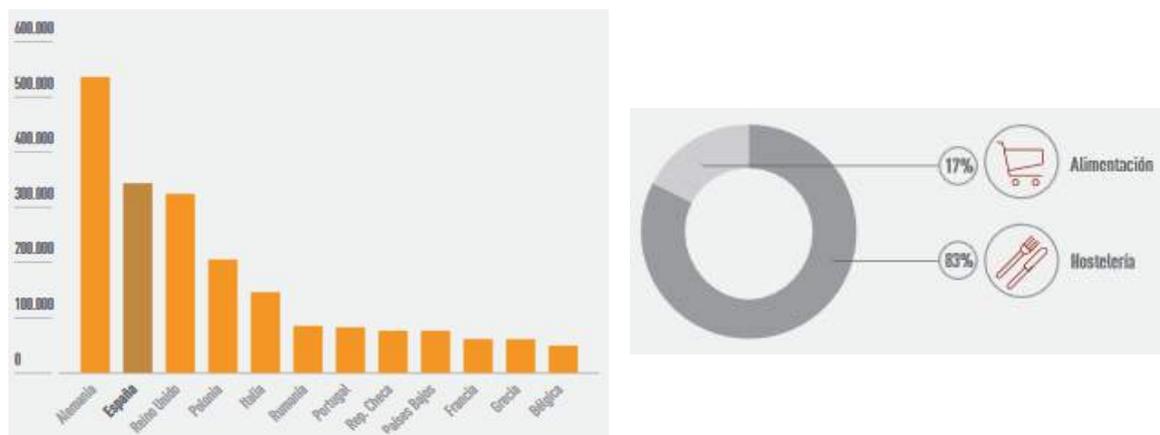


Figura 13: Recaudación por impuestos (izda) y contribución al empleo por países europeos (dcha)

## 2 Procesos

En la producción de cerveza pueden distinguirse dos actividades, los procesos para la elaboración del mosto cervecero y la elaboración de la cerveza propiamente dicha. Dichos procesos van encadenados y son consecutivos, por lo que será necesario establecer un orden de operación. Además, en la fabricación de cerveza intervienen números equipos, máquinas y dispositivos, los cuales serán explicados en este mismo capítulo.

### 2.1 Diagrama de flujo de procesos

A continuación, se muestra la secuencia de procesos necesarios para la obtención del producto final, haciéndose una distinción entre las actividades para la elaboración del mosto y las correspondientes a la elaboración de la cerveza.

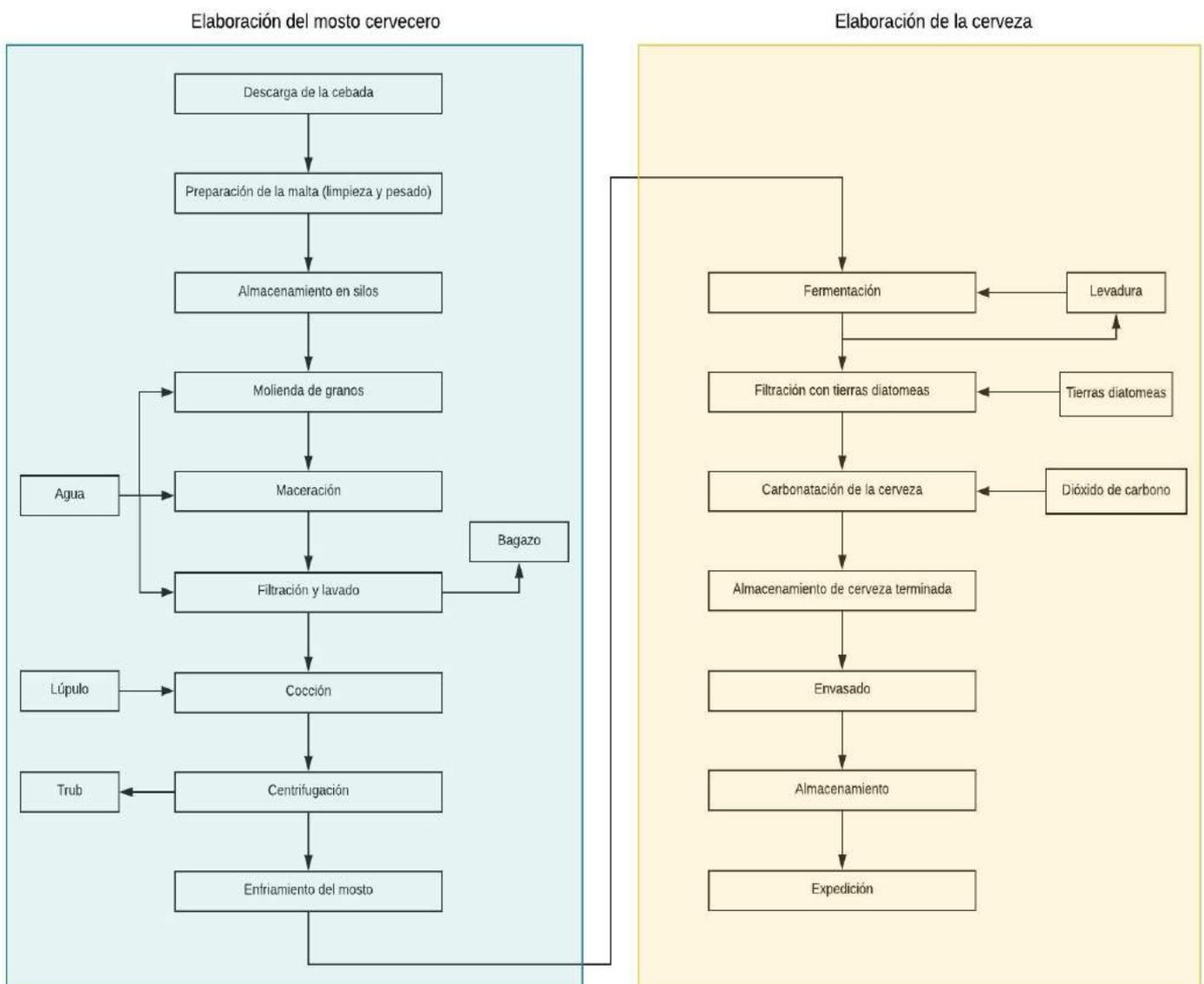


Figura 14: Diagrama de flujo de procesos



## 2.2.1 Etapa 1. Fase previa

En este apartado se detallarán las operaciones que se llevan a cabo de forma general para la preparación de la malta y el agua. Una vez expuesta dicha información, se determinarán cuáles serán los procesos que se llevarán a cabo específicamente en la planta de este proyecto.

### 2.2.1.1 Preparación de la malta

La malta que se utilizará como materia prima principal en el proceso productivo debe estar debidamente limpia y molida, con unas características y granulometría adecuada para que el producto final tenga la calidad deseada.

Antes de proceder a su limpieza, será necesario realizar un análisis de la malta para comprobar que el producto tiene las características que se requiere. Una vez analizada, los camiones descargarán la malta y comenzará el proceso de limpieza seguido de su almacenamiento en silos.

#### 2.2.1.1.1 Limpieza

A pesar de que cebada ha sido debidamente tratada y limpiada en la maltería, las plantas industriales de fabricación de cerveza llevan a cabo un proceso de limpieza de los granos para asegurar que la calidad de estos es óptima.

Los procesos de limpieza de granos pueden variar en función del estado de la mercancía recibida y de criterios personales de la empresa, pero generalmente la secuencia es la que se muestra a continuación.

- Clasificación de granos en función de su tamaño y eliminación de partículas indeseadas

La mercancía de materia prima suele contener generalmente granos de diferentes tamaños, por lo que es necesario realizar una clasificación con el objetivo de obtener un producto homogéneo de las mismas características y tamaño. Además, el producto puede contener pequeñas partículas indeseadas como ramas u hojas, las cuales serán retiradas.

Para la clasificación de granos y eliminación de partículas se utilizan cribas de diferentes tamaños. En ocasiones, se suelen instalar varias cribas en diferentes puntos del proceso para llevar a cabo una clasificación óptima de los granos.

- Separación de polvo

Tal y como se especificará en el apartado específico de atmósferas explosivos (ATEX), el polvo es un elemento indeseado en todos los procesos de manejo de granos ya que origina un ambiente cargado de partículas en suspensión que pueden ocasionar una explosión. Por ello, se instalan equipos en diferentes puntos de la línea para retener el polvo y eliminarlo.

Para la separación y eliminación de polvo se suelen utilizar equipos con certificación ATEX entre los que destacan los ciclones, venturis y filtros de mangas. Para la separación de polvo en la línea se utilizan también separadores y aventadores de polvo.

- Eliminación de piedras

La presencia de piedras en un lote de malta puede ocasionar problemas y averías en los distintos equipos y maquinaria del proceso productivo, por lo que se procede a su eliminación.

Existen distintos equipos para la eliminación de piedras, pero generalmente se utilizan tamices vibratorios y deschinadoras automáticas.

- Eliminación de partículas metálicas

En el transporte y manejo de los granos es posible que se cuelean elementos metálicos como tornillos, arandelas o tuercas, los cuales deberán de eliminarse para garantizar la calidad del producto.

Para eliminar los elementos metálicos se utilizan separadores magnéticos.

- Pesaje de la malta

Para llevar a cabo un control de la malta que se somete al proceso de limpieza y almacena en los silos, se pesa la malta al comienzo y al final del proceso de limpieza. Para el pesaje de la malta se utilizan básculas que en ocasiones van instaladas en los propios equipos.

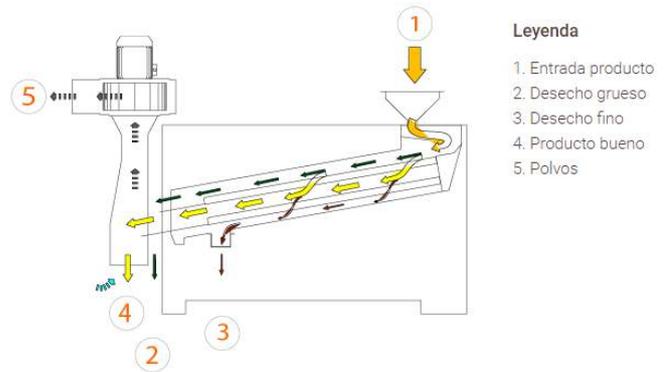


Figura 17: Cribadora. Fabricante Zanin

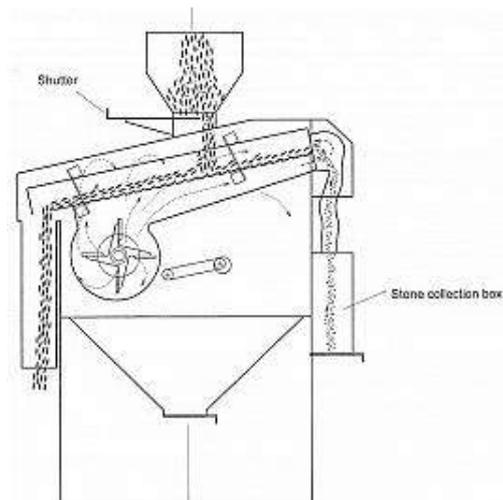


Figura 18: Despedregadora. Fabricante Della Valle



Figura 19: Separador magnético. Fabricante Greenwood Magnetics

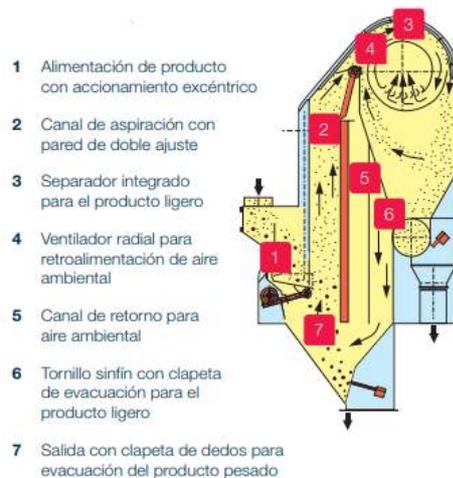


Figura 20: Aventador de circulación de aire. Fabricante Bühler

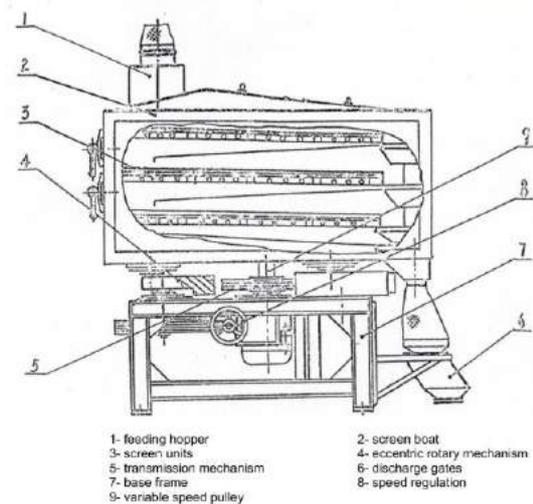


Figura 21: Planchister. Fabricante Della Valle

### 2.2.1.1.2 Molienda

La granulometría de la malta se valora mediante la integridad de la cáscara de los granos y la finura de las partículas que se obtiene del endospermo amiláceo.

Para que el producto sea menos sensible a degradarse y se conserve mejor, la molienda de los granos se llevará a cabo en el momento en que la maceración esté planificada, de forma que el grano se mantiene hasta entonces intacto almacenado en los silos.

Existen dos técnicas diferentes en la molienda: la molturación y la trituración. La utilización de una técnica u otra dependerá de la granulometría del producto que se pretenda obtener. Cuanto más fina sea la granulometría del producto más fácil se mezclará el producto con el agua en el proceso de maceración. Sin embargo, si la granulometría es menos fina ello implica que las cáscaras podrán utilizarse como filtro natural en la etapa de filtración y lavado.

La molturación consiste en el aplastamiento de los granos, de forma que se respeta en mayor medida la integridad de las cáscaras. Para ello se utilizan molinos de rodillos.

La trituración consiste, como su nombre indica, en la transformación del grano en partículas más pequeñas sin llegar a reducirlo enteramente a polvo. Para la trituración se utilizan molinos de impacto.

En la industria, la granulometría de los granos se valora con un “planchister”, equipo con cinco tamices que permite separar seis fracciones de producto diferentes.

- Molinos para molturación

En inglés se conocen como “malt mill” y están compuestos por pares de rodillos cilíndricos que giran en sentido inverso y aplastan los granos respetando la integridad de la cáscara. En función del número de pares de rodillos que se utilicen, existen molinos de dos rodillos, de cuatro y de seis. Estos molinos permiten hacer la molturación de granos “secos”, “acondicionados” y “húmedos”.

En la molienda de granos secos, estos pasan a través de los pares de rodillos rompiéndose el grano. Unos tamices vibratorios incorporados en el molino separan la cáscara del resto del contenido del grano.

En la molienda húmeda, los granos son humedecidos previamente mediante vapor o pulverización de agua y se almacenan en un depósito adaptado al propio molino por su parte superior. Una vez húmedos, pasan a través de los pares de rodillos molturadores. La molienda húmeda presenta como ventaja que se reduce casi en su totalidad la presencia de polvo en el ambiente.

Los molinos para molturación se utilizan cuando la filtración y lavado se va a llevar a cabo en una cuba filtro.

- Molinos para trituración

Los molinos para trituración de granos están formados por un eje giratorio que puede ser horizontal o vertical en el cual se montan los batidores (elementos de impacto). Los batidores impactan sobre los granos obteniéndose como resultado un producto triturado.

Para reducir la oxidación de los granos, algunos equipos cuentan con un sistema que mantiene un ambiente inerte con dióxido de carbono o nitrógeno.

La molienda mediante trituración suele hacerse sobre granos secos, aunque existen otras variedades que operan con granos humedecidos, reduciendo de esta manera la concentración de polvo en el ambiente y por consiguiente el riesgo de explosiones.

Los molinos para trituración se usan cuando la etapa de filtración y lavado no utiliza cubas filtros, sino filtros prensa.

Como se ha comentado existen tres técnicas de molienda, las cuales se van a explicar a continuación:

- Molienda en seco

En este tipo de molienda los granos que alimentan el molino están secos, con unas características y niveles de humedad prácticamente iguales a los que tenían cuando fueron recibidos en la fábrica. De esta forma, los granos no están elastizados y por tanto en el proceso de molienda las cáscaras son más dañadas.

- Molienda en seco acondicionada

Para reducir la fragilidad de las cáscaras, los granos de malta se humedecen con vapor o agua a 30-35 ° C durante uno o dos minutos antes de llevarse a cabo la molturación. Con esta técnica se consigue que los granos húmedos presenten una cáscara más elástica de forma que facilite la molienda y aumente el volumen de cáscaras en un 10-20 %, lo que supone una aceleración en el proceso de filtración.

La mayor desventaja que presenta esta técnica es que se necesita una mayor inversión a la hora de adquirir los equipos.

- Molienda húmeda

En la molienda húmeda, como su nombre indica, la malta se remoja antes de la molturación consiguiéndose que los granos absorban agua y se elasticen. Las diferencias fundamentales entre la molienda húmeda y en seco acondicionada es la temperatura del agua y el tiempo de remojo, siendo los valores recomendados de temperatura de agua 30-50 ° C y la duración de la etapa de remojo de 15-30 min en el caso de molienda húmeda. Además, en la molienda en seco acondicionada generalmente el remojo se lleva a cabo en un equipo independiente al molino mientras que en la molienda húmeda los granos absorben el agua mientras están almacenados en un silo con salida cónica conectado directamente al molino.

Los molinos de malta húmeda operan normalmente con un sistema de recirculación de agua tal y como se mostrará en las imágenes siguientes.

- Molienda con acondicionamiento por remojo

Con esta técnica se aprovechan las ventajas de la molienda húmeda, aunque el tiempo de remojo de la malta es mucho menor siendo la duración de 50-60 s. Además, la temperatura del agua caliente será de 60-70 ° C.

Los equipos de molienda con acondicionamiento por remojo tienen un silo de malta acoplado en el mismo molino en el cual los granos de almacenan en seco. Los granos pasan a una cámara de acondicionamiento intermedia en la cual se suministra el agua caliente.

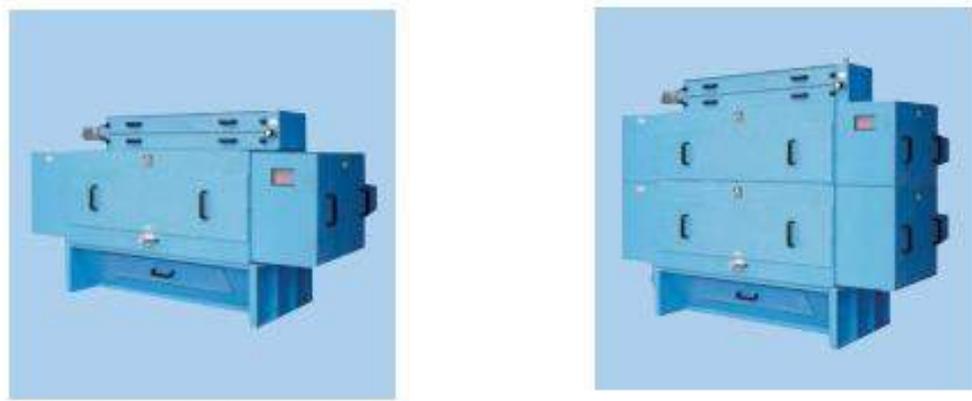


Figura 22: Molino de dos y cuatro rodillos. Fabricante Künzel

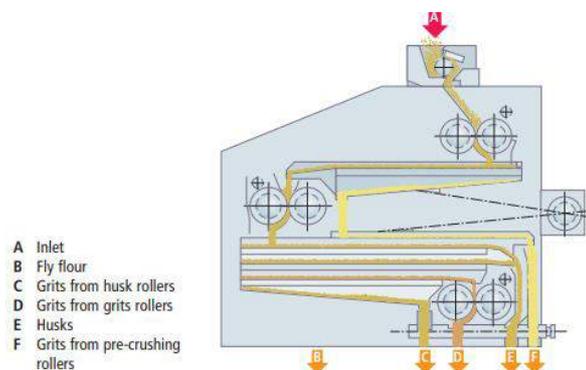


Figura 23: Molino de seis rodillos. Fabricante Künzel

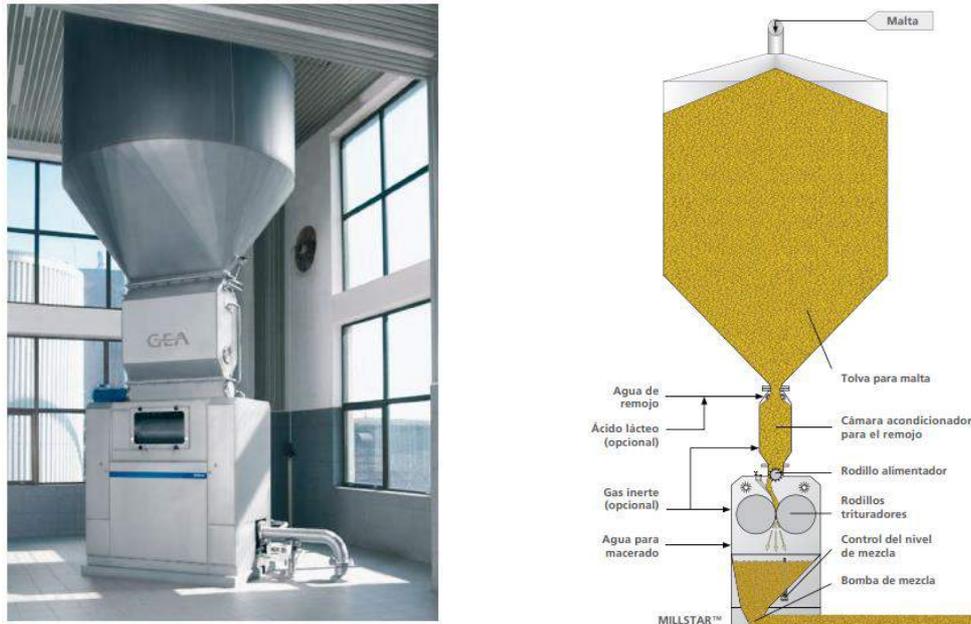


Figura 24: Molino con acondicionamiento por remojo. Fabricante GEA

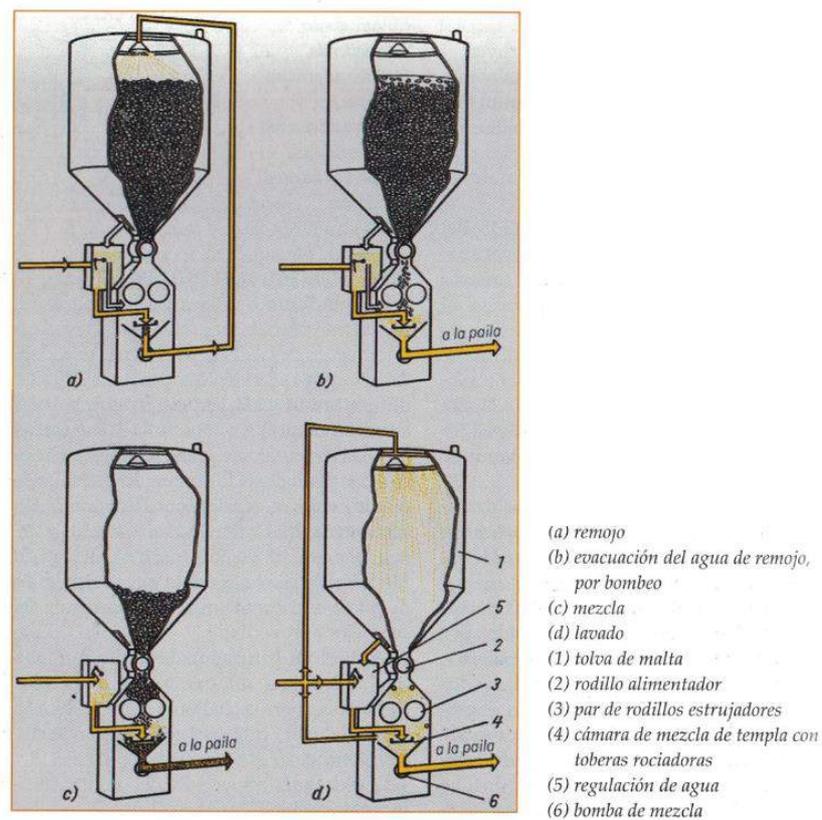


Figura 25: Molino de molturación húmeda.

“Tecnología para cerveceros y malteros. Wolfgang Kunze, 2006”

### 2.2.1.2 Sistemas de transporte y manejo de la malta

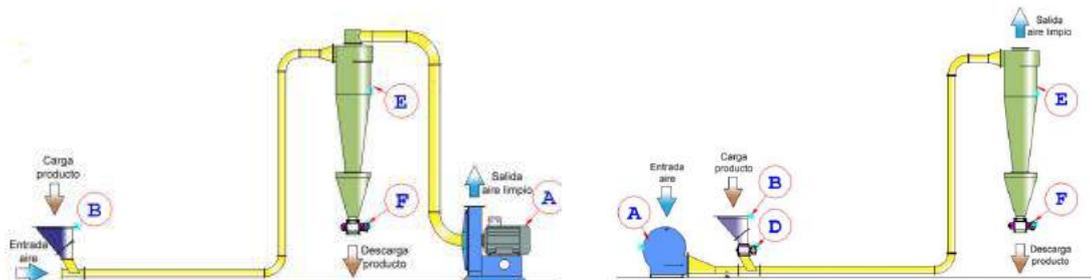
La malta debe ser transportada en la planta para moverla desde la tolva donde descargan los camiones hasta que son almacenados en los silos y llegan a la cuba de maceración.



- Transporte neumático

Los sistemas de transporte neumático son comúnmente usados en fábricas de cereales y productos a granel. El principio de funcionamiento se base en la generación de una fuerte corriente de aire dentro de una tubería por la cual circulan los granos, siendo recomendable que la velocidad del aire sea de 20-30 m/s. La corriente de aire es generada con ventiladores o soplantes.

Existen distintos sistemas de transporte neumático, pero los más utilizados son las instalaciones de aspiración de aire con depresión en la tubería de transporte y las instalaciones de aire comprimido con sobrepresión en la tubería de transporte.



A. Ventilador B. Tolva de carga C. Boquilla Venturi D. Válvula dosificadora de carga  
E. Ciclón de descarga F. Válvula dosificadora de descarga

Figura 27: Instalación por depresión (izda) y sobrepresión (dcha) de transporte neumático

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre los dos tipos de instalaciones para establecer así las diferencias y similitudes entre ellas.

	<b>Instalación de transporte neumático de aspiración</b>	<b>Instalación de transporte neumático de sobrepresión</b>
<b>Generador de flujo de aire</b>	Ventilador de alta presión	Soplante de pistón rotativo
<b>Alimentación del producto</b>	Tobera de aspiración conectada a tubo flexible o tolva	Tolva
<b>Descarga del producto</b>	Válvula dosificadora de descarga	Válvula dosificadora de descarga
<b>Velocidad de transporte</b>	Alta	Relativamente lenta
<b>Presión de trabajo</b>	Relativamente baja	Alta

Tabla 1: Comparación entre las instalaciones de transporte neumático

Los sistemas de transporte neumático se utilizan fundamentalmente cuando hay que transportar grandes cantidades de producto a lo largo de un recorrido con muchos cambios de dirección. Sin embargo, esos cambios de dirección suponen un problema debido a los constantes impactos de los granos en las paredes de los codos de la tubería, lo que provoca la rotura de los granos y el desgaste de la pared interior de los codos. Para solucionar esto se utilizan codos con radios y espesores muy grandes.

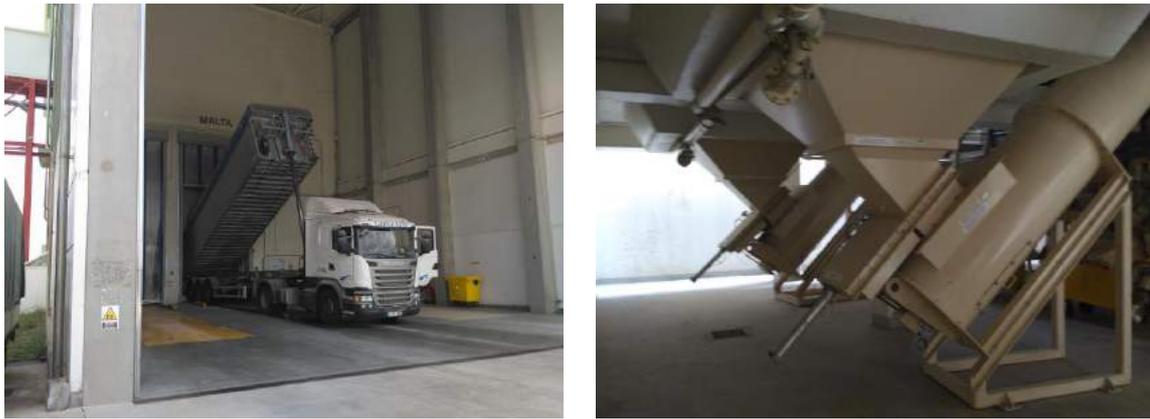


Figura 28: Descarga de malta y tolva con tornillo sin fin. Heineken Sevilla



Figura 29: Máquina despedregadora (izda) y criba (dcha). Heineken Sevilla

### 2.2.1.3 Preparación del agua

El agua que se utilizará en el proceso productivo debe tener la calificación de agua destinada a consumo humano o bien tener una autorización sanitaria. El agua procede generalmente de la red pública de abastecimiento, aunque a veces puede proceder de un suministro privado como pozos o manantiales.

Cuando el agua no disponga de las características necesarias para poder utilizarse directamente en el proceso de elaboración de cerveza se somete a unos tratamientos generales y específicos. Para ello la fábrica deberá de disponer de una instalación privada de tratamiento de aguas.

#### 2.2.1.3.1 Tratamientos generales

Con estos tratamientos se consigue obtener la calidad de agua de consumo humano, y pueden ser tratamientos mecánicos, físicos o químicos.

Los tratamientos mecánicos consisten en la separación de materia sólida del agua sin que se produzcan modificaciones físicas y/o químicas. Generalmente se utilizan cribas formadas por rejillas en las cuales los sólidos contenidos en el agua quedan retenidos.

Los tratamientos físicos más comunes son la sedimentación, filtración y flotación. La sedimentación es la técnica mediante la cual las partículas sólidas se hunden en el suelo de un tanque debido a la fuerza de la gravedad, pudiendo separarse adecuadamente mediante deslamadores. La filtración consiste en utilizar medios filtrantes porosos que retienen las materias sólidas. La técnica de flotación se utiliza cuando las materias sólidas tienen unas velocidades reducidas de sedimentación de forma que no pueden separarse mediante sedimentación ya que se

necesitarían tanques de grandes dimensiones. La flotación se lleva a cabo mediante burbujas de gas que se fijan bajo las partículas sólidas y las mueven a la superficie, donde son retiradas mediante rascadores.

Los tratamientos químicos consisten en la aplicación de sustancias, autorizadas y definidas por la Orden Ministerial del Ministerio de Sanidad y Consumo 3719/2005, de 21 de noviembre, que impulsan la separación de partículas que se encuentran en el agua. Mediante estos tratamientos se consigue desinfectar el agua eliminando microorganismos patógenos responsables de numerosas enfermedades. La desinfección se realiza normalmente mediante cloración, aunque también puede utilizarse dióxido de carbono y ozono.

### 2.2.1.3.2 Tratamientos específicos

Para cumplir con las exigencias sanitarias, el agua puede someterse a una serie de tratamientos adicionales a los tratamientos generales para conseguir unos niveles de calidad óptimos.

- a) **Decloración:** mediante la decloración se consigue eliminar el cloro libre del agua haciéndola pasar por un filtro de carbón activo granular.
- b) **Desalinización:** se utiliza cuando el agua tiene mucha dureza temporal y consiste en la eliminación de iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  mediante técnicas como ósmosis inversa y aplicación de resinas de intercambio catiónico.
- c) **Desgasificación:** para reducir el riesgo de que se oxiden los compuestos durante el proceso de elaboración, se elimina el oxígeno mediante desgasificación térmica o técnicas de lavado con  $\text{CO}_2$ .
- d) **Acidificación:** consiste en disminuir el pH del agua mediante la adición de ácidos como ácido fosfórico o ácido láctico.
- e) **Descarbonatación:** se consigue mediante calentamiento del agua por encima de los  $80^\circ \text{C}$  o añadiendo cal apagada.
- f) **Carbonatación:** se utiliza cuando el agua es muy blanda y se realiza mediante la adición de carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio.
- g) **Aumento de la dureza permanente:** se lleva a cabo añadiendo cloruro cálcico o sulfato sódico, y presenta como inconveniente la alteración de las características organolépticas de la cerveza al aumentarse la cantidad de iones  $\text{Ca}^{2+}$ .
- h) **Adición de sales:** consiste en la adición de sales ácidas (fosfato de potasio) y sales básicas (carbonatos e hidróxidos de sodio y calcio) para ajustar los iones y el pH.

## 2.2.2 Etapa 2. Maceración

En la etapa de maceración, la malta molturada se mezcla y homogeniza con agua. Las enzimas que libera la malta se activan a diferentes temperaturas, por lo que es necesario regular la temperatura del macerado para que dichas enzimas realicen su actividad adecuadamente. El resultado de la maceración es un extracto soluble, es decir, una solución líquida con una determinada concentración de compuestos solubles.

### 2.2.2.1 Factores que intervienen en la formación del extracto soluble

Cuando la malta se mezcla con el agua, las enzimas inician su actividad a distintas temperaturas y van degradando diferentes compuestos del grano convirtiéndolos en compuestos solubles. Esta transformación está condicionada por los siguientes factores:

- Estado de modificación de la malta.

Cuanto más modificada esté la malta, más fácil será para las enzimas acceder al endospermo y convertir el almidón en azúcares. La modificación de la malta se mide con un indicador llamado ratio S/T (Soluble-to-Total-Protein ratio), de forma que una malta moderadamente modificada tendrá un ratio S/T del 30-40 % mientras que una malta altamente modificada tendrá un ratio del 44-48 %.

- Tamaño de los granos tras la molienda.

A mayor tamaño de los granos y menor destrucción de estos en el proceso de molienda, más difícil será para las enzimas degradar los compuestos sólidos ya que no podrán acceder fácilmente al endospermo.

- Temperatura de la mezcla.

Las enzimas que participan en el proceso de maceración poseen una temperatura mínima por encima de la cual inician su actividad y una temperatura óptima para la cual su actividad es máxima. Por tanto, la temperatura de la mezcla es un factor de vital importancia para que las enzimas puedan actuar adecuadamente.

- Tiempo de actividad.

A temperaturas bajas de la mezcla, la actividad de las enzimas se conserva prácticamente inalterable. Sin embargo, conforme aumenta la temperatura la actividad enzimática disminuye rápidamente con el tiempo.

- pH de la mezcla

La actividad de las enzimas depende en gran medida del valor de pH de la mezcla, de forma que para valores de pH comprendidos entre 5,5 y 5,7 se obtiene el mayor contenido de extracto soluble. De forma general estos valores suelen ser superiores a los óptimos, por lo que se recurre a la acidificación de la mezcla para disminuir el pH.

- Concentración de sólidos

A mayor concentración de sólidos en la mezcla mayor será la actividad de las enzimas. Sin embargo, los maestros cerveceros recomiendan que no se supere la relación de 4 litros de agua por cada kilogramo de malta.

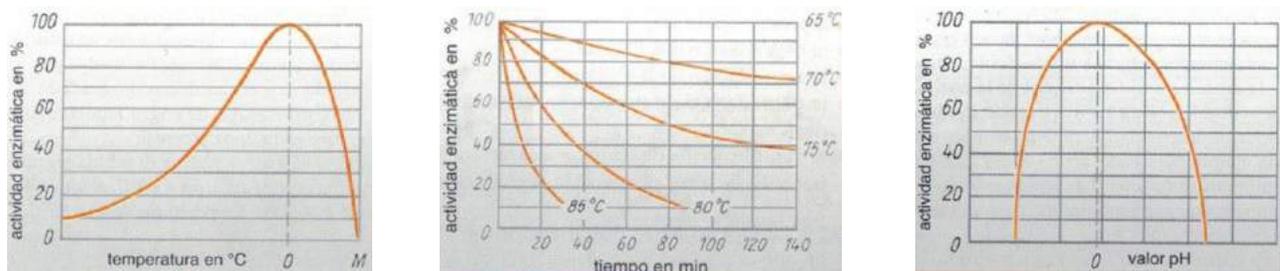


Figura 30: Dependencia de la actividad enzimática con la temperatura, tiempo y pH.

“Tecnología para cerveceros y malteros. Wolfgang Kunze, 2006”

## 2.2.2.2 Transformaciones durante la maceración

### 2.2.2.2.1 Degradación del almidón

Durante el proceso de maceración, el almidón es degradado por las enzimas y es convertido fundamentalmente en maltosa, glucosa y maltotriosa (azúcares fermentables), y en menor medida en dextrinas (azúcares no fermentables). La proporción de cada uno de ellos dependerá de la actividad que desarrollen las enzimas amilasas.

La degradación del almidón comprende tres fases:

- Engrudamiento

Consiste en el aumento de volumen de los granos como consecuencia de la absorción de agua, de forma que se hinchan y rompen liberando la amilosa y amilopectina, quedando estas moléculas accesibles para que las enzimas comiencen a actuar. La etapa de engrudamiento ocurre a una temperatura aproximada de la mezcla de 60 °C.

- Licuefacción

La licuefacción está dominada por la actividad de la  $\alpha$ -amilasa, la cual se encarga de romper rápidamente las cadenas largas del almidón y las convierte en cadenas más cortas. La enzima  $\beta$ -amilasa también actúa degradando las cadenas largas, pero lo hace muy lentamente. La licuefacción se lleva a cabo de manera óptima a una temperatura de 72-75 ° C, inactivándose las enzimas a 80 ° C. El valor óptimo del pH se encuentra entre 5,5 y 5,8. Durante la licuefacción se reduce la viscosidad del almidón engrudado.

- Sacarificación

Durante la sacarificación, la  $\alpha$ -amilasa y la  $\beta$ -amilasa actúan conjuntamente, de forma que la  $\alpha$ -amilasa rompe las cadenas de amilosa y amilopectina hasta obtener dextrinas con residuos de glucosa y la  $\beta$ -amilasa rompe dos residuos de las nuevas cadenas formadas.

La  $\beta$ -amilasa actúa de forma óptima a una temperatura de 60-65 ° C, siendo la temperatura de activación e inactivación de 52 ° C y 70 ° C, respectivamente. El pH óptimo varía de 5,4 a 5,5.

	Productos que degrada	Temperatura óptima	Temperatura de inactivación	pH óptimo
$\alpha$ -amilasa	Cadenas largas de almidón y dextrinas	72 – 75 ° C	80 ° C	5,5 - 5,8
$\beta$ -amilasa	Amilosa, amilopectina y glucosa	60 – 65 ° C	70 ° C	5,4 – 5,5

Tabla 2: Características de la  $\alpha$ -amilasa y  $\beta$ -amilasa

La degradación del almidón se controla mediante un ensayo de yodo sobre una muestra previamente enfriada. Esta técnica se explicará más adelante.

#### 2.2.2.2.2 Degradación de $\beta$ -glucano

El  $\beta$ -glucano es un polisacárido que genera dificultades en los procesos tanto para la obtención del mosto como para la elaboración de cerveza, por lo que resulta imprescindible llevar a cabo su degradación.

El  $\beta$ -glucano puede presentarse en formas combinadas entre sí o con proteínas, en formas libres o como restos de la degradación de formas libres.

La enzima endo- $\beta$ -glucanasa es la encargada de degradar el  $\beta$ -glucano y convertirlo en moléculas de glucosa solubles en el macerado. Esta enzima logra su máxima actividad a una temperatura de 38-50 ° C y se inactiva a 65 ° C. Los valores de pH óptimos varían de 4,5-5,5.

Cuando la temperatura de la mezcla asciende por encima de los 60 ° C, la endo- $\beta$ -glucanasa reduce su actividad, pero la enzima endo- $\beta$ -glucanosolubilasa comienza a actuar degradando el  $\beta$ -glucano en sus formas libres y combinadas.

Una vez finalizada la maceración, la concentración de  $\beta$ -glucano en cualquiera de sus formas debe ser inferior a 200 mg/l.

#### 2.2.2.2.3 Degradación de sustancias albuminoideas

Durante el proceso de maceración, las proteínas y sus derivados se liberan a la mezcla y pasan a formar parte de los compuestos solubles del extracto.

A temperaturas comprendidas entre 45-54 ° C, las proteínas de bajo peso molecular son degradadas y se convierten en péptidos y aminoácidos.

A temperaturas más elevadas entre 60-70 ° C, se forman productos de degradación de alto peso molecular como la proteína LTP1 y la proteína Z, las cuales son las responsables de la estabilidad de la cerveza por lo que no interesa que se degraden en exceso estas proteínas para no comprometer la estabilidad mencionada.

Los péptidos y aminoácidos que se obtienen son de vital importancia para la nutrición de las levaduras en el proceso de fermentación, y son valorados como contenido FAN (Fermentable-Free-Amino Nitrogen).

#### 2.2.2.2.4 Transformación de lípidos

Los ácidos grasos presentes en la maceración deben ser degradados por las enzimas degradadoras de grasa, ya que estos compuestos pueden oxidarse y transmitir olores y sabores característicos conocidos como “cardboard flavour”.

#### 2.2.2.2.5 Transformación de polifenoles

Cuanto mayor tiempo dure el proceso de maceración, mayor será la cantidad de taninos que se liberan de las cáscaras de los granos. Estos compuestos son antioxidantes, pero si se oxidan resultan perjudiciales e influyen en las características del producto final. Los taninos son los responsables de la turbidez de la cerveza.

#### 2.2.2.2.6 Liberación de zinc

El zinc es un mineral que tiene un papel muy importante en el proceso de fermentación de las levaduras. Para prevenir un déficit de zinc, lo cual se traduciría en un proceso de fermentación lento, se lleva a cabo un proceso de liberación consistente en mantener valores de pH bajos y usar macerados concentrados, es decir, disminuir la cantidad de agua por kilogramo de malta.

### 2.2.2.3 Fases en el proceso de maceración

Durante la maceración la temperatura de la mezcla se varía para favorecer la actividad de las diferentes enzimas liberadas por la malta, ya que como se comentó previamente, cada enzima tiene una temperatura mínima para la cual se activan y comienzan a actuar sobre los componentes del macerado.

En la maceración se pueden distinguir diferentes tiempos de reposo y tiempos de calentamiento. Los tiempos de reposo se consiguen manteniendo constante la temperatura durante un determinado periodo de tiempo para favorecer la actividad de unas u otras enzimas. Los tiempos de calentamiento corresponden a aquellos periodos en los que se eleva la temperatura de la mezcla entre dos fases consecutivas.

En el proceso de maceración existen cuatro fases:

- Fase pre-degradativa del almidón

Esta fase se lleva a cabo a una temperatura inferior a 60 ° C y se suele utilizar cuando se emplea malta poco modificada o agua con altos niveles de pH.

Si el objetivo es acidificar el macerado, el tiempo de reposo dura unos 25 minutos manteniéndose la temperatura constante a 30-50 ° C.

Si lo que se busca es la degradación de proteínas y  $\beta$ -glucanos, el reposo se efectúa entre 40-50 ° C, favoreciéndose la degradación de  $\beta$ -glucano frente a las proteínas si no se supera los 40 ° C.

- Fase de sacarificación

La fase de sacarificación suele durar unos 30 minutos manteniéndose la temperatura de reposo entre 60-65 ° C. En esta fase se busca activar la enzima  $\beta$ -amilasa para que degrade el almidón y se forme maltosa.

- Fase de licuefacción

Durante esta fase la temperatura de reposo se mantiene a 70-75 ° C durante 20 minutos. El objetivo es activar la enzima  $\alpha$ -amilasa para degradar el almidón y transformarlo en azúcares sencillos.

- Fase de inactivación de enzimas

La fase de inactivación de enzimas dura unos 10-15 minutos y se lleva a cabo a una temperatura de reposo de 78-80 ° C. En esta fase se busca reducir la viscosidad del líquido. Una vez alcanzada la temperatura de inactivación las enzimas paran su actividad.

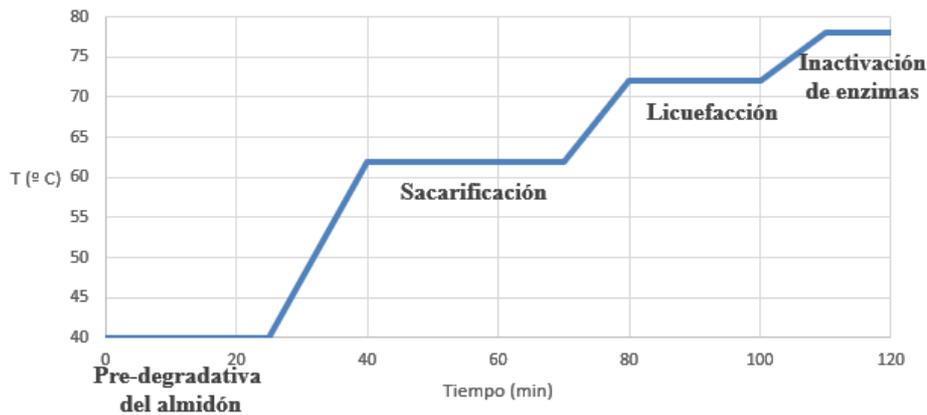


Figura 31: Representación gráfica de las fases de la maceración

## 2.2.2.4 Métodos de maceración

En la obtención del macerado existen distintas técnicas para elevar la temperatura de la mezcla, pudiéndose distinguir tres métodos: infusión, decocción y adición.

### 2.2.2.4.1 Método de maceración por infusión

En este método solamente se utiliza un recipiente para la obtención del macerado. En primer lugar, se mezcla la malta y el agua, y a continuación se procede al calentamiento de la mezcla. El macerado se calienta en diferentes momentos del proceso, de forma que se cumplan los tiempos de calentamiento y de reposo explicados en el punto anterior. Una vez finalizada la maceración, la mezcla es trasladada al siguiente recipiente para llevar a cabo la filtración y el lavado.

El número de fases en las que se lleve a cabo la maceración por el método de infusión depende de algunos factores como las características de la malta empleada, sistemas de regulación de temperatura del recipiente y las características del extracto soluble que se pretende obtener. De esta manera, la maceración se puede realizar según las siguientes fases:

- Dos fases.

Se utilizan cuando los recipientes no disponen de sistemas precisos de regulación de temperatura y cuando la malta utilizada está bien modificada. Con esta técnica, la fase de sacarificación y licuefacción se fusionan en una sola a 60-68 ° C durante un tiempo de 70 minutos. A continuación, tiene lugar la fase de inactivación de enzimas a 78-80 ° C durante 10-15 min.

- Tres fases.

Con esta técnica se distinguen a su vez dos variedades: el general y el específico.

El procedimiento general se lleva a cabo cuando los recipientes no disponen de sistemas precisos para el control de la temperatura y la malta utilizada está poco modificada. En una

primera fase pre-degradativa la temperatura se mantiene entre 40 y 50° C durante 30 minutos. En la segunda fase se fusionan la sacarificación y la licuefacción, llevándose a cabo a una temperatura de 62-68 ° C durante 50 minutos. La última fase corresponde a la inactivación de las enzimas a 78-80 ° C con un tiempo de reposo de 10-15 minutos.

El procedimiento específico se utiliza cuando los recipientes permiten un buen control de la temperatura y la malta que se utiliza está bien modificada. En esta técnica no se lleva a cabo una fase pre-degradativa del almidón, sino que la primera fase corresponde a la sacarificación a 62 ° C durante 25 min. La licuefacción es la segunda fase, la cual se realiza a 72 ° C estableciéndose un tiempo de reposo de 20 minutos. La última fase se lleva a cabo de la misma manera que en el procedimiento general.

- Cuatro fases

La maceración por infusión en cuatro fases se recomienda cuando se usan recipientes con buen control de temperatura y maltas poco modificadas. Es el procedimiento mayormente usado a nivel industrial.

La fase pre-degradativa se realiza a 40 ° C durante 20 minutos. A continuación, se lleva a cabo la fase de sacarificación a 62 ° C con un tiempo de reposo de 30 min. La tercera fase corresponde a la licuefacción, operando a una temperatura de 72 ° C durante 20 minutos. Por último, a la temperatura de 78-80 ° C se realiza la fase de inactivación de enzimas durante 10-15 minutos.

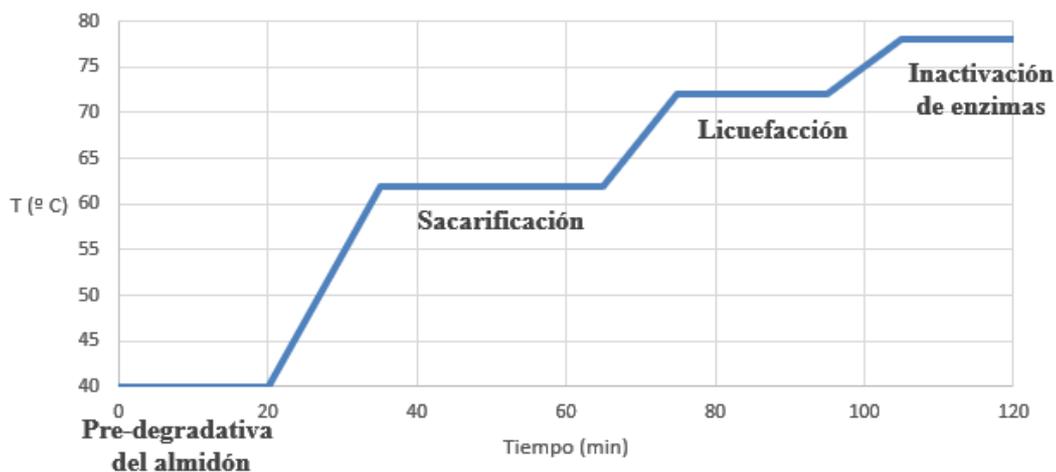


Figura 32: Maceración por infusión en cuatro fases

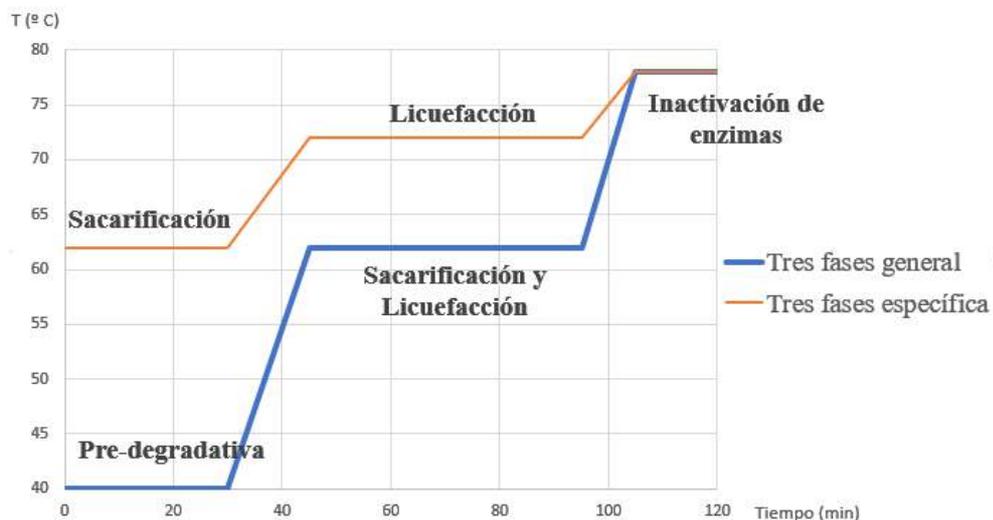


Figura 33: Maceración por infusión en tres fases

A continuación, se muestra una tabla a modo de resumen con la información anterior:

Métodos de maceración por infusión										
N° fases	Control temperatura	Mod. malta	Pre-degradativa de almidón		Sacarificación		Licuefacción		Inactivación de enzimas	
			T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)	T (°C)	t (min)
Dos	Escaso	Buena	60-68	70	-	-	-	-	78-80	10-15
Tres (gen.)	Escaso	Poca	40-50	30	T = 62-68 °C		t = 50 min		78-80	10-15
Tres (esp.)	Bueno	Buena	-	-	62	35	72	20	78-80	10-15
Cuatro	Bueno	Poca	40	20	62	30	72	20	78-80	10-15

Tabla 3: Comparación entre técnicas empleadas en el proceso de maceración por infusión.

#### 2.2.2.4.2 Método de maceración por decocción

Este método es menos común que el de infusión. La ventaja que presenta este método es la mayor liberación de los compuestos solubles ya que al ser tan elevada la temperatura a la que se lleva a cabo la maceración, se destruye una mayor cantidad de células que contienen las partículas de la molienda del grano. Sin embargo, presenta como desventajas la dificultad de controlar la temperatura del proceso, mayores tiempos de maceración y mayor consumo de energía.

El método de maceración por decocción se lleva a cabo en dos recipientes conectados por una tubería y una bomba, siendo uno de los recipientes no calentable y el otro calentable. En el recipiente no calentable el macerado se mantiene a la temperatura de reposo, mientras que en el recipiente calentable una parte del macerado se calienta hasta alcanzar la ebullición, devolviéndose posteriormente al recipiente no calentable para aumentar la temperatura de la mezcla completa.

El método de la maceración por decocción se puede llevar a cabo en tres fases:

- Fase pre-degradativa del almidón

Durante esta fase la malta se mezcla con agua caliente hasta conseguir que la mezcla tenga una temperatura de 45 °C.

En el recipiente no calentable, la mezcla completa se mantiene durante un tiempo de reposo de 15 minutos y la mezcla no calentada durante 25 minutos más.

En el recipiente calentable, el macerado se lleva a ebullición durante 15 minutos, reposa la mezcla durante 10 minutos y se envía al recipiente no calentable. La mezcla completa tardará unos 10 minutos en calentarse hasta los 65 °C.

- Fase de sacarificación

En esta fase las  $\beta$ -amilasas inician su actividad para formar maltosa.

Durante esta fase, la mezcla completa se mantiene a 65 °C durante 30 minutos en el recipiente no calentable mientras que la mezcla no calentada se mantiene 20 minutos más a la misma temperatura.

El macerado se vuelve a calentar en el recipiente calentable hasta alcanzar nuevamente 100 °C, durando el proceso unos 10 minutos. A continuación, se deja reposar la mezcla caliente durante 8 minutos y finalmente se vierte en el recipiente no calentable, donde se necesitarán 10 minutos aproximadamente para que la mezcla completa alcance los 75 °C.

- Fase de licuefacción e inactivación

Las enzimas  $\alpha$ -amilasas actúan en el primer periodo de esta fase para degradar por completo el almidón.

Esta fase tiene lugar solamente en el recipiente no calentable, donde la mezcla se mantiene durante 20 minutos a 75 ° C. Una vez terminada esta fase, se procederá a realizar el ensayo de yodo.

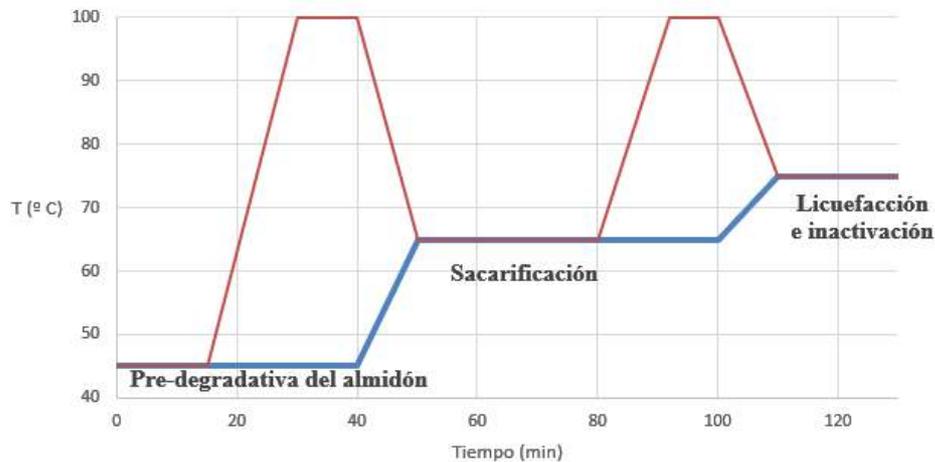


Figura 34: Fases en la maceración por decocción

#### 2.2.2.4.3 Método de maceración por adición

Este método es típicamente usado en la elaboración de cerveza en casa, presentando unos rendimientos de operación muy bajos. Consiste fundamentalmente en el vertido de agua muy caliente sobre el macerado contenido en un depósito no calentable. Para evitar que la relación de agua/malta al final del proceso sea excesiva, el proceso de maceración por adición suele comenzar con una relación baja en torno a unos 2,5 litros de agua por kilogramo de malta.

### 2.2.3 Etapa 2. Filtración y lavado

En esta etapa se consigue obtener la disolución compuesta por la mayor parte de los compuestos solubles que se han generado durante la maceración. Esta etapa se divide en dos procesos: el filtrado y el lavado.

#### 2.2.3.1 Filtración

Con la operación de filtrado se consigue separar el líquido de los restos sólidos del macerado. El líquido extraído contiene partículas sólidas en suspensión, las cuales le atribuyen una cierta turbidez.

En la cuba filtro las cáscaras de la malta se asienta y forman un filtro natural, cuya eficacia dependerá de la integridad de las cáscaras de los granos tras la molienda y de su espesor.

El líquido se recircula y se hace pasar varias veces sobre el filtro natural para conseguir que las partículas más gruesas queden retenidas en el filtro consiguiéndose cada vez mayor un líquido más transparente y limpio. El líquido limpio recibe el nombre de primer mosto, valorándose el grado de limpieza con un indicador llamado NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

#### 2.2.3.2 Lavado

Una vez obtenido el primer mosto, este se somete a un proceso de lavado que se realiza añadiendo agua caliente sobre los restos sólidos del macerado que han formado parte del filtro natural, con el objetivo de arrastrar la mayor cantidad de compuestos solubles atrapados en el filtro. Sin embargo,

con el lavado se arrastran también compuestos solubles indeseables como taninos y compuestos amargos del bagazo por lo que el tiempo de operación deberá regularse para reducir al máximo la concentración de estos compuestos en el mosto.

El agua que se utiliza en el proceso de lavado debe tener unas características bien definidas:

- Temperatura.

El agua caliente debe estar a una temperatura de 78-80 °C, ya que a esta temperatura las enzimas  $\alpha$ -amilasas no se destruyen y el arrastre de los compuestos solubles se lleva a cabo de manera óptima.

- pH

El pH del agua debe estar en valor inferior a 6,6, ya que si fuera más elevado se incrementará el pH del mosto verde y aumentará la extracción de taninos de las cáscaras de los granos. En caso de que el pH del agua sea muy elevado, se lleva a cabo un proceso de acidificación para reducir el valor de este.

El agua utilizada puede añadirse de forma continua o discontinua. El aporte continuo de agua se utiliza cuando el equipo que se utiliza es una cuba filtro, mientras que el aporte discontinuo se realiza cuando se emplean filtros prensa

### 2.2.3.3 Equipos utilizados en el proceso de filtración y lavado

La etapa de filtración y lavado se puede llevar a cabo con dos sistemas, la cuba filtro o el filtro prensa, presentando cada uno de ellos una serie de ventajas e inconvenientes que se detallarán a continuación.

- Cuba filtro

La etapa de filtración y lavado se prolonga hasta las 2 horas cuando se utiliza como equipo una cuba filtro. Las características del mosto obtenido tras el proceso dependen en su mayor parte de la integridad de las cáscaras de los granos molidos.

La capacidad de las cubas filtro dependen de la cantidad de malta utilizada, de forma que se recomienda que mantenga una relación 7:1, es decir, 7 litros por cada kilogramo de malta empleada.

El filtrado y lavado en una cuba filtro se puede dividir en las siguientes fases:

- a) Adición del macerado

El macerado es transportado desde la cuba de maceración hasta la cuba filtro por medio de un conducto acoplado en la parte inferior del recipiente.

- b) Reposo del macerado

La mezcla se deja reposar en la cuba filtro durante 30 minutos. Durante este tiempo, las partículas sólidas más gruesas se asientan en el fondo del recipiente y las más livianas se quedan en la superficie. La sedimentación y flotación de las partículas se facilita con un rastrillo mecánico.

- c) Recirculación del líquido

El líquido del macerado se deposita en el doble fondo de la cuba filtro, y a continuación se recircula hasta obtener un líquido limpio y transparente.

- d) Descarga del primer mosto

El líquido limpio de la infusión recibe el nombre de primer mosto, el cual es enviado a la cuba de cocción para continuar con el proceso.

- e) Lavado y descarga del mosto verde

Una vez descargado el primer mosto, en la cuba filtro solamente quedan los restos sólidos que forman el filtro natural. En este momento se inicia el proceso de lavado y

se pone en marcha el rastrillo de corte para separar los restos sólidos. Una vez finalizado el proceso, el resultado que se obtiene es lo que se conoce como mosto verde.

f) Eliminación del bagazo

Una vez finalizado el proceso de lavado, en la cuba quedan restos sólidos formados por compuestos no solubles denominados bagazo. El bagazo es retirado de la cuba y se destinará posteriormente como alimento para animales.

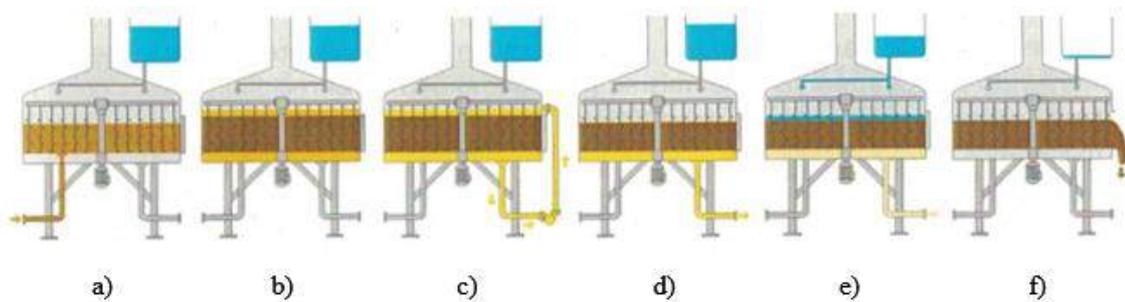


Figura 35: Fases del filtrado y lavado en una cuba filtro.

“La cerveza. Ciencia, tecnología, ingeniería, producción, valoración. J.A Boto Fidalgo, M. Boto Ordóñez. 2017”

- Filtro prensa

El proceso de filtrado y limpieza empleando un filtro prensa requiere un tiempo de operación inferior a 2 horas, no teniendo tanta importancia la integridad de las cáscaras como ocurría en el caso de la cuba filtro. Esta técnica se caracteriza fundamentalmente por las grandes dimensiones que presentan los filtros prensa.

Al igual que el caso de la cuba filtro, el filtrado y lavado con el filtro prensa se desarrolla en las siguientes fases:

a) Revisión del estado de los componentes del equipo

Los componentes del filtro prensa deben estar limpios, debiéndose de comprobar la estanqueidad de las juntas para asegurar que el proceso se va a realizar adecuadamente y sin fugas.

b) Fase preparatoria del filtro

Una vez montados los marcos, las placas y las láminas filtrantes, se procede a comprimirlos para asegurar la estanqueidad del equipo.

c) Adición del macerado

El macerado es introducido en el filtro prensa hasta ocupar todo el volumen que forman los marcos.

d) Recirculación

Una vez introducido el macerado, se lleva a cabo un recirculado del líquido hasta que este sale limpio y claro, obteniéndose de esta manera el primer mosto.

e) Lavado

Tras la obtención del primer mosto, se procede a realizar el lavado con agua a una temperatura de 78-80 °C durante 60 minutos.

f) Evacuación del bagazo

Una vez finalizado el lavado y obtenido el mosto verde, los marcos del filtro se descomprimen para retirar el bagazo. Posteriormente se llevará a cabo un proceso de limpieza de los componentes del filtro prensa.



#### 2.2.4.1.2 Formación de “turbios” o “trub”

Durante la ebullición, en el mosto se encuentran compuestos procedentes de la malta y el lúpulo como los polifenoles y las proteínas. Estos compuestos se combinan formando flóculos inestables, lo que provoca que se originen “turbios” o “trub”.

Es habitual fijar la duración de la etapa de cocción en base a la cantidad de flóculos formado, por lo que es recomendable proceder a su eliminación de forma “moderada” para evitar que las proteínas enturbien la cerveza y el producto final tenga un nivel de transparencia adecuado. Se ha especificado que la eliminación ha de hacerse de forma moderada porque una eliminación completa comprometería la estabilidad de la cerveza.

La formación de “trub” está condicionada por el tiempo de cocción (a mayor duración mayor cantidad de flóculos), nivel de pH (en torno a 5,2 se forma la máxima cantidad de “trub”) y por la temperatura de ebullición (a mayor temperatura mayor formación de flóculos).

#### 2.2.4.1.3 Evaporación del agua

Al llevarse el mosto hasta ebullición, una cantidad de agua se evapora, lo que implica que aumente la concentración de extracto soluble. En planta industrial el porcentaje de agua que se pierde en forma de vapor está en torno al 4%.

Por otro lado, la evaporación del agua además de provocar un aumento de la concentración de extracto soluble también facilita el arrastre de compuestos volátiles indeseados.

#### 2.2.4.1.4 Evaporación de compuestos volátiles indeseables

En el mosto existen numerosos compuestos volátiles que, de no eliminarse, supondrían un impacto negativo en el producto final. Uno de los compuestos volátiles más importantes es el sulfuro de dimetilo (DMS), el cual es degradado durante la cocción y arrastrado con la evaporación del agua. El valor de concentración de DMS óptimo tras el proceso de cocción es de 20 µg/l .

Actualmente las técnicas que existen para la transformación de estos compuestos volátiles son el Stripping, la cocción en dos fases y llevar a cabo una depresión de los gases sobre la superficie del mosto en ebullición.

#### 2.2.4.1.5 Otros procesos y transformaciones

Durante la cocción ocurren otros procesos y transformaciones como la esterilización del mosto, destrucción de las enzimas, la formación de geles que aumentan la viscosidad y dificultan la filtración posterior del líquido, y la disminución del pH.

Por otro lado, cabe mencionar la formación de compuestos de Maillard que tiene lugar durante el proceso de cocción. Estos compuestos aumentan el valor EBC del mosto (indicador que mide el color). El aumento de color se valora con el índice TBZ (índice de ácido tiobarbitúrico). El incremento del TBZ durante la cocción debe controlarse y mantenerse por debajo de 20 unidades, ya que valores mayores podrían comprometer en el futuro la estabilidad del sabor.

### 2.2.4.2 Fases de la cocción

En la etapa de cocción influyen factores como el tipo de recipiente empleado, sistema de calentamiento y la presión de vapor durante la ebullición, entre otros.

Sin embargo, independientemente de la tecnología usada, la secuencia de operaciones en la etapa de cocción es similar en todos los casos. Las fases de la cocción son las siguientes:

- a) Preparación de la cuba de cocción
- b) Adición del mosto en la cuba
- c) Comienzo del calentamiento del mosto

- d) Comienzo de la ebullición y adición del lúpulo
- e) Control de la temperatura y presión de vapor durante la ebullición
- f) Descarga del mosto

Las diferentes técnicas que existen para llevar a cabo la cocción del mosto se detallan en los siguientes puntos.

#### 2.2.4.2.1 Cocción por calentamiento directo

Es el método más antiguo, y consiste en el calentamiento directo del mosto por debajo de la cuba mediante gas o aceite combustible.

#### 2.2.4.2.2 Cocción por calentamiento con vapor

Esta técnica es la más utilizada actualmente. Las cubas que se utilizan con esta técnica están provistas de una camisa de vapor asilada externamente colocada en el fondo del recipiente. El vapor circula por una tubería y a través de una válvula reductora de presión reduce su valor de presión hasta 2-3 bar, ingresando posteriormente en la camisa de vapor donde transferirá su calor al mosto para iniciar el proceso de ebullición. Una vez entregado el calor, condensará y es retirado del circuito por medio de un sistema de tuberías de condensado.

Es importante el control de la presión de vapor, ya que valores superiores a 2-3 bar supondría un aumento de temperatura que podría quemar las partículas del mosto y afectar al sabor de la cerveza final.

#### 2.2.4.2.3 Cocción a baja presión

Las cubas que se utilizan con esta técnica están cerradas y diseñadas para trabajar a una presión de 0,5 bar. El sistema de calentamiento del mosto puede realizarse tanto con un cocedero interno como externo.

Mediante este método, la cocción se lleva a cabo a 102-104 °C y dura en torno a 50-60 minutos.

En el caso de utilizar cocedero externo, el calentamiento se lleva a cabo recirculando el mosto haciéndolo pasar varias veces por el cocedor. Generalmente se utilizan intercambiadores de tubos como cocedores.

Los cocedores internos son intercambiadores de tubos instalados verticalmente en el interior de la cuba. El mosto asciende por el interior de los tubos obteniendo el calor transferido por el vapor que circula por el interior. Los cocedores internos presentan como ventajas fundamentales la construcción sencilla que presentan y la facilidad para limpiarlos mediante sistemas CIP. Sin embargo, cuando se utilizan cocedores internos se produce una fase inestacionaria durante el calentamiento que puede afectar a la composición del mosto, en ocasiones se pueden obstruir los tubos y la superficie de calentamiento que presentan es limitada.

Independientemente si se usa cocedor externo o interno, el proceso de cocción se desarrolla de la siguiente manera:

- Calentamiento a 100 °C durante 15 minutos
- Cocción inicial a 100 °C durante 10 minutos
- Calentamiento a 102-104 °C durante 10-15 minutos
- Cocción a 102-104 °C durante 15-30 minutos
- Despresurización a 100 °C durante 15 minutos
- Cocción final a 100 °C durante 10 minutos

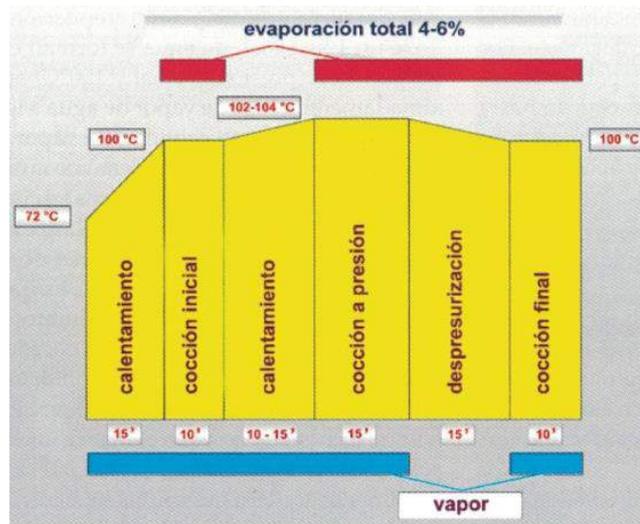


Figura 38: Temperatura, tiempo y presión en las diferentes fases de la cocción a baja presión

#### 2.2.4.2.4 Cocción a alta temperatura

Al elevar la temperatura de cocción y por consecuencia la presión, algunas reacciones se llevan a cabo de forma más rápida como la isomerización del  $\alpha$ -ácido del lúpulo.

Esta técnica se lleva a cabo utilizando diferentes recipientes, intercambiadores de calor y bombas:

- En primer lugar, el mosto es vertido en un recipiente donde se le añade el lúpulo.
- Desde el recipiente anterior, el mosto es bombeado y se le hace circular por tres intercambiadores de calor, en los cuales en cada uno de ellos el mosto se calienta a  $95^{\circ}\text{C}$ ,  $115^{\circ}\text{C}$  y  $140^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.
- A continuación, se hace pasar el mosto por un serpentín, donde mantiene su temperatura durante 5 minutos a 6 bar.
- El mosto se conduce a un recipiente donde se despresuriza a 1 bar.
- En otro recipiente diferente, se vuelve a despresurizar hasta una presión normal. En este momento el mosto tiene una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ .

Mediante esta técnica se reduce la oxidación y la coloración del mosto se mantiene más clara. Sin embargo, la principal desventaja de este método es la reducida cantidad de compuestos volátiles indeseables que se evaporan.

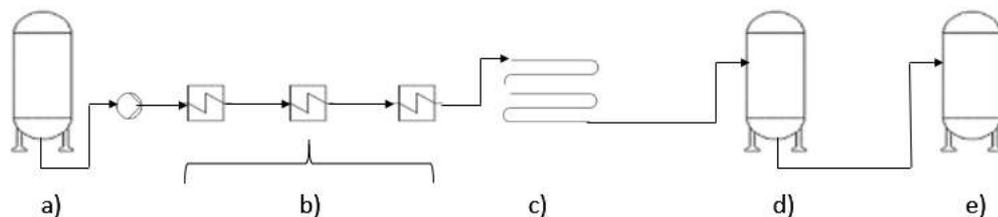


Figura 39: Fases de la cocción a alta temperatura

#### 2.2.4.3 Adición del lúpulo

El lúpulo es uno de los ingredientes principales de la cerveza y es el encargado de aportarle su sabor amargo característico.

Existen distintas variedades de lúpulo, conteniendo cada una de ellas una cantidad determinada de resinas y aceites esenciales, por lo que dependiendo que tipo de lúpulo se utilice la cerveza tendrá distinto sabor y olor.

Para la aportación de amargor, se utilizan lúpulos con alto contenido en  $\alpha$ -ácidos y bajo contenido en

cohumulona. La aportación de olor se consigue utilizando lúpulos que procedan de variedades aromáticas.

#### 2.2.4.3.1 Cantidad de lúpulo aportada

La obtención de olores y sabores dependen más del manejo del lúpulo que de la cantidad aportada, por lo que no existen recomendaciones sobre la dosis de lúpulo. Cada productor de cerveza decidirá en base a la experiencia cual será esa dosis.

El amargor de la cerveza se determina con el índice IBU (International Bitterness Unit), siendo el rango habitual en las cervezas de 15-40 unidades.

A pesar de lo comentado, se puede establecer una regla general que permite estimar la dosis de lúpulo necesaria, teniendo en cuenta los siguientes factores:

- IBU que se desea obtener en la cerveza final
- IBU que se desea obtener en el mosto tras la cocción
- $\alpha$ -ácidos equivalentes en el mosto tras la cocción
- Cantidad de lúpulo equivalente
- Cantidad de lúpulo a añadir en el mosto verde
- Cantidad de lúpulo total a aportar al mosto verde

Para aclarar esta regla, se muestra a continuación un ejemplo numérico:

En primer lugar, supongamos que se desea que la cerveza terminada tenga un IBU de 25 unidades.

En segundo lugar, supongamos que se pierden 5 unidades IBU en el proceso de fermentación y otros procesos complementarios, lo que significaría que se necesitan 30 unidades IBU en el mosto obtenido tras la cocción.

Si se considera que la transformación de  $\alpha$ -ácidos en isómeros solubles es del 35 %:

- $30 / 0,35 = 85,72 \text{ mg / l}$ , es la cantidad necesaria de  $\alpha$ -ácidos.

Suponiendo que el contenido de  $\alpha$ -ácidos en el lúpulo es del 15 %:

- $85,72 / 0,15 = 571,47 \text{ mg / l}$ , lo que significa que se necesita 571,47 mg de lúpulo por cada litro de mosto obtenido tras la cocción.

Durante la cocción existen pérdidas de agua por evaporación, por lo que si se estima que esa pérdida es del 15 %;

- $571,47 \cdot 0,85 = 485,75 \text{ mg / l}$ , es la cantidad de lúpulo que se necesita a aportar al mosto verde que se va a cocer.

Una vez estimada la dosis de lúpulo a aportar al mosto verde, se puede calcular la cantidad total de lúpulo que hay que aportar al mosto verde sin más que conociendo el volumen total de mosto verde que entra en la cuba de cocción:

- Cantidad de lúpulo total (g) =  $485,75 \text{ (mg / l)} \cdot \text{Volumen total de mosto verde en la cuba (l)}$

#### 2.2.4.3.2 Reglas de adición del lúpulo

Existen recomendaciones sobre el momento en que el lúpulo debe ser añadido al mosto. El amargor y olor que aporta el lúpulo a la cerveza se consiguen en mayor o menor grado según el momento en que sea añadido el lúpulo de forma que:

- El amargor se puede conseguir aportando el lúpulo al comienzo de la ebullición o bien pasados 15 minutos desde el inicio de la ebullición. En cualquiera de los casos, el lúpulo debe permanecer en el mosto como mínimo durante 60 minutos.
- El olor se reduce pasados 30 minutos desde que comenzó la ebullición, por lo que para aportar

olores el lúpulo se debe añadir 15 minutos antes de que finalice la cocción o, en otros casos, después de la etapa de cocción. En este último caso, suelen quedar restos de lúpulo en el mosto por lo que hay que prestar especial atención a estos residuos y proceder a su eliminación. Las técnicas más comunes basadas en la aportación de lúpulo una vez terminada la etapa de cocción son el “first wort hopping”, “hop back” y el “dry hopping”

A pesar de lo expuesto, la aportación de amargor y olor se puede determinar de acuerdo a las siguientes reglas:

- a) **Regla de los cuartos:** consiste en añadir el lúpulo en cuatro fracciones iguales divididas en el tiempo que dure la cocción.
- b) **Regla de los tercios:** se trata de añadir un tercio de la cantidad total de lúpulo al comienzo de la ebullición (lúpulo de amargor), otro tercio 20 minutos antes de que finalice el proceso (lúpulo de sabor) y al terminar el proceso se añadirá el último tercio (lúpulo de olor).
- c) **Regla de los tres cuartos:** esta regla consiste en el 75 % de la cantidad de lúpulo al comienzo de la ebullición (lúpulo de amargor) y el 25 % restante al final del proceso (lúpulo de olor).

#### 2.2.4.4 Ahorro energético

Existen sistemas en el mercado que suponen un ahorro energético importante. Estos sistemas se basan en la condensación y compresión de vahos producidos durante la etapa de cocción.

##### 2.2.4.4.1 Condensación de vahos

El ahorro energético se consigue con la instalación de un condensador de vapor conectado a la chimenea de vahos de la cuba de cocción. El vapor producido durante la etapa de cocción escapa por la chimenea y es conducido al equipo condensador de vahos. El vapor circula por fuera de unos tubos por los cuales se bombea agua. El gradiente de temperatura hace que se produzca el intercambio de calor entre el vapor y el agua. El vaho se refrigera y se obtiene agua caliente que podrá ser utilizada en cualquier proceso de la planta.

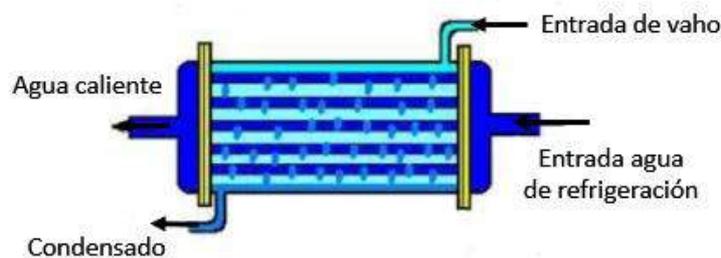


Figura 40: Esquema simplificado de un condensador de vahos

##### 2.2.4.4.2 Compresión de vahos

La compresión de vahos a una sobrepresión de 0,2-0,5 bar produce un aumento de la temperatura alcanzando valores de 102-108 °C, por lo que se pueden utilizar posteriormente para otros procesos. Los equipos más utilizados en esta técnica son los compresores mecánicos.

## 2.2.5 Etapa 4. Clarificación

En esta cuarta etapa se lleva a cabo un proceso de limpieza del mosto cocido, de manera que se separen los sólidos formados por los restos de lúpulo y “trub”.

Los restos de lúpulo se forman cuando se han utilizados formatos comerciales como pellets o flores, no existiendo dichas heces cuando se utiliza extracto de lúpulo.

El contenido de partículas inestables formando flóculos en el mosto puede comprometer la claridad de la cerveza, por lo que debe procederse a la eliminación del “trub” hasta que la concentración de partículas inestables en el líquido sea inferior a 1 g/l.

El proceso de clarificación se suele llevar a cabo mediante una cuba Whirlpool, aunque también se pueden utilizar separadoras centrífugas.

La limpieza con Whirlpool implica las siguientes etapas:

- Preparación del recipiente, comprobando que si nivel de limpieza es adecuado
- Adición del mosto caliente
- Comienzo del movimiento rotatorio del mosto formando un remolino, de forma que las partículas más gruesas se concentren en el centro de la cuba.
- Tras un tiempo de reposo de 20-30 minutos, los flóculos comienzan a precipitar y se asientan en el fondo de la cuba.
- Comienzo de la descarga del mosto limpio
- Una vez que las partículas precipitadas emergen sobre la superficie del mosto, se reduce la velocidad de descarga del mosto para evitar que dichas partículas vuelven a mezclarse con el líquido.

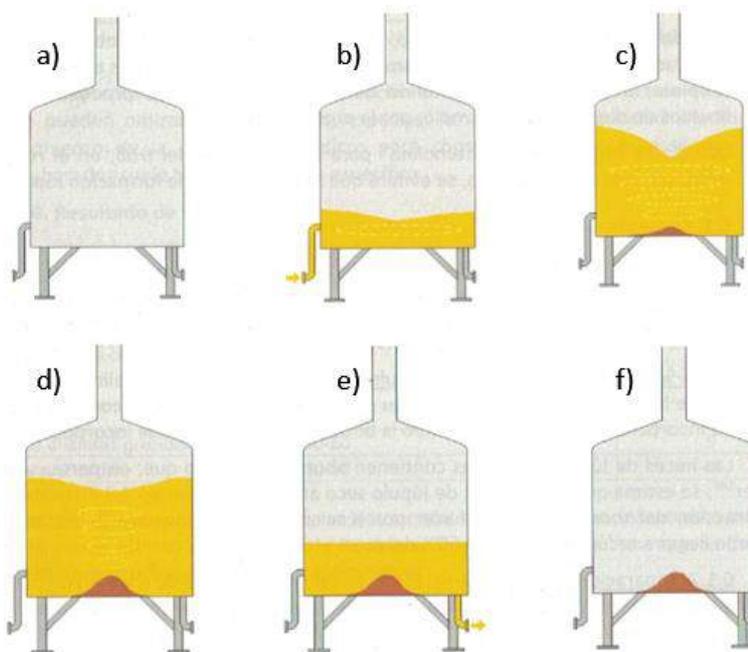


Figura 41: Fases del proceso de clarificación con Whirlpool

El trub extraído tiene un gran contenido de mosto. Por este motivo, a nivel industrial se suele someter a un proceso de separación en filtros prensa o separadoras centrífugas para extraer la máxima cantidad de dicho mosto. El mosto obtenido debe someterse a un proceso de esterilización posterior para eliminar los microorganismos que puedan estar presentes debido a la disminución de temperatura sufrida en el proceso de separación.

## 2.2.6 Etapa 5. Enfriamiento

El mosto una vez que sale de la cuba Whirlpool sigue caliente, por lo que es necesario enfriarlo para que las levaduras puedan actuar adecuadamente en el proceso de fermentación.

Para cervezas de fermentación alta el mosto se enfriará hasta los 20 ° C mientras que para las de fermentación baja se enfriará hasta 10 ° C.

### 2.2.6.1 Sistemas de enfriamiento

Existen diversas técnicas y equipos para el enfriamiento del mosto, pero el más común suele ser el enfriamiento indirecto de dos circuitos.

- Enfriamiento indirecto de dos circuitos

El equipo utilizado en esta técnica es el intercambiador de placas. Este método consiste en hacer pasar a contracorriente por los circuitos internos del intercambiador el mosto caliente y el agua de refrigeración

- Otros sistemas de enfriamiento

Existen otros sistemas de enfriamiento compuestos por camisas de refrigeración incorporadas en los recipientes, placas de refrigeración introducidas en los depósitos y duchas de enfriamiento sobre las paredes externas del recipiente. Sin embargo, estos sistemas no suelen utilizarse debido al bajo rendimiento energético que presentan.

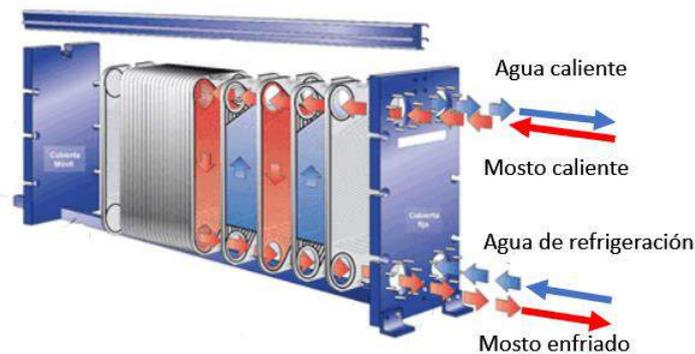


Figura 42: Esquema de un intercambiador de placas

### 2.2.6.2 Reutilización del agua de enfriamiento del mosto

El agua caliente es un punto clave en relación con el ahorro de energía térmica, ya que para obtenerla es necesario disponer de una sala de calderas de vapor y con ello una instalación de gas natural.

El mosto sale de la cuba de cocción a una temperatura aproximada de 100 ° C y necesita ser enfriado como se ha comentado hasta la temperatura de fermentación, para lo que se utiliza generalmente un intercambiador de placas que utiliza agua como fluido de intercambio térmico.

Tras el proceso de enfriamiento, el agua utilizada para la refrigeración se calienta hasta 80 ° C aproximadamente, por lo que una buena técnica para el ahorro energético se basa en almacenar transitoriamente esa agua en tanques aislados térmicamente para utilizarla en el proceso de maceración.

### 2.2.7 Soluciones adoptadas para la obtención del mosto

Este punto se destinará a desarrollar las técnicas, equipos e instalaciones adoptadas en el presente proyecto, clasificándolas según la etapa a la que pertenezca del proceso de obtención del mosto cervecero.

### 2.2.7.1 Etapa previa

En la etapa previa se incluye, tal y como se explicó previamente, los procesos de preparación de la malta, agua y sistemas de transporte. Las soluciones adoptadas en esta etapa son las siguientes:

- Preparación de la malta

A pesar de que la malta recibida en la planta procede de una maltería que asegura unos niveles de calidad excelentes, se ha decidido llevar a cabo un proceso de limpieza en la fábrica para asegurar que el producto final tendrá las características deseadas.

Para ello, una vez se haya realizado los análisis correspondientes de la materia prima en el laboratorio, los camiones descargarán la cebada en el edificio de descarga y comenzará el flujo de operaciones en el edificio de limpieza.

En primer lugar, se ha instalado una máquina cribadora que clasifica los granos por tamaños y elimina las partículas indeseadas. La cribadora tendrá tres salidas, cada una de ellas para los residuos correspondientes y para el producto conforme. Los residuos serán eliminados y enviados a través de un conducto al sótano del edificio de descarga, donde se encontrará un contenedor.

Los granos de malta continuarán su recorrido y llegarán al segundo nivel, donde se encuentra una despedregadora, un separador magnético y un aventador de circulación de aire.

Una vez sometidos a los procesos anteriores, los granos continuarán ascendiendo y llegarán a la segunda planta del edificio de limpieza, donde serán distribuidos a los respectivos silos.

En la entrada a la criba y de los silos se instalarán unas tolvas con báscula para tener un control de la cantidad de cebada que se introduce en el proceso de limpieza y se almacena, respectivamente.

En cuanto a la molienda, se ha decidido utilizar una molturación mediante un molino con acondicionamiento por remojo debido a que es una técnica que respeta la integridad de las cáscaras de forma que facilita la etapa de filtrado y además genera menor cantidad de polvo que los molinos de granos de secos.

- Sistemas de transporte

En la planta se van a utilizar tanto sistemas de transporte mecánico como neumático en función de las necesidades.

Una vez que la mercancía ha sido descargada por el camión en la tolva de descarga, esta ascenderá a la planta baja del edificio de limpieza por medio de un tornillo sin fin cubierto por una carcasa metálica. Dicho tornillo girará e irá desplazando los granos hasta llevarlos a la tolva con la báscula situada a la entrada de la criba.

Los granos se desplazarán desde la planta baja a la primera planta y a la segunda por medio de elevadores de cangilones, los cuales reciben el producto por la artesa inferior y lo descargan al siguiente equipo por la artesa superior.

Una vez los granos llegan a la segunda planta del edificio, estos caerán por gravedad por unos conductos metálicos hasta llegar a unas cintas transportadoras que se encargarán de mover el producto hasta el punto de descarga hacia los silos.

Los granos almacenados en los silos caerán por gravedad a una tolva con báscula situada en la galería subterránea. La tolva descarga a una cinta transportadora que moverá los granos hacia un elevador de cangilones situado en el extremo opuesto de la galería, y el cual elevará el producto hacia el edificio de molienda.

En el edificio de molienda, los granos de cebada circularan por una serie de conductos hasta llegar al silo adaptado al molino.

El producto una vez molturado, será enviado a las cubas de maceración de la nave de producción por medio de un circuito por depresión de transporte neumático, formado por un

soplante de pistón rotatorio, una tolva de carga, una válvula dosificadora de producto, un separador ciclónico y tolva de descarga.

A lo largo de todo el recorrido de los granos por la planta, se generan importantes cantidades de polvo que se quedan en suspensión en el ambiente, lo que conlleva una atmósfera explosiva. Por ello, se dotarán estos equipos y las instalaciones en general de equipos de certificación ATEX para la captación y eliminación de polvo. Se dedicará en este capítulo un apartado específico a este asunto.

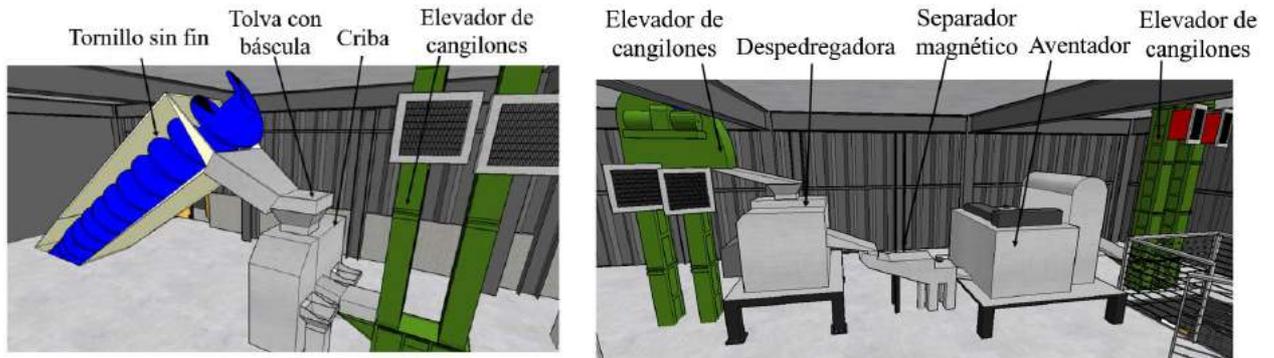


Figura 43: Equipos y sistemas de transporte en la planta baja y primera del edificio de limpieza

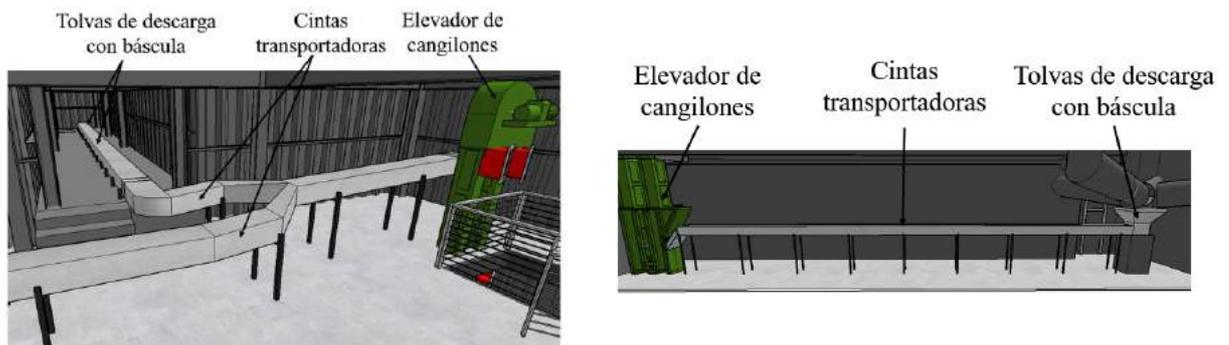


Figura 44: Equipos y sistemas de transporte en el edificio de limpieza y galería subterránea

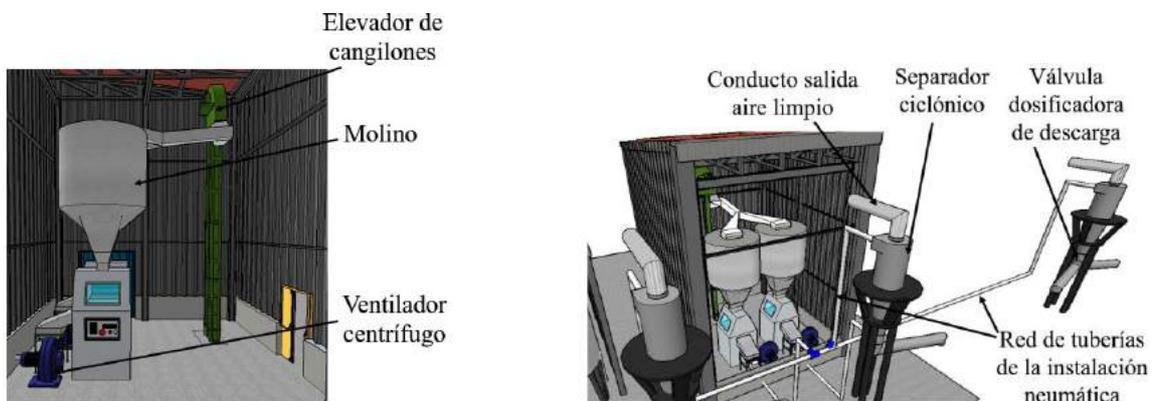


Figura 45: Equipos y sistemas de transporte en el edificio de molienda

- Preparación del agua

Debido a que la planta se encuentra en la provincia de Sevilla y la empresa suministradora asegura una calidad excelente del agua, no será necesario utilizar tratamientos generales ni específicos para acondicionar el agua.

## 2.2.7.2 Etapa 1

La etapa primera corresponde a la maceración, y a continuación se va a detallar las soluciones adoptadas en esta fase del proceso de obtención del mosto

### 2.2.7.2.1 Método

El método de maceración por infusión en cuatro ha sido el elegido para llevar a cabo esta etapa por las siguientes razones:

- Menor duración que el método por decocción
- Solamente es necesario una cuba para la maceración
- Al utilizarse malta poco modificada y disponer de recipientes con un sistema preciso de control de temperatura, resulta óptimo utilizar la maceración en cuatro fases en lugar de recurrir a un menor número de fases.
- Mejor rendimiento frente a los demás métodos.

### 2.2.7.2.2 Equipo

La planta va a contar con cinco líneas de producción independientes, y en cada una de ellas se utilizará una cuba filtro. Las características de dicho recipiente se detallan a continuación:

- Fabricación en acero inoxidable AISI 316
- Chimenea de vahos
- Sistema de agitación mecánico accionado por un motor eléctrico con un variador de régimen.
- Sistema de tuberías para la carga y descarga del macerado
- Dispositivos para la limpieza CIP, incluyendo bola rociadora.
- Sistema de calentamiento indirecto mediante vapor formado por camisas de intercambio térmico situadas en el fondo y parte baja de los laterales
- Ventana para la inspección desde el exterior y toma de muestras.

El sistema de calentamiento elegido supone un ahorro energético importante comparado con el sistema de calentamiento directo mediante energía eléctrica.

En el presente proyecto se plantea la posibilidad de implementar en el futuro una planta de recuperación de energía, aprovechando el agua que se calienta tras el proceso de enfriamiento. El agua caliente se almacenaría en un depósito donde se mantendría la temperatura constante hasta que se necesite usarla en el siguiente lote de producción del mosto.



Figura 46: Cubas de maceración (izda) y agitador mecánico (dcha). Fabricante GEA

Las cubas que se utilizarán en la planta serán fabricadas a medidas, teniendo un diámetro de 1,5 m y una altura de 2 m, lo que implica un volumen total de 14.000 l.

### 2.2.7.2.3 Ejecución

El proceso de maceración comenzará con la introducción del agua en la cuba, añadiéndose posteriormente la cantidad de malta correspondiente. Se utilizará una relación 5:1, es decir, 5 litros de agua por cada kilogramo de malta. El motivo de introducir en primer lugar el agua es que esta necesita calentarse previamente hasta llegar a 40 ° C. Una vez introducida la malta se llevará a cabo el primer periodo de reposo.

Durante los períodos de reposo, se controlará la temperatura de la mezcla. Tras finalizar cada fase de maceración, se pondrá en funcionamiento el sistema de calentamiento para alcanzar la temperatura de la siguiente fase.

En momentos puntuales del proceso, se tomará una muestra del macerado para medir el pH, procediendo a la acidificación en caso de que el valor sea muy alto.

Antes de que finalice la fase de licuefacción, se realizará la prueba de reacción al yodo.

Durante el proceso de maceración, se pondrá en marcha el agitador mecánico para evitar la formación de grumos.

### 2.2.7.3 Etapa 2

La segunda etapa corresponde con el proceso de filtración y lavado, y al igual que en caso anterior se usará un total de cinco cubas independientes.

#### 2.2.7.3.1 Método

Los procesos de filtrado y lavado se llevarán a cabo en una cuba filtro, en la cual se recirculará el mosto haciéndolo pasar por el filtro natural formado por las cáscaras de los granos. El lavado se llevará a cabo mediante una ducha de agua caliente sobre el filtro natural, de forma que se pueda obtener la mayor cantidad de extracto soluble.

Se ha elegido este método de filtración y limpieza por los siguientes motivos:

- A pesar de tener también grandes dimensiones, suelen ocupar menos espacio en planta que los filtros prensa.
- Al utilizarse malta poco modificada, se formará un buen filtro natural que permitirá limpiar con éxito el mosto.
- En general, las cubas filtro son más económicas.
- El proceso de limpieza interior de los equipos es más sencillo y rápido en el caso de la cuba filtro que en los filtros prensa.
- No necesita tanto control como en el caso de los filtros prensa, ya que en la tipología elegida solamente se obtendrá una primera colada (primer mosto) y finalmente la colada última tras el lavado.

#### 2.2.7.3.2 Equipo

El equipo utilizado será la cuba filtro siendo sus características técnicas las siguientes:

- Fabricación en acero inoxidable de tipo alimentario AISI 316.
- Superficie porosa a 20 cm del doble fondo para retener las partículas sólidas y permitir el paso del líquido hacia el doble fondo.
- Rastrillo accionado mecánicamente por un motor para cortar el macerado. El rastrillo podrá desplazarse verticalmente para ajustar la profundidad de corte en el macerado.

- Chimenea de vahos
- Ducha o aspersor de agua para el lavado
- Ventanilla para la inspección.
- Puerta estanca para la evacuación del bagazo
- Sistema de tuberías para la carga y descarga del mosto limpio
- Dispositivos de limpieza CIP
- Sistemas de bombeo para la recirculación.

Las cubas filtro utilizadas en la fábrica tendrán un volumen de 11.000 l, de acuerdo con la recomendación de que el recipiente tiene que tener un volumen de 7 litros por cada kilogramo de malta procesada.

### 2.2.7.3.3 Ejecución

La ejecución será la descrita en el apartado 1.2.3.3 de este mismo capítulo.

## 2.2.7.4 Etapa 3

En esta etapa se lleva a cabo la cocción del mosto, y en ella se utilizarán las técnicas y equipos que se describirán a continuación.

### 2.2.7.4.1 Manejo de la cocción

La cocción se llevará a cabo a baja presión y con un cocedor interno. La cocción se llevará a cabo en fases, en algunas de ellas a sobrepresión y en otras a presión atmosférica. Esta variación de presiones favorece la degradación de los compuestos volátiles que están relacionados con el DMS. El proceso durará en torno a 60 minutos. El principal motivo de haber elegido este método es el porcentaje de 5-7 % de vapor que se elimina y la reducción del consumo eléctrico en 9 kWh por cada 100 litros de mosto. Estos valores son menores que los correspondientes a los demás métodos de cocción.

En cuanto a la elección de un sistema cocedor interno, la justificación se basa en que la construcción sencilla que presentan, su larga vida útil, son fáciles de limpiar con sistemas CIP y no se necesitan aislamientos adicionales como sería el caso de los cocedores externos.

### 2.2.7.4.2 Adición del lúpulo

El IBU de las cervezas ale y lager que se fabricarán en la planta serán de 30 y 20 unidades, respectivamente. Con estos datos, se puede estimar según se vio en el punto 1.2.4.3.1, la cantidad de lúpulo total que se necesita aportar en cada producción. De esta manera se obtiene 570 mg/l y 410 mg /l de mosto verde para la cerveza ale y lager, respectivamente.

En cuanto a la regla que se utilizará, con el objetivo de lograr al máximo las características de amargos, sabor y olor que aporta el lúpulo, se optará por la regla de los tercios.

No se llevarán a cabo las técnicas de “hop back” ni “dry hopping” para la adición de lúpulo fuera de la etapa de cocción.

El manejo de la dosificación de lúpulo comienza con la inserción del barril de extracto de lúpulo mediante un “drum trolley” en los transportadores de rodillos del interior de la cámara. Seguidamente, los rodillos girarán automáticamente y el barril se dirigirá hacia el sistema de vuelvo de barriles. El extracto de lúpulo caerá por gravedad hacia un recipiente intermedio, donde será removido por un agitador mecánico. Un sistema de bombeo y tuberías distribuirá la cantidad de lúpulo fijada a la cuba filtro. El bombeo se llevará a cabo mediante un flujómetro de masa que calcula la cantidad de lúpulo necesaria.



Figura 47: Drum trolley para el transporte de bidones y flujómetro de masa

#### 2.2.7.4.3 Equipo para la cocción del mosto

Se utilizará una cuba cilindrocónica como recipiente para llevar a cabo el proceso de cocción, la cual presentará las siguientes especificaciones técnicas:

- Fabricada en acero inoxidable AISI 316
- Capa de aislamiento hacia el exterior para reducir las pérdidas de calor
- Chimenea de vahos
- Cocedor interno formado por un intercambiador tubular, dispuesto verticalmente según el eje de la cuba.
- Sistema de tuberías para la carga y descarga del macerado y para la dosificación del extracto de lúpulo.
- Dispositivos de limpieza CIP
- Sensores de temperatura y presión.

La cuba de cocción tendrá una capacidad de 12.500 l, de acuerdo con la recomendación de que el volumen debe ser tal que se cumpla una relación de 8 litros por cada kilogramo de malta que se utilice.



Figura 48: Cuba filtro de Krones (izda) y cocedor interno de Braukon (dcha)

#### 2.2.7.4.4 Instalación para la dosificación del lúpulo

La dosificación del extracto de lúpulo será automática, estando compuesta la instalación por los siguientes equipos:

- Cámara térmica de 3,5 m de longitud, 1,5 m de ancho y 2,1 m de alto.
- Sistema de calefacción eléctrica
- Dispositivos automáticos de regulación de temperatura.
- Recipiente intermedio con agitador mecánico para mezclar el extracto.
- Transportadores de rodillos
- Bomba para la dosificación
- Dispositivo de vuelco de barriles
- Sistema de tuberías para el transporte del lúpulo

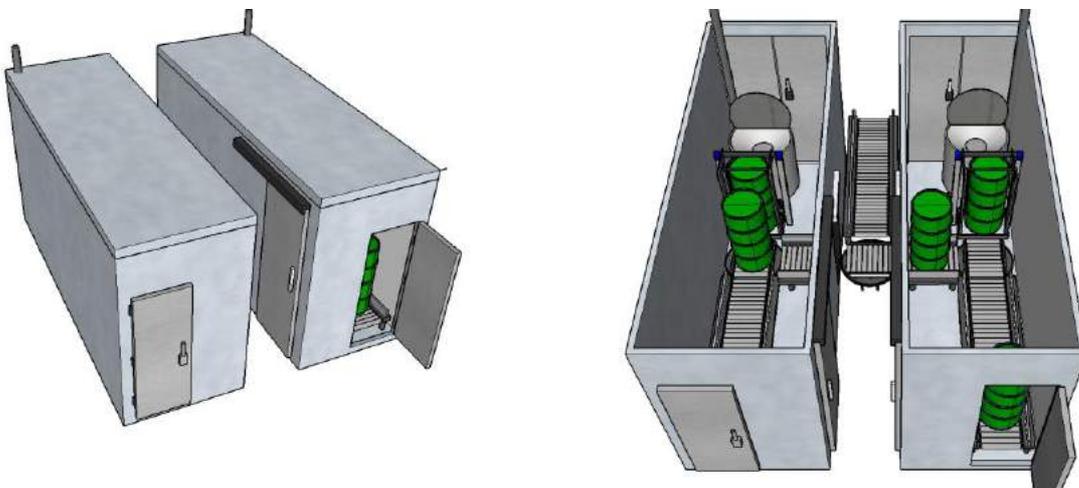
Se instalarán dos cámaras térmicas con sus respectivos equipos y sistemas de transporte.

La cámara térmica tendrá un acceso para el personal de mantenimiento. Además, contará con dos puertas con cierre estanco, a través de las cuales se introducirán los barriles y se verificará y se realizará las labores de mantenimiento en el depósito intermedio.



Figura 49: Instalación de dosificación automática de extracto de lúpulo. Fabricante Decker

A continuación, se muestra un modelo en 3D de la instalación de lúpulo que se utilizará en la planta de este proyecto:



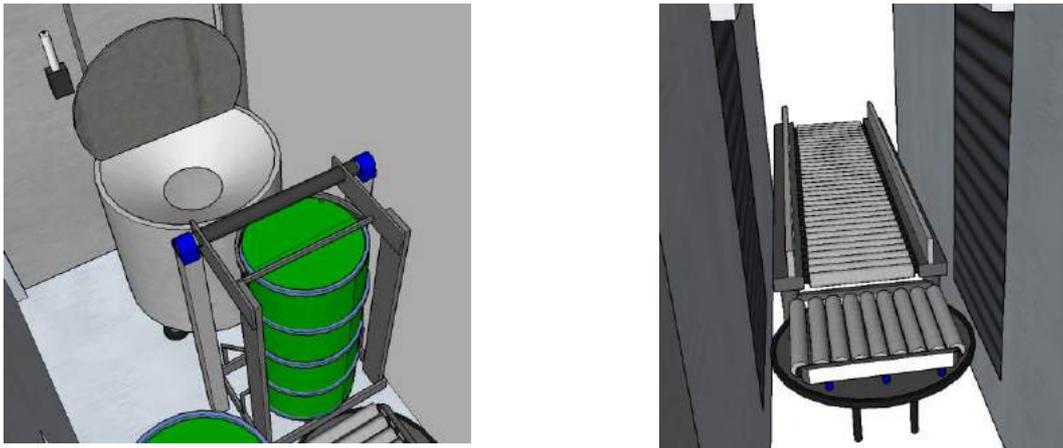


Figura 50: Modelo de la instalación de dosificación de extracto de lúpulo

#### 2.2.7.5 Etapa 4

En la etapa de clarificación y limpieza del mosto cocido, se ha optado por utilizar el siguiente método y equipos.

##### 2.2.7.5.1 Manejo

La manera en la que se llevará a cabo el proceso de clarificación del mosto será la explicada en el punto 1.2.5.

##### 2.2.7.5.2 Equipo

Para la clarificación del mosto cocido, se utilizará un recipiente tipo Whirlpool cilíndrico dotado de aislamiento térmico en sus paredes. La cuba dispone de una ranura tangencial en la pared por la cual entrará el mosto cocido y otra ranura para la salida del mosto limpio. Además, dispone de elementos que permiten la extracción de los flóculos y partículas que sedimentan en el fondo del tanque. La ventaja principal de este equipo es que el pequeño esfuerzo cortante al que se somete el mosto.

El Whirlpool tendrá una altura de 2 m y 3 m de diámetro, lo que supone una capacidad de 14.000 l.

#### 2.2.7.6 Etapa 5

##### 2.2.7.6.1 Manejo

El enfriamiento del mosto se llevará a cabo haciendo pasar el mosto a contracorriente con agua de refrigeración por medio de un intercambiador de placas. El mosto entrará a una temperatura aproximada de 70-80 ° C y saldrá a 20-22 ° C en el caso de cervezas tipo ale y a 7-13 ° C en cervezas lager. Dependiendo de la cerveza que se quiera elaborar, la duración del proceso podrá variar entre 30 y 90 minutos.

##### 2.2.7.6.2 Equipo

Se utilizará un total de cinco intercambiadores de placas de una sola etapa, existiendo un intercambiador por cada línea de producción.

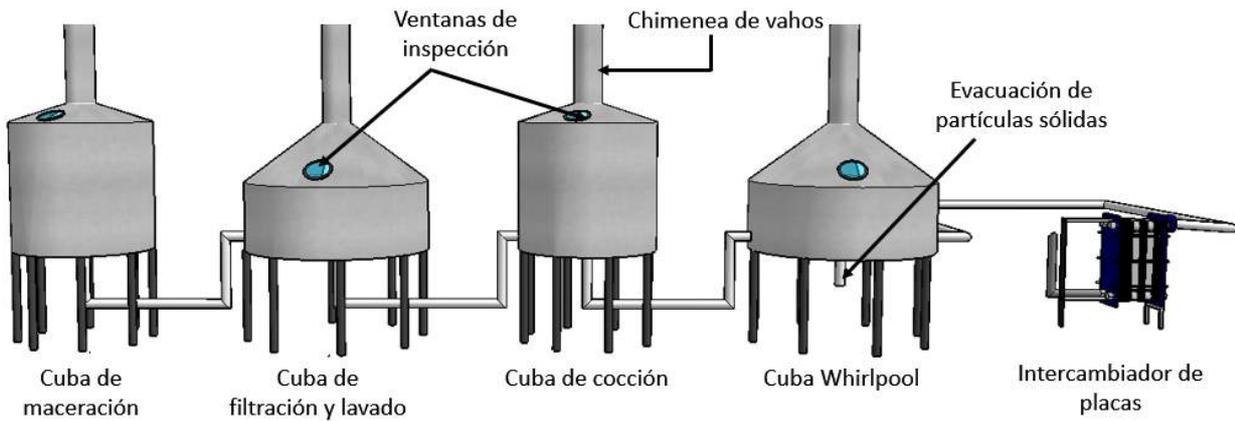


Figura 51: Secuencia de equipos para la obtención del mosto

## 2.3 Elaboración de la cerveza

En la elaboración de cerveza participan una serie de procesos por medio de los cuales se transforma el mosto en cerveza.

La cerveza se define según la norma de calidad de la cerveza y de las bebidas de malta publicada en el Real Decreto 678/2016, 16 de diciembre como: “alimento resultante de la fermentación, mediante levaduras seleccionadas, de un mosto cervecero elaborado a partir de materias primas naturales”.

La elaboración de cerveza implica una serie de operaciones secuenciadas, comenzando con la fermentación y finalizando con la dosificación de dióxido de carbono en caso de que sea necesario.

Este proceso está compuesto por cinco etapas bien diferenciadas, aunque depende de las características de la cerveza, a veces no se llevaran a cabo todas ellas.

En los siguientes apartados se va a desarrollar cada una de las etapas.

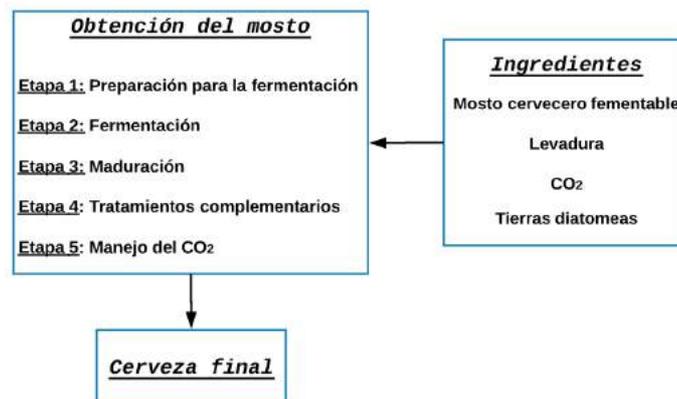


Figura 52: Etapas del proceso de obtención del mosto

### 2.3.1 Etapa 1. Preparación del mosto para la fermentación

El último proceso al que fue sometido el mosto fue al enfriamiento, tras el cual se disminuyó la temperatura hasta valores que favorecieran la actividad de las levaduras que realizarán la fermentación. En esta etapa de fermentación, se realizará la aportación de oxígeno y levaduras al mosto.

### 2.3.1.1 Aportación de oxígeno

A pesar de que la presencia de oxígeno en los procesos de elaboración del mosto se considera un efecto negativo, es necesario que existe una determinada cantidad en el proceso de fermentación para que las levaduras puedan desarrollar el proceso metabólico de respiración.

El oxígeno es utilizado por las levaduras para que degraden adecuadamente los azúcares fermentables y sinteticen los ácidos grasos.

Concretamente, es necesario alrededor de 8-9 mg de oxígeno por cada litro de mosto. El oxígeno puede utilizarse tanto en estado puro como aire estéril. En caso de aportarse con aire estéril, bastaría con utilizar 4 litros de aire por cada 100 litros de mosto. En la práctica, hay que tener en cuenta que el aire no se reparte homogéneamente en el mosto y que la solubilidad depende en un alto grado de la temperatura y presión que existe sobre la superficie del líquido.

A nivel industrial, independientemente de que se utilice oxígeno puro o aire estéril, la aportación se lleva a cabo mediante equipos que inyectan el caudal del gas en las tuberías de transporte del mosto. Con estos equipos se consigue regular el caudal, facilitar la solubilización y repartir de forma homogénea el gas en el mosto.

### 2.3.1.2 Aportación de levaduras

Este proceso se conoce comúnmente en el mundo anglosajón como “yeast dosing”. La levadura que se utiliza en la fermentación en forma de preparados líquidos que pueden encontrarse en las casas comerciales u obtenerse a partir de productos en la propia fábrica. La obtención de estos preparados líquidos se realiza teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Tipo de levadura, según sean de fermentación alta o baja.
- Cepa de levadura

Las levaduras utilizadas suelen proceder de cepas que tienen un comportamiento previsible, en el cual afectan la atenuación, floculación y formación de olores.

- Presentación

La obtención de preparados líquidos está condicionada por la presentación y concentración de células viables, debiendo ser dicha concentración superior a mil millones de células por cada mililitro de preparado líquido.

- Contaminación

Hay que reducir al máximo el nivel de contaminación de los preparados líquidos por microorganismos. Además, hay que intentar que el enlodamiento<sup>2</sup> de las levaduras ocurra lo más tarde posible, para que se puedan reutilizar el mayor número de ciclos sucesivos de fermentación.

- Cantidad

Para conseguir que el proceso de fermentación se lleve a cabo correctamente, al añadir el preparado líquido es necesario que como mínimo la concentración de células viables de levadura sea de 18-30 millones de células por mililitro de mosto.

- Forma de añadir las levaduras al mosto

El reparto de las levaduras en el mosto debe ser homogéneo, añadiéndose habitualmente al principio una determinada cantidad del preparado líquido sobre una cantidad de mosto y posteriormente se añade el resto del preparado sobre el volumen total de mosto.

---

<sup>2</sup> El enlodamiento de las levaduras consiste en la acumulación de compuestos en la parte externa de sus paredes celulares, dificultando de esta manera la reproducción de las mismas y su actividad durante la fermentación

### 2.3.1.2.1 Levaduras usadas a nivel industrial

Las levaduras utilizadas en la fabricación industrial de cerveza pueden clasificarse en dos categorías: levaduras de cosecha de una fermentación anterior y levaduras de cultivo máster.

- Levaduras de cosecha de una fermentación anterior

Este tipo de levaduras se recogen de los tanques de fermentación una vez que ha finalizado el proceso. La levadura recogida contiene una determinada cantidad de cerveza y  $\text{CO}_2$  que debe ser eliminada para reducir la pérdida de vitalidad de las células. El contenido de  $\text{CO}_2$  en la levadura recolectada será mayor cuanto mayor tiempo lleve la levadura en fermentación.

La levadura se almacenará en un recipiente, limpio y desinfectado, a una determinada temperatura en función del tiempo que transcurre entre su recolección y su utilización en el siguiente ciclo. Si el tiempo transcurrido es inferior a una semana la temperatura de conservación será de 3-5 ° C, mientras que si el plazo es superior a siete días la temperatura deberá ser de 0-1 ° C.

Una vez almacenadas y activadas las levaduras, antes de reutilizarse deberán de pasar por un control de calidad para asegurar que no están contaminadas, tienen una concentración inferior al 5 % de células muertas y tienen una actividad inicial buena.

- Levaduras de cultivo máster

Este tipo de levaduras se obtienen tras la generación de un cultivo de levaduras en la propia fábrica. La multiplicación del cultivo conlleva las siguientes fases:

- a) Recuperación de inóculo de cepa pura.
- b) Multiplicación del cultivo en el laboratorio.
- c) Propagación en la planta.

## 2.3.2 Etapa 2. Fermentación

En la fermentación, las levaduras pasan por las siguientes fases:

- Fase 1: aclimatización

Durante esta fase, las células de las levaduras se adaptan a las condiciones ambientales y comienzan a excretar sustancias que posteriormente serán reabsorbidas

- Fase 2: respiración

Las levaduras tras adaptarse a las condiciones de ambiente, comienza su proceso de respiración en un ambiente con temperatura adecuada, con azúcares fermentables y oxígeno en grandes cantidades. Además, las células comenzarán a reproducirse rápidamente incrementándose el número de estas.

- Fase 3: fermentación

Mientras se van reproduciendo, va disminuyendo el oxígeno y las células empiezan a desarrollar el proceso de fermentación alcohólica. Durante esta etapa las células van creciendo y consumiendo los azúcares fermentables. En este proceso van liberando alcohol,  $\text{CO}_2$  y calor.

- Fase 4: precipitación/flotación

Conforme se van acabando los azúcares fermentables y va aumentando el contenido de alcohol y  $\text{CO}_2$ , las células precipitan al fondo del tanque en el caso de levaduras de fermentación baja o ascienden hacia la superficie en el caso de levaduras de fermentación alta.

- Fase 5: degradación

Conforme pasa el tiempo, las levaduras se van degradando y van liberando compuestos que afectan al olor, color y sabor de la cerveza. Es por este motivo por lo que suele recomendarse retirar las levaduras lo antes posible una vez finalizado el proceso.

### 2.3.2.1 Transformaciones durante la fermentación

En el proceso de fermentación las levaduras se encargan de metabolizar algunos componentes iniciales del mosto y los transforman en compuestos de vital importancia para la cerveza.

#### 2.3.2.1.1 Metabolismo de azúcares

El 2% de la cantidad total de azúcares fermentables en el mosto son consumidos en el proceso de respiración y el 98 % restante son metabolizados en el proceso de fermentación alcohólica.

La fermentación alcohólica se modela según una reacción química exotérmica en la cual el reactivo es la glucosa y los productos son etanol, CO<sub>2</sub> y energía.

Se puede estimar que de 100 g de azúcares fermentables se obtienen 46 g de alcohol, lo que supone un volumen de 58 ml de alcohol teniendo en cuenta que la densidad del etanol a la temperatura de fermentación (20 °C) es de 0,79 g/ml.<sup>3</sup>

La medida del alcohol se realiza teniendo en cuenta que un grado alcohólico (1 % vol.) corresponde a 1 ml de alcohol en 100 ml de líquido, correspondiendo a su vez con 1,7 g de glucosa por cada 100 ml de líquido.

El grado alcohólico de la cerveza se puede estimar, teniendo en cuenta que el porcentaje de azúcares fermentables contenido en el extracto soluble es del 62-70 % y que por cada 17 g/l de azúcares fermentables en el mosto se obtiene un grado de alcohol del 1% vol., según la siguiente expresión:

$$\text{Grado de alcohol (\% vol)} = \text{Extracto (g/l)} \cdot (0,62 - 0,70) \cdot \left( \frac{\text{azúcares fermentables}}{\text{extracto}} \right) \cdot \frac{1\% \text{ vol}}{17(\text{g/l})}$$

#### 2.3.2.1.2 Metabolismo de proteínas

Para la generación de nuevas células las levaduras consumen compuestos nitrogenados de bajo peso molecular, los cuales se presentan en el mosto en forma de aminoácidos. Estos aminoácidos son metabolizados por las levaduras y son transformados en proteínas que van a ser utilizadas en la formación de enzimas.

La principal enzima formada es la proteinasa A, que degrada la proteína LTP1 y la cual es responsable de la estabilidad de la espuma de la cerveza.

#### 2.3.2.1.3 Metabolismo de ácidos grasos

Durante la etapa de multiplicación de células, la levadura consume ácidos grasos para regenerar sus paredes células, las cuales se dañan por el aumento de tamaño de las células.

#### 2.3.2.1.4 Metabolismo de minerales

Los minerales son compuestos fundamentales en la actividad de las levaduras, siendo los más importantes el fósforo, azufre y zinc.

El fósforo se encuentra en gran cantidad en el mosto, y es el mineral que actúa como amortiguador de pH.

Por su parte, el azufre es metabolizado por las levaduras en el proceso de fermentación generándose SO<sub>2</sub>, el cual mediante su poder antioxidante reduce el envejecimiento de la cerveza.

El zinc está relacionado con la síntesis de proteínas, presentándose generalmente en el mosto en unas cantidades bajas. Es por este motivo por lo que suele recurrirse a la adición directa de zinc para no comprometer la fermentación.

<sup>3</sup> Este dato se ha obtenido teniendo en cuenta que a 4 °C la densidad del etanol es de 0,80 g/ml y a 30 °C es de 0,78 g/ml.

### 2.3.2.1.5 Generación de sulfuro de dimetilo (DMS)

La presencia de sulfuro de dimetilo supone un impacto negativo en la cerveza, debido al olor característico que transmiten al líquido. Habitualmente se suelen desarrollar prácticas para reducir la cantidad de precursores del DMS.

### 2.3.2.2 Equipos para la fermentación

Actualmente, los recipientes más utilizados para la fermentación de cerveza son las cubas abiertas y los depósitos cilíndricos. Es necesario que estos equipos dispongan de sistemas de control de temperatura, permitan manejar higiénicamente los productos, tengan sistemas de conducción para la carga y descarga de producto y permitan evacuar el CO<sub>2</sub> formado.

- Cubas abiertas

Este tipo de recipientes se suele utilizar solamente en la elaboración de cervezas artesanales, aunque también se utilizan en ocasiones en plantas industriales como recipiente para llevar a cabo las primeras fases de la fermentación en los cuales la temperatura no es un factor determinante.

La principal desventaja de esta tipología es que el mosto está expuesto a contaminación ambiental, por lo que debe prestarse especial atención a la higiene.

- Depósitos cilíndricos

A nivel industrial, estos tanques son los más utilizados debido a la buena calidad de los materiales, mejores condiciones de higiene y que disponen de sistemas de control de temperatura más precisos.

Pueden ser isotermos o isobáricos, e incorporan camisas de refrigeración para controlar la temperatura del proceso.

Estos depósitos suelen tener unas dimensiones tales que puedan almacenar el mosto producido de medio día o de un día, en el caso de plantas que realicen una o dos cocciones diarias. En sus dimensiones hay que tener en cuenta el volumen ocupado por el mosto y por la espuma generada durante la fermentación.

### 2.3.2.3 Operativa de la fermentación

Existen diversas técnicas o métodos para llevar a cabo la fermentación, las cuales están influenciadas por factores como los recipientes para la fermentación, sistemas de control y medios disponibles. Sin embargo, el factor determinante es el tipo de levadura que se utiliza, ya que dependiendo de si son de fermentación baja o alta, se llevarán a cabo una serie de operaciones u otras.

#### 2.3.2.3.1 Levaduras de fermentación baja

Las levaduras de este tipo, una vez desarrollado el proceso de respiración y fermentación alcohólica, comienzan a precipitar al fondo del fermentador.

Cuando se utiliza levaduras de fermentación baja, generalmente se recurre a depósitos cilíndricos para la fermentación, ya que permiten extraer con facilidad las levaduras precipitadas y disponen de sistemas de control de temperatura y presión muy precisos.

Habitualmente la forma de operar se rige por los siguientes pasos:

- a) Llenado del depósito con mosto

Los tanques fermentadores se pueden llenar de mosto procedente de varias producciones realizados en un mismo día. El mosto ocupará un volumen aproximado del 80 % de la capacidad total del tanque, siendo ocupado el resto de espacio por la espuma.

## b) Adición de oxígeno y levadura

Cada vez que se lleve a cabo una carga de mosto, se realizará la aportación de oxígeno y levadura. Hay que tener en cuenta que una vez introducida la cantidad total de mosto, en el tanque debe haber la cantidad de oxígeno y levaduras necesaria.

## c) Control del proceso

Durante la fermentación se realizarán controles de contenido de aminoácidos, oxígeno y levaduras, así como controles de temperatura y densidad del líquido. La fermentación suele durar entre 5-8 días, dependiendo del tipo de cerveza a fabricar.

## d) Control de temperatura

Generalmente, los valores de temperatura durante el proceso de fermentación son los siguientes:

- Al comienzo de la fermentación la temperatura será de 5-7 ° C, y se mantendrá aproximadamente durante 24 h.
- Durante las 48 horas siguientes, la temperatura se va incrementando hasta 8-15 ° C, dependiendo de si la fermentación es fría o caliente.
- Durante los dos días posteriores se mantendrá la temperatura alcanzada en la fase anterior.
- En la última etapa, la temperatura va disminuyendo progresivamente hasta valores en torno a 4-5 ° C

## e) Precipitados en el fondo del tanque

Las levaduras, tras el proceso de fermentación alcohólica comienza a precipitar en el fondo del recipiente. Dichas levaduras, si se pretenden recolectar para ciclos posteriores, deberán de retirarse del tanque lo antes posible para evitar la pérdida de vitalidad de las células.

La levadura se extrae por gravedad o por bombeo. La extracción debe de hacerse cuidadosamente para no romper la interfase líquido-precipitados.

## f) Descarga de la cerveza

Una vez retirados los fondos de tanque, se descargará el mosto fermentado y se enviará a otras estaciones donde se le aplicará tratamientos complementarios, aunque en caso de que fuera necesario se transportaría hasta otro depósito para la etapa de maduración.

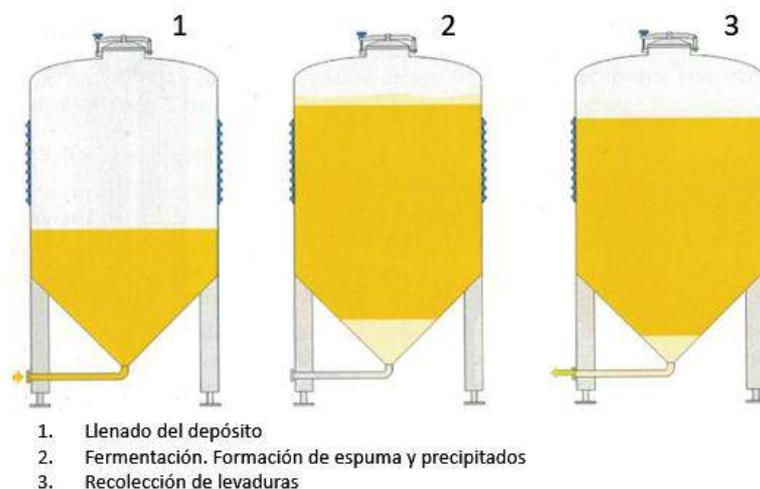


Figura 53: Levaduras de fermentación baja.

### 2.3.2.3.2 Levaduras de fermentación alta

Este tipo de levadura requiere unas necesidades nutricionales menores que en el caso de las levaduras de fermentación baja, necesitando aproximadamente 5 mg de O<sub>2</sub> y 150 mg de aminoácidos por cada litro de mosto.

Las levaduras de fermentación alta, al comienzo de la fermentación, forman colonias que son arrastradas a la superficie del mosto y se mantienen aquí la mayor parte del tiempo que dura el proceso. Al finalizar el proceso, comienzan a precipitar al fondo del tanque.

La operativa de fermentación cuando se usa este tipo de levadura implica los siguientes pasos:

a) Llenado del depósito con mosto

En el caso de utilizar levaduras de fermentación alta, los depósitos el mosto ocupa aproximadamente el 60 % de la capacidad total del recipiente, siendo el 40 % restante ocupado por la espuma.

De esta forma, se puede establecer que una de las principales diferencias entre ambos tipos de levaduras es la cantidad de espuma formada durante la fermentación.

b) Adición de oxígeno y levaduras

La aportación de oxígeno y levadura se realiza de la misma forma que en el caso de levaduras de fermentación baja, aunque la cantidad aportada de ambos es diferente.

c) Control del proceso

Durante la fermentación se controla el contenido de aminoácidos (FAN), O<sub>2</sub> y levaduras, como en el caso anterior

d) Control de temperatura

Las variaciones de temperatura durante la fermentación cuando se utilizan esta variedad de levaduras difieren de las utilizadas cuando las levaduras son de fermentación baja:

- Las levaduras se aportan al mosto cuando este se encuentra a una temperatura de 12-16 ° C.
- Pasadas unas 8-9 horas, se pone en marcha el proceso de fermentación a la vez que la temperatura va ascendiendo hasta valores de 18-24 ° C. Durante esta fase, las levaduras ascienden a la superficie del mosto.
- Tras 24 h, la fermentación alcanza su punto más alto y las levaduras se acumulan en la espuma.
- La temperatura comienza a disminuir, y al cabo de 4-5 días la espuma va desapareciendo y las levaduras precipitan al fondo del depósito.

e) Recolección de la levadura

Las levaduras son recogidas cuidadosamente tras finalizar la fermentación. Para ello, hay que tener en cuenta que en el fondo se encuentran los precipitados formando estratos diferenciados, encontrándose las levaduras interesantes de recolectar en la capa intermedia.

f) Descarga de la cerveza

Una vez separada la levadura de la cerveza, se procede a la descarga del líquido para someterla a un proceso de limpieza para obtener la cerveza “brillante” o bien a un depósito para la etapa de maduración en caso de que fuese necesario.



Figura 54: Levaduras de fermentación alta.

“La cerveza. Ciencia, tecnología, ingeniería, producción, valoración. J.A Boto Fidalgo, M. Boto Ordóñez. 2017”

En cuanto a la refrigeración ambiental, generalmente la sala de fermentación está diseñada como si de una cámara frigorífica se tratase de forma que mantenga una temperatura en la sala de 3-5° C.

### 2.3.3 Etapa 3. Maduración

La maduración es un proceso en el cual la cerveza fermentada, mantenida a una temperatura inferior a la del proceso de fermentación, los restos de azúcares siguen fermentando a la vez que empiezan a transformarse otros compuestos. La maduración no se lleva a cabo en todos los casos, no realizándose cuando el contenido de azúcares fermentables residuales es nulo o muy bajo.

#### 2.3.3.1 Fases del proceso

Las etapas que definen el proceso son las siguientes:

a) Atenuación final

Una vez finalizada la maduración, el porcentaje de atenuación de los azúcares fermentables es del 10-15 %.

b) Evolución de compuestos de cerveza verde

Durante la maduración el diacetilo se transforma en acetoína y butanodiol, estando favorecida dicha transformación por la ausencia de O<sub>2</sub> y por la disminución de forma progresiva de la temperatura de maduración.

c) Compuestos de cerveza madura

Los compuestos de cerveza madura transmiten características organolépticas a la cerveza. El contenido de estos compuestos en la cerveza depende de la temperatura de maduración y de la cepa de levadura utilizada.

d) Etapa de reposo

Tras la maduración, se consigue obtener la atenuación de azúcares fermentables prevista. Posteriormente, se lleva a cabo un periodo de reposo para que las partículas en suspensión precipiten. Dichas partículas se tratan fundamentalmente de levadura, polifenoles y proteínas.

En el caso de cervezas de fermentación baja se recomienda que la etapa de reposo se lleve a cabo a una temperatura de 0 ° C, mientras que las cervezas de fermentación alta reposan a 3-4 ° C. En ambos casos el tiempo de reposo suele durar entre 6 y 7 días.

### 2.3.3.2 Equipos para la maduración y reposo

La maduración se puede realizar tanto en depósitos cilíndricos como cilindrocónicos. En el caso de depósitos cilíndricos, estos pueden orientarse tanto horizontal como verticalmente.

En cualquiera de los casos, los depósitos serán cerrados y deben estar dotados de sistemas precisos para el control de temperatura y presión.

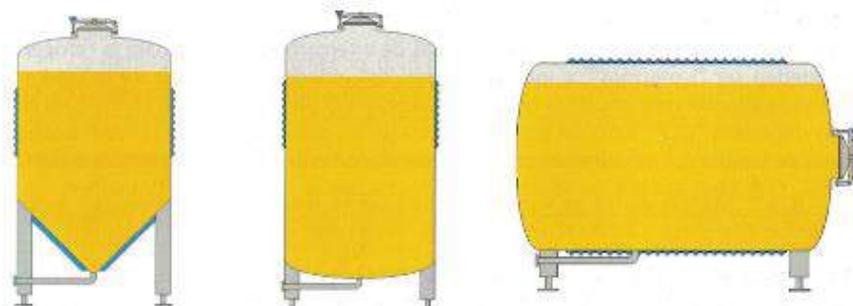


Figura 55: Variedades de depósitos para la maduración de la cerveza.

“La cerveza. Ciencia, tecnología, ingeniería, producción, valoración. J.A Boto Fidalgo, M. Boto Ordóñez. 2017”

En el caso de la empresa Heineken, la cerveza Cruzcampo madura en tanques cilindrocónicos horizontales y la cerveza Heineken en tanques cilíndricos horizontales.

### 2.3.4 Etapa 4. Tratamientos complementarios

Tras los procesos anteriormente descritos, la cerveza se suele someter a tratamientos complementarios para obtener lo que se conoce como cerveza “brillante”.

#### 2.3.4.1 Clarificación

En la clarificación no se utilizan equipos específicos para separar partículas inestables en el tiempo de la cerveza. Este tipo de tratamiento se suele llevar a cabo en cerveza claras que van a ser consumidas a largo plazo.

En la industria cervecera se suelen utilizar dos técnicas de clarificación: decantación natural y decantación forzada.

- Decantación natural

Para llevar a cabo la decantación natural de cerveza se requiere de tiempo y buenos conocimientos relacionados con el manejo de la cerveza. Suelen utilizarse recipientes de baja altura, la temperatura del líquido debe ser baja y el ambiente debe ser estable.

- Decantación forzada

En esta técnica se utilizan productos clarificantes que arrastran y separan las partículas inestables.

El tratamiento de clarificación se utiliza con los siguientes propósitos:

- Separar células de levadura contenidas en la cerveza que en el futuro pueden activarse, precipitar y enturbiar la cerveza. La separación de células de levadura se consigue con un producto clarificante conocido como “isinglas”
- Evitar el enturbiamiento por frío “chill haze” que se produce por la unión de partículas de proteínas y polifenoles. Los factores que intervienen fundamentalmente en el enturbiamiento por frío son la exposición a la oxidación y a la luz, movimiento de la cerveza y mayor temperatura de almacenamiento. El “chill haze” se reduce notablemente si se utiliza en la cocción alga Irish moss, conocido también como k-carrageno.

## 2.3.4.2 Filtración

La filtración tiene como objetivo hacer que la cerveza tenga un mayor grado de conservación de forma que no se produzcan cambios visibles durante un tiempo prolongado. Para ello, se lleva a cabo la separación de células de levaduras y otras sustancias que pueden precipitar por sí solas y enturbiar la cerveza.

### 2.3.4.2.1 Filtración con tierras diatomeas (Kieselgur)

Las tierras diatomeas son extraídas de rocas sedimentarias blancas, muy porosas y ligeras, las cuales presentan unas excelentes propiedades de adsorción. Un filtro de kieselgur tiene capacidad de retener partículas inestables de la cerveza de hasta 0,1 mm de tamaño.

La filtración con tierras diatomeas se lleva a cabo fundamentalmente mediante filtros de precapa. En los filtros de precapa la filtración se hace a través de un medio filtrante, tratándose dicho medio generalmente de tierras diatomeas.

En los filtros de precapa hay que diferenciar entre la formación de precapa y la filtración propiamente dicha.

La filtración se consigue creando torta filtrante formada por tres capas:

- Precapa base.

Esta capa se forma haciendo circular a través del filtro agua desgasificada con partículas gruesas en suspensión de tierras diatomeas. Las partículas se apoyan mutuamente y van formando la capa interna de la torta filtrante.

- Segunda precapa base

Se forma de la misma manera que la anterior, pero esta vez usando tierras diatomeas más finas.

- Dosificación continua

Por último, se va enviando partículas de forma constante para mantener la permeabilidad de la precapa

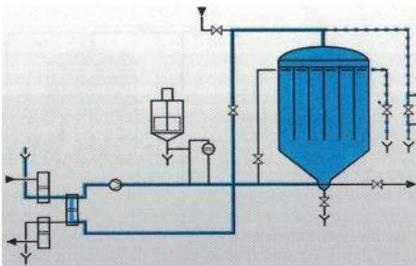
La dosificación de tierras diatomeas se realiza mediante un aparato dosificador compuesto por un recipiente con agitador donde almacena el producto, una bomba centrífuga y una lanza de CO<sub>2</sub> para la gasificación de la suspensión.

En la actualidad, el filtro de precapa más utilizado es el de velas filtrantes, compuesto por un recipiente cilíndrico vertical con fondo cónico y una tapa filtrante de la cual cuelgan velas filtrantes sobre las que se depositan las tierras diatomeas. El modo de operación conlleva las siguientes etapas:

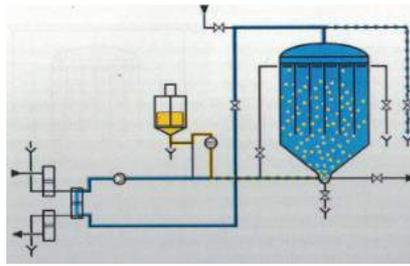
- a) En primer lugar, se llena el filtro con agua desgasificada.
- b) En segundo lugar, se forma la primera precapa filtrante que apoyará sobre las velas filtrantes.
- c) Se forma la segunda precapa base
- d) Posteriormente se inicia la filtración conmutando del agua a la cerveza. La cerveza no filtrada empuja al agua desde abajo hacia arriba, y es filtrada por las velas.
- e) La filtración continua y se va formando una capa de tierras diatomeas cada vez mas gruesa, por lo que la filtración será mas fina. La filtración finaliza cuando se alcanza la presión máxima permitida, cuyo valor es de 6-8 bar.
- f) Una vez finalizada la filtración, el agua empuja a la cerveza desde abajo hacia arriba hasta que sale del filtro.
- g) Una vez liberadas las velas, las tierras diatomeas son extraídas en forma de pasta por medio de aire comprimido.
- h) El siguiente paso consiste en la limpieza del filtro, aplicando agua y aire de forma que las velas se laven desde dentro hacia fuera.
- i) En el último paso se procede a la esterilización del filtro, tuberías y conexiones.



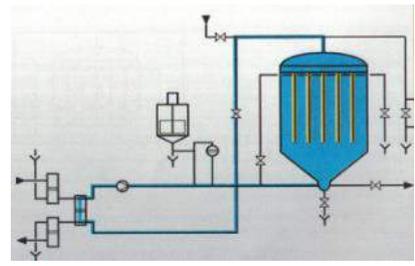
Figura 56: Filtro de tierras diatomeas. Fabricante Czech Brewery Systems



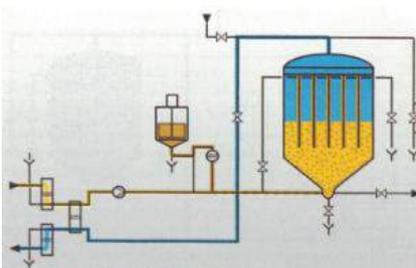
a)



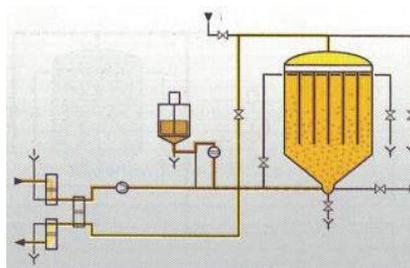
b)



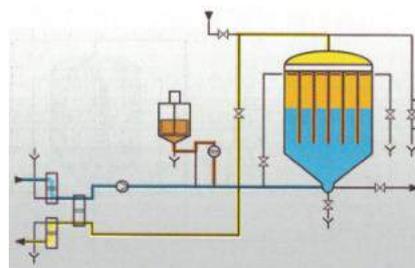
c)



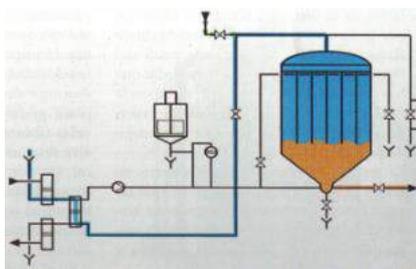
d)



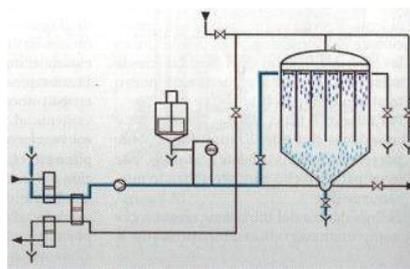
e)



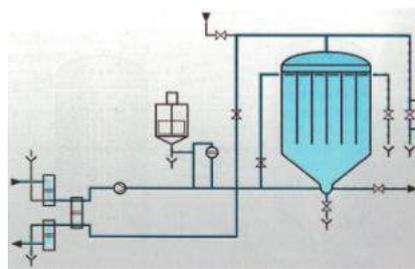
f)



g)



h)



i)

Figura 57: Fases del proceso de filtración con filtro de velas

Estos equipos son muy eficientes, el costo de las tierras diatomeas es relativamente bajo, no suelen producirse obstrucciones durante la filtración, la limpieza de los equipos es relativamente sencilla y permiten automatizar el proceso.

Sin embargo, los equipos suelen requerir una alta inversión inicial y los medios filtrantes requieren de tratamientos especiales tras su utilización, de forma que se mantenga un compromiso con el medio ambiente.

#### 2.3.4.2.2 Filtros de placas

Este tipo de filtro está formando por placas, entre las cuales se colocan placas filtrantes que retienen las partículas cuando por ellas se hace circular la cerveza. Las placas están compuestas por celulosa y tierras diatomeas.

Con este tipo de filtros se consigue una filtración muy fina, y se suelen utilizar como equipo complementario a la filtración con kieselgur.

Los filtros de placas presentan una serie de desventajas, entre las que se encuentran las grandes dimensiones del equipo, los elevados gastos de operación y la limpieza manual que requieren ya que no es posible automatizar el proceso.

#### 2.3.4.2.3 Filtros de membrana

Actualmente, ha ido avanzando de forma creciente la utilización de filtros de membrana en los procesos industriales de elaboración de cerveza. Estos filtros operan haciendo pasar la cerveza a través de unas membranas con una porosidad muy pequeña, en las cuales quedan retenidas las partículas indeseables del producto.

Estos filtros se utilizan fundamentalmente cuando se ha llevado a cabo previamente un proceso exhaustivo de clarificación de la cerveza.

#### 2.3.4.3 Estabilización biológica

En los procesos de transporte y manejo de la cerveza, hay que prestar especial atención a posibles contaminaciones del producto por microorganismos que podrían deteriorar la cerveza hasta convertirla en un producto que no pudiera destinarse al consumo humano.

En las plantas industriales de fabricación de cerveza se suelen establecer una serie de condiciones higiénicas que deben cumplir los trabajadores. Algunas de ellas son las siguientes:

- Vestir con ropa limpia
- Calzar botas en los procesos de limpieza manual de equipos.
- Limpiar y engrasar los grifos para las tomas de muestra.

A pesar del cumplimiento de las medidas de higiene, en la cerveza se encuentra siempre una determinada cantidad de microorganismos como levaduras salvajes y bacterias. Es imprescindible estudiar y detectar en la medida de lo posible cual es la fuente de contaminación, para analizar si se pueden tomar medidas que eviten el contacto de estos microorganismos con la cerveza. Aun así, es inevitable que algunos microorganismos de esta categoría coexistan en la cerveza, por lo que existen una serie de tratamientos que permiten mantener el producto en un estado impecable hasta su fecha de consumo. Estos tratamientos se clasifican en tratamientos térmicos y filtraciones amicrobicas.

##### 2.3.4.3.1 Tratamientos térmicos

Se basan en utilizar calor para eliminar los microorganismos presentes en la cerveza. Estos tratamientos se conocen comúnmente como pasteurización. En estos tratamientos los factores determinantes son la temperatura y el tiempo, cuya combinación recibe el nombre de unidad de

pasteurización UP<sup>45</sup>. Las UP necesarias dependerán del grado de contaminación de la cerveza.

La pasteurización consiste en la eliminación de microorganismos en líquidos mediante un proceso de calentamiento. De esta manera, se consigue estabilizar biológicamente el producto sometiéndolo a una temperatura de 60-85 ° C. Hay que tener en cuenta que cuanto mayor es la temperatura de pasteurización, menor es el tiempo que se requiere para la destrucción de los microorganismos.

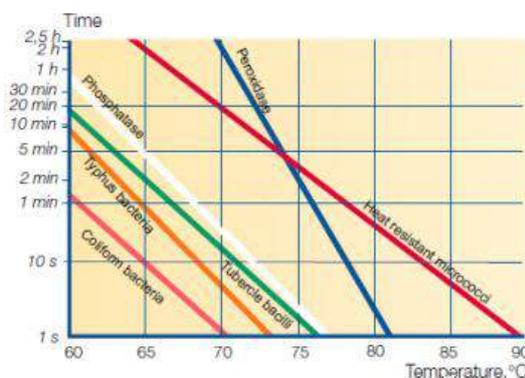


Figura 58: Gráfica temperatura-tiempo de pasteurización para la eliminación de determinados microorganismos

- Pasteurización flash

Esta técnica se aplica a la cerveza antes de ser envasada, sometiéndola a una temperatura de 65-85° C durante 10-15 segundos y dejándola enfriar posteriormente a temperatura ambiente.

Esta técnica es muy eficiente en términos energéticos que los demás tipos de pasteurización. Sin embargo, esta técnica requiere que el manejo de la cerveza sea totalmente aséptico desde que es pasteurizada hasta que se envasa y que la pérdida de CO<sub>2</sub> se evite en la mayor medida posible.

Los equipos más utilizados para la pasteurización flash son intercambiadores de calor para el calentamiento y enfriamiento de la cerveza.



Figura 59: Equipo de pasteurización flash. Fabricante GEA

- Pasteurización de la cerveza envasada

Esta técnica se basa en someter la cerveza una vez envasada a temperaturas de 60-62 ° C durante 10-20 minutos y dejarla enfriar posteriormente a temperatura ambiente. Los equipos más utilizados en la industria cervecera son los pasteurizadores tipo túnel.

<sup>4</sup> En el campo de la cerveza se suelen utilizar 15-20 UP.

<sup>5</sup> Las unidades de pasteurización se calculan según la expresión  $UP = t \cdot 1,393^{(T_p - 60)}$ , siendo t el tiempo en minutos que dura el tratamiento y T<sub>p</sub> la temperatura de pasteurización en ° C.

En estos pasteurizadores se aplican baños de agua a distinta temperatura en secciones diferentes del pasteurizador tipo túnel, de forma que se consiga de forma satisfactoria la estabilización biológica de la cerveza.

Este tipo de técnicas tiene como dificultad conseguir un calentamiento homogéneo de la cerveza, ya que la transmisión de calor tiene lugar a través de las paredes del envase.



Figura 60: Pasteurizador tipo túnel. Fabricante COMAC

#### 2.3.4.3.2 Filtración anacrónica

Consiste en hacer pasar la cerveza por un filtro con un tamaño de poro  $0,45\ \mu\text{m}$ , de forma que todos los microorganismos como levaduras y bacterias queden retenidos. Los equipos más utilizados para la estabilización biológica de la cerveza mediante esta técnica son los filtros de cartucho.



Figura 61: Equipo de microfiltración de cartuchos. Fabricante OSMO

#### 2.3.4.4 Estabilización organoléptica

Conforme aumenta el tiempo de conservación de la cerveza, van apareciendo compuestos indeseables que suponen un deterioro de la cerveza. Este deterioro está condicionado por las características generales de la cerveza y las condiciones de conservación, como nivel de exposición a la luz, temperatura de conservación y el estado del ambiente en el que se encuentra almacenada.

### 2.3.5 Etapa 5. Carbonatación

Generalmente, tras los tratamientos complementarios la cerveza mantiene su contenido de  $\text{CO}_2$ . Sin embargo, en ocasiones la cerveza puede perder contenido de  $\text{CO}_2$  por lo que será necesario realizar un aporte de gas.

La carbonatación se realiza con un equipo que atomiza el  $\text{CO}_2$  y lo disuelve de forma homogénea en la cerveza. El  $\text{CO}_2$  utilizado debe de tener un grado de pureza lo mas alto posible, ya que el oxígeno que se introduce puede repercutir en las características del producto final.



Figura 62: Equipo de carbonatación. Fabricante Termofiger

#### 2.3.5.1 Recuperación del $\text{CO}_2$

El  $\text{CO}_2$  es utilizado en las plantas industriales de cerveza para distintos propósitos, entre los que destacan la carbonatación de cerveza, y el llenado de botellas y barriles.

Una buena medida que supone un ahorro económico importante es la implementación de una planta de recuperación de  $\text{CO}_2$ , de manera que la empresa se abastezca del propio gas formado en el proceso de fermentación. Además, en caso de que las necesidades de utilización de  $\text{CO}_2$  sean menores porque no se lleve a cabo la carbonatación de la cerveza, el anhídrido carbónico recuperado podrá ser vendido a empresas externas convirtiéndolo en una importante fuente de ingresos.

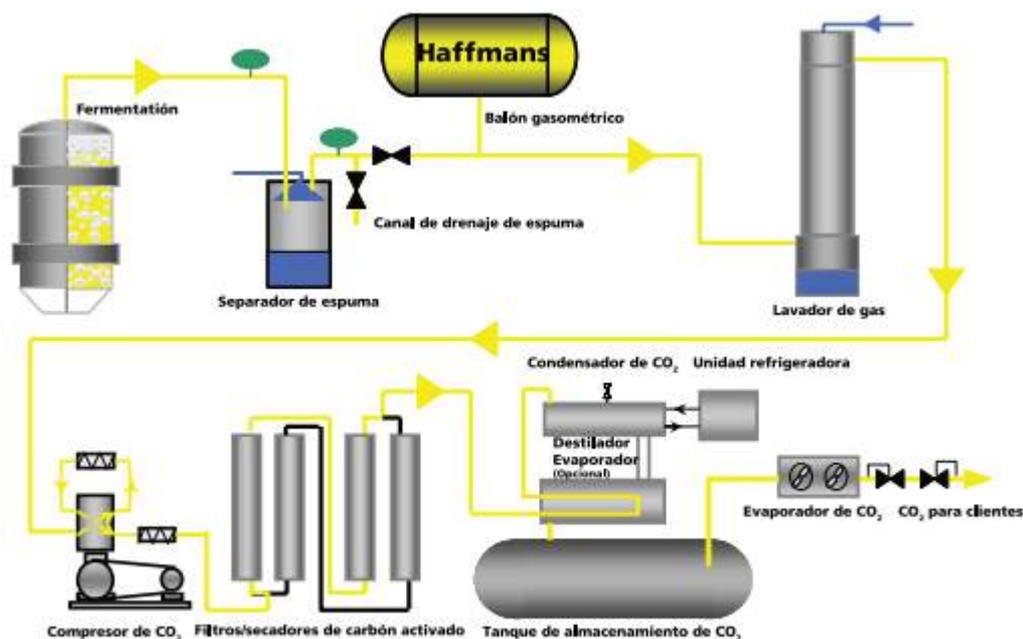


Figura 63: Esquema de una planta de recuperación de  $\text{CO}_2$ . Fabricante Haffmans



Figura 64: Sistema de recuperación de CO<sub>2</sub>

### 2.3.6 Limpieza CIP

En industrias alimentarias es imprescindible mantener unas condiciones higiénicas adecuadas en los procesos, por lo que la limpieza sistemática de las instalaciones debe considerarse una parte imprescindible de la producción y no una opción.

La abreviatura CIP son las singlas en ingles de “Cleaning In Place”, que podría traducirse a nuestro idioma como “limpieza in situ.”

En estos tipos de sistemas la limpieza se lleva a cabo de forma automática mediante la circulación de agua y disoluciones de productos químicos almacenados en unos tanques a través de un sistema de bombeo y tuberías conectadas a los distintos equipos que necesitan limpiarse. Mediante estos productos químicos se consigue eliminar la suciedad y los microorganismos presentes en la superficie de los equipos que están en contacto con el producto. De forma general los sistemas CIP operan en tres etapas:

- Eliminación de suciedad
- Desinfección
- Esterilización

Por otro lado, los sistemas CIP se identifican por cuatro parámetros:

- Tiempo de operación
- Agente químico utilizado para la limpieza, desinfección y esterilización.
- Temperatura de operación, que suele ser elevada para que la limpieza se efectúe con mayor rapidez.
- Frecuencia de operación, es decir, frecuencia entre ciclos de limpieza.

La variación de alguno de los parámetros anteriores altera directamente el resto de los parámetros ya que existe una estrecha relación entre todos ellos.

La función principal de un sistema CIP, además de llevar a cabo las tres etapas de operación previamente

definidas, es la de preparar las soluciones que van a usarse para limpiar, mantener la temperatura adecuada y programar los ciclos de limpieza necesarios controlando la temperatura, caudal y presión.

Los equipos que componen un sistema CIP son fundamentalmente tres depósitos: depósitos para ácido, sosa y agua recuperada. En ocasiones puede usarse un cuarto depósito para almacenar agua de red, aunque en el modelo de tres depósitos esta puede inyectarse directamente en el sistema CIP sin necesidad de almacenarse. Todos los depósitos están conectados al equipo objeto de limpiar, formando un circuito cerrado el cual permite recircular la solución durante el tiempo de limpieza.

Generalmente los sistemas CIP presentan un programa que incluye las siguientes etapas:

- a) En primer lugar, se lleva a cabo un enjuague con agua recuperada a fondo perdido. Esta agua recuperada es una mezcla de agua y sosa obtenida en la última recirculación de la limpieza anterior. Al estar combinada el agua con la sosa, el poder químico que se le otorga a la primera pasada es superior a la que tendría si solo se usara agua.
- b) En la segunda etapa se recircula agua con sosa al 2% de concentración.
- c) En tercer lugar, se lleva a cabo un enjuague con agua de red, la cual se recupera en el depósito de agua recuperada y que se utilizará en el siguiente ciclo.
- d) En la cuarta etapa se recircula ácido, llevando a cabo el lavado de los equipos.
- e) Por último, se realiza un tercer enjuague con agua de red a fondo perdido, es decir, esta agua no se recupera debido a que contiene ácido.

Los sistemas CIP presentan una serie de ventajas frente a los métodos de limpieza convencionales y son las siguientes:

- Por un lado, la automatización del proceso mejora la repetibilidad y la rapidez en que se desarrolla la limpieza.
- Se evita que los operarios trabajen con productos químicos altamente peligrosos, además de usarse unas soluciones con concentraciones siempre iguales debido a la automatización del proceso.
- Es posible disponer de una trazabilidad de cada limpieza, conociendo, así como se ha llevado a cabo cada fase y teniendo conocimiento de las distintas anomalías o incidencias que pueden tener lugar durante el proceso.
- Se consigue optimizar el consumo energético.

A continuación, se muestra un esquema de funcionamiento de un sistema CIP de tres depósitos, representándose cada una de las etapas descritas anteriormente:

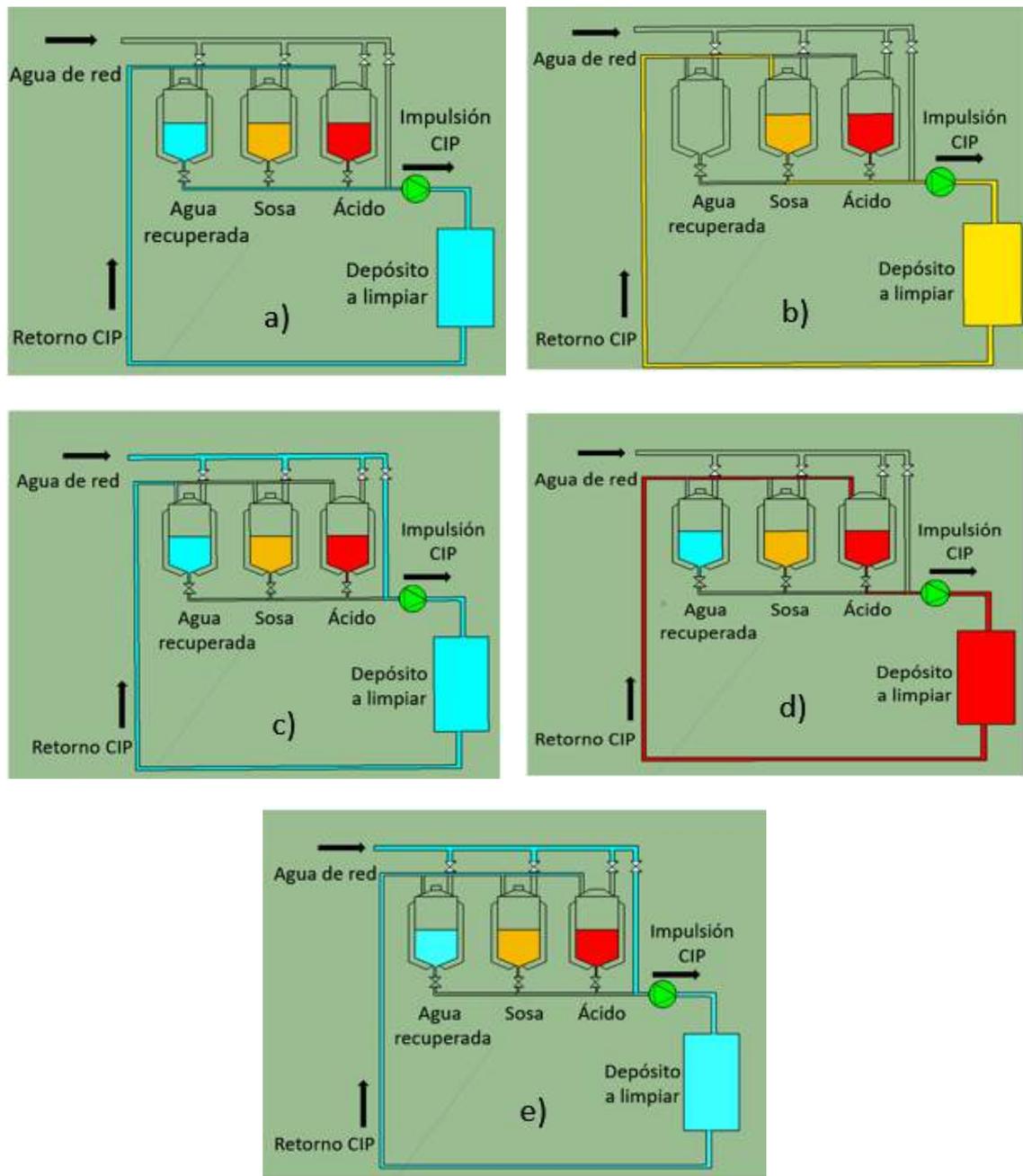


Figura 65: Representación gráfica de las fases del proceso de limpieza CIP

## 2.3.7 Soluciones adoptadas para la elaboración de cerveza

En este punto se va a detallar cuales son las técnicas y equipos utilizados en la planta objeto de este proyecto, haciendo una clasificación en función de la etapa que corresponda.

### 2.3.7.1 Etapa 1

A continuación, se van a desarrollar las soluciones adoptadas referentes a la preparación del mosto antes de la fermentación, tales como la preparación de oxígeno y levaduras.

#### 2.3.7.1.1 Manejo

La aportación de oxígeno al mosto antes de la fermentación se efectuará de forma precisa y en forma de burbujas de tamaño pequeño, para que la solubilidad sea óptima

En cuanto a las levaduras, estas serán retiradas tras el proceso de fermentación y se someterán a tratamientos para favorecer la vitalización de las células. Los tratamientos que se aplicarán son la separación de restos de cerveza y eliminación de CO<sub>2</sub>. Una vez tratadas, se almacenarán en condiciones óptimas en un depósito hasta que se vayan a utilizar en el siguiente ciclo.

### 2.3.7.1.2 Equipos

Para la aportación de oxígeno, se ha optado por utilizar el equipo “wortstar” del fabricante GEA, el cual aporta el oxígeno en línea. Este equipo cuenta con dispositivos de limpieza CIP y con un sistema de esterilización por vapor.

La propagación de levadura se llevará a cabo mediante el equipo “propax” del fabricante Meura. Este equipo dispone de dos recipientes para la activación y almacenamiento de levaduras. Además, cuenta con un sistema de tuberías y bombeo que permite transportar las levaduras vitalizadas a los tanques de fermentación.

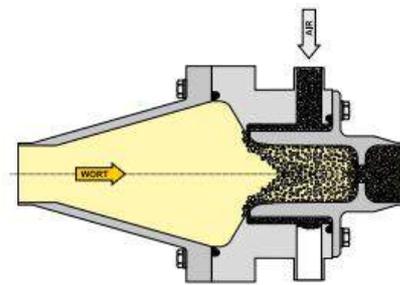


Figura 66: Equipo Wortstar (arriba) y Propax (debajo). Fabricantes GEA y Meura

## 2.3.7.2 Etapa 2

Puesto que la planta ha sido concebida para producir cerveza tipo “lager” y “ale”, se utilizarán levaduras tanto de fermentación alta como baja.

### 2.3.7.2.1 Manejo

La operativa de la fermentación será idéntica a la descrita en el punto 1.3.2.3, de forma que se llenarán los depósitos con el mosto a fermentar, se realizará el aporte de oxígeno y levadura en las cantidades fijadas en función del tipo de cerveza que se vaya a fabricar y se retirarán los restos de levaduras para someterlas a un tratamiento y volver a utilizarlas en el siguiente ciclo.

Tanto en el caso de las cervezas “lager” como “ale”, la fermentación se prolongará durante cinco días. La diferencia en la producción de ambas cervezas radica en el control de temperatura, oxígeno y compuestos nitrogenados.

### 2.3.7.2.2 Equipos

En la planta, se incorporará una sala aislada donde se encontrará el campo de fermentadores. En total se instalarán 40 fermentadores, concebidos en primera instancia para que la mitad se destine a cada tipo de cerveza. Sin embargo, como todos los tanques están dotados de las tuberías y dispositivos adecuados, podrá realizarse la fermentación en cualquier de ellos con independencia del tipo de cerveza a fabricar. Esto dota a la fábrica un carácter flexible.

Las características de los tanques se detallarán a continuación:

- Geometría cilindrocónica
- Van montados sobre cuatro patas ajustables en altura, las cuales se anclarán al suelo.
- Fabricados de acero inoxidable AISI 316.
- Buen acabado superficial.
- Camisas de refrigeración
- Sistema de tuberías de carga y descarga de cerveza y levaduras.
- Válvulas de control de aire.
- Boca de hombre para la limpieza e inspección
- Sensores de temperatura y presión. Indicador de nivel
- Dispositivos de limpieza CIP.
- Volumen de 10.000 litros



Figura 67: Depósito para fermentación con sistema de conducciones para cerveza y levadura

### 2.3.7.3 Etapa 3

La etapa de maduración no se llevará como tal en la fábrica, ya que el contenido de azúcares fermentables residuales tras la fermentación es muy bajo. En caso de que ese contenido sea mayor, se llevará a cabo una etapa de maduración en el mismo tanque de fermentación.

El proceso que si se llevará a cabo será el de reposo, el cual se prolongará dos días desde que finaliza la fermentación.

### 2.3.7.4 Etapa 4.

La cuarta etapa corresponde a los tratamientos complementarios. Concretamente se llevará a cabo una etapa de filtración

#### 2.3.7.4.1 Manejo

La filtración se llevará a cabo mediante tierras diatomeas, las cuales se dosificarán en el equipo correspondiente hasta formar una torta filtrante. Las tierras diatomeas utilizadas, al ser muy porosas, retendrán con eficiencia las partículas inestables de la cerveza.

Las etapas que se llevarán a cabo en la filtración son las descritas en el punto 1.3.4.2.1.

En cuanto a la pasteurización, esta se llevará a cabo una vez la cerveza haya sido envasada. Con este procedimiento se consigue una estabilización biológica de alta calidad mediante la aplicación de baños de agua caliente en diferentes secciones del pasteurizador.

#### 2.3.7.4.2 Equipos

El equipo que se utilizará será un filtro de tierras diatomeas de velas filtrantes, en concreto el modelo “CombiCubeF” del fabricante Krones.

El equipo de pasteurización será de tipo túnel, del fabricante Comac. El equipo estará fabricado de acero inoxidable AISI 304 y en su interior se encuentran los depósitos que alimentan las duchas superiores. En el exterior se encuentran todos los equipos de mando y de control del proceso.

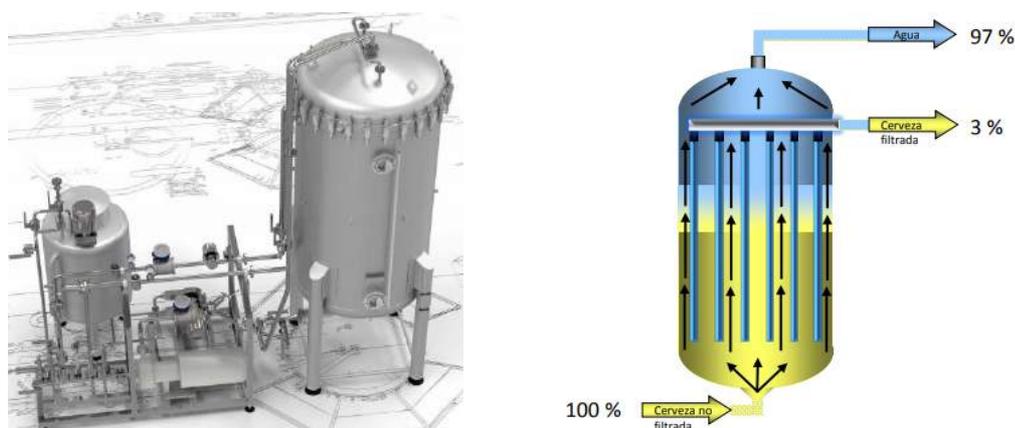


Figura 68: Equipo de filtración “CombiCubeF” de Krones

### 2.3.7.5 Etapa 5

La carbonatación de la cerveza no será necesaria debido a que el contenido de  $\text{CO}_2$  tras la filtración es adecuado.

Se planteará en el futuro instalar un sistema de recuperación de  $\text{CO}_2$ , de forma que se utilizará el gas que se necesite y el resto será vendido a empresas externas.

## 2.4 Elaboración de cerveza sin alcohol

Típicamente suelen incluirse dos clasificaciones o tipos de cerveza, que se recogen en la normal de calidad y de las bebidas de malta:

- Cerveza de bajo contenido en alcohol.

Son cervezas cuyo contenido en alcohol está comprendido entre el 1-3 % vol. Esta variedad de cerveza se consigue reduciendo el contenido de alcohol durante el proceso de obtención del mosto

utilizando técnicas que bien reduzcan el contenido total de extracto soluble, o bien que este tenga menor contenido de azúcares fermentables. Esto se consigue, por ejemplo, controlando la temperatura durante la etapa de maceración. Una vez que se ha obtenido el mosto definitivo, la reducción de alcohol puede llevarse a cabo utilizando determinados tipos de levadura o interrumpiendo la fermentación antes de que termine la transformación de los azúcares fermentables en alcohol.

- Cerveza sin alcohol.

La cerveza sin alcohol es aquella cuya graduación alcohólica es menor al 1% en volumen. Normalmente este tipo de cerveza tiene un 0,0 % vol. Para conseguir cerveza con un contenido muy bajo de alcohol o incluso con un 0,0 % vol., se utilizan técnicas de separación de alcohol una vez que la cerveza está completamente elaborada. Fundamentalmente se utilizan dos métodos: ósmosis inversa y destilación.

La elaboración de cerveza sin alcohol tiene los mismos fundamentos básicos que la fabricación de la cerveza con alcohol. Sin embargo, existen varios procedimientos posibles adicionales que permiten obtener la cerveza sin alcohol. Fundamentalmente existen cuatro métodos: evaporación, rectificación al vacío, ósmosis inversa y detención del proceso de fermentación. A continuación, se explica detalladamente cada uno de los procedimientos, así como las ventajas e inconvenientes que presentan:

- Evaporación

La evaporación se consigue sometiendo a la cerveza en estado líquido a una temperatura cercana al punto de ebullición. Puesto que el etanol se evapora a una temperatura de 79 ° C y el agua a una temperatura de 100 ° C, parece razonable que se puede emplear esta técnica para separar el alcohol del agua. Hay que tener en cuenta que las condiciones de presión afectan al valor de la temperatura para el cual se inicia la ebullición

La cerveza tiene una serie de componentes sensibles al calor, por lo que la temperatura de ebullición para conseguir la evaporación deberá de ser baja y el tiempo en que se lleva a cabo este procedimiento (tiempo de residencia) debe ser corto. Los componentes sensibles al calor, los relacionados con el sabor y el aroma, desaparecen de la cerveza en el proceso de evaporación junto al vapor, por lo que la calidad, aroma y sabor del producto final se verá afectados. Sin embargo, es posible recuperar del vapor estos componentes volátiles mediante la destilación fraccionada, por lo que el producto final una vez desalcoholizado podrá mezclarse con la esencia recuperada de los componentes volátiles. Al reducirse la presión en el evaporador la temperatura de ebullición disminuye.

Los equipos que se emplean para obtener cerveza sin alcohol según este procedimiento son los evaporadores, en concreto los evaporadores de tubos largos. Estos tubos están formados por una cámara vertical que contiene intercambiadores de calor en forma de tubo. Para calentar el producto y conseguir la temperatura de ebullición se suele utilizar vapor, el cual condensará finalmente dentro de la cámara. Tal y como se dijo antes, es importante que el tiempo de residencia sea corto y se pueda variar la presión de operación para disminuir la temperatura, por lo que estos equipos son los más recomendados cuando se trata de productos que contienen componentes sensibles al calor.

Aunque los evaporadores de tubos largos son los más utilizados, pueden utilizarse también evaporadores de placas, los cuales permiten también conseguir tiempos de residencia cortos además de presentar como ventaja un rápido y fácil desmontaje y limpieza. Los equipos auxiliares que se necesitan para este procedimiento son condensadores de vapor, bomba de vacío y columna de conos giratorios, esta última para recuperar el aroma y sabor volatilizado junto al vapor.

La columna de conos giratorios, conocida como tecnología CCR, es una técnica que permite reducir el contenido de alcohol sin pérdidas de aroma y sabor. El equipo consiste en una columna vertical de acero inoxidable que tiene un eje en el centro que gira y una serie de conos invertidos conectados al eje y otros conectados a la pared de la columna. Estos conos permiten eliminar de forma suave los componentes volátiles. El aroma se elimina en una primera pasada por el cono rotatorio, y se almacena para que pueda añadirse posteriormente. En la segunda pasada el alcohol es eliminado. La cerveza entra por la parte superior de la columna y pasa por la superficie del primer cono que está

fijo, saliendo posteriormente por la parte inferior del cono y sobre el cono rotatorio. La fuerza centrífuga trabaja creando una capa de líquido que se mueve hacia arriba y hacia fuera sobre la capa superior del cono segundo, cayendo el líquido sobre el cono fijo y se repite el proceso hasta que el líquido llegue a la parte inferior de la columna.

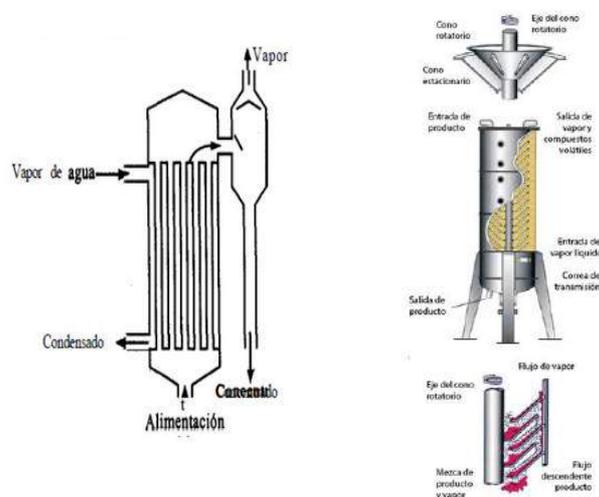


Figura 69: Evaporador (izda) y columna de tubos giratorios (dcha). Fabricante Conetech

- Rectificación continua al vacío

La rectificación continua al vacío permite alcanzar concentraciones de alcohol inferiores al 0,1 % vol., respetándose en todo momento el aroma. El alcohol separado se obtiene en forma de producto concentrado, por lo que es posible su posterior comercialización.

El proceso para obtener cerveza sin alcohol mediante este procedimiento es el mismo que el que se usa para la cerveza con alcohol. La única diferencia es que, tras el último proceso de la fabricación común, la cerveza se introduce en un intercambiador de placas y se calienta hasta alcanzar una temperatura de 42° C. Después del intercambiador, el producto pasa a un ventilador donde el CO<sub>2</sub> es eliminado, ya que este compuesto dificulta la desalcoholización. Una vez que la cerveza está libre de CO<sub>2</sub>, esta es transportada a la salida de la columna de rectificación y fluye hacia arriba, donde se produce un intercambio de sustancias de destilación y se acumula el alcohol en la fase de vapor. Con el fin de mantener el nivel de rectificación, la cerveza es conducida a un evaporador de flujo descendente para extraer la energía requerida. Por última la cerveza es enfriada en dos etapas: primero mediante recuperación térmica y segundo mediante una sección de enfriamiento para que alcance la temperatura final para almacenarla.

Mediante este proceso las sustancias aromáticas se conservan. Además, es un proceso fácilmente implementable en una industria debido a que se trata simplemente de una fase adicional tras el proceso convencional de fabricación de cerveza.

- Ósmosis inversa

El procedimiento de desalcoholización mediante ósmosis inversa se basa en el uso de una membrana para separar los solutos de pesos moleculares diferentes de la solución, es decir, separa moléculas con un peso de molecular bajo con un tamaño comparable a las moléculas de agua. Existen membranas de diferentes materiales: de acetato de celulosa, de poliamida y poliamidas aromáticas.

Las membranas de acetato de celulosa se hidrolizan con cambios de pH y temperatura y presentan una buena resistencia a agentes oxidantes.

Las membranas de poliamidas se usan para altas presiones de operación, no sufren hidrólisis a altas presiones ni por cambios de pH y temperatura, además de presentar una buena resistencia a ataque enzimáticos y microbianos.

Por otro lado, las poliamidas aromáticas se usan para presiones bajas de operación y presentan un elevado rechazo a la sílice, son muy resistentes a cambios de pH y temperatura y muy sensibles a los agentes oxidantes.

La principal ventaja que presenta esta técnica es que los compuestos volátiles de la cerveza se conservan debido a que no existe calentamiento en el proceso. Sin embargo, presenta como inconvenientes el alto coste de la instalación, puesta en marcha y mantenimiento y el bajo rendimiento que posee. Si bien hay que decir que el producto final tendrá una calidad elevada debido a que no existen en ningún momento tratamiento térmico.

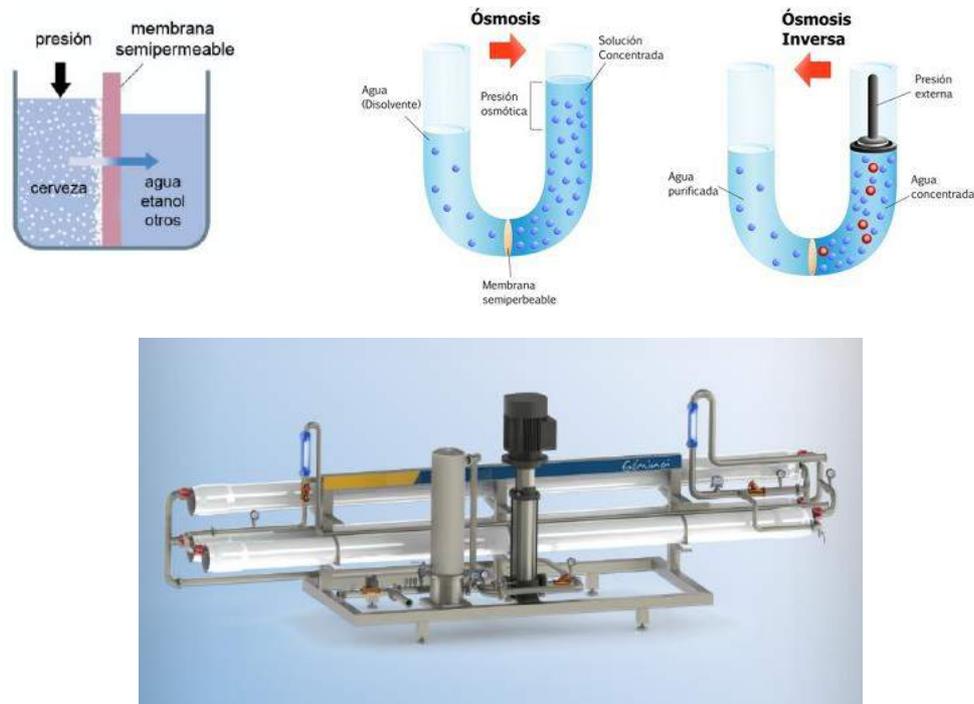


Figura 70: Proceso y equipo para la ósmosis inversa

- Control del proceso de fermentación

Para evitar obtener cerveza con alta concentración de etanol, parece razonable limitar la cantidad de azúcares que pueden agotarse durante la fermentación. Sin embargo, quedarían restos de azúcares que pueden fermentar y convertirse en alcohol, lo que haría que el producto fuese microbiológicamente inestable ya que pueden proliferar hongos y bacterias. Por tanto, es necesario esterilizar el producto usando sustancias químicas y conservarlo a unas temperaturas adecuadas de forma que los microorganismos permanezcan inactivos.

Otra forma de conseguir cervezas sin alcohol es llevar a cabo la fermentación combinando altas y bajas temperaturas.

Sin embargo, un método que parece más eficiente es llevar a cabo el proceso de fermentación a una temperatura baja, de tal forma que el mosto se inocula con la levadura, permaneciendo está en suspensión. De esta forma el metabolismo de la levadura está limitado y la cantidad de azúcares que se convierten en alcohol es muy pequeña. Esta técnica tiene como desventaja que el producto final tiene una calidad inferior.

La principal desventaja común a los anteriores procesos descritos en cuanto al control del proceso de fermentación es que se generan ésteres y alcoholes superiores que dan como resultado un sabor y olor desagradable.

## 2.5 Envasado de la cerveza

La cerveza se suele comercializar en envases que pueden ser botellas de vidrio, plástico, latas o barriles. En el año 2015, la Asociación Nacional Empresarial de la Industria Cervecera en España elaboró un informe socioeconómico del sector cervecero que arrojó como resultados los porcentajes de envases más distribuidos, estando en primera posición las botellas con un 42 %, le sigue las latas con un 30 % y en la cola los barriles con un 28 %.

### 2.5.1 Embotellado

Las botellas utilizadas como envase en la industria cervecera pueden ser de diferentes tamaños, variando normalmente entre 20 y 100 cl, y pueden ser retornables o no retornables. El vidrio utilizado es de color oscuro para evitar la degradación de la cerveza por la exposición a la luz. Para los cierres se utilizan tapones corona normalizados o, aunque son menos comunes, cierres de estribo.

Durante el proceso de llenado es fundamental mantener el contenido de  $\text{CO}_2$  en la cerveza, por lo que se recurre a una técnica conocida como llenado isobárico por contrapresión.

Antes del embotellado, es importante disponer de un equipo que inspeccione el estado de las botellas con el fin de localizar posibles defectos.

El proceso de llenado isobárico implica las siguientes etapas:

- En primer lugar, el aire de la botella se extrae para evitar la presencia de oxígeno.
- Posteriormente, se llena la botella de  $\text{CO}_2$  procedente del mismo depósito que almacena la cerveza para ser envasada.
- La botella se llena por gravedad a la vez que el  $\text{CO}_2$  es expulsado y devuelto al depósito de cerveza.
- Se completa el llenado de la botella
- El gas de la superficie del líquido se descomprime para que no se mezcle con el producto.

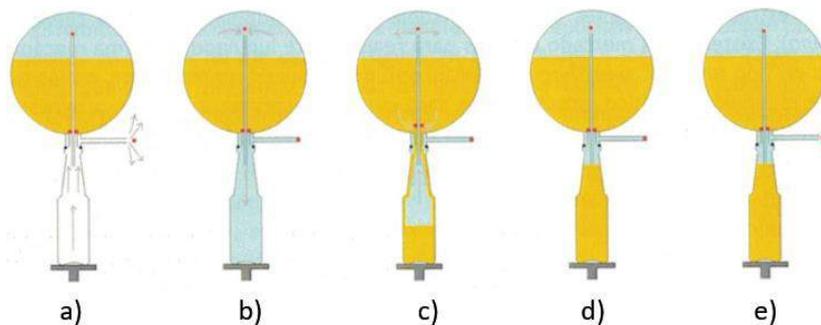


Figura 71: Fases del proceso de llenado isobárico

### 2.5.2 Embarrilado

Los barriles de cerveza que se utilizan como envase para la cerveza en grandes cantidades, son recipientes cilíndricos de acero inoxidable alimentario y reutilizables. Los formatos que se comercializan de barriles son de 16, 20,25,30 y 50 litros.

Los barriles cuentan en su parte superior con un orificio al que se adapta un conector. Por dicho orificio se introduce el gas en el interior del recipiente y la cerveza sale hasta los grifos.

El embarrilado implica dos operaciones: el lavado de los barriles y el llenado. En la mayoría de las plantas industriales estos procesos se realizan de forma automática.

El llenado de los barriles se efectúa siguiendo los siguientes pasos:

- Se montan los conectores.
- El  $\text{CO}_2$  es cargado en el barril.

- c) Se procede al llenado del barril con cerveza, de forma que se establezcan tres periodos en los cuales la velocidad de la carga vaya variando. En el primer periodo se carga la cerveza lentamente, en el segundo de forma rápida y en el tercer periodo se vuelve a disminuir la velocidad de carga.
- d) Se pesan los barriles y se cierran los conectores.

### 2.5.3 Solución adoptada para el envasado

En la planta industrial de este proyecto solamente se comercializará la cerveza en botellas de vidrio de 33 cl. El envasado se llevará a cabo siguiendo las etapas del llenado isobárico, para lo cual se utilizará una estación llenadora que dispondrá de un depósito para almacenar la cerveza hasta que se lleva a cabo su dosificación en las botellas.

## 2.6 Gestión y programación de la producción

En este apartado se va a explicar cómo se va a gestionar la llegada de materias primas, su almacenamiento, consumo, tiempos y cantidad de fabricación de la cerveza, envasado y almacenamiento del producto final.

### 2.6.1 Recepción de materias primas

El almacenamiento de la cebada se realizará en cuatro silos, teniendo unas dimensiones cada uno de ellos de 6 m de altura y 4 m de diámetro, lo que supone un volumen aproximado de 75 m<sup>3</sup>.

Para calcular la cantidad de malta supondremos que está ocupará un 90 % de la capacidad total del silo, lo que supone un volumen de 67 m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que la densidad de la malta es de 600 kg / m<sup>3</sup>, se calcula que en cada silo cabe aproximadamente 40.200 kg de malta.

Asumiendo que el consumo diario de malta será de 15.420 kg y estableciendo que la recepción de materias primas se realizará cada cinco días, se necesitará un total de 77.100 kg de malta para cubrir la producción de cinco días completos.

Con estos datos, se establece que cada cinco días se recepcionará la materia prima y se llenarán dos silos completos. El número de camiones dependerá de la capacidad de cada uno de ellos para proveer a la fábrica de la cantidad de materia prima necesaria.

Capacidad total de cada silo	Capacidad útil de cada silo	Cantidad de malta en cada silo	Consumo de malta en cinco días	Intervalo de tiempo entre recepción de materia prima
75 m <sup>3</sup>	67 m <sup>3</sup>	42.000 kg	77.100 kg	5 días

Tabla 4: Gestión de la recepción de materias primas

### 2.6.2 Programación de la producción

La programación de la producción se ha realizado suponiendo un nivel de producción óptimo sin paradas, existiendo dos turnos de trabajo por día. El primer turno tendrá un horario de 7:00 h a 15:00 h y el segundo turno de 15:00 h a 22:00 h. El viernes no operarán las líneas para la obtención del mosto.

El cálculo se ha realizado teniendo en cuenta que la capacidad total aproximada de la cuba de maceración es de 14 m<sup>3</sup> y que el volumen ocupado por la mezcla es el 75 % del volumen total, lo que se traduce en 10,6 m<sup>3</sup> (10.600 litros).

La proporción de agua y malta que se utilizará será 5:1, es decir, 5 litros de agua por cada kilogramo de

malta. Además, hay que tener en cuenta que los 10.600 litros de capacidad útil del macerador será ocupado por la mezcla de agua y cebada. Por otro lado, se sabe que 1 kg de malta ocupa un volumen de 0,0016 m<sup>3</sup> (1,6 litros).

Con todo lo anterior se obtiene que el volumen de agua y de malta ocupado en la cuba de maceración es de 8.030 y 2.570 litros, respectivamente.

Los 2.570 litros de malta tienen una masa de 1.542 kilogramos, por lo que suponiendo dos turnos al día y sabiendo que existen cinco líneas de producción, se obtiene un consumo diario de malta de 15.420 kg.

Por otro lado, se estimará que la cantidad de cerveza producida a partir de la malta consumida será tal que a partir de 17 kg de malta se obtendrán 100 litros de cerveza. Asumiendo esto, con 15.420 kg de malta se obtendrán 90.700 litros de cerveza diaria. La necesidad diaria de agua para la producción del mosto será de 80.300 litros, teniendo en cuenta al igual que antes que en cada cuba de maceración habrá 8.030 litros de agua, hay cinco líneas de producción y existirán dos turnos diarios de trabajo.

<b>Volumen de trabajo funcionado las cinco líneas</b>				
<b>Capacidad útil de la cuba de maceración</b>	<b>Necesidades diarias de malta</b>	<b>Necesidades diarias de agua</b>	<b>Cantidad diaria de cerveza producida</b>	<b>Turnos de trabajo (L-J)</b>
10.600 litros	15.420 kg	80.300 litros	90.700	2

Tabla 5: Volumen de trabajo a pleno rendimiento

Nótese que en la estimación anterior no se ha distinguido entre la producción de los dos tipos de cerveza, sino que se ha tratado por igual la producción de cerveza “lager” y “ale”. Las cantidades anteriores variarán en función de la demanda del mercado y del rendimiento de la fábrica.

En condiciones normales de producción, se utilizarán dos líneas para la producción de cervezas lager y otras dos para las cervezas ale. La quinta línea será flexible, y producirá la cerveza que se demande.

Cada línea producirá una cantidad aproximada de mosto de 9.070 litros en cada turno. Teniendo en cuenta que la capacidad total de cada fermentador es de 12.500 litros y que el volumen ocupado por el mosto será aproximadamente el 75 % del volumen total del tanque, en cada turno las líneas producirán la cantidad de mosto necesaria para llenar un fermentador completo.

Por otro lado, hay que destacar que la programación que se muestra más adelante corresponde a una semana, repitiéndose el mismo patrón durante el resto del mes.

El proceso de fermentación durará 5 días, y se dejará reposar en el recipiente 48 horas tras retirar las levaduras del tanque. Puede observarse en la programación que los viernes no operarán las líneas de producción de mosto, dedicándose este día de la semana para el mantenimiento, limpieza y ajuste de los equipos. El envasado y almacén se mantendrán operativos todos los días laborales de la semana.

		<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>Jueves</b>	<b>Viernes</b>	<b>Sábado</b>	<b>Domingo</b>
<b>LAGER</b>	<b>Línea 1</b>	Ferm. 1-2	Ferm. 1-4	Ferm. 1-6	Ferm. 1-8	Ferm. 1-8	Ferm. 1-8	Ferm. 1-8
	<b>Línea 2</b>	Ferm. 9-10	Ferm. 9-12	Ferm. 9-14	Ferm. 9-16	Ferm. 9-16	Ferm. 9-16	Ferm. 9-16
<b>FLEXIBLE</b>	<b>Línea 3</b>	Ferm. 17-18	Ferm. 17-20	Ferm. 17-22	Ferm. 17-24	Ferm. 17-24	Ferm. 17-24	Ferm. 17-24
<b>ALE</b>	<b>Línea 4</b>	Ferm. 25-26	Ferm. 25-28	Ferm. 25-30	Ferm. 25-32	Ferm. 25-32	Ferm. 25-32	Ferm. 25-32
	<b>Línea 5</b>	Ferm. 33-34	Ferm. 33-36	Ferm. 33-38	Ferm. 33-40	Ferm. 33-40	Ferm. 33-40	Ferm. 33-40

Tabla 6: Programación de la producción

Una vez finalizada la fermentación, la cerveza será filtrada con tierras diatomeas y posteriormente se almacenará en los tanques buffer. Se instalará un total de seis tanques con una capacidad de 75 m<sup>3</sup>, por lo que entre todos ellos podrán almacenar la cerveza producida durante 5 días antes de que sea enviada a la nave de envasado. Hay que destacar que a pesar de que los tanques pueden almacenar cualquiera de los dos tipos de cerveza, se deberán limpiar adecuadamente cuando se vacíen con el fin de que no se mezclen las dos variedades de producto.

### 2.6.3 Envasado y almacenamiento del producto final

Como se comentó previamente, la cerveza se envasará en botellines de 33 cl. Los botellines se introducirán en cajas con una capacidad de 30 botellines. A continuación, se dispondrán 8 cajas para formar cada capa del palé, el cual se completará cuando se apilen cinco capas. Haciendo cálculos se obtiene que cada palé contiene 1.200 botellines.

Los palés serán almacenados en las estanterías y se clasificarán en función del tipo de cerveza. No obstante, en caso de que se envase mayor cantidad de un tipo de cerveza podrá utilizarse un mayor número de estanterías para esa variedad.

En cuanto al almacenamiento, se podrá almacenar los palés en los cuatro alveolos de las estanterías, teniendo cada uno de ellos unas dimensiones tales que pueden albergar hasta un máximo de tres palés.

En el almacén se ha destinado un total de 40 estanterías para el almacenamiento del producto terminado. Teniendo en cuenta que en cada estantería se puede almacenar un máximo de 12 palés, el almacén tiene una capacidad total para 480 palés de producto terminado, que en términos de número de botellines supondría un total de 576.000. Suponiendo un volumen de producción máximo (90.700 litros de cerveza / día), en el almacén podrá haber palés de producto terminado hasta un máximo de 2 días.

Por otro lado, en relación con el almacenamiento de envases vacíos, en el almacén hay 24 estanterías reservadas para este fin en cada una de las cuales pueden almacenarse 12 palés, lo que hace un total de 345.600 botellines. Suponiendo que se envasen al día 275.000 botellines (90.700 litros de cerveza), la recepción de botellines vacíos para el envasado del producto deberá establecerse cada día de la semana de lunes a viernes.

Producto envasado					
Volumen de producción diario (litros)	Nº de estanterías reservadas	Nº de palés por estantería	Nº de botellines por palé	Cantidad total de botellines llenos en el almacén	Cantidad diaria de botellines envasados
90.700	40	12	1.200	576.000	275.000
Envases vacíos					
Volumen de producción diario (litros)	Nº de estanterías reservadas	Nº de palés por estantería	Nº de botellines por palé	Cantidad total de botellines llenos en el almacén	Cantidad diaria de botellines envasados
90.700	24	12	1.300	374.400	275.000

Tabla 7: Gestión del almacenamiento

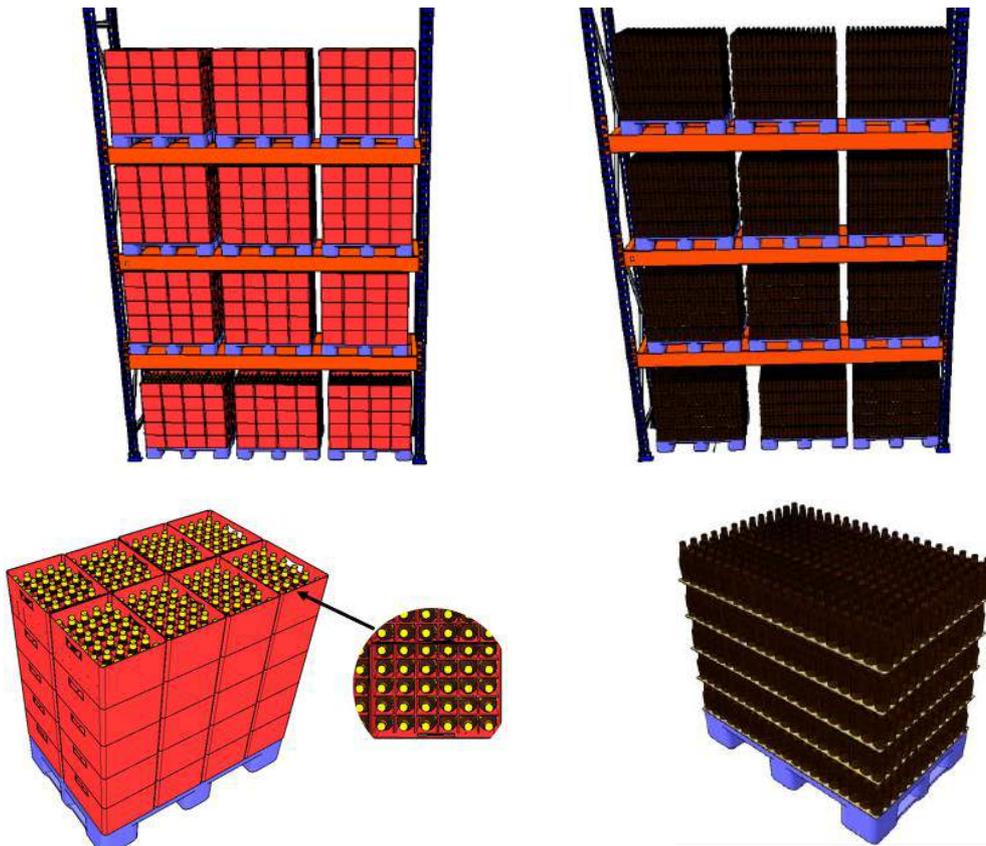


Figura 72: Almacenamiento y embalaje de producto terminado (izquierda) y envases vacíos (derecha)

## 2.7 ATEX

En la industria cervecera, durante las actividades de manejo de granos y cereales en espacios cerrados, una parte del polvo contenido en dichos productos se mantiene en suspensión en el ambiente formándose lo que se conoce como atmósfera explosiva. De forma un poco más concreta, por atmósfera explosiva se entiende toda mezcla, en condiciones atmosféricas, de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o polvo de forma que tras la ignición la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada.

El caso comentado al principio es solo un caso particular, de forma que generalmente se distinguen dos tipos de atmósferas explosivas:

- Atmósferas con polvo explosivo
- Atmósfera de gas explosiva

La principal diferencia entre ellos es que, en el primer caso, la mezcla está constituida por aire con sustancias inflamables en forma de polvo mientras que en la segunda la mezcla está formada por aire y una sustancia inflamable en estado de gas o vapor.

Actualmente, la legislación vigente que regula la normativa de seguridad laboral y la normativa de seguridad industrial en atmósferas explosivas son el RD 681/2003 y la Directiva 2014/34/UE, respectivamente.

Por otro lado, los parámetros que definen una atmósfera explosiva debido a la presencia de sustancia combustible en forma de polvo son los siguientes:

Parámetro	Definición
Concentración mínima de explosión	Concentración mínima por debajo de la cual la mezcla no es explosiva.
Temperatura mínima de ignición a nube (TIN)	Temperatura a la cual el desprendimiento de polvo es suficiente para que se produzca la ignición a través de un foco externo que aporte energía
Temperatura mínima de ignición en capa (TIC)	Temperatura máxima que puede alcanzar un material sin que se convierta en un foco de ignición.
Energía mínima de ignición (EMI).	Se define como la energía que es necesaria aportar a una atmósfera explosiva para que se produzca la inflamación.
Concentración máxima de oxígeno permitida	Concentración máxima de oxígeno a la cual no se produce la explosión
Presión máxima de explosión	Máxima presión alcanzada durante la explosión.
Gradiente máxima de presión.	Velocidad con la que crece la presión cuando se ha producido la explosión.

Tabla 8: Parámetros que caracterizan una atmósfera explosiva

Los espacios con presencia de gases inflamables y/o polvo combustible se clasifican en zonas ATEX. De esta manera es posible determinar la probabilidad de que se forme una atmósfera explosiva que en el peor de los casos concluya con una expansión de la explosión.

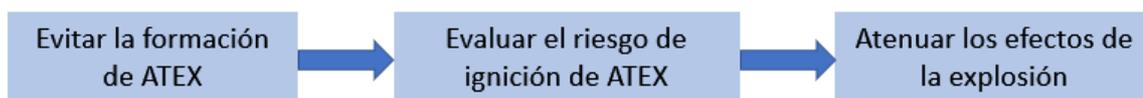
Las zonas con presencia de polvo combustible se clasifican en las siguientes zonas:

- Zona 20: son zonas en las que existe o puede existir polvo combustible durante las operaciones normales de funcionamiento y operación en una cantidad suficiente para producir atmósfera explosiva.
- Zona 21: la capa de polvo es probable que se forme en condiciones normales de operación.
- Zona 22: es poco probable la presencia de polvo combustible y en caso de que lo hubiera permanecería durante un período de tiempo corto.

Por otro lado, las zonas con presencia de gases inflamables se clasifican de la siguiente forma:

- Zona 0: existen gases inflamables permanentemente o durante largos periodos de tiempo.
- Zona 1: es probable que se formen gases inflamables en condiciones normales de operación.
- Zona 2: es poco probable que se formen gases inflamables que puedan inducir a una explosión o en caso de que se formará permanecerían durante períodos de tiempo cortos.

En industrias con zonas ATEX como la industria química, centrales eléctricas, talleres de pinturas, industria alimentaria y farmacéutica, los empresarios están obligados a, en primer lugar, tomar medidas preventivas para disminuir la probabilidad de que se produzca una explosión, y, en segundo lugar, llevar a cabo las medidas de protección oportunas para que en caso de que el riesgo se materialice la seguridad de los trabajadores quede garantizada.



## 2.7.1 Medidas preventivas

Tal y como se ha comentado, las medidas preventivas se basan en disminuir la probabilidad de que tenga lugar una explosión. Por ello, resulta obvio que una de las mejores prácticas que se pueden llevar a cabo es la limpieza de las instalaciones, de forma que se elimine todo el polvo en las zonas donde se produzcan. A menudo se utilizan aspiradores manuales de polvo con certificación ATEX para limpiar la superficie de los equipos, suelo e instalaciones.

Por otro lado, otra medida preventiva en zonas ATEX con presencia de polvo combustible consiste en instalar campanas y venturitis que capturen el polvo del ambiente. El aire cargado de polvo es conducido a un filtro de mangas donde el polvo quedará retenido en las telas y el aire limpio será expulsado al exterior mediante la impulsión de un ventilador centrífugo. Otros equipos que se utilizan también son los ciclones.



Figura 73: Aspirador ATEX (izda) y filtro de mangas (dcha)



Figura 74: Filtro de mangas (izda) y ventilador centrífugo (dcha). Heineken Sevilla.

Hoy en día, otra técnica preventiva que se utiliza con bastante frecuencia es la inertización. Los sistemas de inertización controlan y modifican las condiciones de formación de una atmósfera explosiva mediante la sustitución de oxígeno por un gas inerte como el nitrógeno, dióxido de carbono u otros gases nobles.

## 2.7.2 Medidas de protección de las explosiones

En cuanto a la protección de las explosiones, el objetivo es reducir al mínimo los daños causados por una explosión. Además, de acuerdo con la Directiva ATEX, es imprescindible evitar que la explosión se propague ya que en la mayoría de los casos las explosiones secundarias producen más daños que la explosión primitiva. Una vez comentado esto, los métodos de protección que se suelen utilizar son los siguientes:

- Contención  
Los equipos deberán estar diseñados para soportar la presión de explosión máxima.
- Venteo  
Generalmente se utilizan paneles de venteo que funcionan cuando se alcanza la presión de diseño, de forma que se reduce la presión en el equipo.
- Supresión  
Se instalan detectores que activan la inyección de un agente químico supresor impidiendo que existan altas presiones en la explosión.

Otro factor muy importante en la protección de explosiones es el aislamiento, de forma que en caso de explosión se dispongan equipos que evite que la explosión se transfiera a otros equipos de la instalación conectados. Habitualmente se utilizan válvulas de aislamiento.

Los equipos más utilizados para la protección de explosiones son los supresores, paneles de venteo con o sin apagallamas, discos de ruptura y válvulas de aislamiento.



Figura 75: Paneles de venteo con apagallamas (dcha) y válvula de aislamiento (izda). Heineken Sevilla.

### 2.7.3 Electroestática ATEX

Los sólidos y polvos no conductores tienen capacidad de producir descargas electrostáticas que en presencia de una atmósfera explosiva podrían ser causa de ignición de polvos y gases inflamables dando lugar a explosiones e incendios.

La técnica más utilizada para prevenir explosiones causados por electroestática es la conexión a tierra de instalaciones, camiones y big bags.

Además, los operarios que trabajen en ambientes ATEX deberán utilizar calzados, vestimentas y protecciones que eviten la producción de una explosión por electroestática.

Por otro lado, en componentes conductores de una instalación en un ambiente ATEX deberán instalarse conexiones equipotenciales entre dichos equipos.



Figura 76: Puesta a tierra de camiones (izda) y conexiones equipotenciales (dcha)

## 2.7.4 Soluciones adoptadas

En la planta objeto de diseño de proyecto, concretamente en el edificio de descarga y limpieza, las actividades de manejo de los granos de malta hacen que el ambiente deba considerarse como ATEX de acuerdo con la definición dada al comienzo del punto 2.6.

En primer lugar, es necesario clasificar las zonas ATEX en función de la probabilidad que existe de que se forme nubes de polvo y se produzca una explosión. Particularmente, el edificio de descarga y limpieza, galería subterránea y el edificio de molienda serán zona 22 mientras que el silo se considerará zona 20.

Las medidas preventivas que se utilizarán serán aspiradores de polvo ATEX, venturitis y filtros de mangas. Se dispondrán captadores de polvo en cada una de las plantas del edificio de limpieza para asegurar que durante el tiempo de operación el ambiente está limpio.

Las medidas correctivas que se utilizarán serán paneles de venteo con apagallamas en las zonas inferiores y superiores de cada elevador de cangilones, supresores y válvulas de aislamiento entre conexiones de diferentes equipos.

En cuanto a la electrostática, se dispondrá de un sistema ATEX de puesta a tierra con pinzas en la zona de descarga de camiones. Además, todos los diferentes componentes conductores de los equipos se unirán mediante conexiones equipotenciales.

En los silos se recurrirá a un sistema de inertización de forma que la concentración de oxígeno existente en el interior del silo se controle mediante la adición de un gas noble.

En el edificio de molienda, solamente se colocarán paneles de venteo con apagallamas en el elevador de cangilones y una válvula de aislamiento en las conducciones hasta los molinos. No será necesario inertizar los molinos ni tolvas debido a que en el proceso de molienda se utilizará agua, lo que elimina la presencia de polvo en la superficie de los granos.

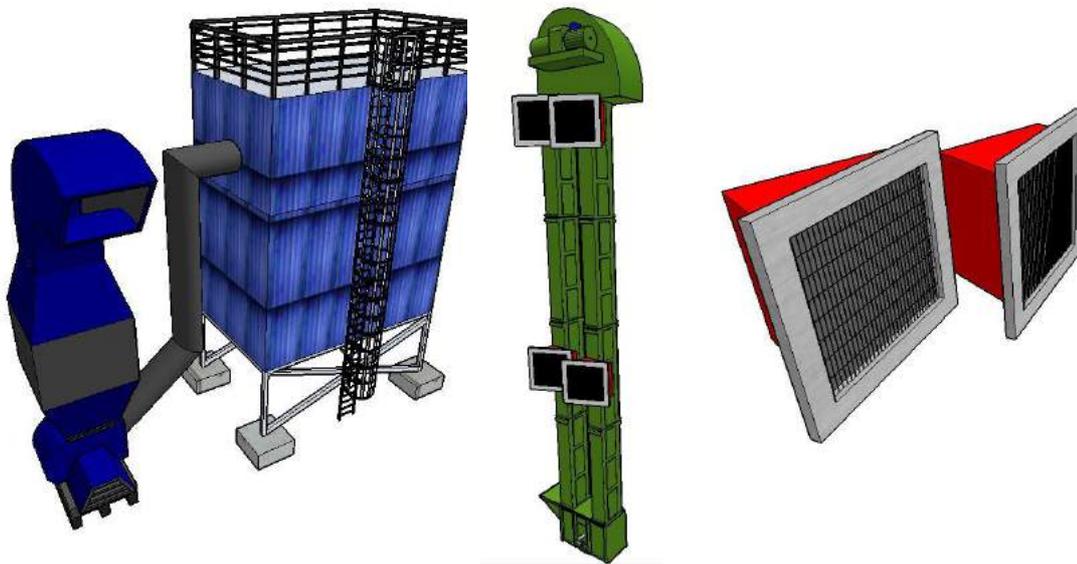


Figura 77: Filtro de mangas, elevador de cangilones y paneles de venteo con apagallamas

## 3 Control de calidad

**E**l control de calidad es un factor determinante que hace que un mismo producto fabricado por empresas distintas se venda en un mayor número de unidades y cause la satisfacción de los clientes directos e indirectos a los que llega ese producto. Por tanto, es imprescindible llevar a cabo análisis, test y pruebas que aseguren que el producto que se va a comercializar tiene las características adecuadas y está a la altura de las expectativas del consumidor.

En el mundo de la industria cervecera, el control de calidad puede ser llevado a cabo por la propia empresa o bien subcontratar esta tarea a empresas externas, aunque esta segunda es menor habitual. En el caso que nos ocupa, todas las valoraciones, controles y análisis que se llevarán a cabo serán realizados por trabajadores propios de la plantilla de la empresa.

Con el objetivo de dividir de forma clara y concisa cada una de las actividades de control de calidad realizadas por la empresa, se hará una clasificación en función del tipo o estado del producto objeto a analizar.

### 3.1 Agua

Tal y como se comentó en el capítulo 1 en el punto 1.3 dedicado a los ingredientes de la cerveza, el agua empleada como materia prima en el proceso de elaboración de cerveza debe cumplir como premisa que esté calificada como “agua para consumo humano”. No obstante, debe de cumplir también una serie de requisitos que le otorguen la capacidad de poder ser utilizada concretamente en el proceso productivo. En la tabla que se muestra a continuación se reflejan cada uno de los parámetros analizados, valores recomendados, una breve explicación de la necesidad de analizar dicho parámetro y los equipos o instrumentos utilizados.

Parámetro	Valores recomendados	Instrumentos o métodos	Justificación del análisis
<b>pH</b>	6-7,5	Medidor de pH	Valores superiores al recomendado dificultaría obtener un valor de pH en el mosto adecuado, y valores inferiores indicarían un bajo contenido de calcio
<b>Dureza</b>	< 150 ppm	Medidor fotométrico	Valores superiores al recomendado afectaría al pH del mosto
<b>Cloruros</b>	< 150 ppm	Tester digital de cloruros	Valores superiores afectan a las actividades de las levaduras. Concentraciones superiores a 100 mg/l provocan corrosiones
<b>Sulfatos</b>	10-250 ppm	Fotómetro de sulfato	Los valores recomendados favorecen la formación de flóculos de proteínas y taninos durante la cocción.
<b>Nitratos</b>	< 50 ppm	Cromatógrafo de iones	La presencia de nitratos se entiende como toxicidad para las levaduras
<b>Fosfatos</b>	< 1 ppm	Espectrofotometría ultravioleta-visible	Son indicadores de una contaminación orgánica del agua
<b>Silicatos</b>	< 40 ppm	Test de silicatos	Concentraciones altas reducen la velocidad de fermentación y aumenta la turbidez

Parámetro	Valores recomendados	Instrumentos o métodos	Justificación del análisis
<b>Cobre</b>	< 0,1 ppm	Reactivos de test de cobre	Valores superiores afectan a la estabilidad e inhibición de la actividad de las enzimas y levaduras
<b>Calcio</b>	20-150 ppm	Complexometría EDTA	El calcio aporta estabilidad y calidad al mosto. Su presencia es considerada positiva
<b>Potasio</b>	< 10 ppm	Fotómetro	Un contenido superior al recomendado puede transferir sabor salino al mosto.
<b>Sodio</b>	< 150 ppm	Refractómetro	Su contenido está muy relacionado con el metabolismo de las levaduras. Elevada concentración transfiere sabor salino.
<b>Zinc</b>	0,15-0,5 ppm	Test Kit de Zinc	Valores superiores se traducen en niveles tóxicos para las levaduras.
<b>Magnesio</b>	< 30 ppm	Fotómetro	Valores superiores afectan al sabor del producto final y a la actividad de las enzimas

## 3.2 Malta

A pesar de que la malta pasa por unos controles de calidad exigentes en la propia maltería, la mayoría de las plantas de elaboración de cerveza que adquieren este producto de empresas externas realizan sus propios exámenes y controles para asegurar que las características del producto se corresponden con los informes facilitados por el proveedor y para obtener una trazabilidad de la materia prima.

En el laboratorio se llevan a cabo una serie de análisis para valorar una serie de parámetros que se describirán a continuación. Las valoraciones que se realizan son:

- Valoraciones físicas sin alteración de los granos.
- Valoraciones mediante ensayos normalizados.
- Valoración en ensayos sobre una maceración normaliza o sobre el mosto final.
- Otros tipos de valoraciones.

Al igual que se hizo con el agua, se muestra a continuación una tabla donde se recogen toda la información referente al control de calidad de la malta recibida y utilizada en la planta.

Valoración física sin alteración de los granos			
Parámetro	Valores recomendados	Instrumentos o métodos	Justificación del análisis
<b>Densidad del contenido del grano (kg/litro)</b>	1,1-1,18	Recipiente de volumen conocido y báscula	Indicador que informe sobre el nivel de modificación del endospermo.
<b>Peso de mil granos (g)</b>	28-38	Báscula de precisión	Cuanto mayor sea la masa mayor es el contenido de extracto de la cebada

Parámetro	Valores recomendados	Instrumentos o equipos	Justificación del análisis
Contenido de agua (%)	4-5	Medidor de humedad portátil	Cuanto más tostados y secados estén los granos de malta menor será el contenido de humedad.
<b>Valoración mediante ensayos normalizados</b>			
Parámetro	Valores recomendados	Instrumentos o equipos	Justificación del análisis
Relación longitud acospira y longitud del grano	0,7-0,8	Calibre	Da una idea de la uniformidad de la germinación
Flotación (%)	25-35	Matraz	Cuanto mayor sea el desarrollo de acospira mayor será la porción de granos que flotan.
Friabilidad (%)	75-85	Friabilímetro	Valores superiores o inferiores a los recomendados pueden causar dificultades en la filtración y clarificación.
Vitreosidad (%)	1-3	Dispositivo de corte longitudinal	Cuanto menor sea el valor mayor será la calidad de la malta.
Capacidad germinación (%)	6-10	Método TTC	Cuanto mayor sea el porcentaje de germinación peor será la calidad de la malta.
Modificación Carlsberg (%)	> 80	Lija y Calcofluor	A mayor porcentaje de modificación mayor calidad de la malta.
Homogeneidad Carlsberg (%)	> 75	Lija y Calcofluor	A mayor porcentaje de homogeneidad mayor calidad de la malta
MCU (Malt Color Units)	2.4	Escala estandarizada	Se utiliza para estimar el color de de las cervezas que se producirán.
Proteína total (%)	4,5-11	Método Kjeldahl	Valores superiores a los recomendados se traduce en la obtención de una menor cantidad de extracto soluble.
DMS (ppm)	< 6	-	Valores superiores a los recomendados suponen un riesgo de aparición de precursores de DMS en la cerveza.
<b>Valoración en ensayos sobre una maceración normaliza o sobre el mosto final.</b>			
Parámetro	Valores recomendados	Instrumentos o equipos	Justificación del análisis
Sacarificación (minutos)	10-20	Reacción normal al yodo	Valoración del tiempo que se necesita para conseguir una reacción normal de yodo
pH	5,5-5,9	Medidor de pH	Cuanto mas oscura es la malta menor valor de pH
Tiempo de filtración (minutos)	< 60	Cronómetro	Valoración del tiempo necesario para realizar la filtración

Parámetro	Valores recomendados	Instrumentos o equipos	Justificación del análisis
Viscosidad (cP)	< 1,6	Viscosímetro	Valores superiores se traducen en mayor dificultad para clarificar y filtrar el líquido.
Contenido de $\beta$ -bulcanos (mg/l)	< 400	-	Valores superiores provocan problemas en la etapa de filtración al formarse geles.
Color mosto (EBC) (Antes y después de cocer)	< 4 y < 7	Absorbancia de luz monocromática de 430 nm.	Se puede estimar el color de la cerveza final
<b>Otras valoraciones</b>			
Parámetro	Valores recomendados	Instrumentos o equipos	Justificación del análisis
Mosto obtenido por kg de malta (unidades HWE)	300-310	Obtenido a partir del ensayo de molienda fina	Valoración del mosto total que se puede obtener a partir de un kilogramo de malta. Las unidades HWE son las siglas de Hot Water Extract.
Grado de modificación proteica (%)	35-42	Índice Kolback	Cuanto mayor es el porcentaje más modificada habrá sido la malta durante la germinación.
FAN (mg/100 g m.s)	120-160		Valores superiores a los recomendados comprometen la estabilidad de la espuma.
Poder diastático (unidades WK)	240-260		Es un indicador que informa sobre la capacidad de las enzimas para degradar el almidón.
TBZ (ácido tiobarbitúrico)	< 15		Valores bajos de TBZ se traducen en problemas de estabilidad del sabor de la cerveza con el tiempo.

### 3.3 Lúpulo

El lúpulo utilizado en la planta en cualquiera de sus formatos comerciales debe someterse a una serie de valoraciones y pruebas para comprobar que las características certificadas corresponden con la realidad.

El certificado del lúpulo incluye la siguiente información:

- Denominación del producto
- Referencia del certificado
- Peso neto
- Origen
- Año en que fue cosechado
- Tipo de transformación
- Lugar y fecha de transformación
- Identificación de trazabilidad y número de lote.

El producto en formato comercial irá embalado, precintado y etiquetado. Además, el fabricante proporcionará información sobre los tipos de cerveza en los que se utiliza y los olores que pueden aportar.

En el laboratorio, los parámetros sujetos a valoración son los siguientes:

- Contenido de  $\alpha$ -ácidos y  $\beta$ -ácidos
- Contenido de aceites esenciales y su porcentaje

### 3.4 Mosto cervecero

En cada una de las etapas que forman parte del proceso de elaboración del mosto, se tomarán muestras en cada una de las producciones con el fin de obtener información acerca de si se están llevando a cabo correctamente cada una de las operaciones y no se presentan anomalías que puedan afectar al producto final.

La tabla que se muestra a continuación recoge información acerca de cada uno de los ensayos, análisis y valoraciones en cada una de las etapas y una breve explicación de cada uno de ellos.

<b>Maceración</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valores recomendados o habituales</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Atenuación límite de los azúcares fermentables (%)</b>	62-70%	Transformación total de alcohol que se obtendría tras la fermentación
<b>Contenido de azúcares no fermentables (%)</b>	15-25%	Relacionado con el cuerpo de la cerveza final
<b>Contenido de sustancias albuminoideas (%)</b>	3-5 %	Su contenido influye en la evolución de la fermentación
<b>Contenido de amilosa y amilopectina (%)</b>	Nulo	Ensayo de reacción normal al yodo
<b>Contenido de extracto soluble (%)</b>	75-80%	Depende del tiempo de maceración y modificación de la malta
<b>Filtración y lavado</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Valores recomendados o habituales</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Bagazo (%)</b>	20-25%	Formado por cáscaras y precipitados insolubles
<b>Pérdidas de extracto soluble</b>	1-3 %	Cuanto más deficiente sea la capa del filtro natural y menor agua de lavado se utilice, mayor serán las pérdidas
<b>Extracto soluble del primer mosto (° P)</b>	15-20	Se toma como referencia que a partir de 100 kg de malta mezclados en 300 litros de agua se obtiene 18,5 ° P de extracto

Parámetro	Valores recomendados o habituales	Observaciones
Extracto soluble del mosto tras el lavado (° P)	2	
Extracto soluble del mosto verde final (° P)	11-15	Resultado de la mezcla del primer mosto y el mosto tras el lavado
Densidad del mosto verde final (g / l)	1040-1060	
Humedad del bagazo antes y después de tratar (%)	70-80 y 10-12	El bagazo se somete a un proceso de secado para extraer la humedad y ser vendido como alimento animal, biomasa o fertilizante.
<b>Cocción</b>		
Parámetro	Valores recomendados o habituales	Observaciones
Densidad del mosto cocido	1046-1064	Mayor densidad que el mosto verde
Contenido evaporado (%)	12-15	Cuanto mayor sea la pérdida mayor concentración de extracto soluble.
Concentración de partículas inestables en el mosto caliente (g / l)	6-8	Cuanto mayor sea la concentración mayor será el "trub".
pH	5,4-5,5	
<b>Clarificación</b>		
Parámetro	Valores recomendados o habituales	Observaciones
Densidad del mosto limpio	1046-1064	La densidad se mantiene constante.
pH	5,2-5,5	
Amargor (IBU)	20	Puede variar dependiendo del lúpulo.
Zinc	> 0,10	
Nitrógeno total (mg / l)	800-1215	
FAN	140-250	
Precusores de DMS (µg / l)	10-125	
DMS (µg / l)	10-120	
EBC	5-20	
TBZ	< 60	

El ensayo de reacción normal al yodo se va a explicar particularmente debido a su importancia y a que es el ensayo mayormente utilizado tanto en la elaboración industrial de cerveza como en la elaboración artesanal.

El ensayo de reacción normal al yodo se realiza para comprobar que tras la etapa de maceración no quedan restos de almidón (amilosa y amilopectina), ya que la presencia de estas partículas provocaría en un futuro el enturbiamiento del producto.

El ensayo consiste en tomar una muestra del macerado y aplicar unas gotas de tintura de yodo. En caso de que exista almidón sin degradar la muestra adquirirá un color marrón oscuro, mientras que si todo el almidón ha sido degradado la muestra tomará un color rojillo-amarillento.

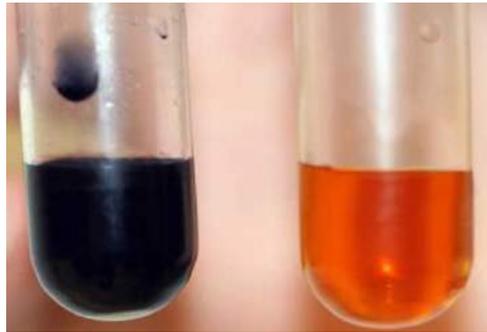


Figura 78: Reacción normal al yodo

### 3.5 Cerveza

La cerveza una vez terminada se somete a varias verificaciones y controles de calidad entre los que se incluyen una degustación o cata de la cerveza, control microbiológico y un análisis detallado.

Mediante la cata de la cerveza se consigue obtener una evaluación organoléptica, consistente en una serie de pruebas de análisis sensorial. Los catadores de cerveza, profesionales curtidos en el sector y con mucha experiencia, perciben a través del olor, sabor y color las características de la cerveza y la valoran de acuerdo con los resultados. La cata de cerveza se rige de acuerdo con varias normas UNE-ISO.

El control microbiológico es necesario para comprobar que el producto final está libre de bacterias y microorganismos que afectar negativamente a la cerveza e incluso a la salud de los consumidores. En caso de detectar una determinada concentración de microorganismos, la primera acción que hay que tomar es averiguar cuál ha sido esa fuente de contaminación para poder eliminarla cuanto antes. El orden del plan de control microbiológico está definido según la capacidad que tienen los microorganismos de afectar y deteriorar el producto final.

El análisis detallado de la cerveza permite obtener información acerca del contenido de extracto y de alcohol, valor de pH, contenido de oxígeno, amargor y anhídrido carbónico. Esta información se recoge en la siguiente tabla.

Contenido de extracto y alcohol		
Tipo de análisis	Equipos, métodos o instrumentos	Observaciones
Destilación	Picnómetro	Permite calcular el contenido de alcohol y extracto
Refracción	Refractómetro de inmersión e hidrómetro	Utiliza el principio del análisis refractométrico para calcular el contenido de mosto original
Técnicas modernas	Equipos automáticos	Permiten medir el contenido alcohólico, densidad, color EBC y pH.

<b>Color</b>		
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Equipos, métodos o instrumentos</b>	<b>Observaciones</b>
Visual	Discos estandarizados de colores	En ocasiones también se utiliza la espectrofotometría, para evitar resultados influenciados por la vista humana.
<b>pH</b>		
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Equipos, métodos o instrumentos</b>	<b>Observaciones</b>
Automático	pH metro	Los valores óptimos de pH en la cerveza final son de 4,2-4,3
<b>Contenido de oxígeno</b>		
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Equipos, métodos o instrumentos</b>	<b>Observaciones</b>
Automático	Analizador portátil de oxígeno disuelto	Se recomienda que los valores de oxígeno disuelto sean inferiores a 0,05 ppm.
<b>Estabilidad de la espuma</b>		
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Equipos, métodos o instrumentos</b>	<b>Observaciones</b>
Manual	Método de Ross y Clark	Consiste en determinar el tiempo de vida media de las burbujas de espuma en un determinado volumen de espuma en la cerveza.
<b>Contenido de dióxido de carbono</b>		
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Equipos, métodos o instrumentos</b>	<b>Observaciones</b>
Automático	Métodos volumétricos o manométricos	Se mide la presión cuando se alcanza el estado de equilibrio tras una sacudida fuerte del producto
<b>Amargor</b>		
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Equipos, métodos o instrumentos</b>	<b>Observaciones</b>
Automático	Espectrofotometría	Se utilizan las unidades IBU

## 4 Layout

A la hora de poner en marcha un proyecto de ingeniería de una planta industrial es de vital importancia estudiar y decidir la manera en la que se va a organizar cada uno de las naves, edificio e independencias dentro del complejo industrial, con el objetivo de encontrar un punto de equilibrio entre eficiencia de los procesos, orden y estética.

Es por estos motivos por los que se ha decidió incluir un apartado dedicado al layout, el cual se expondrá a continuación.

En las siguientes páginas se describirá tanto gráfica como textualmente el layout de la planta industrial, haciéndose una distinción entre las zonas exteriores y el interior de cada una de las naves y edificios que forman parte de la fábrica.

La parcela sobre la que está construida toda la planta industrial tiene un área total de 24.400 m<sup>2</sup> cuya geometría se podría simplificar a un rectángulo anexo a un trapecio recto.

### 4.1 Layout general

La parcela sobre la que está construida toda la planta industrial tiene un área total de 24.400 m<sup>2</sup> cuya geometría se podría simplificar a un rectángulo anexo a un trapecio recto.

A continuación, se va a explicar y mostrar las vistas generales de la planta, quedando definidas cada una de las naves e independencias que forman parte de la fábrica.

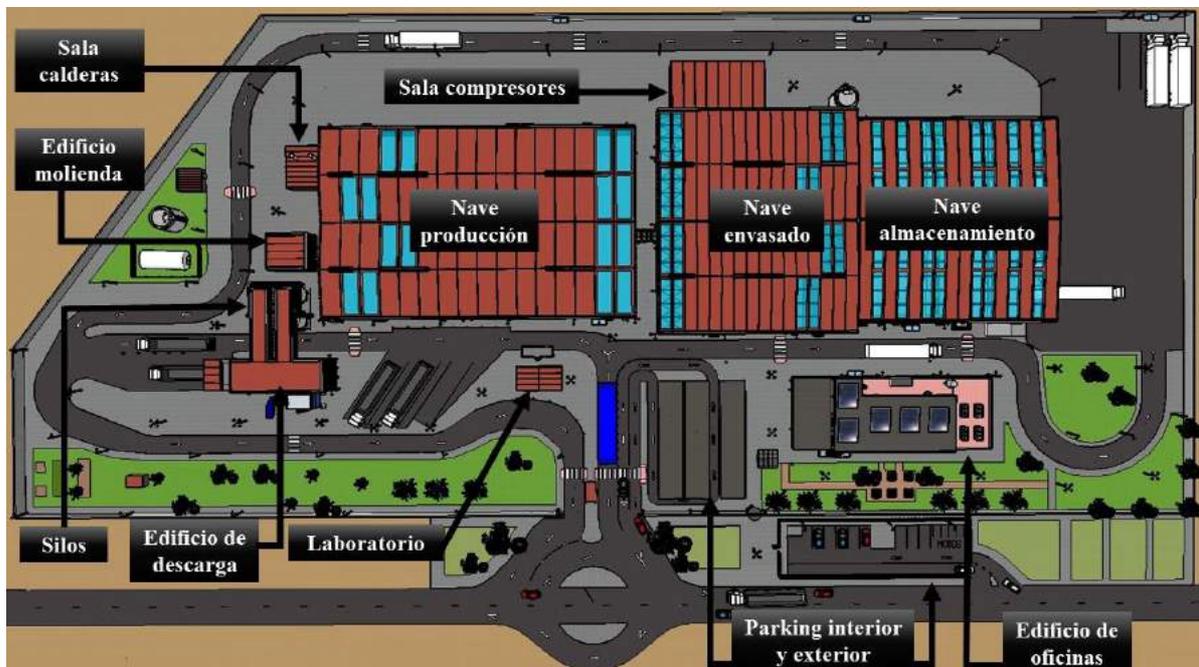


Figura 79: Vista en planta de la fábrica

En la anterior imagen puede observarse como las naves principales se concentran en el centro de la parcela, rodeadas por viales y otros edificios auxiliares que se explicarán más adelante.

Por su parte, las oficinas se encuentran próximas a los cerramientos exteriores y entrada de personal para facilitar el acceso de trabajadores. Así mismo, se encuentra en una ubicación estratégica, cerca de las naves de producción, envasado y almacenamiento, así como del parking de vehículos del personal de trabajo.



Figura 80: Vista frontal de la fábrica

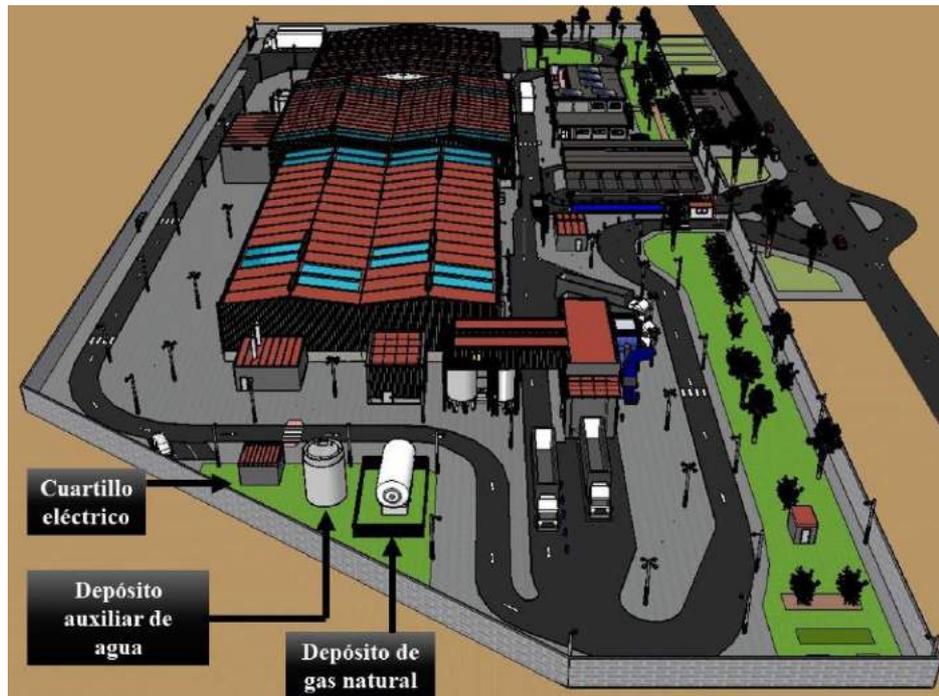


Figura 81: Vista del perfil izquierdo de la fábrica

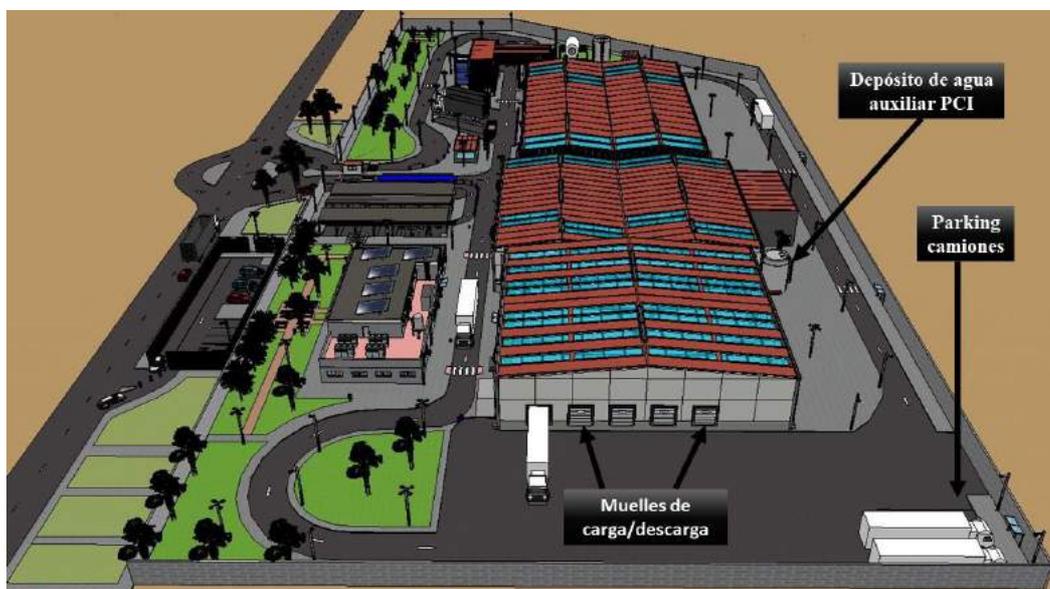


Figura 82: Vista del perfil derecho de la fábrica

Tras mostrar las imágenes anteriores, se aclara la distribución general de la fábrica. Cabe mencionar que hay zonas de la fábrica que no han sido marcadas en las imágenes anteriores pero que serán mostradas y explicadas en los siguientes apartados.

A continuación, se va a detallar cada una de las zonas visibles en las vistas generales de la planta:

- Entrada
- Parking interior
- Parking exterior
- Edificio de oficinas
- Nave de producción
- Nave de envasado
- Nave de almacenamiento
- Sala de compresores
- Sala de calderas
- Sala de molienda
- Cuartillo de electricidad
- Zonas auxiliares (gas y agua)
- Silos
- Edificio de descarga
- Cuarto de mantenimiento
- Laboratorio
- Parking de camiones
- Viales

#### 4.1.1 Viales

En este apartado se definirá el uso de cada uno de los viales, así como el flujo de camiones y vehículos.

La planta tiene un total de  $16.800 m^2$  destinados a viales. Como se puede apreciar en las imágenes anteriormente mostradas, existen viales con distintos sentidos, recorridos y direcciones.

En primer lugar, hay que destacar que los vehículos de los trabajadores y personal de fábrica no compartirán en ningún momento los viales, existiendo por tanto unos viales para camiones y otros para vehículos. La única excepción de uso de viales serían los vehículos de personal de mantenimiento, en cuyo caso podrían usar los viales destinados a camiones para dirigirse a la zona de trabajo. El estacionamiento de estos podrá hacerse en las plazas de aparcamiento ubicadas en la esquina noroeste de la planta.

En la entrada a la planta se pueden distinguir cuatro flujos distintos, los cuales se muestran a continuación:

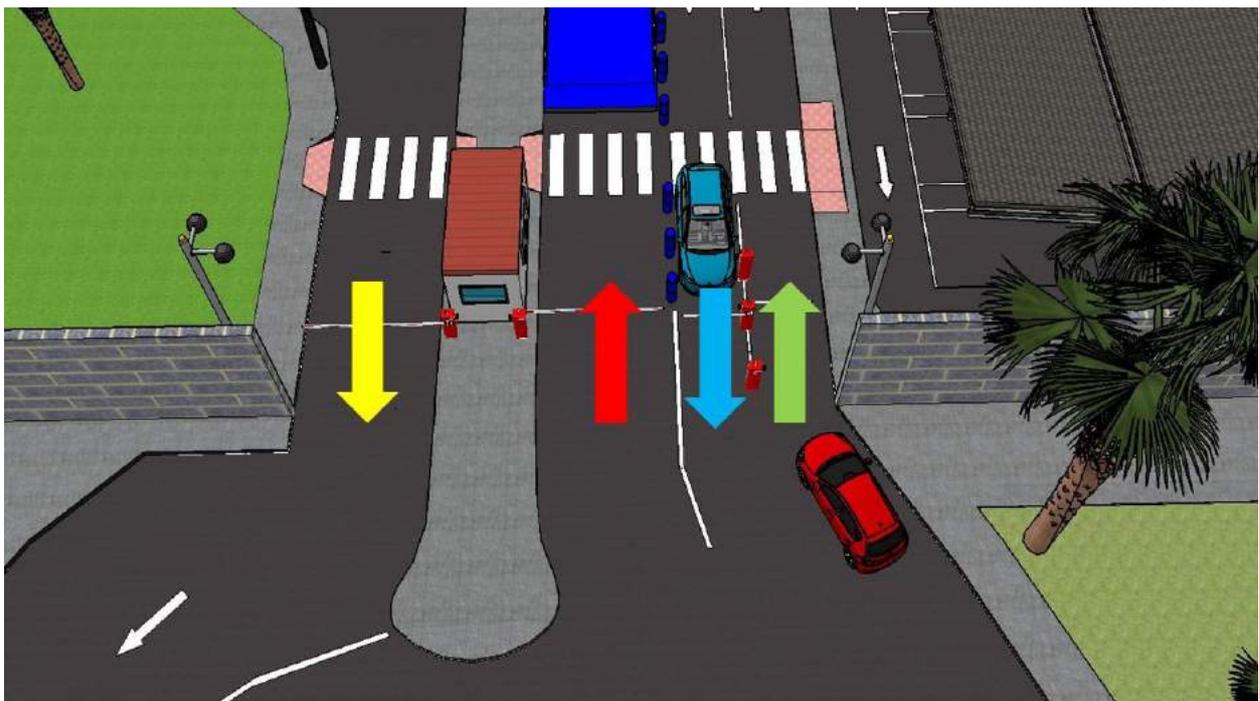


Figura 83: Flujos de vehículos en la entrada a la planta

La flecha en color verde representa la entrada de vehículos del personal de la planta, en color azul la salida de dichos vehículos y en color rojo y amarillo la entrada y salida de camiones, respectivamente. Tal y como se comentó previamente, los vehículos de trabajadores para el mantenimiento o empresas externas realizarán la entrada por la misma barrera de seguridad que los camiones.

Por otro lado, los flujos completos por la planta se reflejan en las siguientes imágenes:

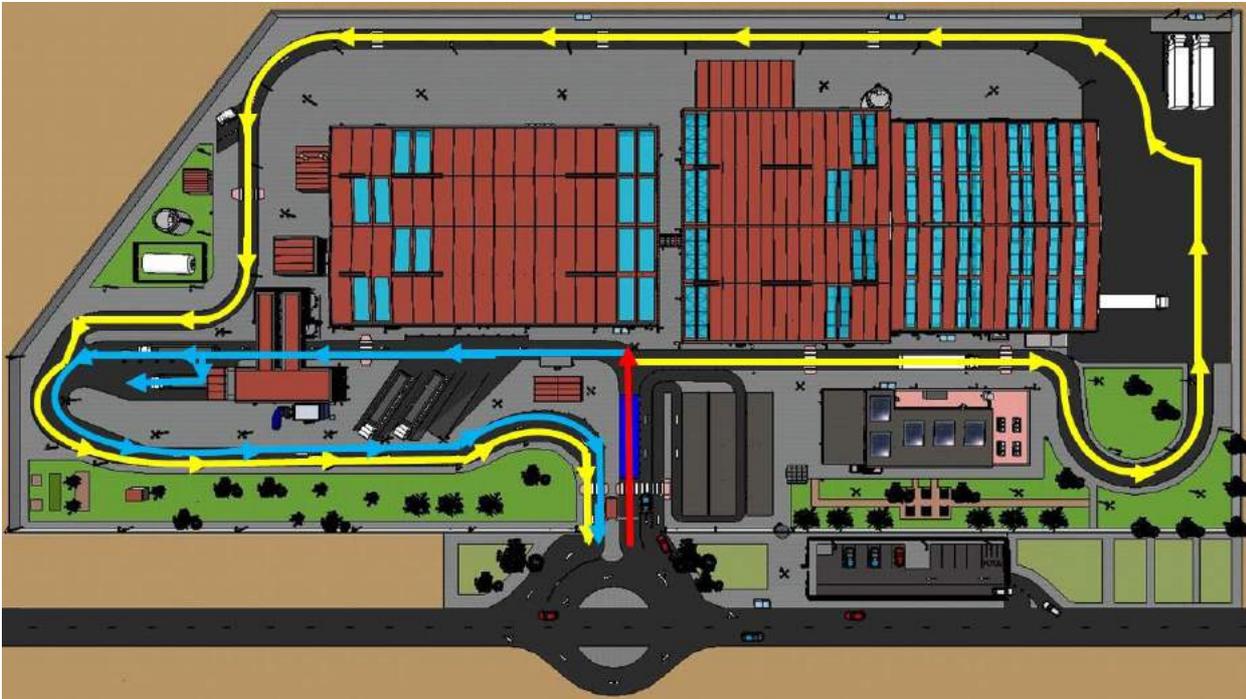


Figura 84: Flujo de camiones por la fábrica

Existen distintas casuísticas en el flujo de camiones. Tanto los camiones para realizar la descarga de malta de cebada y materias primas (botellas, tapones, etiquetas y palés) como los camiones en vacío para cargar el producto terminado, circularán por el trayecto marcado en color rojo.

Una vez llegados a la bifurcación, los camiones cargados de cebada se dirigirán hacia la izquierda tomando el camino de color azul. En dicho camino, los camiones tendrán dos paradas obligatorias y una opcional. Las paradas obligatorias se realizan para llevar a cabo la toma de muestra de la cebada y posteriormente el camión estacionaría en el parking mientras que se lleva a cabo el análisis de la muestra. En caso de que los resultados sean favorables, el camión retomará la trayectoria para dirigirse al edificio descarga, donde tomará un pequeño desvío para colocarse en la zona para descargar. En caso de que los resultados del análisis sean desfavorables, el camión tomará también el camino azul pero no se desviará hacia la zona de descarga, sino que seguirá la trayectoria circulando por la rotonda y dirigiéndose hacia la salida de la fábrica sin haber efectuado la descarga de materia prima (cebada).

En el caso de camiones cargados de materias primas para el envasado o camiones en vacío para cargar productos terminados, en la bifurcación del camino rojo girarán hacia la derecha para circular por la trayectoria amarilla. Una vez llegados a la playa que se encuentra frente a los muelles de carga/descarga el camión realizará las maniobras necesarias para proceder a la carga/descarga de productos. En algunas ocasiones, el camión deberá esperar a efectuar dicha operación, por lo que estacionará en el parking destinado para ello. Una vez descargados o cargados, los camiones retomarán el camino amarillo y se dirigirán a la salida de la planta.

Por último, cabe destacar que a pesar de encontrarse la balanza en el camino de color rojo solamente se llevará a cabo el pesaje de aquellos camiones que vayan cargados de cebada.

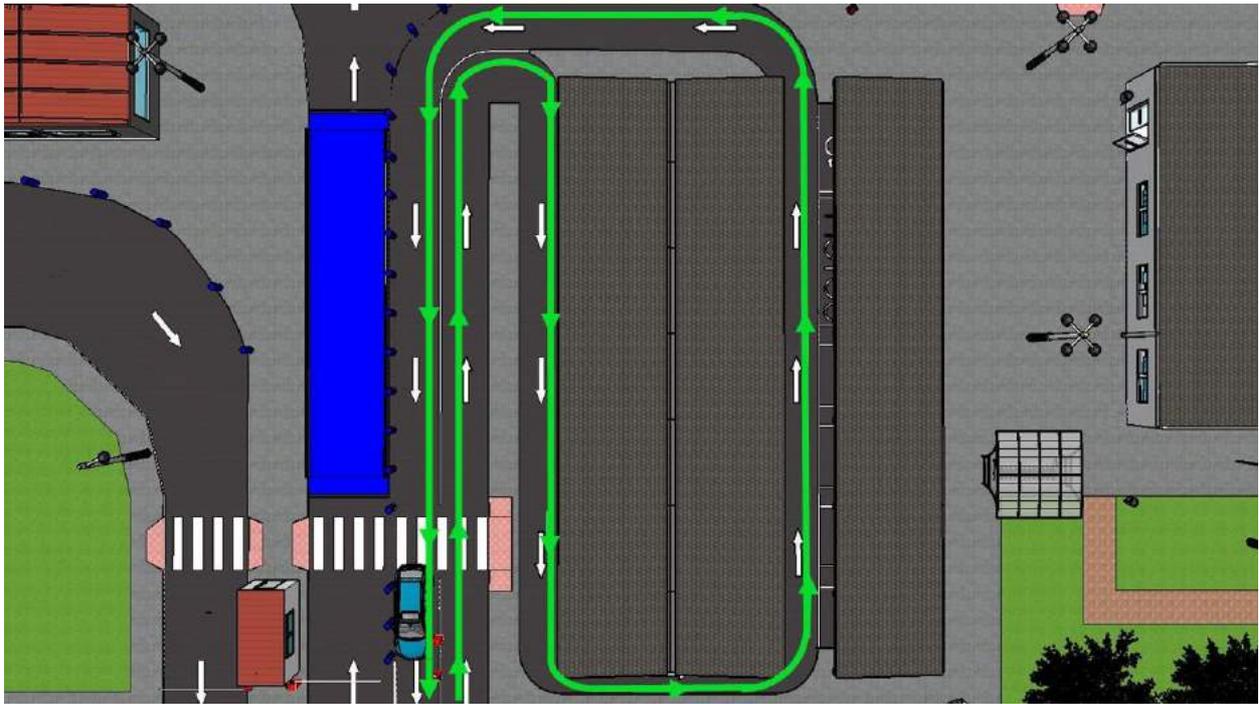


Figura 85: Flujo de vehículos del personal en la planta

Los vehículos de los trabajadores podrán estacionarse tanto en el parking interior como en el exterior. La figura anterior corresponde al parking interior. Como se puede mostrar en la imagen, existirá solo un flujo de vehículos en una única dirección. De forma que podrán dirigirse al parking siguiendo el camino de color verde y saldrán de la fábrica siguiendo el mismo recorrido.

Tanto en el caso de camiones como de vehículos, la entrada se efectuará por medio de unas barreras de seguridad. La diferencia entre los dos casos es que los camiones deberán entregar la documentación necesaria al empleado de seguridad de la garita el cual accionará la barrera para permitir el paso, mientras que los trabajadores que accedan con vehículo contarán con unas tarjetas que utilizarán en unos detectores colocados previamente a la barrera, levantándose esta para permitir el paso de los vehículos y motos.

La anchura de las vías de tránsito de camiones y vehículos se detallarán en la siguiente tabla:

Flujo al que pertenece la vía	Tipo de vehículo	Número de carriles	Ancho de cada carril de la vía
Entrada y salida de turismos	Turismos	2	2,5 m
Descarga de cebada	Camión	1	4
Descarga de materiales y carga de producto terminado	Camión/ Turismos de personal de mantenimiento	1	4
Playa del almacén	Camión	-	30 m de ancho y 45 de largo

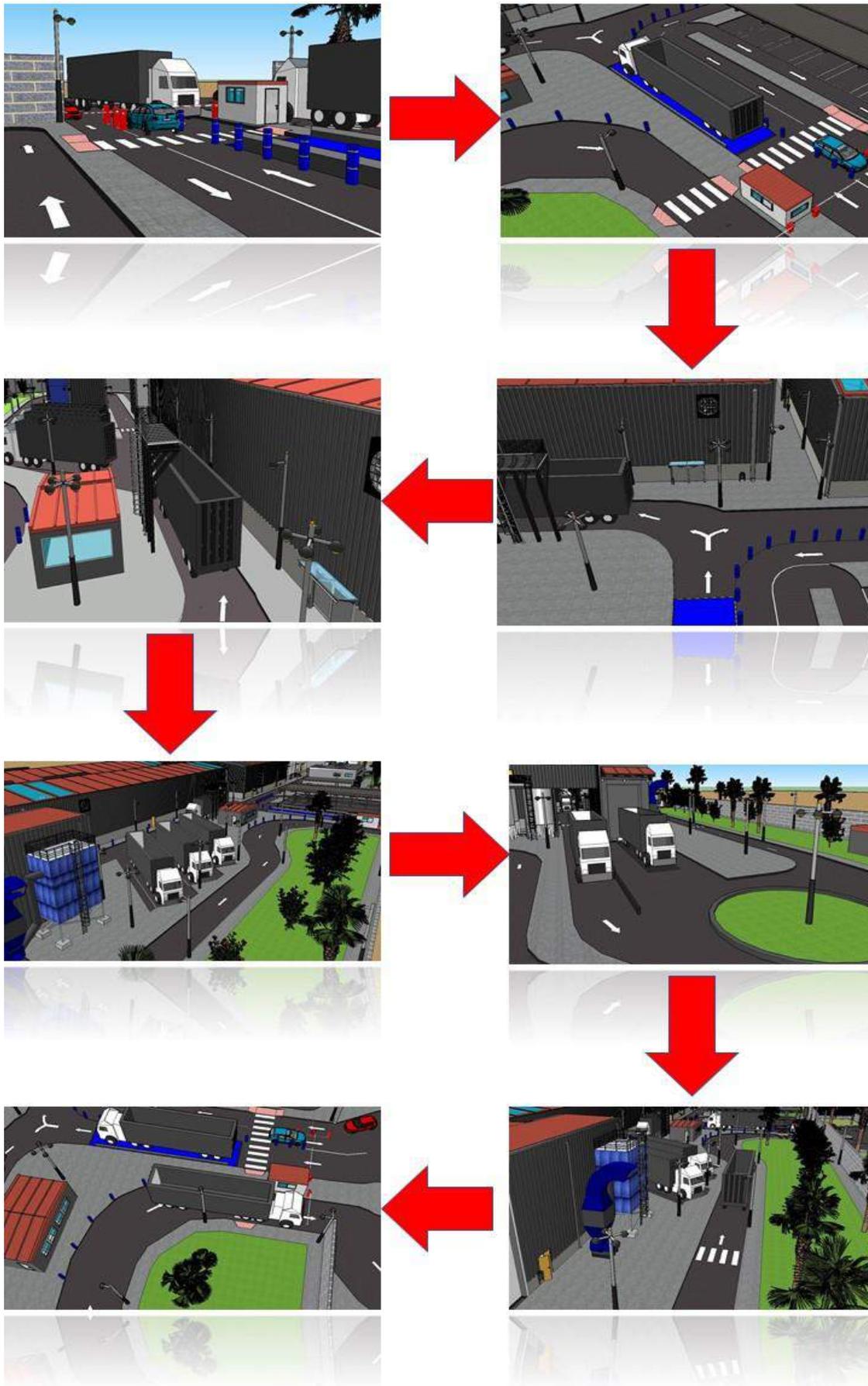


Figura 86: Descripción gráfica del recorrido de descarga de cebada

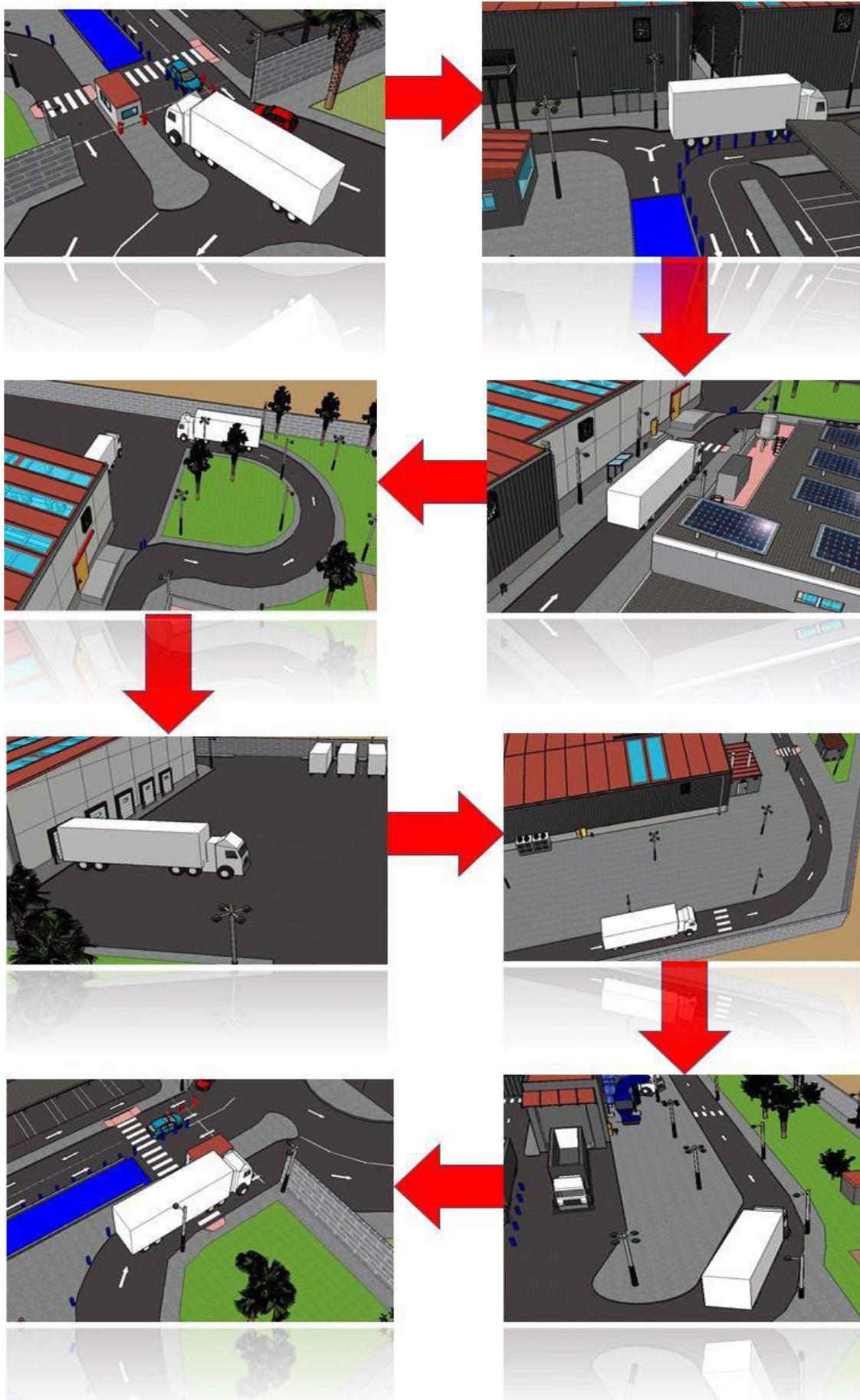


Figura 87: Descripción gráfica del recorrido de descarga de materiales y carga de producto terminado

## 4.1.2 Acceso para peatones

A pesar de que la gran mayoría del personal de la empresa se desplazará a la fábrica en sus vehículos propios, la planta incluye también una entrada para peatones. Esto es debido a que hay posibilidad de desplazarse hasta la planta en transporte público, existiendo una parada de bus próxima a la entrada.

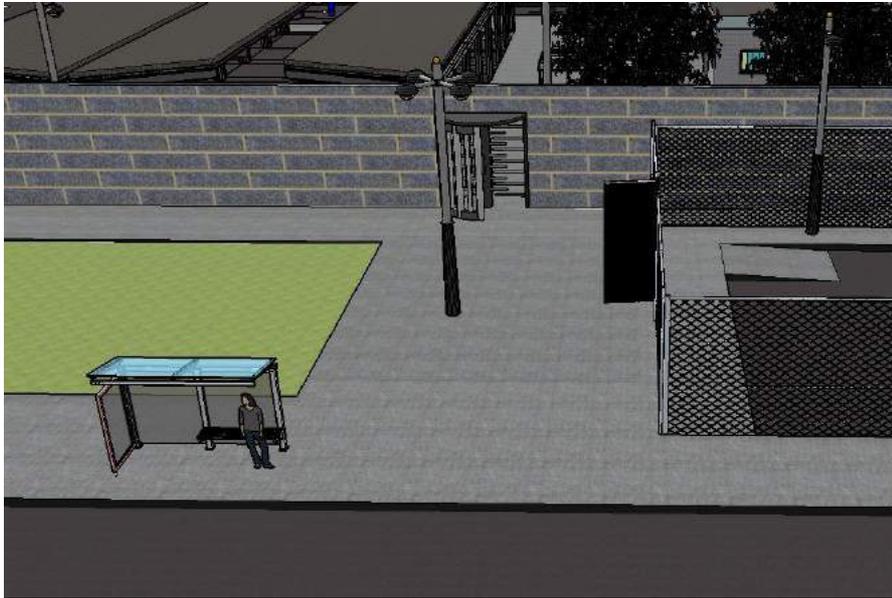


Figura 88: Vista exterior de la entrada a la planta para peatones

Tal y como se puede apreciar en la figura anterior, el acceso peatonal a la fábrica se realizará mediante un torniquete de acceso llamado molinete giratorio vertical. Este molinete funciona de forma que cuando se presenta una credencial válida (tarjeta de acceso), el torniquete se desbloquea y permite una sola rotación controlada en la dirección solicitada. Además, permite el acceso bidireccional, es decir, permite tanto la entrada como la salida, por lo que el molinete girará en ambos sentidos según el caso. En caso de que un visitante no disponga de credencial el torniquete impedirá el acceso, por lo que deberá dirigirse a la garita de seguridad para que el vigilante le pueda facilitar una tarjeta de visita que le permita el acceso.

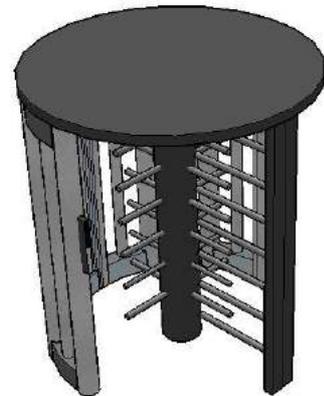


Figura 89: Vista interior de la entrada peatonal a la planta (izda) y molinete giratorio (dcha)

### 4.1.3 Control de Seguridad

Para controlar el acceso de vehículos y camiones a la planta se ha dispuesto una garita en la entrada de la planta. Dicha garita de seguridad está situada estratégicamente para que se pueda controlar la entrada y salida de camiones, conductores de los cuales deberán de presentar documentación al vigilante. Será dicho encargado el que permitirá o impedirá el acceso de estos activando las barreras de seguridad.

Dicha garita de seguridad cuenta con ventanillas en los dos laterales, y de una ventana con mostrador en la parte frontal para atender a las posibles personas que tengan que contactar con el vigilante para solicitar las tarjetas de visitas.

En el caso de vehículos de trabajadores, no será necesario que el vigilante active dichas barreras ya que se han dispuesto lectores de tarjetas previamente a las barreras para que los usuarios simplemente con sus credenciales puedan acceder a la fábrica.

La garita de seguridad contará también con los equipos necesarios para controlar mediante video vigilancia la entrada peatonal y los diferentes sectores de la planta.

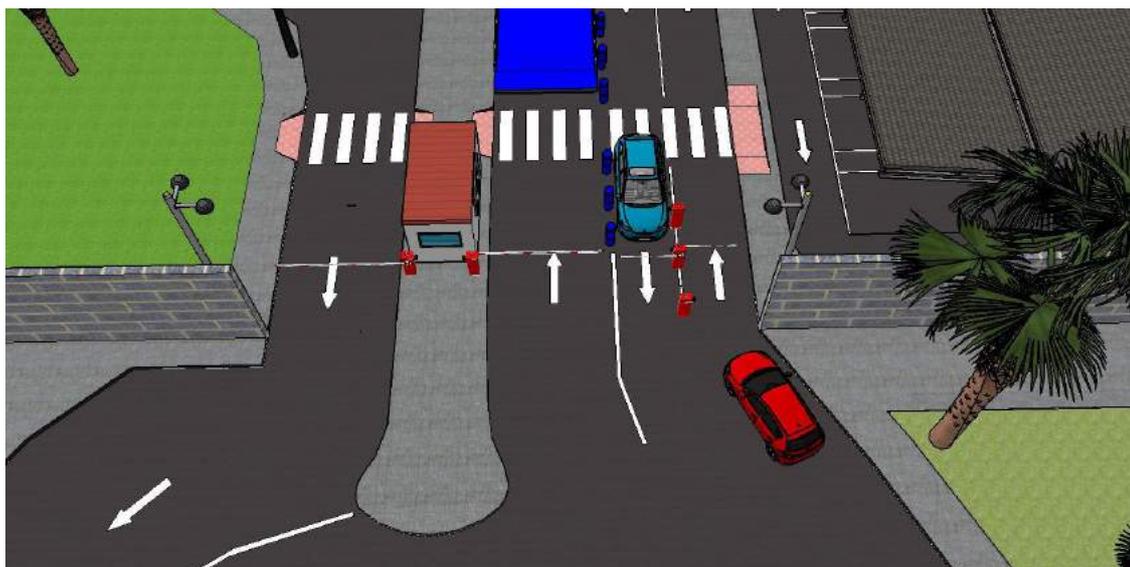
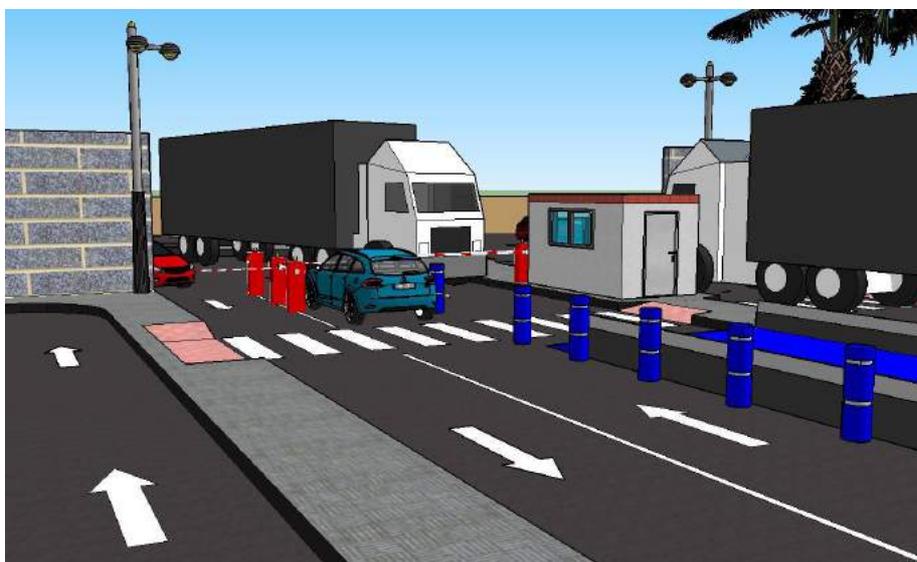


Figura 90: Garita de seguridad y barreras para el acceso y salida de la planta

#### 4.1.4 Parking de vehículos

Tal y como se comentó anteriormente, se dispone de un aparcamiento interior y de otro exterior. El parking interior ocupa una superficie de  $400\text{ m}^2$  distribuidos en 25 plazas de aparcamiento de las cuales 17 son para turismos, 6 para motos y 2 para minusválidos. Por su parte, el parking exterior cuenta con  $300\text{ m}^2$  en los que se ubican 14 plazas de aparcamiento de las cuales 10 son para turismos y 4 para motos.

El parking exterior será utilizado fundamentalmente por personal externo a la empresa, como visitas, conferencias y auditorías. También será usado por los trabajadores de la empresa en caso de que el parking interior esté completo en momentos puntuales como cambios de turnos.

Al parking exterior se accede desde la carretera principal, existiendo un desvío a la derecha para poder acceder. Dicho parking no contará con puerta automática, sino que estará permanentemente abierta en horario de trabajo para facilitar y agilizar de esta manera la entrada y salida de coches, sin entorpecer la circulación de la vía. Los usuarios, una vez estacionen los vehículos podrán acceder por una puerta que permanecerá también abierta en horario laboral, la cual se encuentra próxima al torno de acceso.

Por otro lado, al parking interior se accederá por las barreras de seguridad previamente mencionadas en el apartado de control de seguridad de este mismo capítulo.

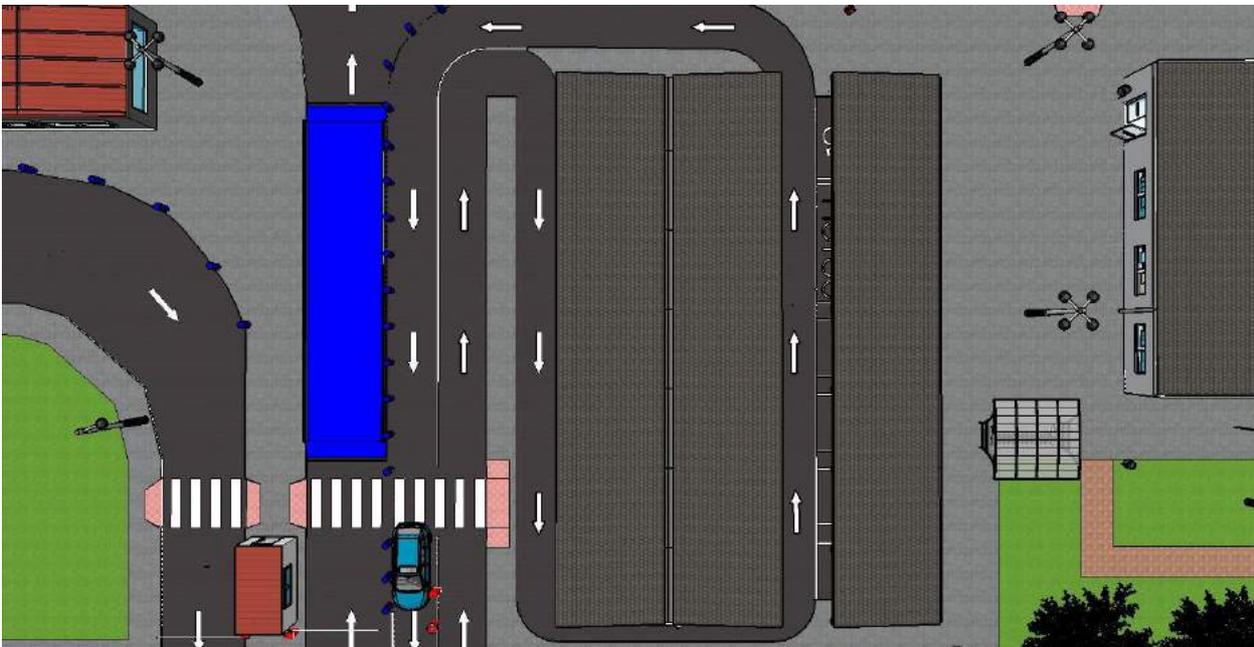


Figura 91: Vista en planta del parking interior

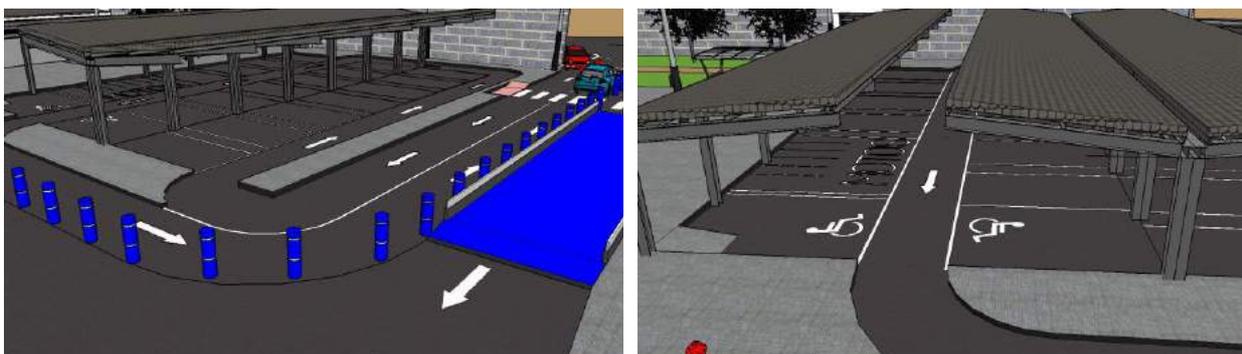


Figura 92: Vistas detalladas del parking interior



Figura 93: Vista frontal del parking interior



Figura 94: Vista en planta del parking exterior

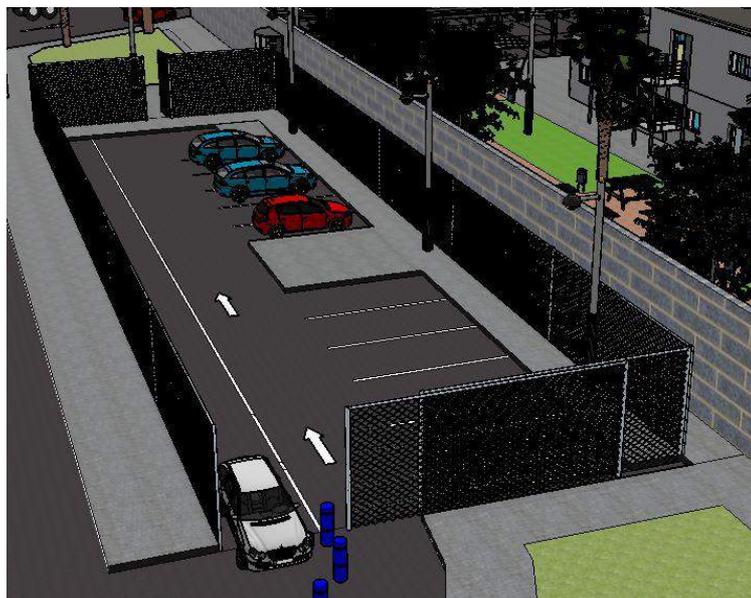


Figura 95: Vista de perfil del aparcamiento exterior

### 4.1.5 Báscula

La báscula se situará en el interior de la parcela a continuación de la entrada de camiones. El objetivo de esta báscula es pesar el camión que contenga la cebada para comprobar que la cantidad de materia prima que aparece en el documento a entregar por el camionero coincide con la cantidad real, controlándose de esta manera la mercancía y llevándose a cabo una buena gestión de la planta.

A pesar de que pasarán por la báscula tanto los camiones de cebada como los de materiales y carga de producto final, solamente se detendrán en la báscula para llevar a cabo el pesaje los camiones que transporten la malta de cebada.

La báscula medirá el peso del camión total, y emitirá dicha información al laboratorio. El técnico de laboratorio dispondrá del documento proporcionado por el camionero en el cual se detallará el peso total del camión cargado y en vacío. De esta forma se podrá conocer la cantidad real de cebada que transporta el camionero. En caso de incongruencia entre los valores presentados y los medidos se redactará un informe que se enviará a la cooperativa oportuna y el camión podrá continuar para la toma de muestra y descarga, si procede.



Figura 96: Báscula para el pesaje de camiones

### 4.1.6 Laboratorio

El laboratorio se situará cerca de la báscula y plataforma para la toma de muestras de los camiones, de forma que se pueda controlar desde cerca el pesaje de la mercancía y se minimice el recorrido para el transporte de las muestras.

En el laboratorio se analiza la calidad de la cebada y se elabora un informe en el que se detallará el resultado de los análisis de las muestras. El técnico de laboratorio será el que dictará si la cebada cumple con los requisitos necesarios para ser utilizada como materia prima y comenzar el proceso de producción.

El laboratorio ocupa una superficie de  $35 \text{ m}^2$ , espacio suficiente para contener las máquinas e instrumentos de medida y para el almacenamiento de las muestras tomadas.

En cuenta a la plataforma para la toma de muestras, está situada estratégicamente y a una altura suficiente para que una vez que los camiones tomen el trayecto para realizar la descarga, se detengan para que el técnico de laboratorio tome las muestras necesarias. Para ello, el técnico se situará sobre la plataforma y utilizará una sonda toma muestras que introducirá por la parte superior del camión para tomar muestras a distinta profundidad y asegurar así que la malta es uniforme y de la misma calidad.



Figura 97: Laboratorio y plataforma para toma de muestras

#### 4.1.7 Parking de camiones

La planta dispone de dos aparcamientos para camiones, una junto a la zona de toma de muestras y descarga y otra en la playa anexa a la nave de almacenamiento.

El primer parking tiene como objetivo servir de estacionamiento para los camiones mientras se lleva a cabo el análisis de muestras, con el fin de no obstaculizar los viales. Una vez obtenidos los resultados de los análisis, los camiones realizarán una maniobra marcha atrás y se dispondrán a continuar por el vial. Este parking cuenta con tres plazas para estacionamiento.

El segundo parking sirve para que los camiones que se dispongan a descargar materiales o cargar producto terminado puedan estacionar sin entorpecer el recorrido de los demás camiones. Una vez los operarios den las indicaciones oportunas para colocarse en los muelles de carga/descarga, los camiones saldrán del aparcamiento marcha atrás y realizarán las maniobras oportunas para colocarse en el lugar adecuado. El parking dispone de dos plazas para aparcamiento.

Puede observarse en las imágenes siguientes que ambos aparcamientos tienen sus plazas orientadas y ubicadas de forma que el estacionamiento de los camiones sea lo más sencillo posible y haya que realizar el menor número de maniobras.



Figura 98: Parking de camiones

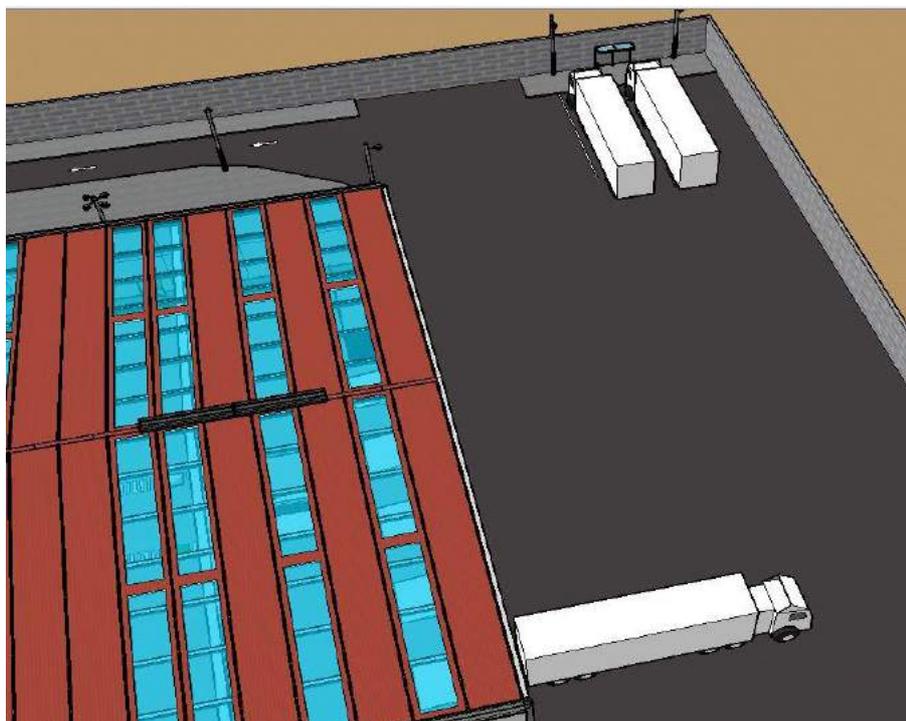


Figura 99: Parking junto a la playa

Puede observarse en ambos casos, que los conductores disponen de zonas peatonales cercanas a los aparcamientos donde pueden permanecer mientras se mantienen estacionados los vehículos.

#### 4.1.8 Edificio de descarga y silos

Una vez analizadas las muestras de cebada en el laboratorio, si el resultado es favorable los camiones se dirigirán hacia el edificio de descarga. Una vez descargada la materia prima, esta se someterá a una serie de procesos de limpieza y finalmente se descargará en los silos. Estos procesos serán explicados con más detalle en el apartado oportuno.

En cuanto a los silos, se dispone de cuatro silos distribuidos en línea, es decir, están conectados dos a dos en la parte superior por una cinta transportadora. Los silos están conectados directamente con los equipos del edificio de descarga y limpieza a través de una serie de conductos y cintas transportadoras, los cuales están instalados en el interior de una pasarela cubierta que atraviesa el vial por el que circulan los camiones.

El almacenamiento de la cebada se hará siempre posteriormente a los procesos de limpieza, de manera que una vez almacenada en los silos estará lista para ser molida y entrar en el proceso de producción. El uso de los silos permite a la empresa adaptarse a las fluctuaciones de la demanda, debido a que solamente se utilizará la cantidad de cebada que sea necesaria mientras que el resto seguirá almacenado.

El edificio de descarga está rodeado por viales a través de los cuales circularán los vehículos del personal de mantenimiento y los camiones.

Los camiones que llegan al edificio de descarga pueden ser basculantes o no. En caso de disponer de remolque basculante la descarga simplemente se realizaría accionando el sistema hidráulico del camión dejando que la cebada vaya cayendo sobre la rejilla de descarga. Los camiones que no sean basculantes realizarán la descarga por medio de una plataforma accionada hidráulicamente que se eleva e inclina el vehículo, volcando la materia prima sobre la rejilla de recogida de cebada de forma. Dicha plataforma se denomina “volcador” o “volteador” de camiones, y es accionada por medio de cilindros hidráulicos.



Figura 100: Vista frontal del edificio de descarga y limpieza



Figura 101: Vista del edificio de descarga y limpieza y de los silos

En las anteriores imágenes se puede apreciar la plataforma que comunica el edificio de limpieza y descarga con los silos. También se puede visualizar la plataforma metálica instalada sobre los silos, a la cual se puede acceder desde ambos lados al edificio secundario del edificio de descarga y limpieza

### 4.1.9 Instalaciones auxiliares

En el noroeste de la parcela se encuentra una zona reservada para las instalaciones auxiliares. Forman parte de las instalaciones auxiliares el cuartillo eléctrico, el depósito auxiliar de agua destinado a labores de producción y el depósito de gas natural. Junto a estas instalaciones se ha habilitado una zona de parking con tres plazas de estacionamiento para los vehículos de personal de mantenimiento, con el objetivo de minimizar la distancia que tengan que recorrer con las herramientas y equipos oportunos.

- Cuartillo eléctrico

El cuartillo eléctrico es el espacio reservado para todos los elementos eléctricos que se detallarán en el capítulo de instalación eléctrica. Dicho cuartillo eléctrico está fabricado de hormigón y está perfectamente aislado contra agua, humedad y fenómenos meteorológicos. Adicionalmente, cuenta con un conjunto de rejillas de ventilación tanto de entrada como de salida de aire. A este cuartillo solamente podrá acceder el personal autorizado.

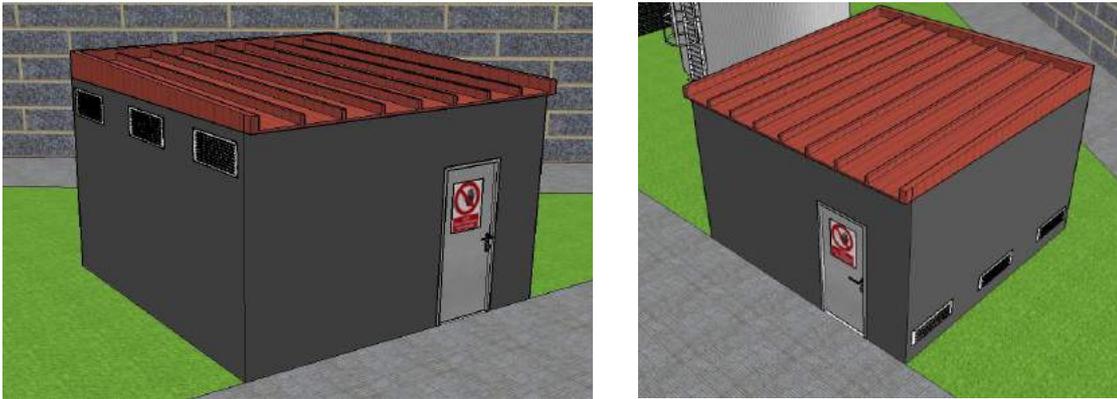


Figura 102: Vistas del cuartillo eléctrico

- Depósito auxiliar de agua

Este depósito tiene una capacidad de 120 m<sup>3</sup>, con un radio de 2,5 m y 6 m de altura. Dicho depósito está diseñado para abastecer el sistema de producción y envasado durante una jornada laboral completa en caso de un corte en el suministro de agua.

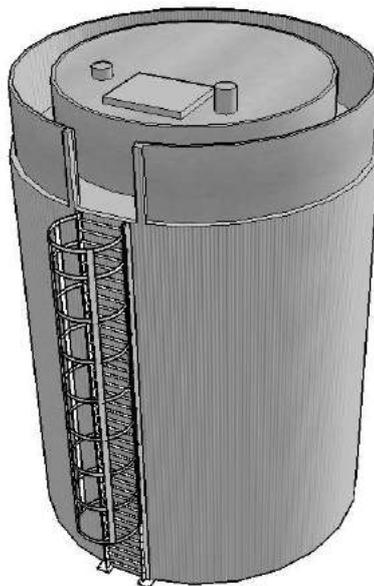


Figura 103: Depósito auxiliar de agua

- Depósito de gas

El depósito de gas natural presenta una capacidad de  $186\text{ m}^3$ , con unas dimensiones de 2 m de radio y 15 m de largo. Dicho depósito está diseñado para contener todo el gas necesario en un mes de trabajo a pleno rendimiento, y será utilizado para alimentar las calderas. La recarga del depósito la llevará a cabo en primera instancia una empresa externa mensualmente. Un conjunto de vallas perimetrales rodeará el depósito de gas de acuerdo con la normativa y existirá un acceso a dicho recinto para el personal autorizado.

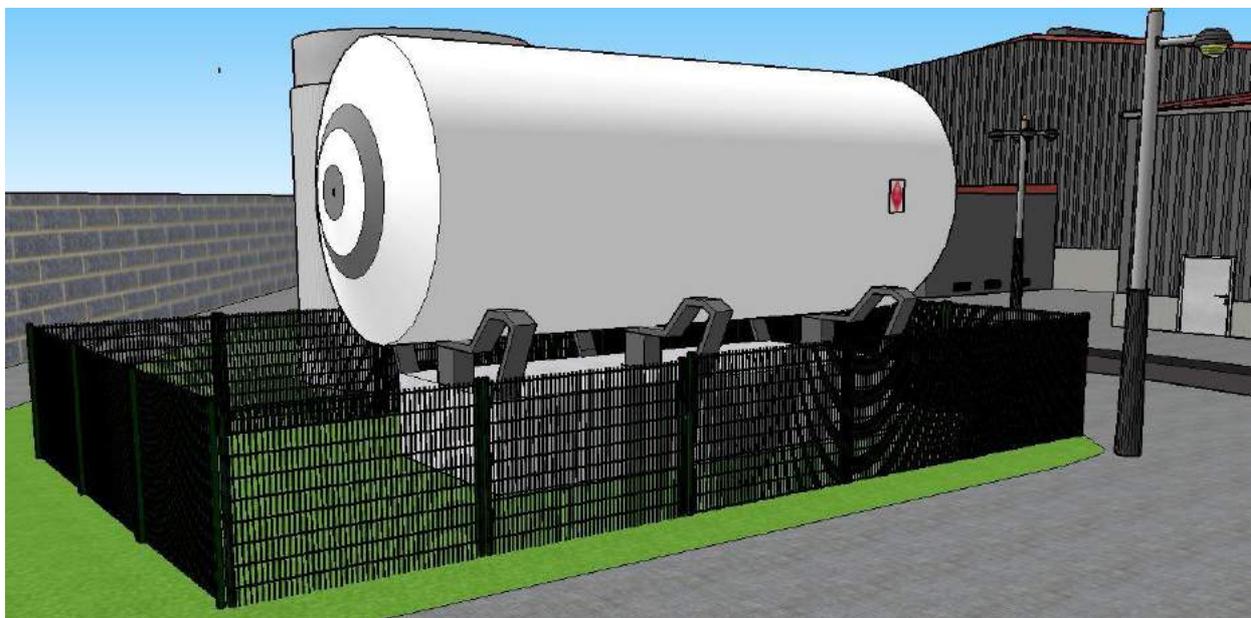


Figura 104: Depósito de gas natural

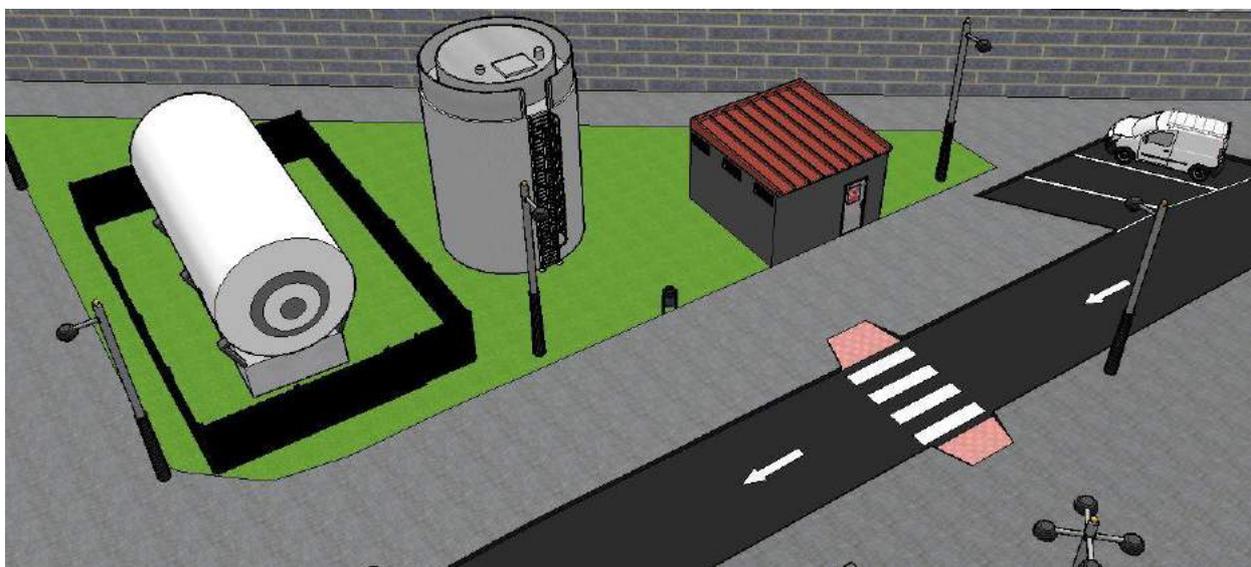


Figura 105: Vista del conjunto de instalaciones auxiliares

En la imagen anterior puede apreciarse la localización del parking para vehículos del personal de mantenimiento que se mencionaba previamente. Dichas plazas de aparcamiento tienen unas dimensiones de 5 m de largo y 2,5 m de ancho, de forma que exista espacio suficiente para la apertura de puertas para sacar el material necesario del vehículo.

#### 4.1.10 Zona para futuras ampliaciones

Con vistas de futuro, se ha decidido reservar unas zonas para posibles ampliaciones de las naves. Estas zonas ampliables se encuentran en la trasera de las naves de producción, almacenamiento y envasado y ocupan una superficie de 2000 m<sup>2</sup>.



Figura 106: Zona para futuras ampliaciones

#### 4.1.11 Zonas verdes

La parcela cuenta con una superficie de 2700 m<sup>2</sup> destinados a zonas verdes. El conjunto de zonas verdes junto a la vegetación y árboles que se encuentran en la planta mejoran la estética de la fábrica, y están situadas en las zonas cercanas a la entrada y edificio de oficinas produciendo un impacto visual positivo sobre los trabajadores y visitantes.

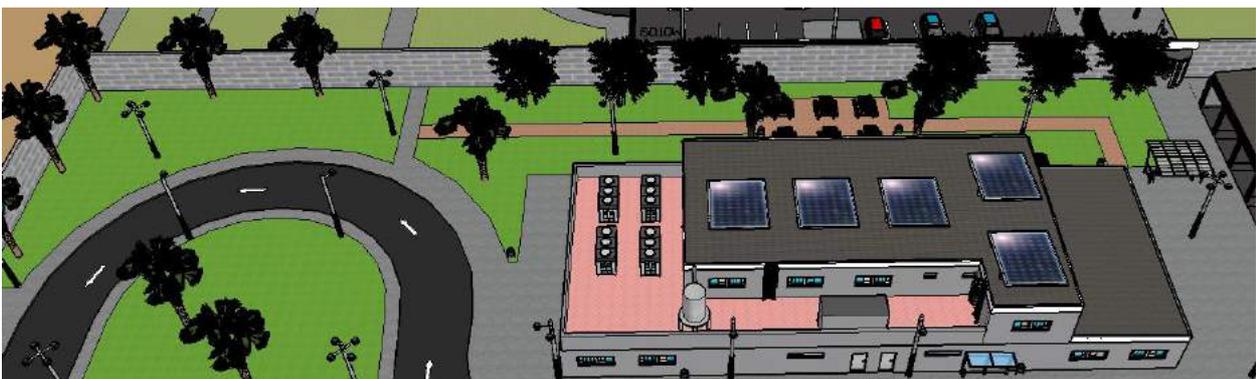
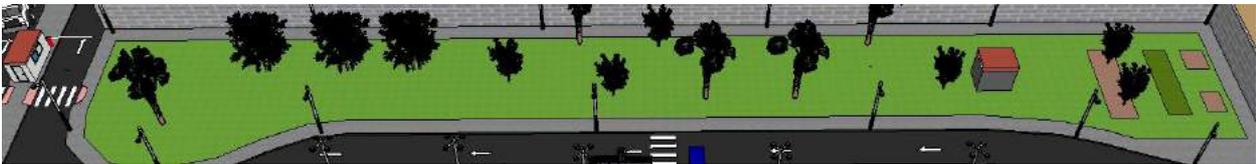


Figura 107: Zonas verdes de la planta

#### 4.1.12 Otras zonas

En este apartado se van a describir algunas instalaciones, elementos y zonas merecedoras a destacar en el layout general de la planta.

- Merendero

Junto al edificio de oficinas se ha establecido una zona de descanso donde los usuarios de la planta podrán reunirse para comer. Dicha zona no dispone de cubierta para proteger de la lluvia y fenómenos meteorológicos, por los que será usada cuando el tiempo lo permita.



Figura 108: Merendero

- Parking bicicletas

Los usuarios que lo prefieran podrán ir en bicicleta al trabajo, y para ello disponen de un aparcamiento especial para bicicletas junto al edificio de oficinas. Dicho aparcamiento cuenta con una estructura con cubierta para proteger las bicicletas de la lluvia y contiene diez plazas.

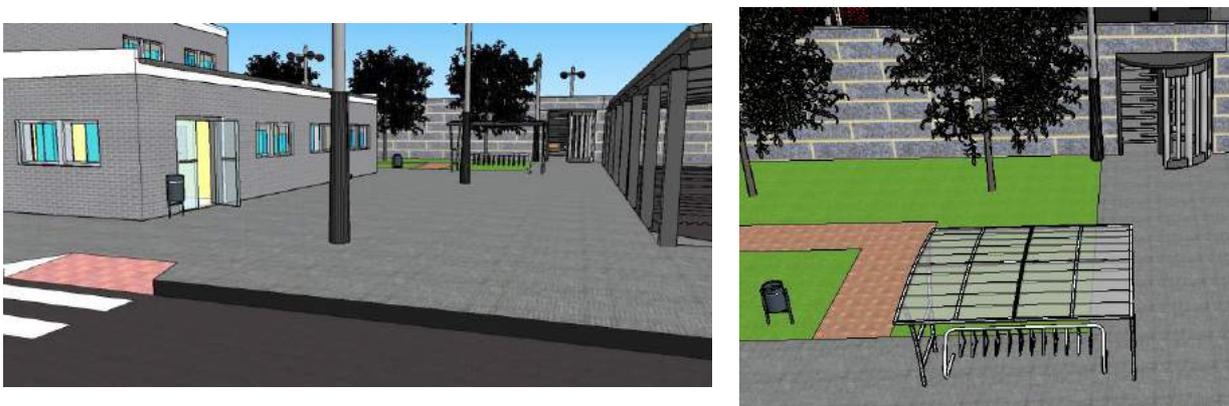


Figura 109: Aparcamiento de bicicletas

- Zonas de fumadores

Se ha reservado cinco zonas específicas de la planta para fumadores. Estos lugares han sido provistos de una estructura cubierta para proteger de la lluvia y de una papelera-cenicero. Están

ubicadas en zonas donde no exista riesgo de explosión e incendio, por lo que se encuentran alejadas del edificio de descarga y limpieza, depósito de gas natural y silos.

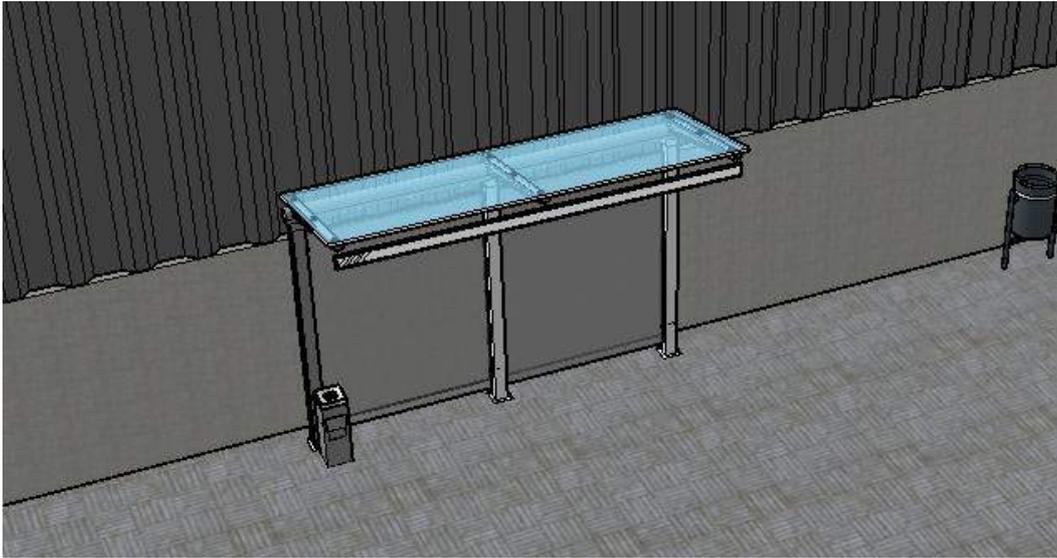


Figura 110: Zona para fumadores

- Carretera convencional y acceso a la planta

La vía que da acceso a la planta es de dos sentidos. El desvío para llegar a la entrada de la planta se efectuará por medio de una glorieta partida, de forma que los vehículos que tomen el desvío para la fábrica no interrumpirán el tráfico. En cuanto a la salida de la fábrica, a través de dicha glorieta partida los vehículos tienen la posibilidad de volver a circular en el mismo sentido o bien cambiar de sentido circulando por la media glorieta que se encuentra en el lado opuesto. A continuación, se muestran imágenes para clarificar esta explicación.

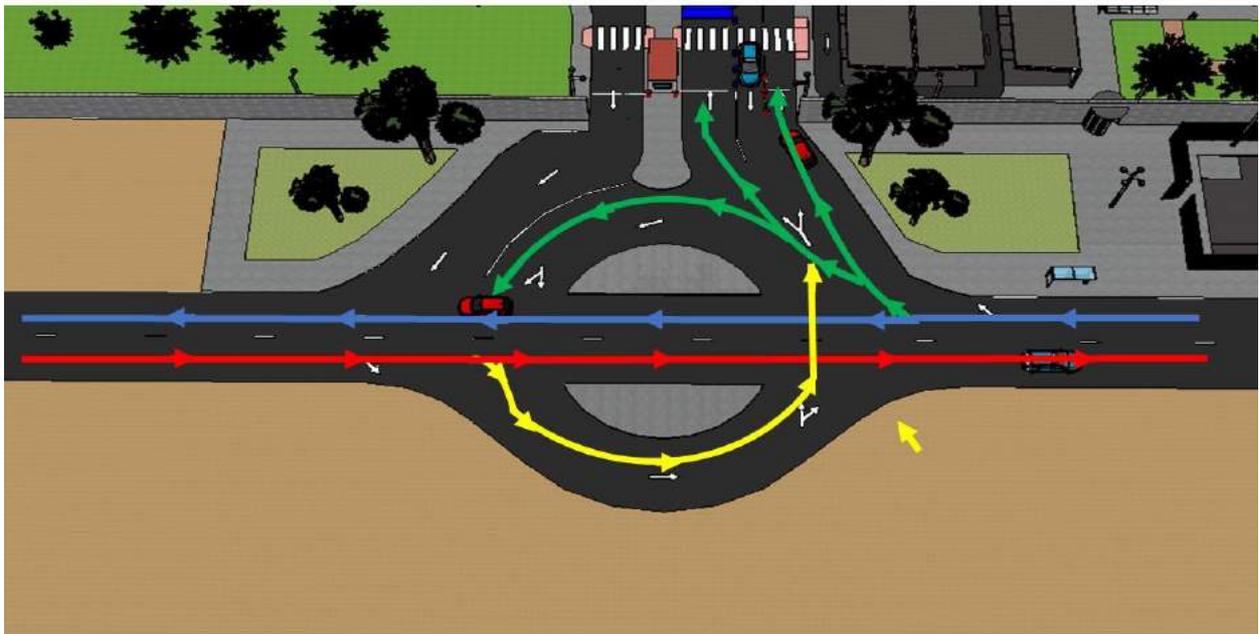


Figura 111: Flujos en la carretera para acceder a la planta

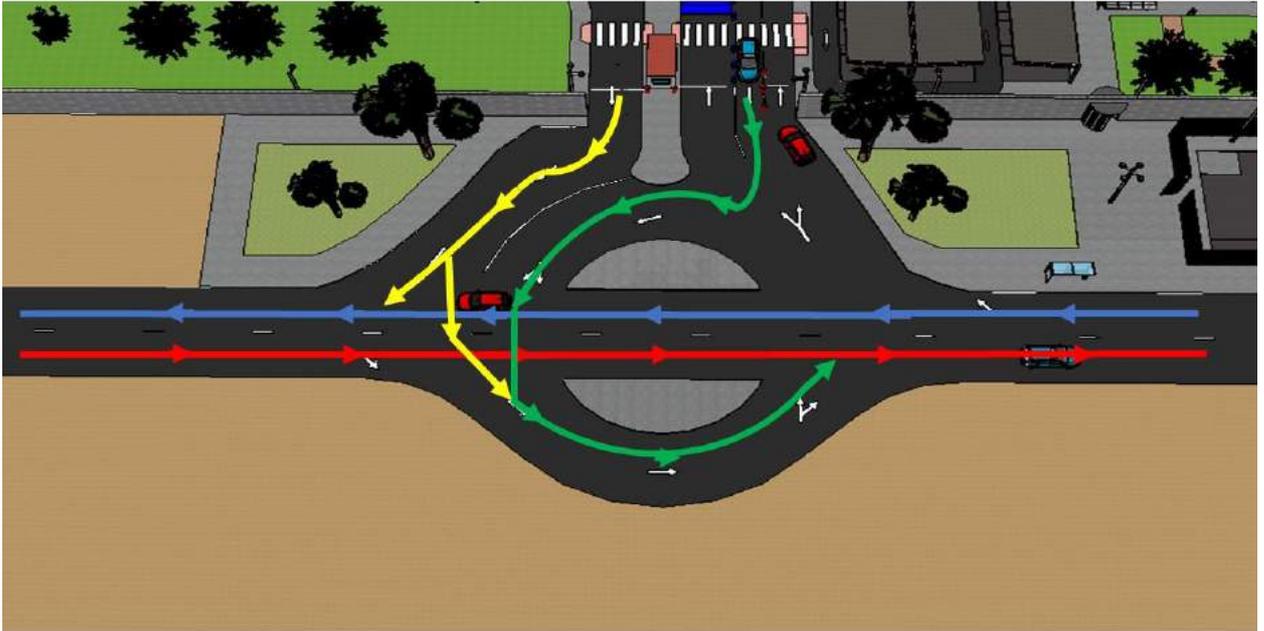


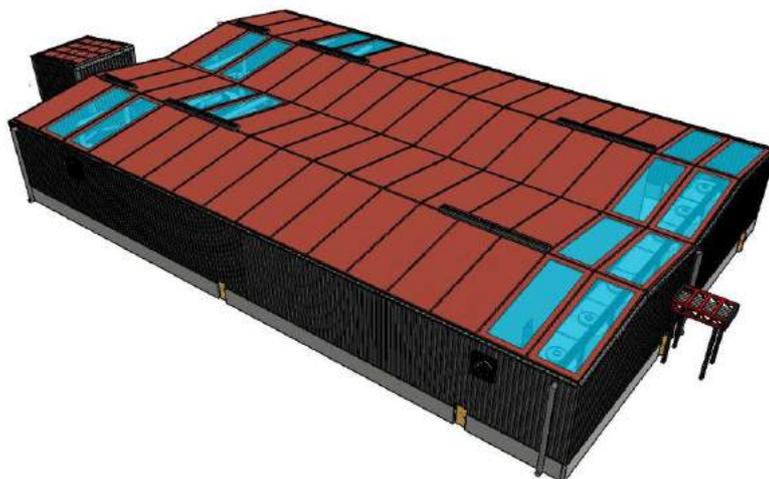
Figura 112: Flujo en la carretera al salir de la planta

## 4.2 Nave de producción

En esta nave se llevará a cabo todo el proceso de fabricación de la cerveza, en el cual se incluye la maceración, filtración, cocción, clarificación, enfriamiento del mosto, fermentación, filtración con tierra diatomeas y guarda. En esta nave también se lleva a cabo la dosificación de lúpulo y suministro y recuperación de la levadura.

Las dimensiones de la nave son de 64 m de largo y 40 m de ancho, ocupando una superficie en la planta de  $2560 m^2$ . Junto a la nave de producción se encuentran la sala de molienda, calderas y nave de envasado. La sala de molienda y nave de envasado se encuentran comunicadas con la nave de producción por medio de un sistema de tuberías, pero no existe acceso directo desde dichos edificios a la nave de producción. Sin embargo, la sala de calderas sí está comunicada con un acceso directo a la nave de producción tal y como se verá en las imágenes que se mostrará más adelante.

A continuación, se muestran unas imágenes generales de la nave de producción:



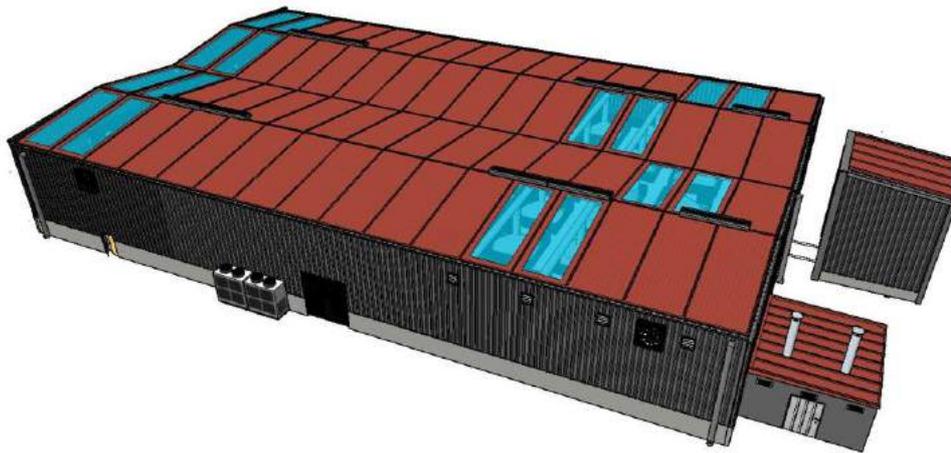


Figura 113: Vistas generales de la nave de producción

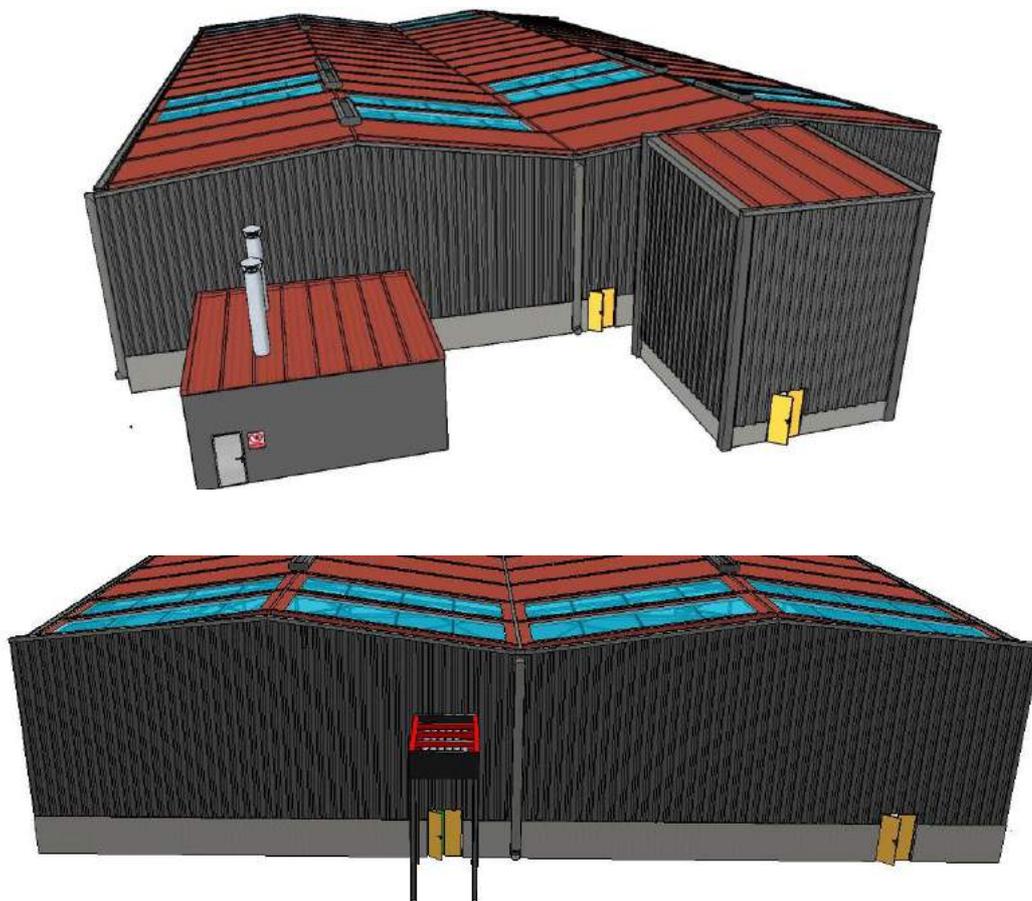


Figura 114: Vistas laterales de la nave de producción

En las imágenes anteriores se puede apreciar la ubicación de las salas de molienda y calderas, las cuales se encuentran en el lateral derecho de la nave de producción. La nave de envasado no se ha representado junto a la de producción por simplificación de imágenes, pero se puede observar el rack de tuberías que conectaría ambas naves.

La nave de producción dispone de 6 accesos desde el exterior estratégicamente situados, de forma que se pueda acceder cómodamente a cualquier zona de la nave. Además de esos 6 accesos, existe un acceso que comunica la sala de calderas y la nave de producción y un octavo acceso con un portón industrial abatible con unas dimensiones de 4,4 x 4 m. Dicho portón se ha proyectado para facilitar la entrada y

salida de maquinaria y equipos de grandes dimensiones y ha sido concebido exclusivamente para este propósito. El resto de los accesos tiene unas dimensiones de 2,2 m x 1,5 m con dos hojas, aunque la entrada y salida a la nave en condiciones normales se hará exclusivamente por una de las hojas. Dichas puertas tienen como función servir de puerta de evacuación en caso de emergencia. En condiciones normales las puertas se abrirán tanto desde el exterior como desde el interior con un pomo abatiéndose hacia fuera de la nave. En caso de emergencia las puertas cuentan con un sistema simple de empuje manual que permite abatir las hojas hacia el exterior. Por otro lado, la puerta de acceso de la nave de producción a la sala de calderas solamente tendrá una hoja y unas dimensiones de 2,2 m x 1 m.



Figura 115: Portón abatible (izda) y puertas de acceso/emergencia (dcha)

#### 4.2.1 Vista general del interior de la nave

Tal y como se comentó previamente, la nave ocupada una superficie de  $2560 m^2$ . Además, existe una planta a nivel de rasante y una entreplanta que comunica la zona de elaboración de mosto con la sala de fermentadores.

A continuación, se muestran unas imágenes que reflejan la ubicación de los distintos equipos y salas de la nave de producción:

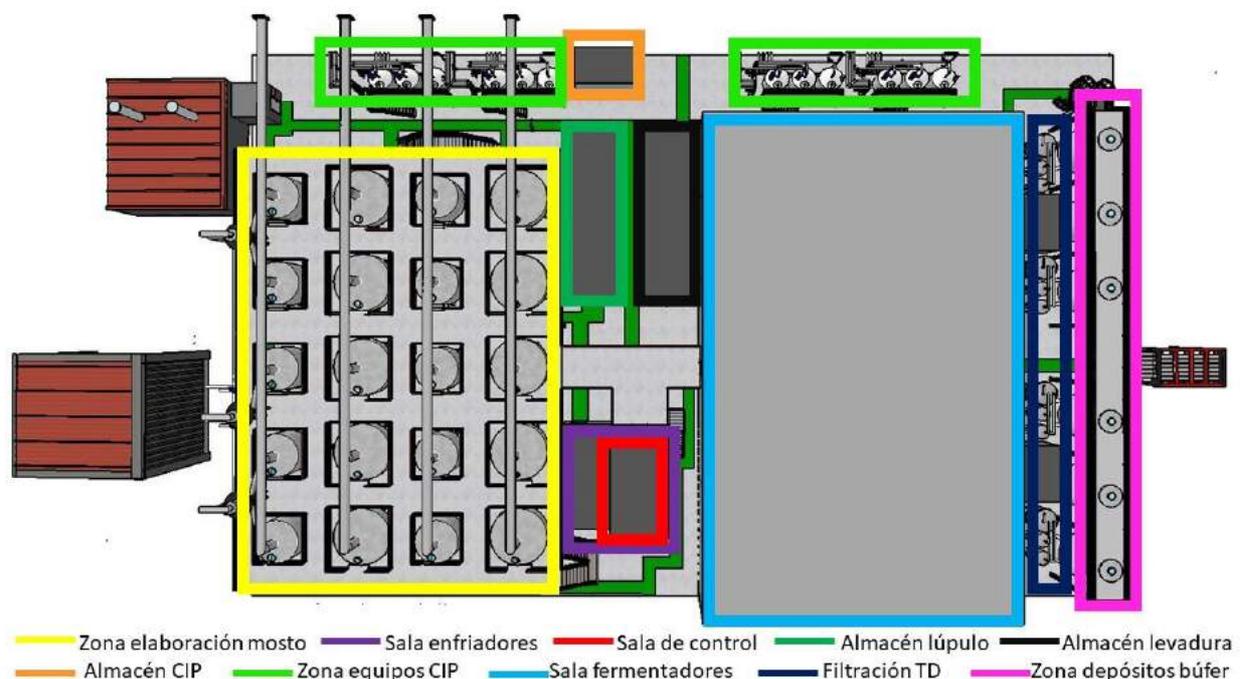


Figura 116: Ubicación de zonas, salas y equipos en la nave de producción.

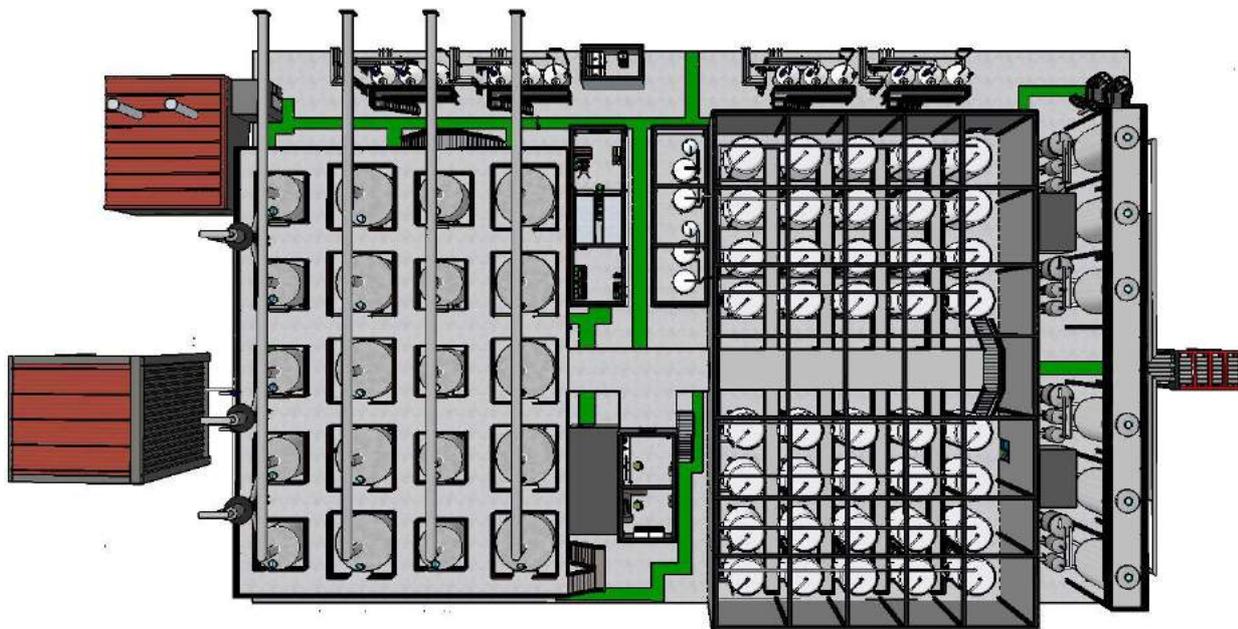


Figura 117: Vista en planta de la nave de producción.

En las imágenes anteriores se puede apreciar la existencia de caminos establecidos y predeterminados a través de los cuales podrán transitar el personal de fábrica y acceder a cualquier sala, salida de emergencia, escaleras y zonas de la nave de producción. Dichos caminos tienen una anchura de 0,8 m y están señalizados con una pintura de color verde.

## 4.2.2 Zonas de la nave

En este apartado se detallará cada una de las zonas y salas de la nave de producción, describiendo su funcionalidad, accesos y equipos que contienen.

### 4.2.2.1 Zona de elaboración de mosto.

Esta zona es la que se conocen comúnmente como sala de cocción, ya que en algunas fábricas de elaboración de cerveza artesanal constituye una sala aislada e independiente del resto de zonas. En el presente proyecto, esta zona está ubicada en el interior de la nave de producción, pero no incluye cerramientos que la aislen del resto de la nave.

En esta zona se encuentran instaladas las cubas de maceración, filtración, cocción y centrifugación (Whirpool), existiendo cinco líneas de producción independientes, es decir, cada línea cuenta con las cuatro cubas descritas anteriormente.

La zona de elaboración de mosto ha sido proyectada en dos niveles. El primer nivel corresponde a la cota cero de la nave y será en este nivel donde se lleven a cabo las labores de mantenimiento, instalación y limpieza de equipos ya que desde este nivel es posible acceder a cualquier componente y tubería que forme parte de las cubas. El segundo nivel se encuentra a tres metros sobre el suelo y ha sido construido con una estructura metálica con forjado mixto tal y como se comentará en el capítulo de obra civil correspondiente. Este segundo nivel tiene dos objetivos:

- Comunicar la zona de elaboración de mosto con la sala de control y sala de fermentación.
- Facilitar la supervisión y toma de muestras por parte de los técnicos durante los procesos de elaboración. Esto es posible gracias a que las cubas disponen de una trampilla circular de cristal en su parte superior que permite visualizar el proceso de elaboración y acceder al producto en caso de que sea necesario tomar una muestra.

Al segundo nivel se puede llegar a través de dos escaleras situadas en puntos opuestos con el objetivo de mejorar la accesibilidad. Se han instalado en todo el perímetro una serie de barandas de seguridad para prevenir caídas al nivel inferior.

Las dimensiones de la zona de elaboración de mosto son de 31 m x 23 m siendo la superficie que ocupa de 837 m<sup>2</sup>, lo que supone más del 30 % de la superficie total de la nave de producción.

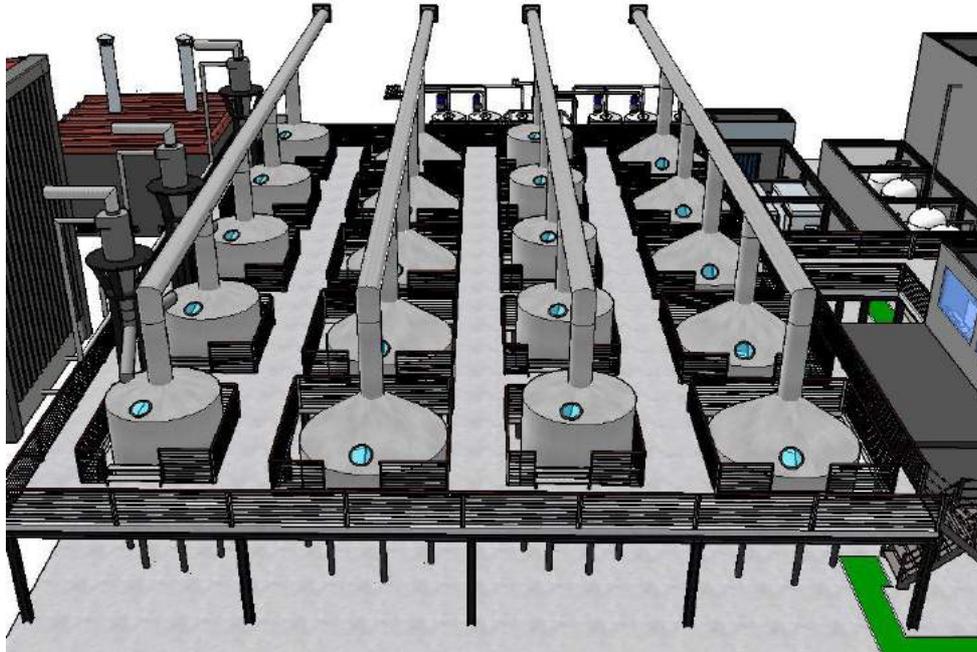


Figura 118: Vista general de la zona de elaboración de mosto

En la figura anterior se puede apreciar las cuatro líneas de producción (cuyo sentido en la imagen es hacia la derecha) y los dos niveles comentados anteriormente.



Figura 119: Accesos al nivel superior de la zona de elaboración de mosto

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, el acceso al nivel superior se efectúa mediante escaleras. La ubicación de dichos accesos se detallará mejor en la imagen en planta que se mostrará a continuación.

Las escaleras están situadas estratégicamente de forma que en caso de emergencia constituyan una vía de evacuación y comuniquen con un recorrido de evacuación que conduzca a la salida de emergencia más cercana.

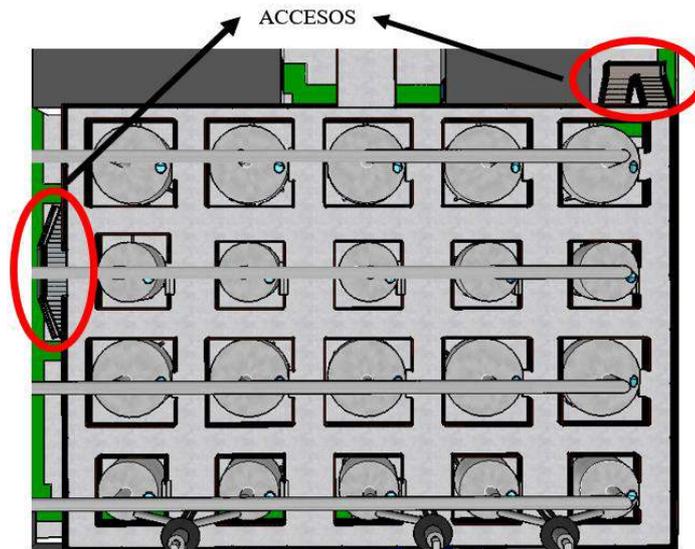


Figura 120: Ubicación de los accesos al nivel superior

#### 4.2.2.2 Sala de enfriadores

La sala de enfriadores tiene unas dimensiones de 7,5 m x 7,5 m y una altura de 2,9 m, ocupando una superficie aproximada de 56 m<sup>2</sup>. Está ubicada a nivel del suelo, justo debajo de la sala de control. En esta sala se encuentran los intercambiadores de placas que permiten enfriar el mosto antes de ser enviado a la sala de fermentación. Los cinco intercambiadores de placas instalados están comunicados con la sala de cocción y sala de fermentación por medio de conducciones que transportan el mosto caliente y enfriado, respectivamente.

La sala de cocción tiene dos accesos:

- Un primer acceso ha sido proyectado para la entrada y salida del personal de fábrica, teniendo la puerta unas dimensiones de 1 m x 2,2 m.
- El segundo acceso tiene como objetivo permitir la entrada y salida de los intercambiadores, ya que, debido a sus grandes dimensiones, resultaría imposible que cupiesen por el acceso normal. Por ello, este segundo acceso consiste en una puerta de chapa de dimensiones 1,5 m x 2,5 m.

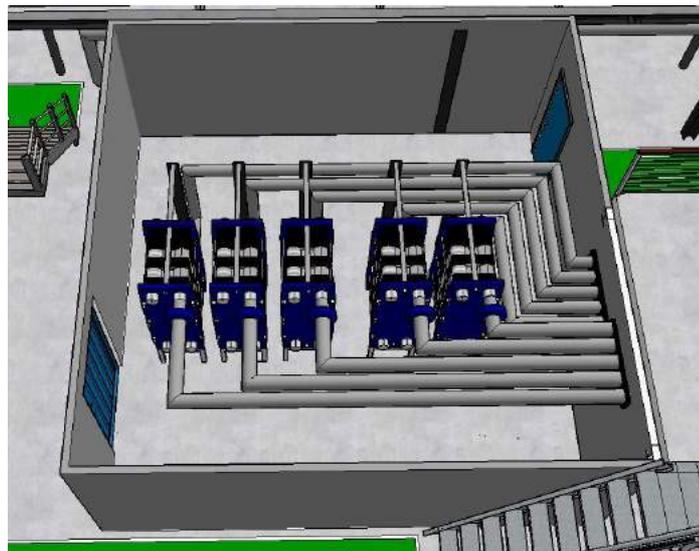


Figura 121: Vista en planta de la sala de enfriadores



Figura 122: Ubicación de la sala de enfriadores

En las imágenes anteriores puede observarse la distribución interior de la sala, posición de los dos accesos y la ubicación de la sala bajo la sala de control.

#### 4.2.2.3 Sala de control

La sala de control tiene forma rectangular y sus dimensiones son 7,5 m x 3 m, con una altura de 2,9 m. En esta sala los técnicos de control de procesos realizan las labores de supervisión de todo el proceso productivo que se desarrolla en la nave. De esta manera es posible obtener información en tiempo real de cada una de las operaciones que forman parte de la cadena de producción.

La sala de control se encuentra en el nivel superior y se puede acceder a ella mediante una escalera que comunica el nivel inferior con la primera planta. Dispone de un único acceso para los trabajadores, con unas dimensiones de 1 m x 2,2 m. Por otro lado, la sala dispone de dos cristaleras en la pared izquierda que permiten a los técnicos visualizar la zona de elaboración de mosto desde el interior de la sala de control.

En el interior, se encuentran dos zonas de trabajo las cuales ocuparán de forma general dos técnicos de control de procesos. Ambas zonas de trabajo están provistas de pantallas y equipos informáticos que permiten monitorear y visualizar los procesos de elaboración que tienen lugar en cada uno de las cubas, equipos y depósitos.



Figura 123: Vista interior de la sala de control

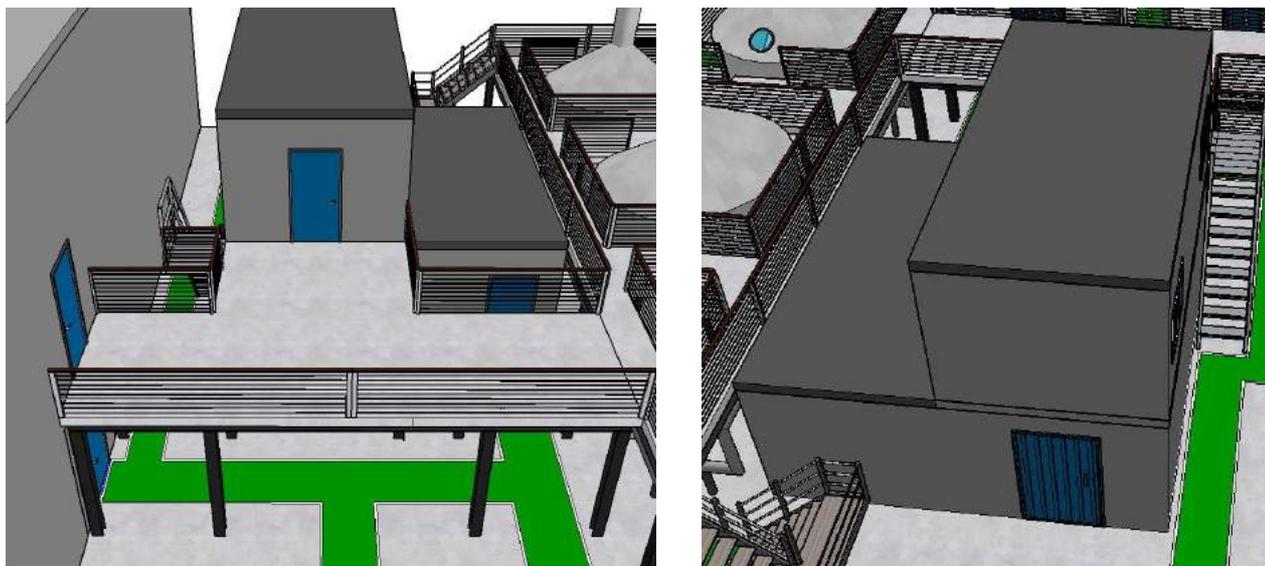


Figura 124: Ubicación de la sala de control y escalera de acceso a la primera planta



Figura 125: Detalle de las cristalerías de la sala de control

#### 4.2.2.4 Almacén de lúpulo

El almacén de lúpulo se trata de una sala en la cual se llevan a cabo dos actividades:

- La sala de lúpulo tiene como finalidad almacenar los bidones llenos y vacíos de extracto de lúpulo.
- Por otro lado, es en esta sala donde se encuentran los equipos necesarios para llevar a cabo la dosificación de extracto de lúpulo.

La sala tiene forma rectangular y tiene unas dimensiones de 12 m de largo y 4 m de ancho. Dicha sala está dividida en tres zonas bien diferenciadas. En la zona primera los bidones de extracto de lúpulo se almacenan y apilan en palés hasta que es necesario su uso. La segunda zona está ocupada por dos cámaras térmicas y los transportadores de rodillos a través de los cuales discurren los bidones. En la segunda zona los bidones vacíos de extracto de lúpulo se retiran y se almacenan hasta que se procede a retirarlos.

El almacén de lúpulo, al contrario de lo que ocurriría en caso de que se empleara lúpulo en forma de pellets, no es necesario mantener el ambiente a baja temperatura ya que el extracto de lúpulo no requiere dicha temperatura para su conservación.

Por otro lado, existen dos accesos al almacén de lúpulo situados en las zonas 1 y 3. Esto es debido a que no es posible acceder de una zona a otra de forma directa, por lo que será necesario contar con dos puertas que permitan la entrada y salida de bidones. Dichas puertas tienen unas dimensiones de 1,5 m x 2,2 m, de forma que se facilite el acceso de las transpaletas que cargan con los palés de bidones.

La sala de lúpulo dispone de una instalación de tuberías que comunican con las cubas de cocción de la zona de elaboración de mosto a través de las cuales circula y se dosifica el lúpulo.

Por otra parte, el motivo de utilizar dos cámaras térmicas con sus respectivos es equipo es asegurar la continuidad del proceso productivo en caso de que una de ellas sufra una avería.

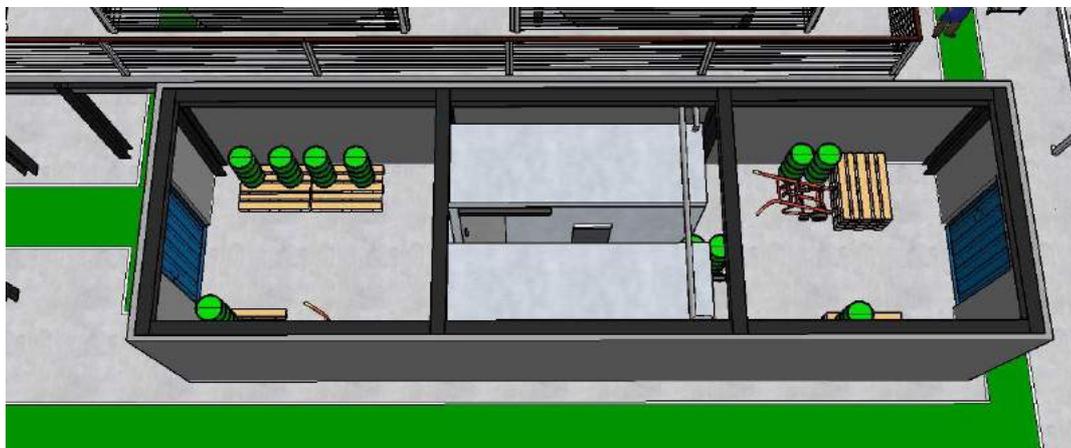


Figura 126: Vista en planta de la sala de lúpulo

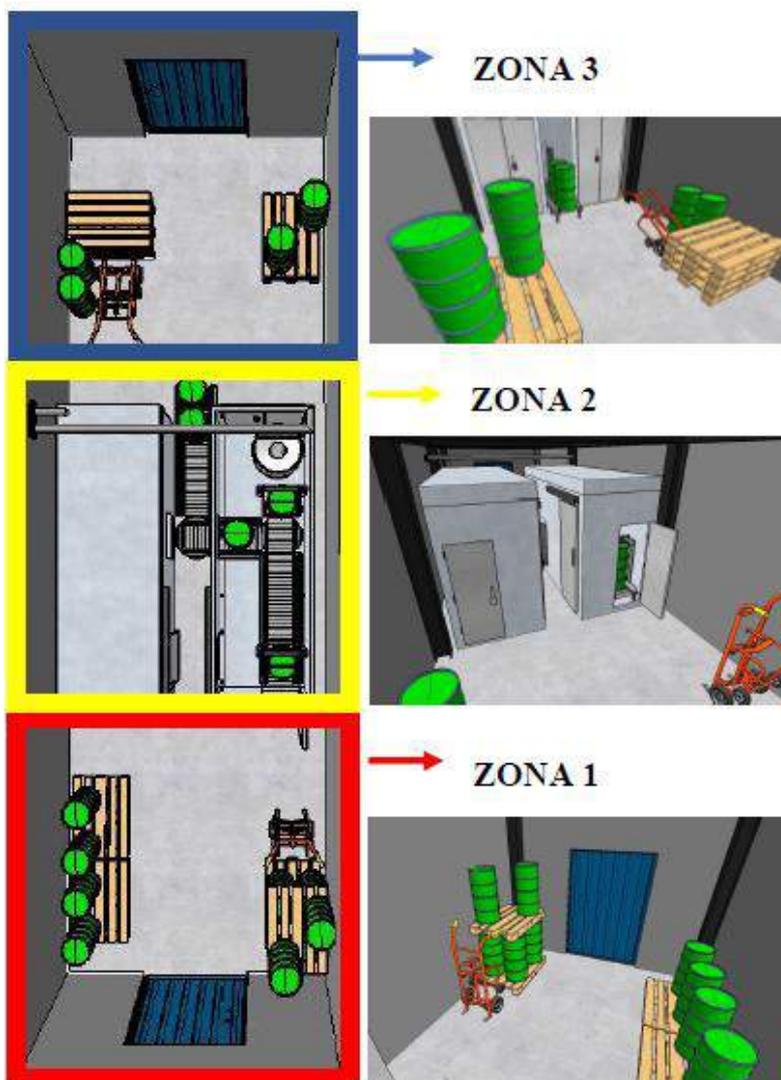


Figura 127: Zonas de la sala de lúpulo

En las imágenes anteriores se puede observar las “drum trolleys” (carro de tambor, en castellano), las cuales sirven para mover los bidones e introducirlos en la cámara térmica. Ambas cámaras térmicas disponen de tres puertas. La primera puerta tiene cierre hermético y es la que se utiliza para introducir los bidones. En el lado opuesto, se encuentra otra puerta hermética con dos hojas la cual sirve para labores de mantenimiento del recipiente mezclador y sistema de tuberías y conductos. La tercera puerta está destinada para que el personal de trabajo pueda entrar en la cámara térmica y manipular bidones estancados, realizar las labores de mantenimiento de los transportadores de rodillos y actividades similares. Esta última puerta es corredera y con cierre hermético, con un sistema de apertura manual en la cara interior de manera que en caso de emergencia el trabajador pueda salir cómodamente de la cámara térmica. La distancia que separa ambas cámaras térmicas es de 0,9 m.

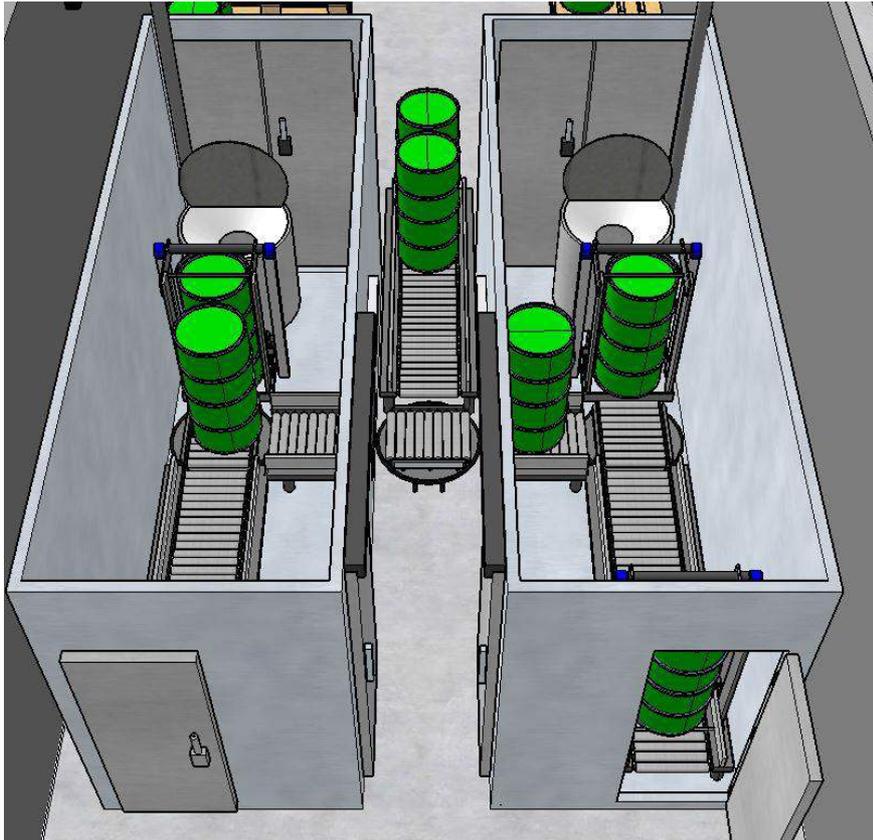


Figura 128: Vista interior de las cámaras térmicas

#### 4.2.2.5 Almacén de levadura

Esta sala presenta las mismas dimensiones que la sala de lúpulo, con una longitud de 12 m y un ancho de 4 m. En esta sala se encuentran los equipos e instalaciones necesarios para la recuperación, tratamiento y dosificación de la levadura. Dichos equipos están conectados a los fermentadores de la sala de fermentación por medio de un sistema de tuberías que transportan la levadura.

En la sala se encuentran dos sistemas independientes formados por los equipos, tuberías y depósitos necesarios para llevar a cabo las actividades mencionados. El motivo de usar dos sistemas es para reducir los tiempos de operación en momentos de picos de producción y, de forma general, disponer de un sistema de reserva de forma que no se paralice la producción de cerveza en caso de una avería o fallo eventual prolongado.

Dos accesos permitirán la entrada y salida a la sala. Uno de dichos accesos va destinado a la entrada y salida de personal de fábrica y técnicos de mantenimiento, mientras que el otro acceso ha sido proyectado para que los equipos y depósitos que se encuentran dentro de la sala puedan salir o entrar en caso de que se precise.

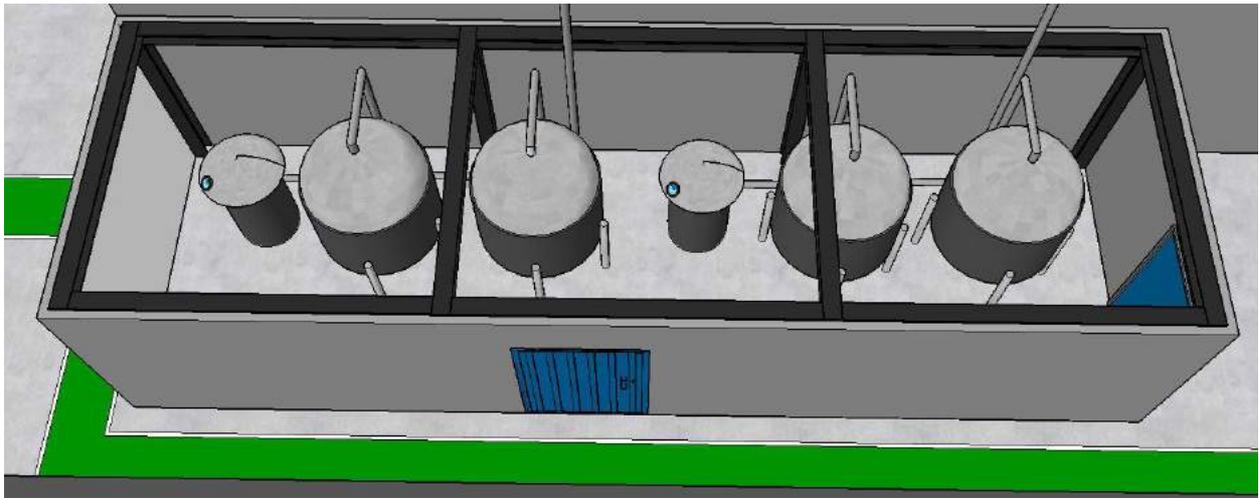


Figura 129: Vista general de la sala de levadura

#### 4.2.2.6 Sala de fermentadores

La sala de fermentadores constituye una zona independiente y aislada dentro de la nave de producción. Esta sala estará aislada y acondicionada para mantener la temperatura ambiente del habitáculo a  $5^{\circ}\text{C}$  por lo que podría considerarse que se trata de una cámara frigorífica.

La sala de fermentación contiene un total de cuarenta fermentadores, todos ellos conectados a tuberías de conducción por las que circulan el mosto enfriado y levadura. Además, cuentan con un sistema de tuberías que transportan la cerveza una vez terminado el proceso de fermentación hasta los equipos de filtración.

Al igual que en la zona de elaboración de mosto, la sala de fermentación cuenta con dos niveles. Desde el nivel inferior es posible acceder a los dispositivos, tuberías y válvulas que forman parte de los fermentadores para llevar a cabo las labores de mantenimiento. El nivel superior está conectado con la pasarela que comunica la zona de elaboración de mosto con la sala de control y la sala de fermentación. Este nivel superior tiene forma de “espina de pescado”, de manera que existe un pasillo central de 2,5 m de ancho que recorre todo el largo de la sala de control y en los laterales se encuentran pasillos con un ancho de 1 m que permite acceder de forma directa a los dispositivos de apertura de los fermentadores para llevar a cabo la toma de muestras. El nivel superior e inferior están comunicados por medio de dos escaleras situadas al final del pasillo central del nivel superior.

La sala de fermentación dispone de 4 accesos. Tres de esos accesos se encuentran en el nivel inferior, mientras que el cuarto acceso se encuentra en el nivel superior, próximo a la sala de control. Los dos accesos que se encuentran en la pasarela que comunica la sala de fermentación con la zona de elaboración de mosto tienen unas dimensiones de 1 m x 2,2 m, y llevarán instaladas puertas con cierre hermético para reducir al máximo las pérdidas térmicas. Los otros dos accesos situados al final de la sala de fermentación en el nivel inferior tienen unas dimensiones de 1,5 m x 2,2 m y constarán de dos hojas abatibles. Todas las puertas de la sala de fermentación contarán de un sistema de empuje manual en la zona interior a la sala, de manera que dichas puertas actúen como salida de emergencia en caso de que sea necesario. Por lo habitual, solamente se abatirá una de las hojas accionándose la apertura por medio de un pomo.

La sala presenta unas dimensiones de 20 m de largo y 34 m de ancho, con una altura de 8,2 m. La superficie que ocupa la sala es de  $714\text{ m}^2$ , lo que supone aproximadamente el 30 % de la superficie total de la nave de producción.

A continuación, se muestran algunas imágenes que revelan de forma gráfica todos los aspectos comentados.

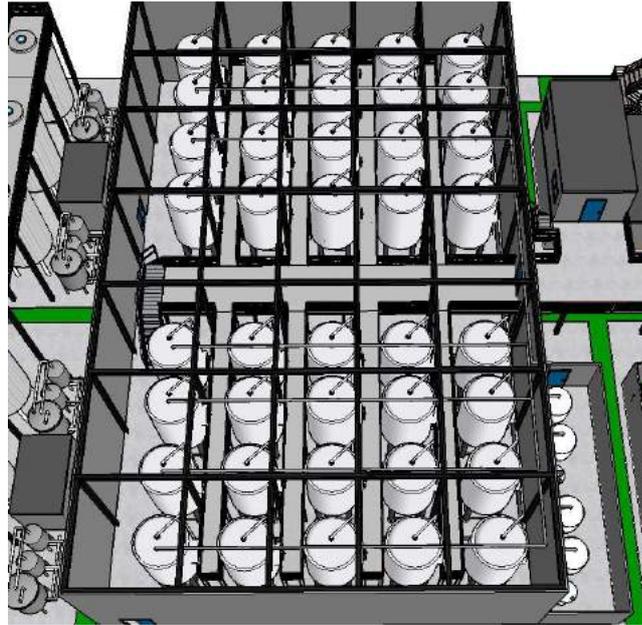


Figura 130: Vista general de la sala de fermentadores

Como puede apreciarse en la imagen anterior los fermentadores están distribuidos en dos grupos formados por veinte fermentadores cada uno, estando separados ambos grupos por el pasillo superior central.

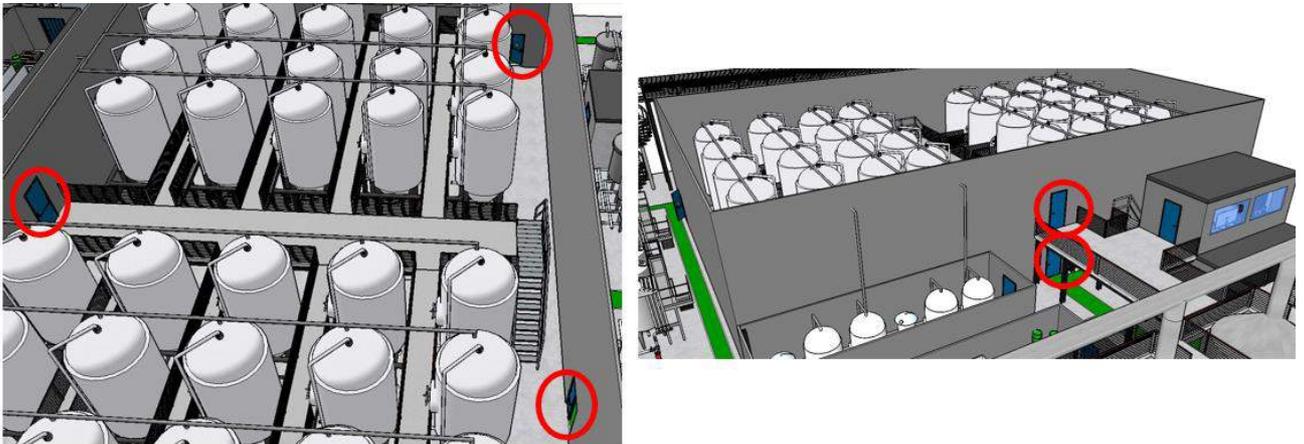


Figura 131: Vista de la ubicación de dos accesos



Figura 132: Vista desde el nivel inferior de la sala de fermentación

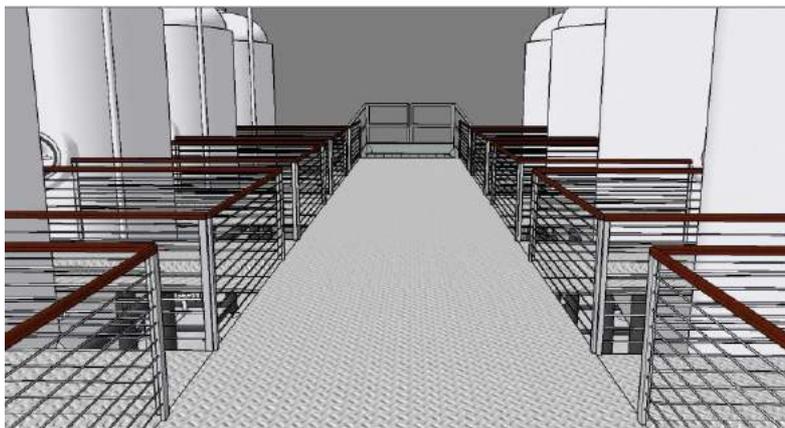


Figura 133: Vista desde el pasillo central del nivel superior en la sala de fermentación

En la imagen anterior puede observarse la colocación de vallas metálicas en todo el perímetro del nivel superior para evitar caídas al nivel inferior.



Figura 134: Doble escalera de comunicación entre nivel superior e inferior en la sala de fermentación

#### 4.2.2.7 Zona de filtración con tierras diatomeas

La zona de filtración con tierras diatomeas está constituida por cuatro grupos de equipos y depósitos en los cuales se llevará a cabo el abrillantado final de la cerveza tras el proceso de fermentación. En esta zona se encuentra también dos salas destinadas al almacenaje de los big bags en los que se comercializa las tierras diatomeas. Los equipos de filtración de tierras diatomeas están comunicados tanto con los fermentadores como con los depósitos buffer por medio de un sistema de tuberías por los que circula la cerveza.

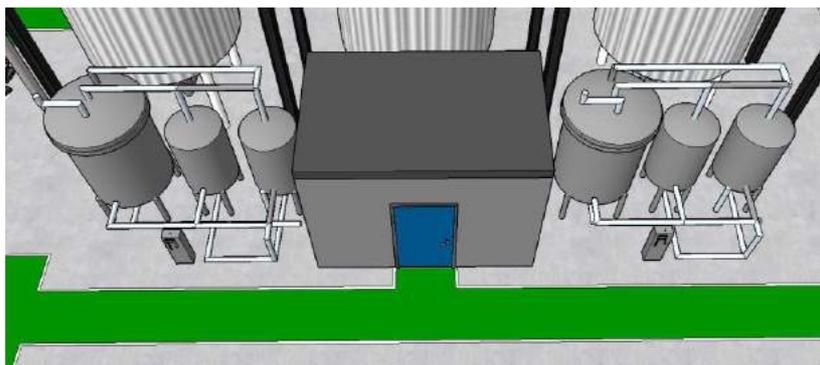


Figura 135: Vista de los equipos y depósitos de filtración con TD y almacén

#### 4.2.2.8 Zona de depósitos buffer

Esta zona está constituida por un conjunto de seis depósitos búfer cuyo objetivo es almacenar la cerveza tras ser abrigantada, antes de ser enviada a la nave de envasado para proceder al llenado de las botellas. Los seis depósitos están colocados en línea, justo detrás de la zona de filtración de tierras diatomeas.

Los depósitos cuentan con un sistema de bombeo, válvulas y tuberías que transportan la cerveza hasta la nave de envasado. Puesto que la nave de producción y la nave de envasado están separadas cuatro metros, las conducciones irán montadas sobre una estructura metálica formando un rack.

Debido a las grandes dimensiones de los depósitos buffer, se ha diseñado una pasarela en la parte superior de dichos depósitos, de forma que el personal de fábrica pueda transitar por ella y visualizar el estado del producto dentro de los depósitos. La visualización del interior de los depósitos es posible gracias a la trampilla de cristal que tienen los depósitos en su parte superior. Esas trampillas serán abiertas eventualmente para llevar a cabo la limpieza interior del depósito. El acceso a la plataforma transitable se hará por medio de una escalera de caracol que parte del nivel del suelo. Además, para prevenir caídas accidentales desde la plataforma, se han instalado vallas metálicas de seguridad en todo el perímetro.

Los depósitos son cilindrocónicos y tienen unas dimensiones de 2 m de radio y 6 m de alto, lo que supone un volumen total aproximado de 75 m<sup>3</sup>. Puesto que existen seis depósitos de las mismas dimensiones, el volumen total de cerveza que pueden contener es de 4.500 hL de cerveza. De esta forma, los depósitos podrán contener la cantidad de cerveza equivalente a la producida durante cinco días de trabajo.



Figura 136: Vista de los depósitos buffer

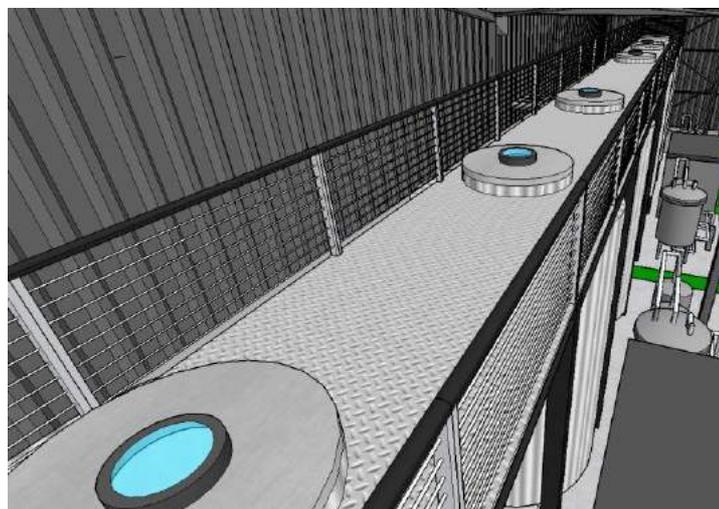


Figura 137: Vista de la pasarela



Figura 138: Vista de la escalera de acceso a la plataforma

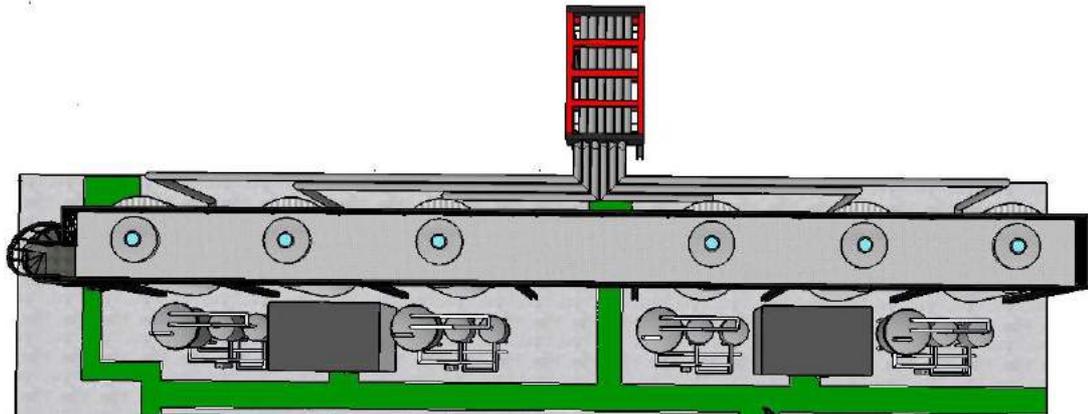


Figura 139: Vista en planta de la zona de depósitos buffer

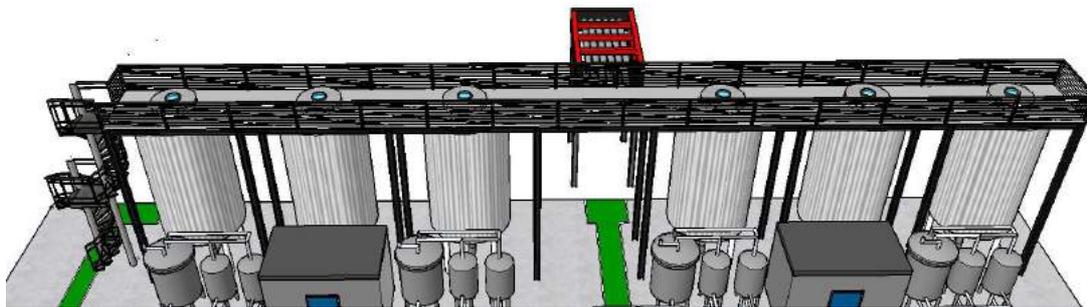


Figura 140: Vista frontal de la zona de depósitos buffer

En las dos imágenes anteriores se puede observar el rack de tuberías que transportan la cerveza desde la nave de producción a la nave de envasado.

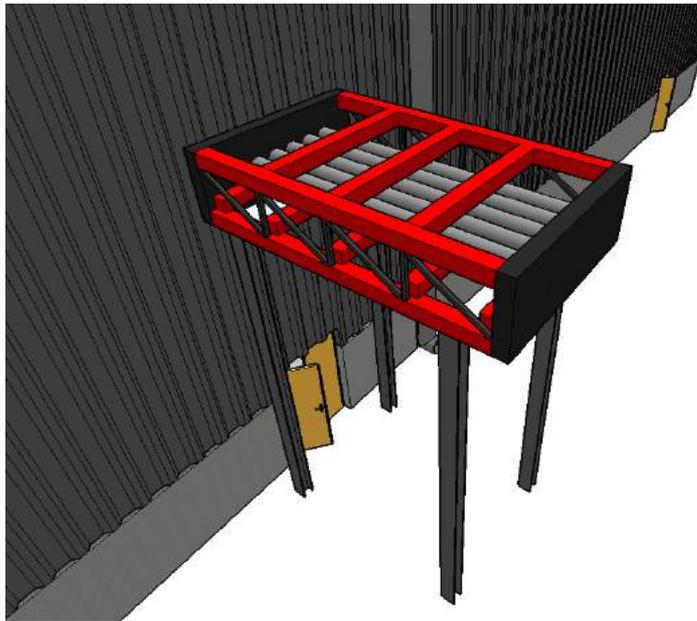


Figura 141: Rack de tuberías

#### 4.2.2.9 Almacén de productos para sistemas CIP

Este almacén tiene como objetivo guardar los depósitos IBC (Intermediate Bulk Container) que contienen los productos necesarios para que los equipos CIP puedan funcionar. Solamente tendrá acceso a este almacén el personal autorizado.

Las dimensiones de este almacén son de 4,5 m de largo y 2,5 m de ancho. La altura de la sala será de 2,9 m. El acceso al almacén se hará por medio de una única puerta de chapa con cerradura con unas dimensiones de 1,5 m x 2,2 m. Las dimensiones de la puerta han sido proyectadas teniendo en cuenta que los depósitos IBC puedan entrar y salir.



Figura 142: Almacén de productos para sistemas CIP



Figura 143: Vista interior del almacén de depósitos IBC

En la imagen mostrada, obsérvese la ubicación estratégica del almacén de productos para sistemas CIP:

- Por un lado, el almacén se encuentra próximo a los equipos CIP, donde se utilizarán los productos almacenados en los depósitos IBC.
- Debido a las grandes dimensiones de los depósitos, estos deberán ser transportados por las carretillas elevadoras las cuales accederán a la nave de producción a través del portón. Obsérvese en la imagen la proximidad del portón de acceso y el almacén.

#### 4.2.2.10 Zona equipos CIP

La zona de equipos CIP está constituida por cuatro conjuntos de equipos, sistemas de tuberías y depósitos los cuales llevarán a cabo las actividades CIP. Los equipos están distribuidos en dos zonas. Dos equipos están ubicados junto a la zona de elaboración de mosto, sala de lúpulo y sala de intercambiadores de calor. Los otros dos equipos están colocados próximos a la sala de propagación de levadura, sala de fermentadores y zona de filtración con tierras diatomeas. Esta organización se ha diseñado para acotar los equipos, tuberías y depósitos que limpiarán cada una de las estaciones CIP.

Debido a la altura de los depósitos de las estaciones CIP, estas cuentan con una plataforma transitable por el personal de fábrica para facilitar las actividades de supervisión, mantenimiento y verificación de los equipos.

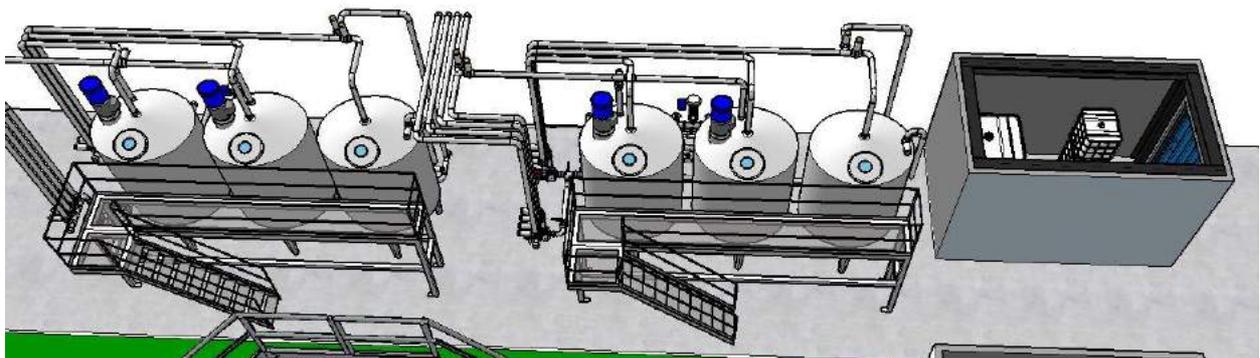


Figura 144: Vista general de dos estaciones CIP y almacén de productos

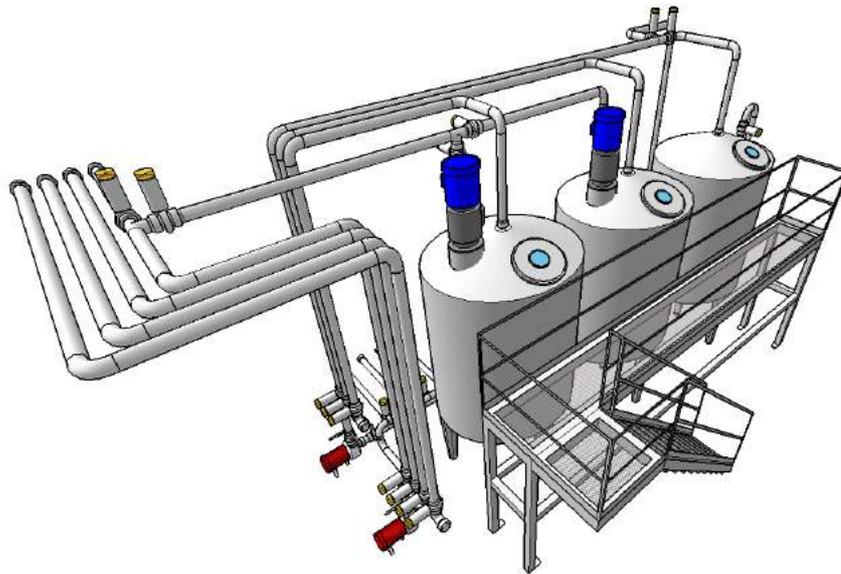


Figura 145: Estación CIP

### 4.3 Nave de envasado

En la nave de envasado será donde se lleven a cabo todas las actividades necesarias para la preparación del producto final para su posterior comercialización. Los procesos que se llevan a cabo en esta nave son despaletizado de botellas vacías, transporte de botellas, llenado, taponado, etiquetado, pasteurizado, encajonado y paletizado del producto final. Todo ello es posible a la instalación e interconexión de equipos, maquinarias, robots y transportadores que permiten realizar las tareas necesarias para obtener la cerveza envasada en las botellas.

Las dimensiones de la nave son 40 m x 48 m, lo que supone una superficie total de 1920  $m^2$ . En el interior de la nave existen dos líneas de envasado, proyectadas en primera instancia para ser usadas cada una para un tipo de cerveza en concreto, es decir, una línea para el envasado de "lager" y otra para "ale". Sin embargo, debido a la flexibilidad de las líneas, es posible usarlas indistintamente para un tipo de cerveza u otro de forma que en momentos de pico de producción y/o demanda de un tipo de cerveza, las dos líneas podrán operar para un único tipo de cerveza.

A continuación, se muestran imágenes para visualizar de forma general el exterior de la nave de envasado.

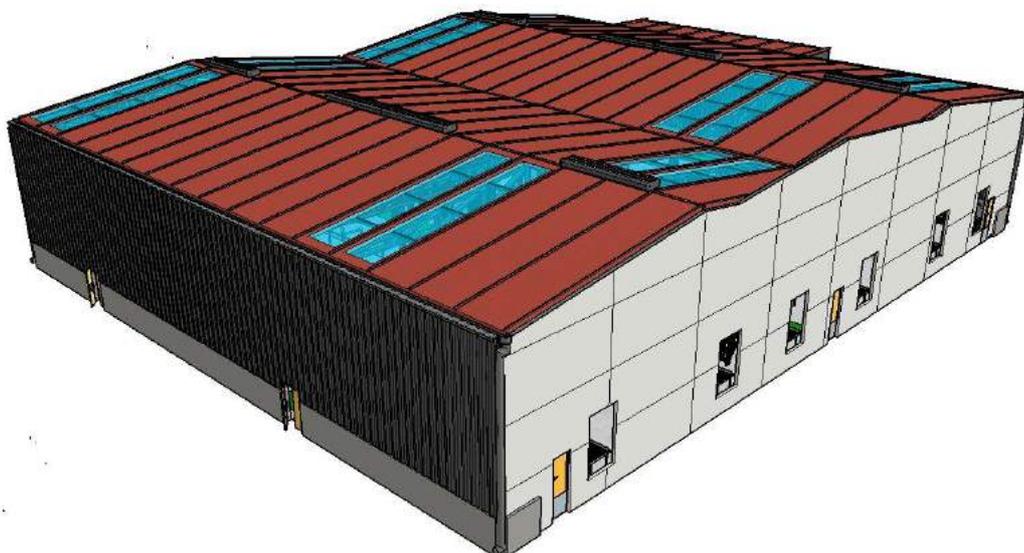




Figura 146: Vistas en perspectiva de la nave de envasado

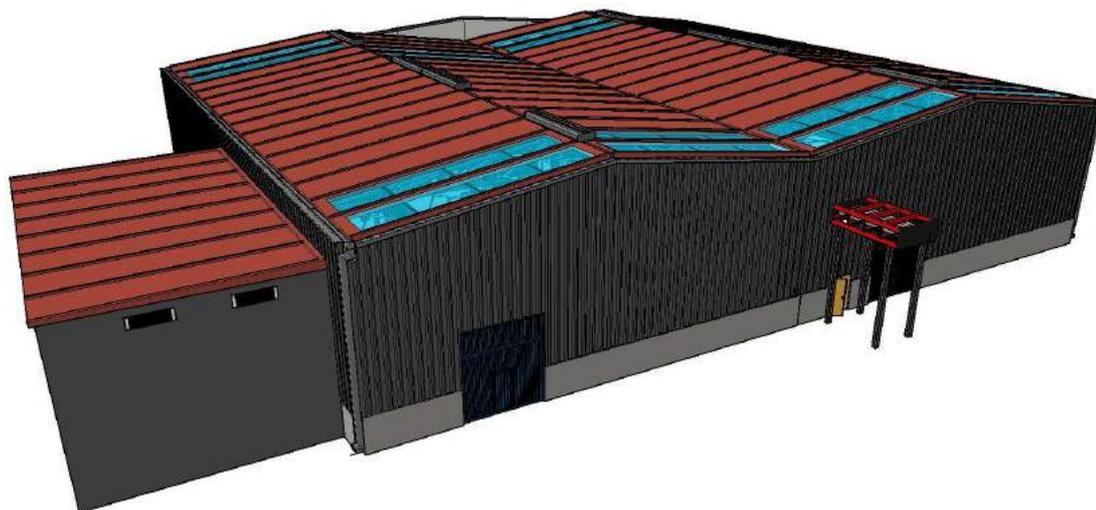


Figura 147: Vista de la parte trasera de la nave de envasado

Puede apreciarse en la figura anterior el rack de tuberías exterior que conecta con los depósitos buffer de la nave de producción. También se puede observar la ubicación de la sala de compresores, la cual está contigua a la nave de envasado e incluye un acceso directo al interior de la nave, tal y como se detallará más adelante.

#### 4.3.1 Vista interior de la nave de envasado

Tal y como se ha comentado previamente, la nave de envasado cuenta en su interior con dos líneas que operan de forma independiente. Ambas líneas son flexibles, de manera que podrán envasar tanto cerveza tipo “lager” como cerveza “ale”

La distribución interior de equipos, máquinas y transportadores se mostrarán en las imágenes siguientes.

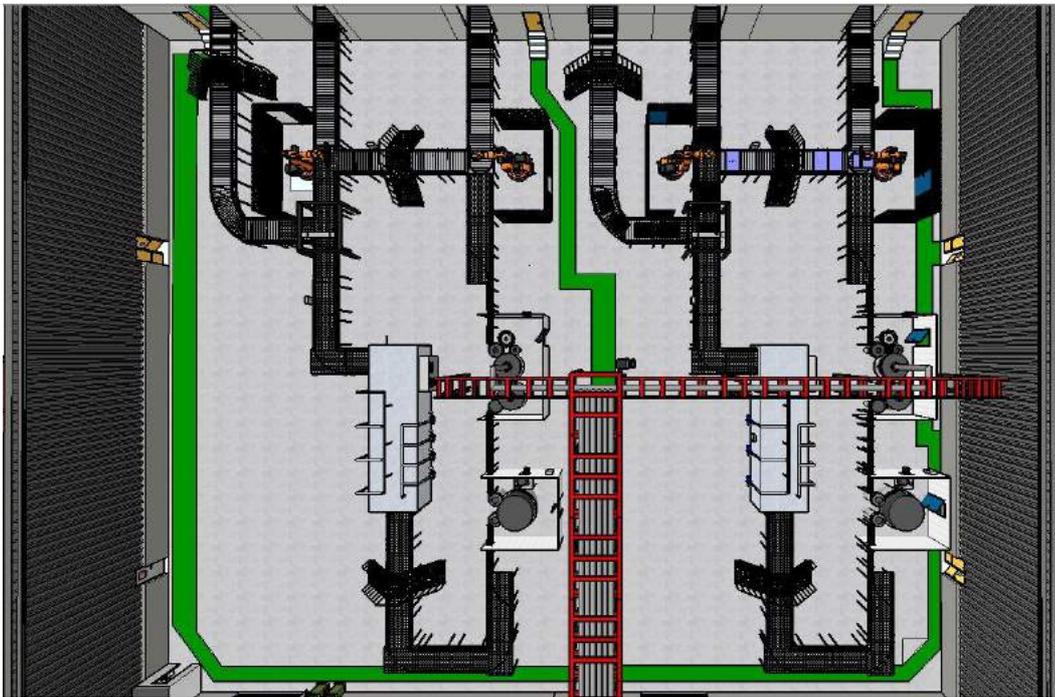


Figura 148: Vista en planta del interior de la nave de envasado

En la imagen anterior se observan claramente las dos líneas de envasado. Dichas líneas parten de la zona comunicada con la nave de almacenamiento y mueren en el almacén también, una vez cerrado el ciclo de envasado.

La cerveza es transportada desde la nave de producción por medio de un sistema de tuberías instaladas y apoyadas en una estructura metálica formando un rack. Dicho conjunto de seis tuberías desemboca en una conducción general de mayor diámetro que distribuye la cerveza a los equipos de llenado. Aquí puede observarse el carácter flexible de las líneas, ya que a pesar de que las conducciones individuales pueden transportar cerveza “lager” o “ale”, la tubería general que distribuye la cerveza hacia las llenadoras dispone de dispositivos de corte y válvulas de forma que puede transportar cualquiera de los dos tipos de cerveza. Es importante que dicha tubería permanezca limpia para evitar la mezcla de los dos tipos de cerveza.



Figura 149: Vista interior de la nave de envasado

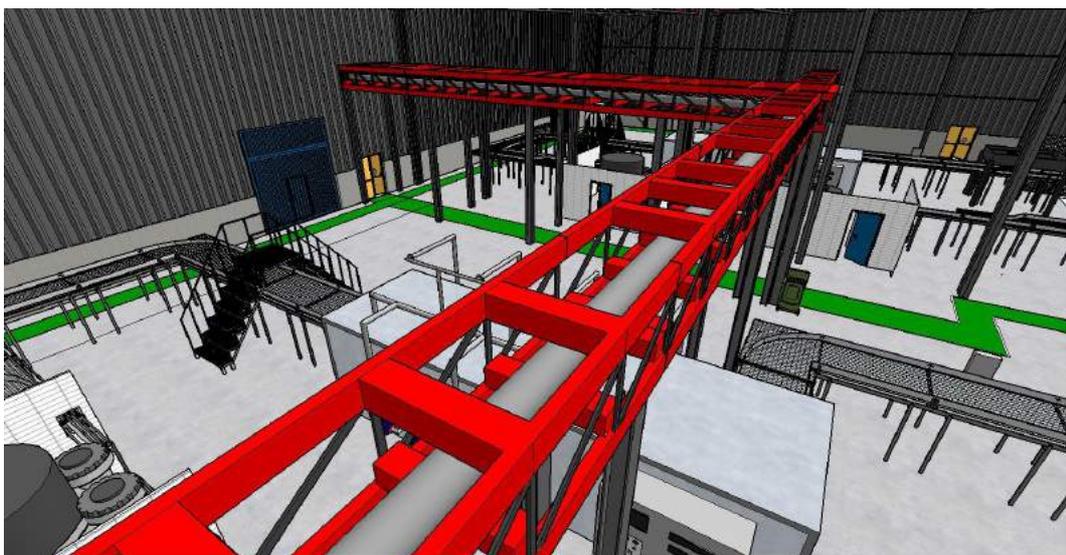


Figura 150: Rack de tuberías en el interior de la nave de envasado



Figura 151: Vistas generales del interior de la nave de almacenamiento

En cuanto a los accesos, existen seis que comunican con el exterior. De esos seis accesos, solamente cuatro serán los que usarán a diario el personal de fábrica mientras que los dos restantes se han destinado para la entrada y salida de equipos y maquinaria de gran tamaño. Los accesos normales tienen unas dimensiones de 1,5 m x 2,2 m y se trata de puertas de dos hojas abatibles con sistema de empuje manual que se accionará exclusivamente en caso de emergencia y como que se utilizará de forma general para la entrada y salida del recinto. Los portones para la entrada y salida de maquinaria, será de chapa y tiene unas dimensiones de 4 m de ancho y 4,4 m de alto. Dichos portones también cuentan con una puerta de 1 m x 2,2 m incorporada en el portón la cual se utilizará en caso de que sea necesario, quedando prohibida su utilización en caso de emergencia ya que no dispone de sistema de empuje manual.

Existe también un acceso que comunica la sala de compresores con la nave de envasado y cuyas dimensiones son 1 m x 2,2 m. Dicha puerta solamente será utilizada por el personal autorizado para acceder a la sala de compresores, quedando prohibido su uso en caso de emergencia ya que no conduce a un espacio exterior seguro.

En el interior de la nave de envasado también se encuentra disponible un baño para los trabajadores, el cual cuenta con un lavabo y WC.

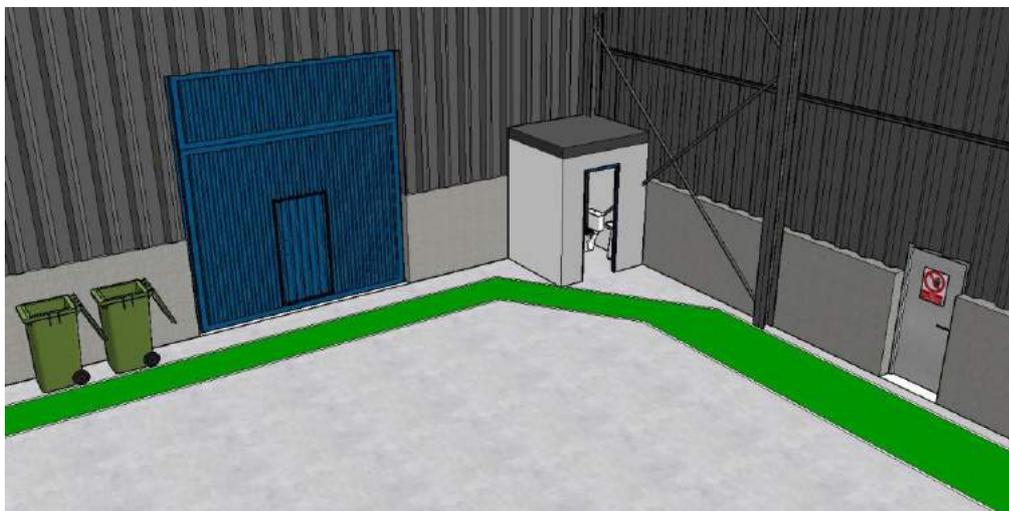


Figura 152: Baño en la nave de envasado

En la imagen anterior puede observarse la puerta de acceso que comunica la nave de envasado con la sala de compresores.

### 4.3.2 Recorrido de las botellas en la línea de envasado

A continuación, se va a describir detalladamente la ruta de las botellas y cajas hasta que sale el producto envasado y paletizado hacia la nave de almacenamiento, donde serán recogidos y ubicados en las estanterías por parte de los operarios de almacén.

#### 1. Entrada de palés

Los operarios de almacén se encargarán de colocar los palés cargados de botellas vacías en los transportadores de rodillos, los cuales estarán motorizados e irán desplazando progresivamente la carga hasta el punto de despaletizado. El motivo de utilizar transportadores de rodillos es que, al tratarse de palés de plástico, el movimiento es más fluido y fácil que si se hubiera utilizado otro tipo de transportador como ruedas o cadenas.

Los palés estarán formados por cinco capas de botellas, en cada una de las cuales hay 260 botellines. Debido a esto, el conjunto de botellas y palé estará cubierto por un film de plástico para evitar la caída del material durante el transporte, actividades de almacén o movimiento en el transportador de rodillos.



Figura 153: Entrada de botellas vacías

En la anterior imagen se puede apreciar la abertura existente en el cerramiento común de la nave de envasado y almacén, de forma que las cargas puedan pasar de una nave a otra a través del transportador de rodillos.

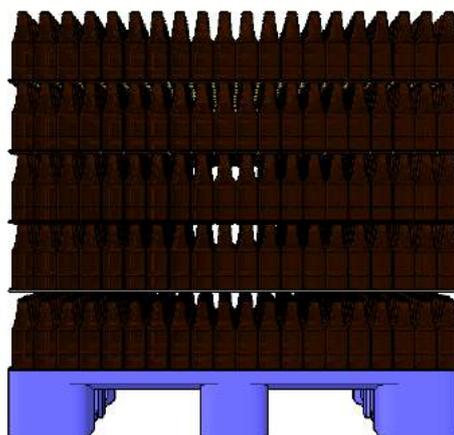


Figura 154: Botellas vacías montadas en el palé de plástico

Los transportadores de rodillos están montados sobre una estructura metálica con una altura de 1,5 m. A ambos lados del transportador, hay instaladas dos chapas metálicas que sirven de guía para que las cargas no giren ni se desvíen. La anchura de los transportadores es de 1,4 m, espacio suficiente para que circulen por los transportadores los palés cuya anchura es de 1,2 m.

## 2. Despaletizado

El despaletizado consiste en el desmontaje de las botellas del palé y su colocación en los transportadores de cadenas para que continúen moviéndose por la línea. Así mismo, en este punto será donde se retire el film de plástico para que el robot despaletizador pueda mover bien las botellas.

El robot está provisto de un efector final provisto de un dispositivo con ventosas que sujetan las botellas por su parte superior y la coloca en la siguiente cinta transportadora. El despaletizado se lleva a cabo antes de que la carga llegue a la plataforma giratoria.

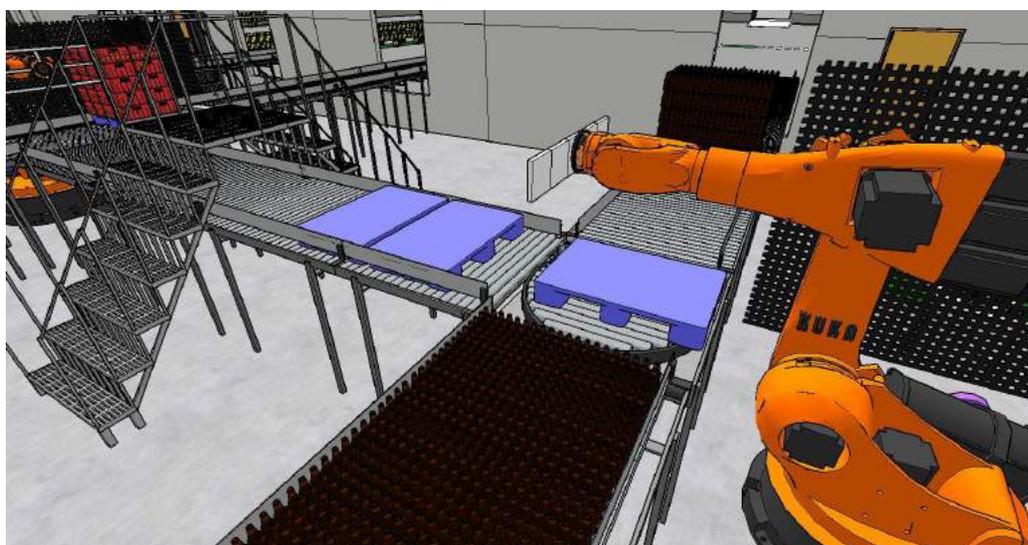


Figura 155: Robot despaletizador

El robot tiene una capacidad para coger un máximo de 260 botellas, por lo que para descargar una capa completa tendrá que realizar una única operación. Por tanto, el número de operaciones necesarias para despaletizar una carga completa será cinco.

## 3. Desvío de palés

Una vez despaletizada la carga, los rodillos se accionarán y el palé de plástico se posicionará en la plataforma giratoria. Dicha plataforma realizará un giro de 90 grados y accionará sus rodillos para que el palé continúe por la ruta de palés vacíos. Esta información se puede visualizar gráficamente en la imagen mostrada anteriormente.

## 4. Llenado/taponado

El robot despaletizador coloca las botellas en la cinta transportadora a través de la cual los envases viajan hasta llegar a la estación de llenado y taponado. Al tener las cintas una anchura de 1,4 m es necesario utilizar barandillas de metal que permitan el enfilamiento de las botellas a la entrada de la máquina llenadora.

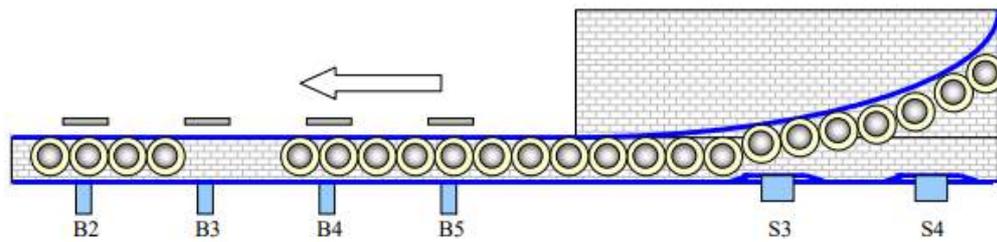


Figura 156: Esquema del enfilamiento de las botellas

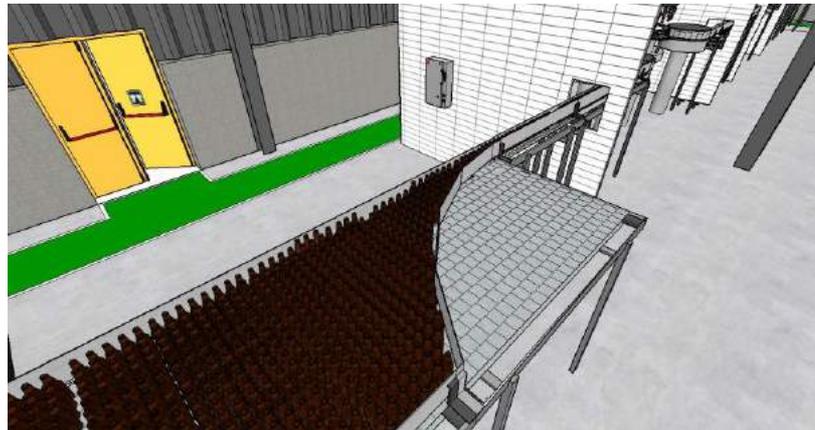
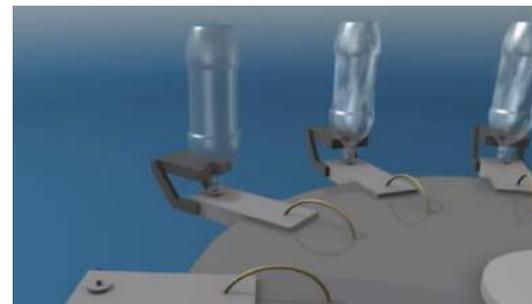
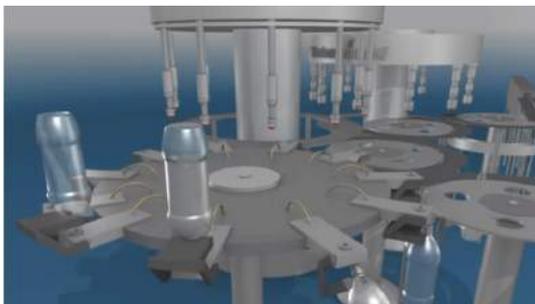
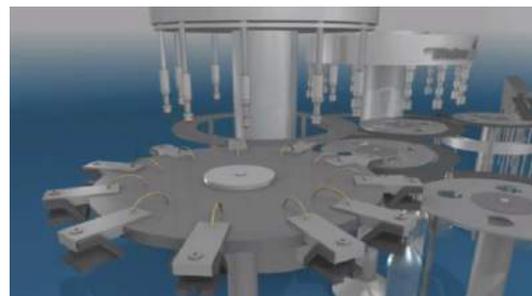
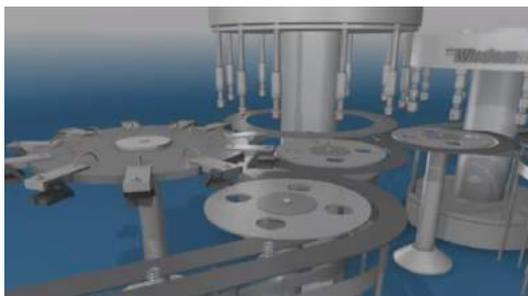


Figura 157: Entrada de las botellas a la máquina de llenado

El enfilamiento de las botellas cuenta con una serie de sensores que controlan el avance y parada de las botellas, de forma que la entrada de los envases a la máquina de llenado se haga de manera controlada y se eviten colapsos en la línea.

A continuación, se muestran la ruta que siguen las botellas en la estación llenadora/taponadora:



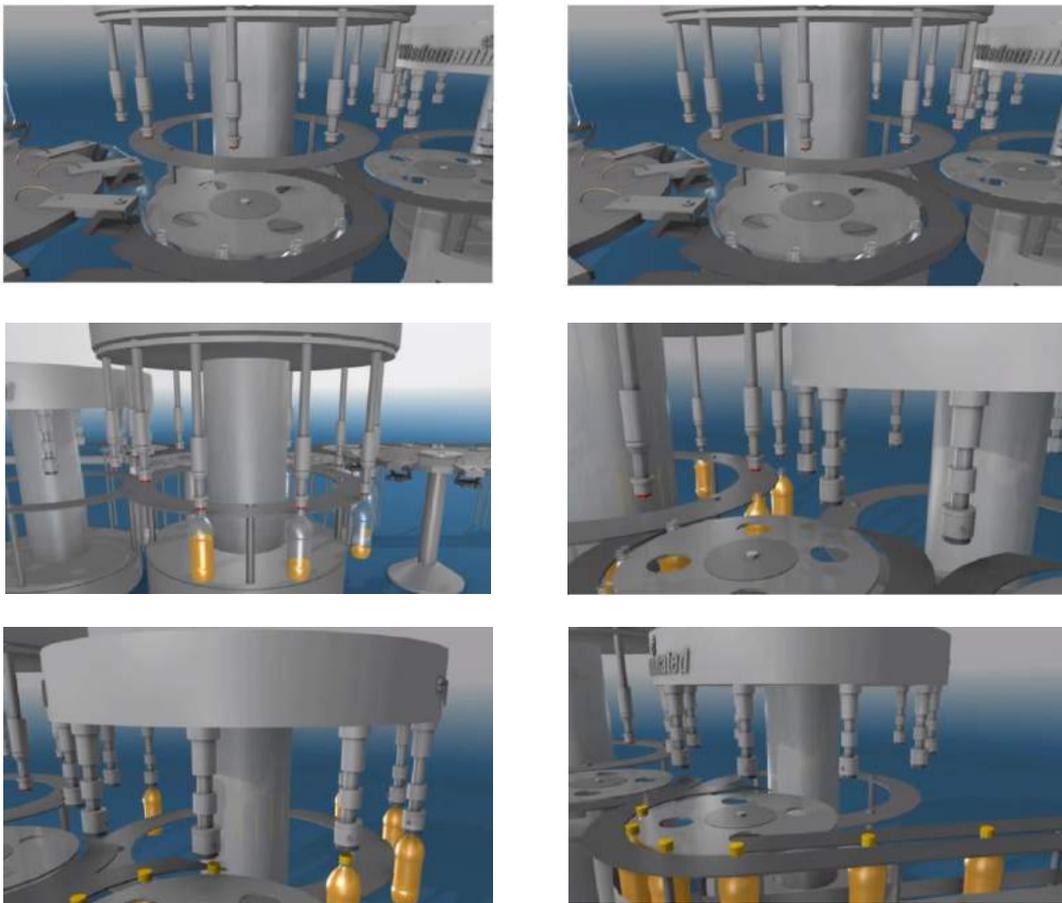


Figura 158: Recorrido de las botellas en la máquina llenadora/taponadora

Las botellas viajan por la cinta transportadora hasta llegar a la estrella de entrada, a través de la cual los envases realizan una trayectoria circular. A continuación, las pinzas de la siguiente estrella agarran las botellas y mediante un sistema con bisagra voltean los envases de forma automática de forma que la boca de la botella encaja perfectamente con un surtidor de agua a presión para limpiar el interior de las botellas. Luego las botellas llegan a la máquina llenadora, donde unos cilindros accionados neumáticamente conectan con la boca y llenan la botella. La máquina llenadora dispone de sensores de ultrasonidos que permiten controlar el nivel de llenado de la botella. Las botellas continúan su ruta y viajan a través de una estrella intermedia hasta llegar a la máquina taponado, donde al igual que antes unos pistones neumáticos colocarán los tapones automáticamente. Los envases viajan a continuación a través de una estrella de salida hasta colocarse en la cinta transportadora, donde seguirán enfiladas para dirigirse a la máquina etiquetadora.

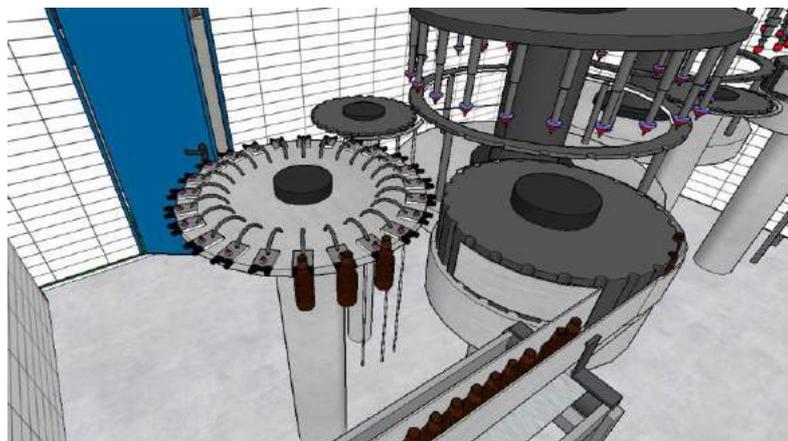


Figura 159: Entrada de las botellas en la estación de llenado

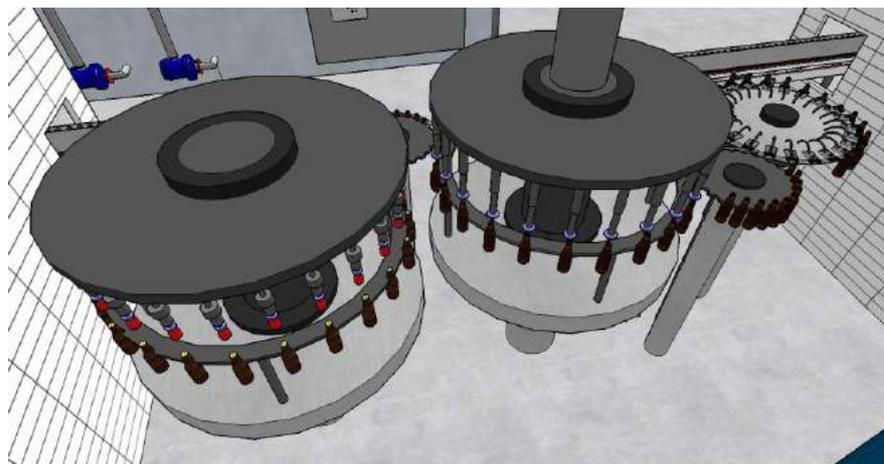


Figura 160: Máquina llenadora y taponadora

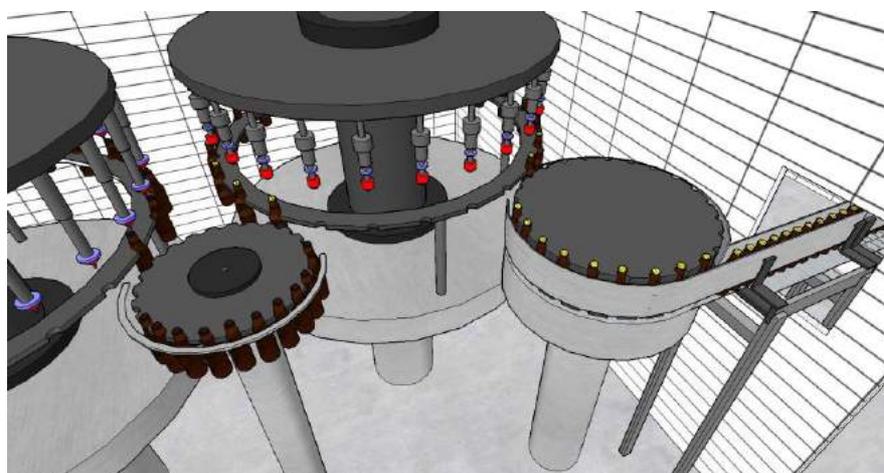


Figura 161: Salida de botellas

En las imágenes anteriores puede observarse que la estación llenadora/etiquetadora dispone de un cerramiento externo y cuenta con una puerta de acceso para el personal autorizado. El cerramiento disminuye la probabilidad de que se produzca un accidente por atrapamiento o un inadecuado manejo de la maquinaria por parte del personal de fábrica no cualificado.

La máquina llenadora está directamente conectada con la tubería que transporta la cerveza terminada, de forma que permanece en todo momento alimentada para que no se produzca ninguna parada en el proceso de envasado.

Por otro lado, la máquina taponadora será alimentada manualmente por un operario de fábrica, el cual introducirá los tapones en una posición establecida y determinada para que la taponadora pueda operar adecuadamente.

Como se comentó previamente, en la nave de envasado existen dos líneas de envasado independientes y cada una de ellas cuenta con una estación de llenado/taponado similar a la mostrada en las imágenes anteriores.

## 5. Etiquetado

Una vez han sido llenadas y taponadas, las botellas viajan a través de una línea de enrutamiento fijo hacia la estación de etiquetado. Esta estación está formada por la máquina etiquetadora automática y una serie de equipos y dispositivos auxiliares que se detallarán a continuación.

El funcionamiento de la máquina etiquetadora se puede resumir en el siguiente esquema:

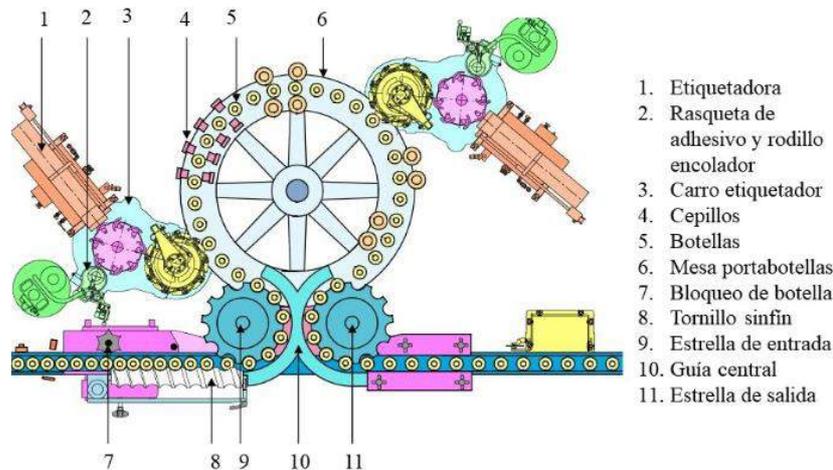


Figura 162: Esquema máquina etiquetadora

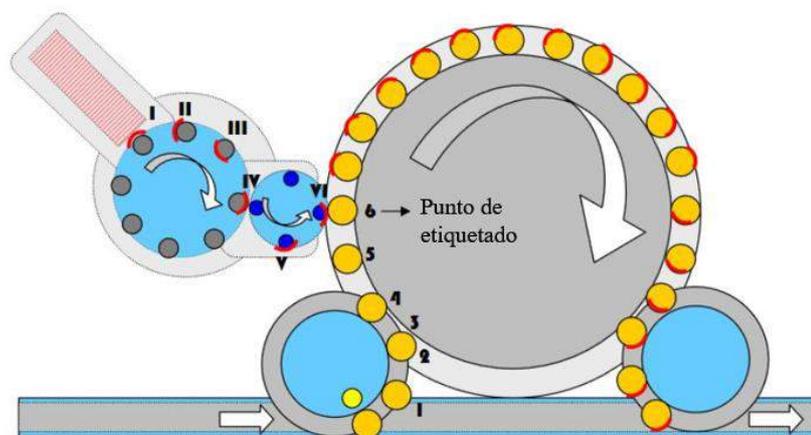


Figura 163: Flujo de etiquetas en la máquina etiquetadora

En la imagen anterior queda detallado el sentido de giro de los cilindros de transferencia y las posiciones que ocupan las etiquetas entre las posiciones I y IV.

El carro etiquetador está formado por dos platos giratorios, los cuales permiten coger la etiqueta, la adición de pegamento y el traslado de la etiqueta hasta llegar al punto de etiquetado. El pegamento está contenido en un recipiente y es extraído por una bomba, la cual unta el adhesivo al rodillo encolador. Una vez pegada la etiqueta a la botella, los cepillos ayudan a que la etiqueta quede bien adherida al envase.

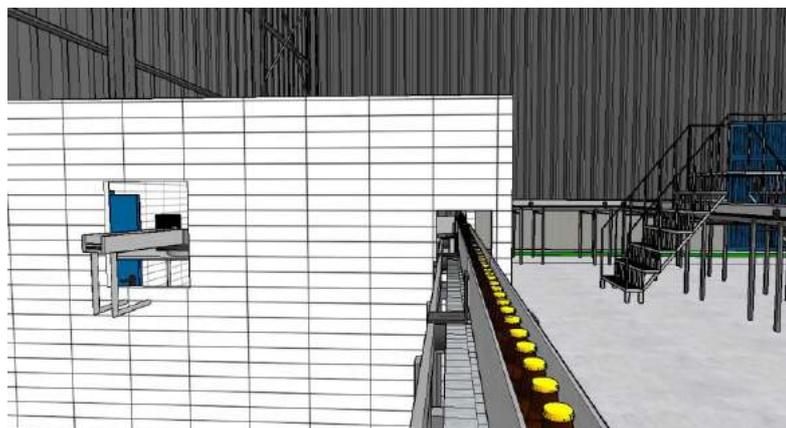


Figura 164: Enfilamiento de botellas antes de la entrada a la estación etiquetadora

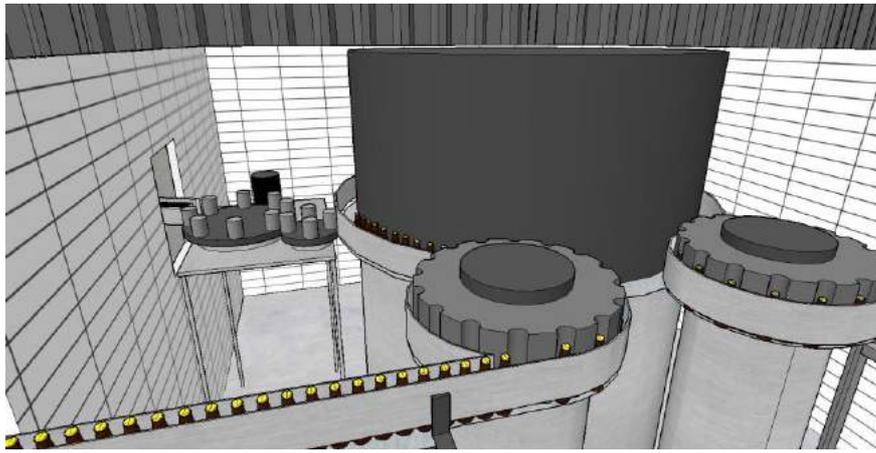


Figura 165: Estación etiquetadora

En las figuras anteriores puede observarse el enrutamiento de las botellas hasta llegar a la estrella de entrada y la ubicación del carro etiquetador con el conjunto de platos giratorios y rodillos encoladores.

Al igual que en la estación de llenado/taponado, la estación etiquetadora está protegida por un cerramiento externo y dispone de una puerta de acceso para las actividades de mantenimiento y control de los procesos.



Figura 166: Salida de botellas etiquetadas

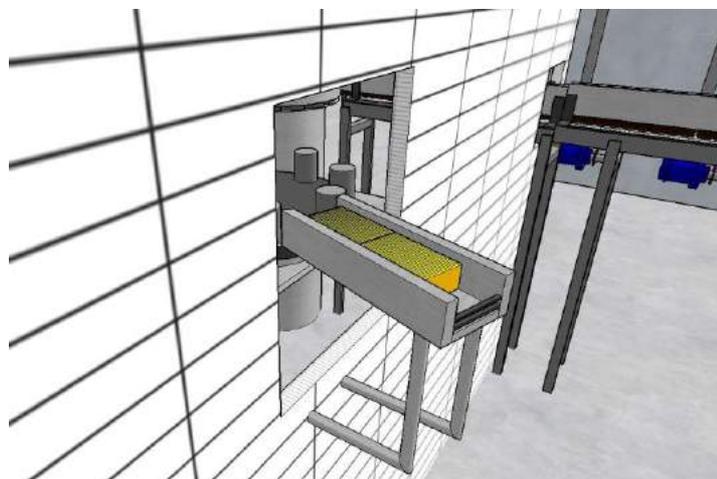


Figura 167: Detalle de magazín de etiquetas

El magazín de etiquetas cuenta con un sensor que emite información cuando es necesario la recarga de etiquetas. Esta recarga es efectuada manualmente por un operario.

#### 6. Enrutado

Desde la entrada de los palés de botellas vacías hasta la salida de la línea de envasado del producto terminado, las botellas se desplazan a través de un sistema de cintas transportadoras que comunican cada una de las estaciones de trabajo. Debido a la posición de los equipos y máquinas de trabajo, la ruta de cintas transportadoras sufre en ciertos puntos cambios de dirección y sentido tal y como se muestra en las siguientes imágenes.

A lo largo de la ruta, se encuentran barandillas de altura ajustable a ambos lados de las cintas que permiten conducir las botellas en la dirección correcta. Así mismo se encontrarán instalados en determinados puntos de la ruta sensores y actuadores que recojan información y permitan o impidan el avance de las botellas, con el objetivo de mantener un orden y evitar el colapso de la línea.



Figura 168: Cambio de dirección en la ruta

#### 7. Pasteurizado

Una vez etiquetados los envases, las botellas viajan a través de las cintas transportadoras hacia el túnel de pasteurización, en el cual se llevará a cabo la estabilización de la cerveza. Las botellas circulan por el interior del túnel a través de un transportador a una velocidad inferior que en el resto de la línea, ya que aquí es donde se le aplican duchas de agua a distintas temperaturas para estabilizar el producto, estando controlado el tiempo que deben permanecer los envases en los diferentes sectores del túnel de pasteurización.

El túnel tiene una longitud de 9,5 m y un ancho de 2,5 m. No dispone de puerta de acceso del personal al interior del túnel, aunque si existen cuadros de control y aperturas en los laterales para acceder a los transportadores, maquinaria y dispositivos que forman parte del túnel de pasteurización y proceder al arreglo de averías en caso de que las hubiera. Además, cuenta con una cristalera situada junto a la salida de las botellas para visualizar el recorrido de los envases y tener un control para notificar de caídas o colapsos que pudieran ocurrir en el interior del túnel.



Figura 169: Entrada al túnel de pasteurización

A la entrada del túnel se instalarán sensores que controlen el avance y parada de las botellas. Tanto la entrada como la salida dispone de una persiana metálica que se eleva para permitir la entrada y salida de botellas y se baja mientras el proceso de pasteurización se esté llevando a cabo.

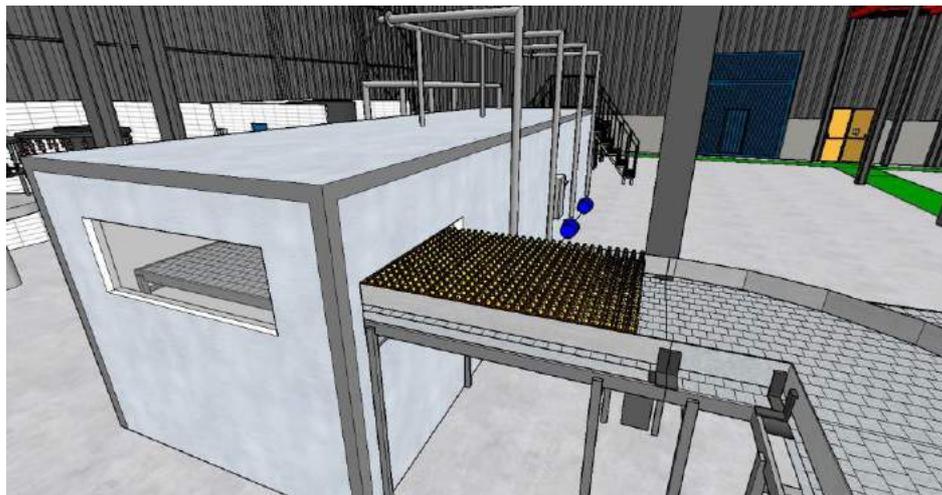


Figura 170: Salida del túnel de pasteurización

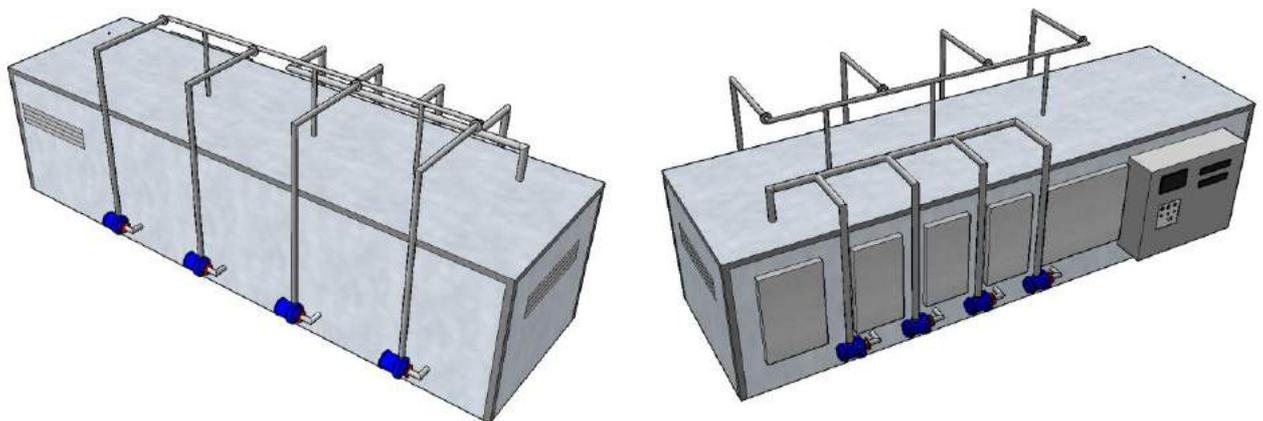


Figura 171: Túnel de pasteurización

## 8. Transporte de cajas vacías

Las botellas se comercializarán en cajas de 30 envases. Dichas cajas tienen 30 compartimentos con separadores de plástico. Las cajas son suministradas a la línea de envasado desde la nave de almacenamiento, siendo colocadas manualmente por los operarios de almacén en una línea de transportadores de rodillos. La posición de las cajas en el transportador estará establecida de manera que lleguen a la estación de encajonado en la posición adecuada.



Figura 172: Ruta de cajas vacías en el transportador de rodillos

Las cajas viajarán por el transportador en grupos de seis, ya que en el paletizado final cada capa estará formada por este número de cajas. La posición de las cajas queda mostrada en la imagen anterior.

Se ha decidido utilizar transportador de rodillos para facilitar y agilizar el movimiento de las cajas debido a que las bases de estas son planas.

## 9. Encajonado

Las cajas viajarán por el transportador de rodillos hasta llegar a la máquina encajonadora. Dicha máquina contará en la entrada de botellas y de cajas de un sensor y actuador que controle el avance y parada.

En primer lugar, entrará el conjunto formado por seis cajas. A continuación, un grupo de 120 botellas avanzará adentrándose en la estación de encajonado. Un dispositivo se encargará de agarrar las botellas por la boca y las elevará hasta colocarlas en los compartimentos automáticamente. Posteriormente entrará en la estación otro pack de 120 botellas y serán introducidas en las cajas, quedando de esta forma completado el proceso de encajonado. El transportador se accionará una vez que las cajas estén llenas y se dirigirán a la estación de paletizado.

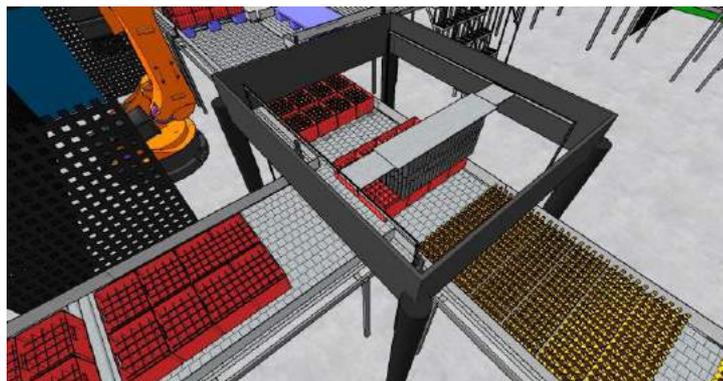


Figura 173: Vista superior de la estación de encajonado



Figura 174: Salida de cajas llenas de la estación de encajonado

#### 10. Paletizado

Las cajas llenas viajarán hacia la estación de paletizado formada por un robot paletizador. En primer lugar, se posicionará el palé que permanecía inmovilizado en su ruta. Posteriormente el robot, al estar dotado de un efector final con sistema de agarre cogerá el palé y lo girará 90 ° para colocarlo en la posición correcta. A continuación, el robot agarrará el conjunto de las seis cajas y lo colocará en el palé formando la primera capa. La operación se repetirá hasta haber completado el palé.



Figura 175: Estación de paletizado

#### 11. Salida de producto final

Una vez completada la carga, esta se desplazará por el transportador de rodillos motorizados en dirección a la nave de almacenamiento, donde un operario estará esperando para retirar el palé completo de la línea y almacenarlo.

## 4.4 Nave de almacenamiento

En la nave de almacenamiento se llevan a cabo todas las actividades logísticas de la empresa. En esta nave existen flujos continuos de materiales tanto para su almacenamiento como para su incorporación en la línea de envasado. La nave de almacenamiento se encuentra contigua a la nave de envasado tal y como se explicó anteriormente, y cuenta con unas aperturas de comunicación que permiten conectar ambas naves por medio de transportadores de rodillos.

La nave tiene unas dimensiones de 40 m de largo y 43 m de ancho, con una altura útil de 8 m y está construida a 1 metro sobre el nivel del suelo para facilitar las operaciones de carga y descarga de los camiones en los muelles. La nave es diáfana para facilitar el flujo de carretillas por el interior y está distribuida por zonas con distintos propósitos.

A continuación, se muestran imágenes que proporcionan una visión general de la nave de almacenamiento:

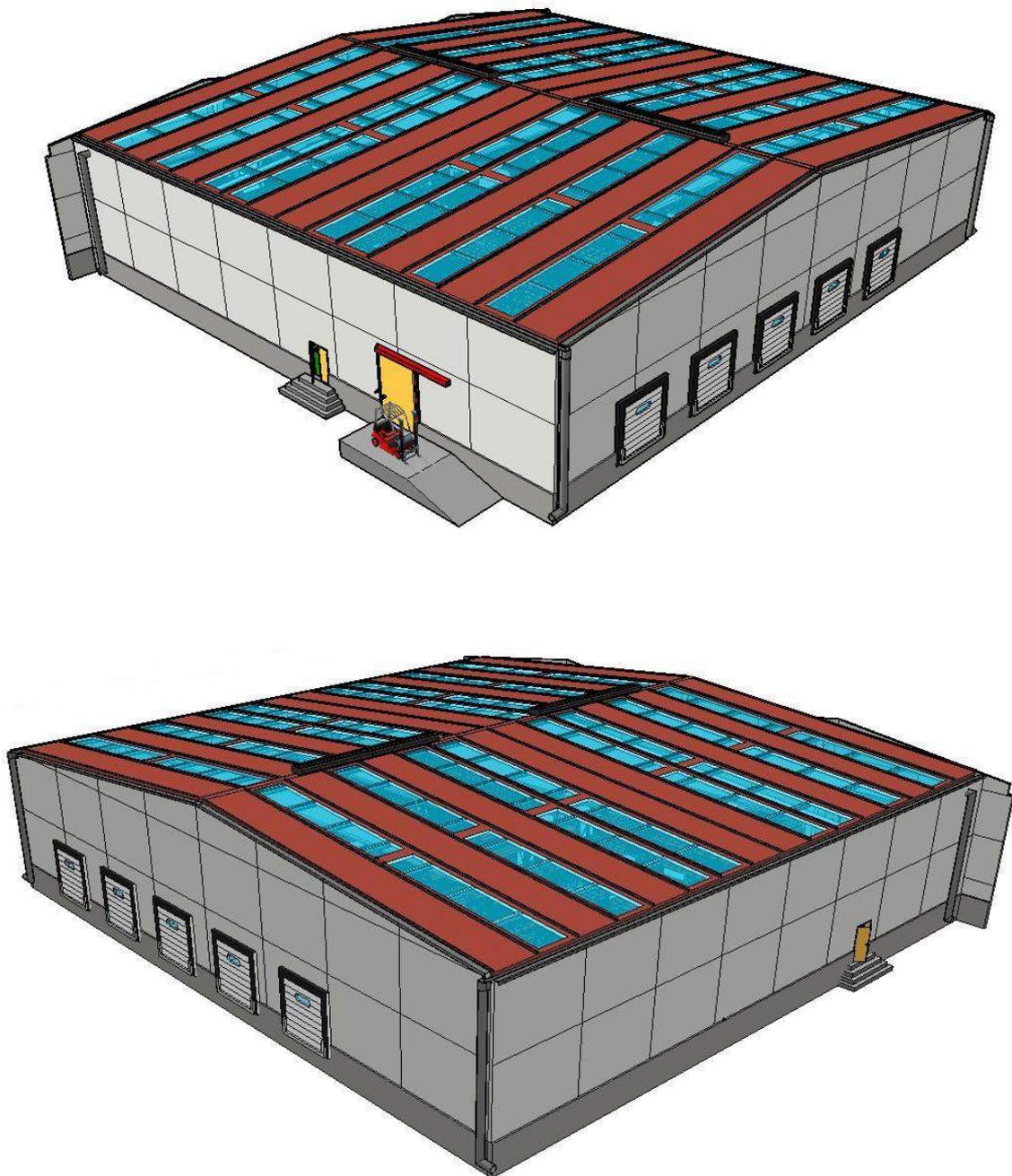


Figura 176: Vistas en perspectiva de la nave de almacenamiento

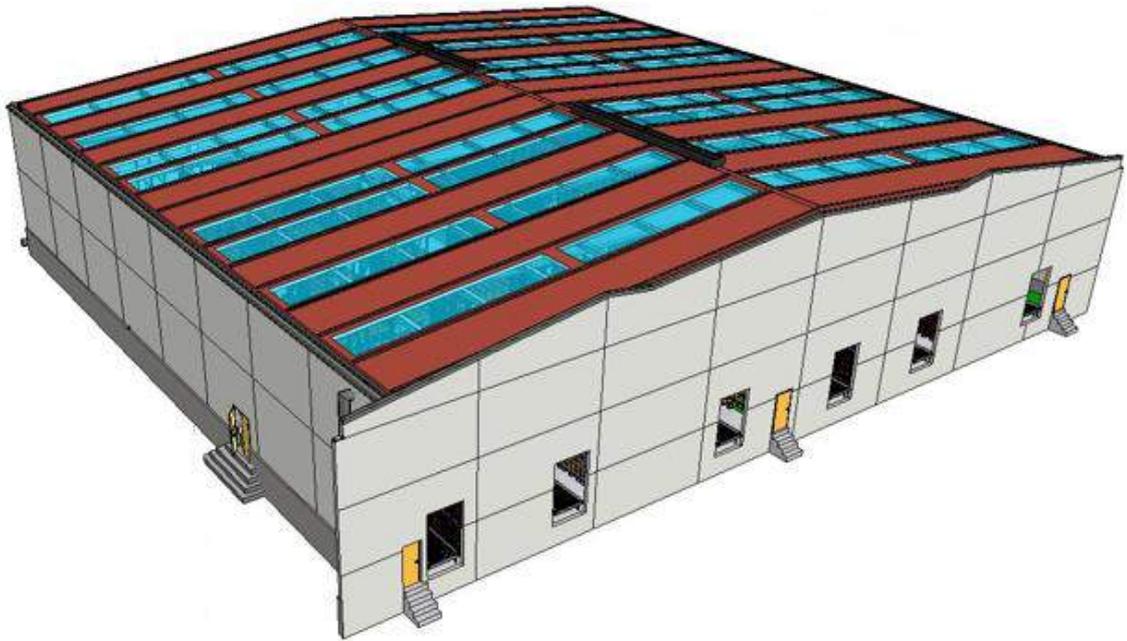


Figura 177: Vista del lado anexo a la nave de envasado

El interior de la nave está organizado por zonas, en cada una de las cuales se almacenarán distintos materiales. Además, existe una oficina de logística en la cual se llevarán a cabo las labores administrativas concretas a la logística de la empresa. Junto a la oficina, existe una zona de descanso donde los operarios podrán encontrar máquinas expendedoras y de café. El acceso a la zona donde se encuentra la oficina de logística podrá efectuarse desde la zona de tránsito de carretillas por medio de dos portillones o mediante un pasillo ubicado entre las dos estanterías centrales de la nave. Dicho pasillo se encuentra protegido a ambos lados por vallas de seguridad debido a que se encuentran anexas dos estanterías, previniendo así accidentes por caída de material almacenado a gran altura. El acceso a través de los portillones solo estará permitido para los operarios de almacén.

Las zonas transitables en el interior de la nave estarán señalizadas por caminos predefinidos de color verde, existiendo pasos de cebra en las zonas de cruce con los pasillos por los que circulan las carretillas. Las zonas transitables estarán protegidas por vallas de seguridad para prevenir accidentes con las máquinas y carretillas que circulan por la nave.

Por otro lado, los operarios contarán con un aseo situado en un lateral del interior de la nave, en el cual se encuentran instalados un WC y un lavabo.

Una zona de la nave de almacenamiento estará reservada para el aparcamiento de carretillas. Además, será aquí donde se carguen las baterías eléctricas de las carretillas elevadoras. El parking tiene una capacidad para estacionar cuatro carretillas y cuenta con un acceso permanentemente abierto.

Desde el exterior de la nave, el personal de fábrica podrá acceder al interior a través de dos accesos situados en muros opuestos de la nave. Puesto que la nave de almacenamiento se encontrará construida a un metro sobre el nivel del suelo, el acceso se efectuará por medio de escalones. Dichas puertas permiten la entrada y salida de la nave por medio de un pomo. Sin embargo, también cumplen la función de salida de emergencia en caso de que fuese necesario ya que cuentan con un sistema de empuje manual desde el interior, siendo las dos hojas de la puerta abatibles.

Las carretillas disponen de un acceso dotado de puerta corredera para poder entrar y salir de la nave. En este caso, cuentan con una rampa que comunica el interior de la nave con la playa exterior.

La nave de almacenamiento y envasado no solamente están comunicadas por medio de transportadores de rodillos, sino que los trabajadores también podrán pasar de una nave a otra por medio de puertas de

una sola hoja. Dichas puertas se encuentran ubicadas en el cerramiento contiguo a la nave de envasado, existiendo un total de tres accesos.

A continuación, se muestra una imagen en planta que refleja la distribución por zonas de la nave de almacenamiento:

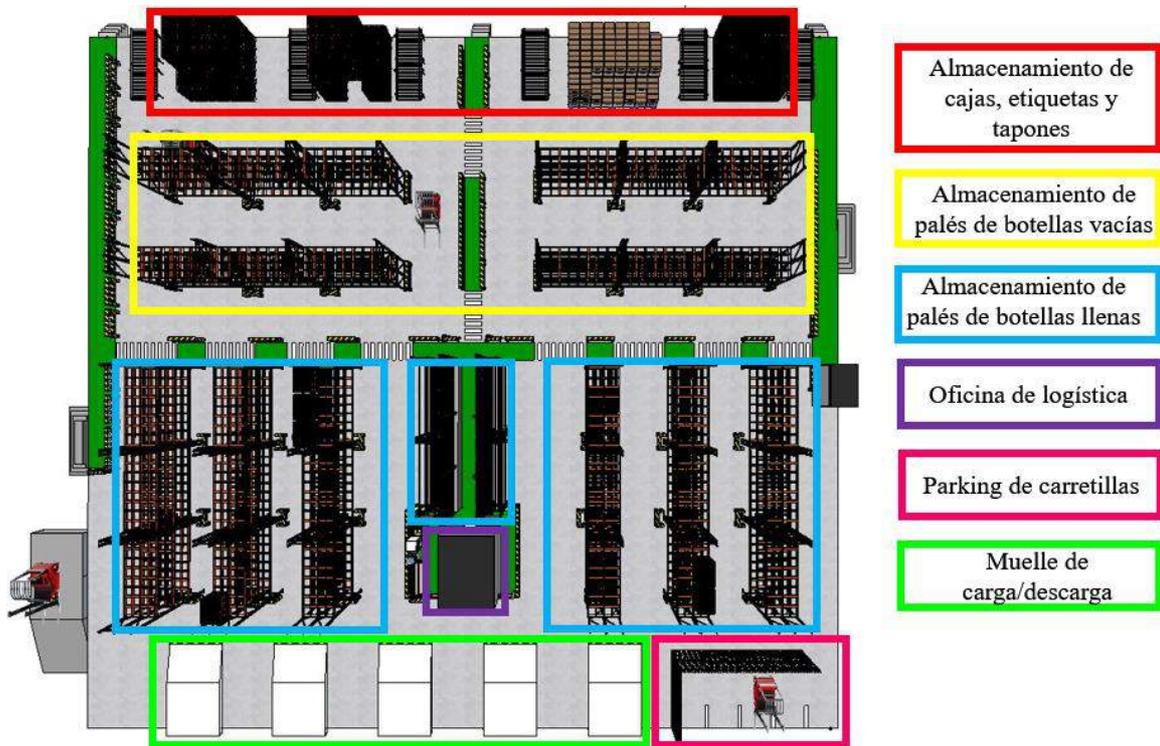


Figura 178: Plano de zonas de la nave de almacenamiento

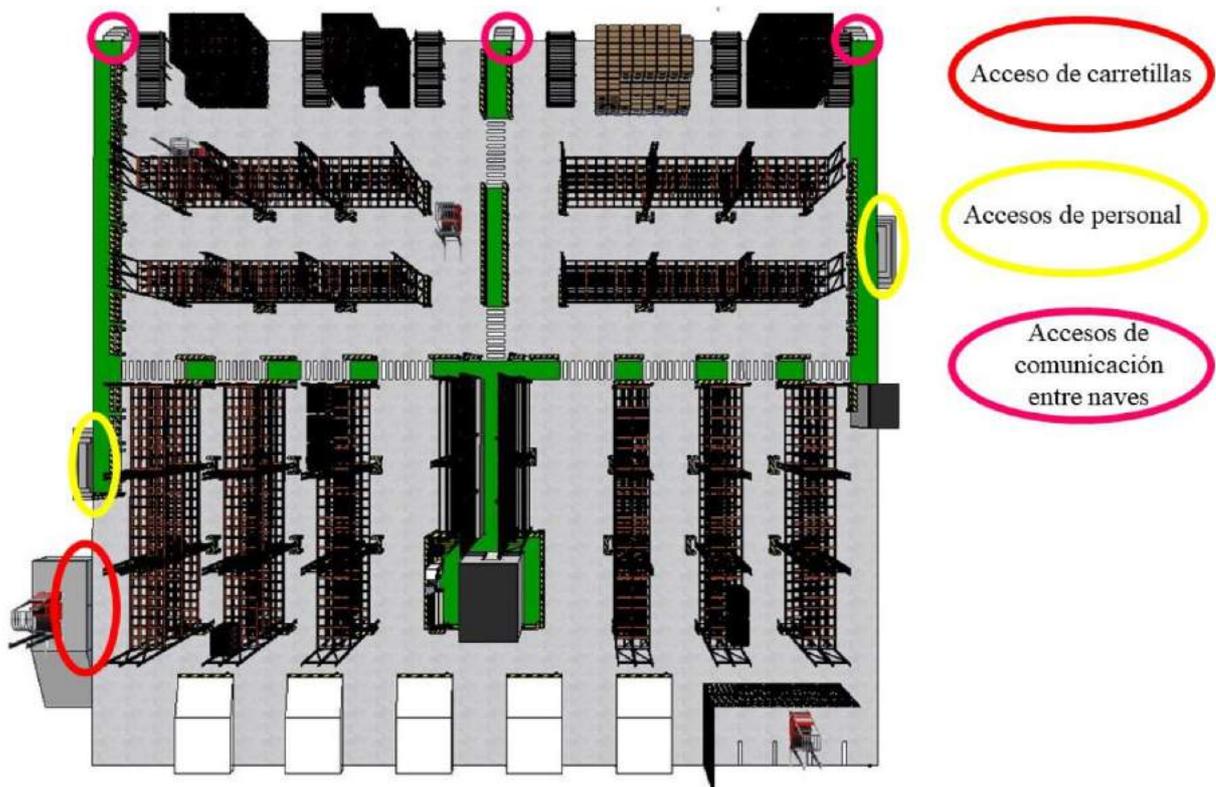


Figura 179: Plano de accesos de la nave de almacenamiento

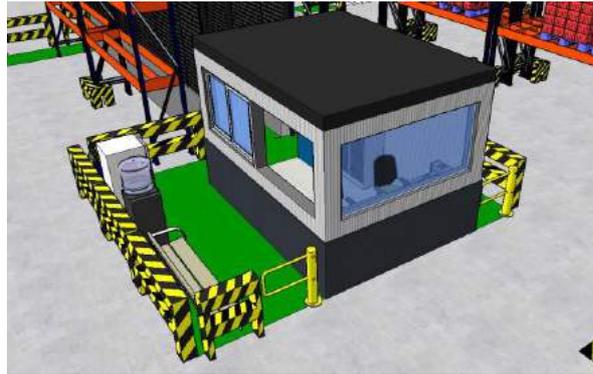
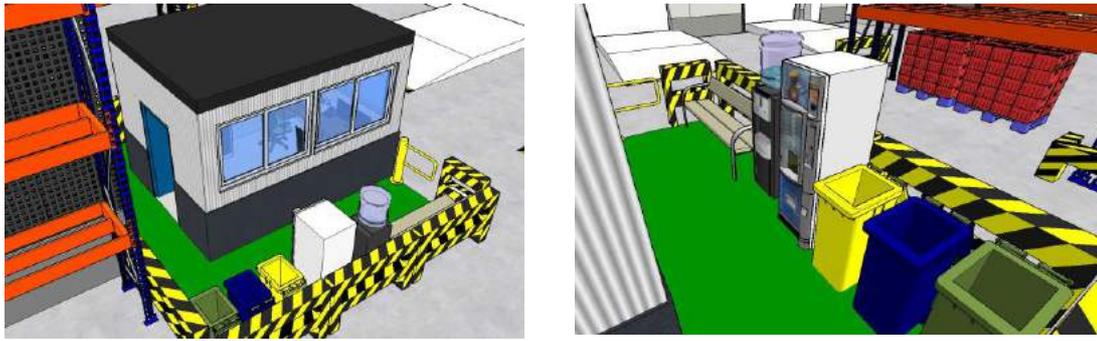


Figura 180: Oficina de logística y zona de descanso



Figura 181: Pasillo protegido de acceso a la oficina de logística



Figura 182: Vista desde el interior de la puerta de acceso para carretillas



Figura 183: Comunicaciones entre la nave de almacenamiento y envasado

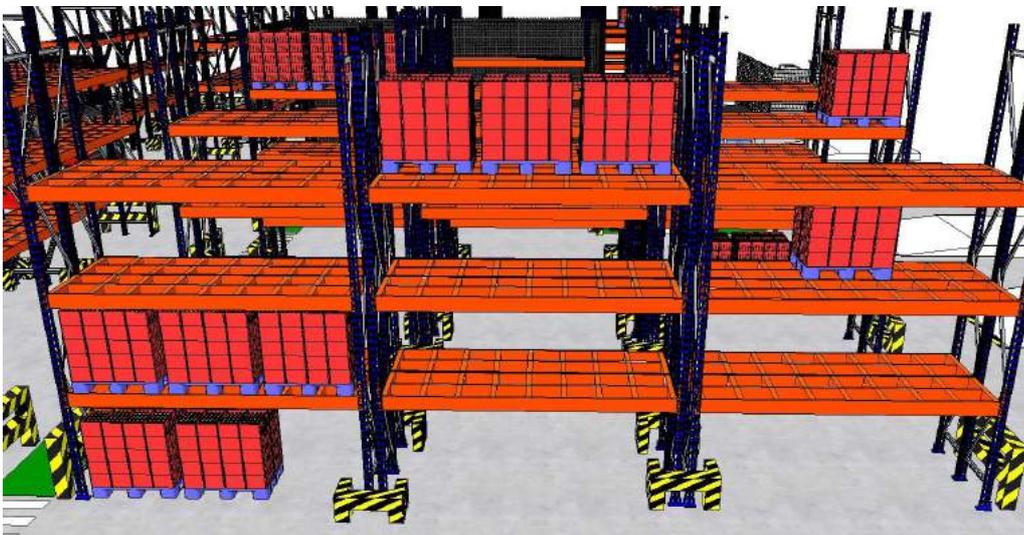


Figura 184: Estanterías metálicas para el almacenamiento del producto terminado



Figura 185: Zona de almacenamiento de materiales de envasado



Figura 186: Vista interior de los pasillos de la nave

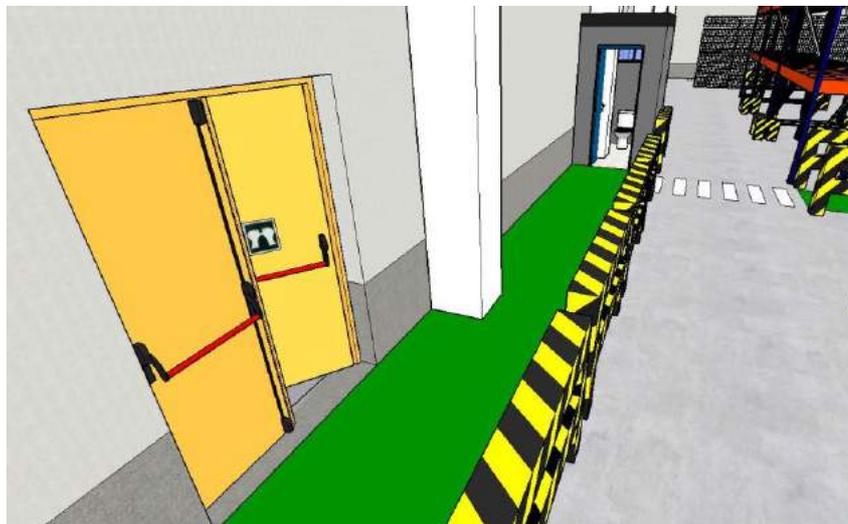


Figura 187: Salida de emergencia, camino peatonal y WC

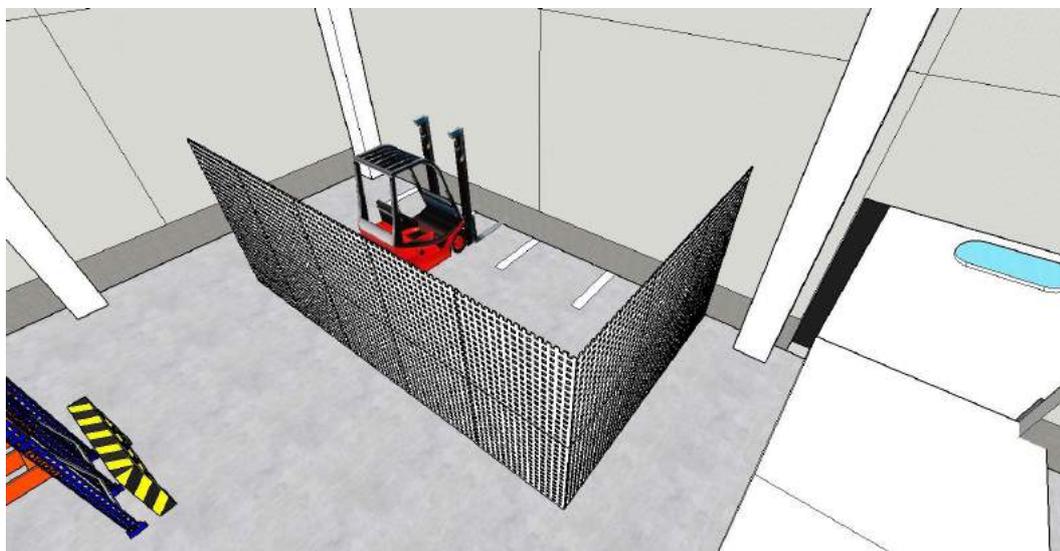


Figura 188: Parking de carretillas

## 4.5 Edificio de descarga y limpieza

El edificio de descarga y limpieza está formado por un conjunto de instalaciones en las cuales se lleva a cabo la descarga de materia prima de los camiones y las posteriores actividades de limpieza de la cebada antes de ser almacenada. Forman parte también de este edificio las instalaciones y equipos necesarios para el manejo y transporte del grano hasta que es almacenado en los silos. Los silos también se incluirán en esta sección.

Esta zona ocupa una superficie aproximada de 400 m<sup>2</sup>, pudiendo hacerse una distinción de los edificios que forman parte de esta zona la cual se explicará más adelante.

Las imágenes siguientes muestran una visión general de lo comentado hasta ahora:

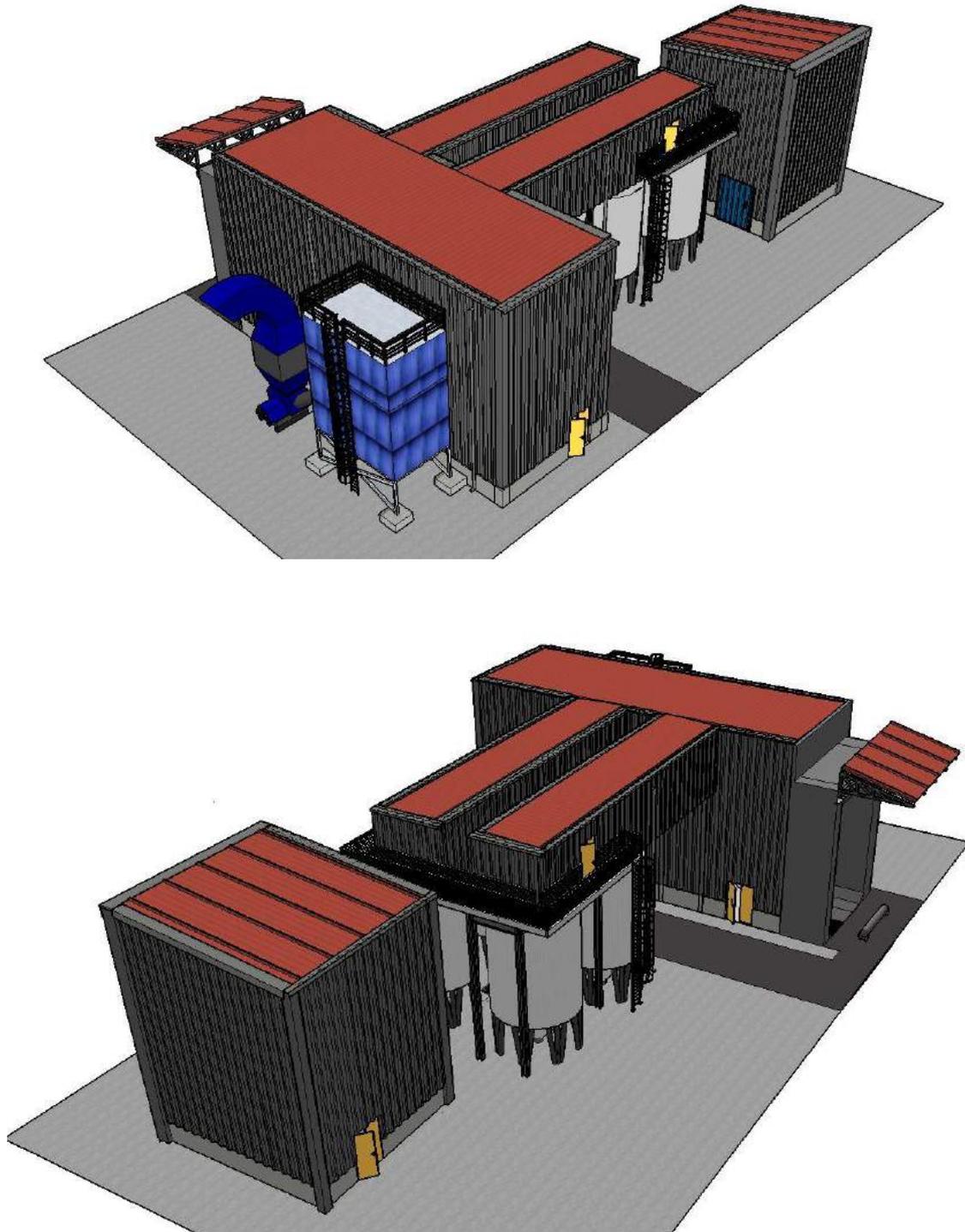


Figura 189: Vista general del edificio de descarga y limpieza

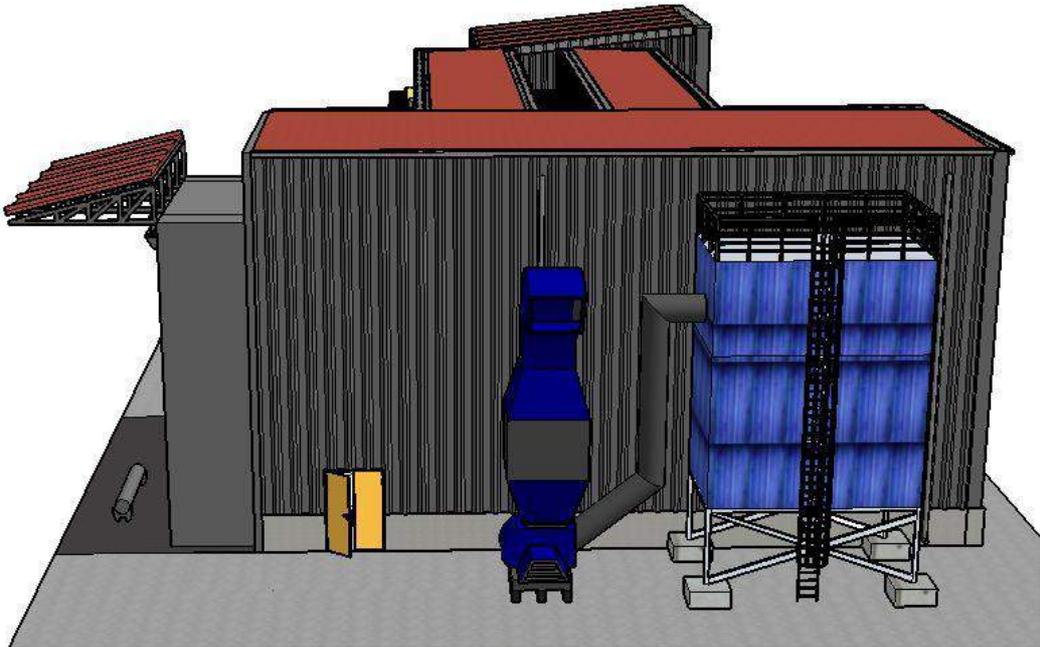


Figura 190: Vista frontal del edificio de descarga y limpieza

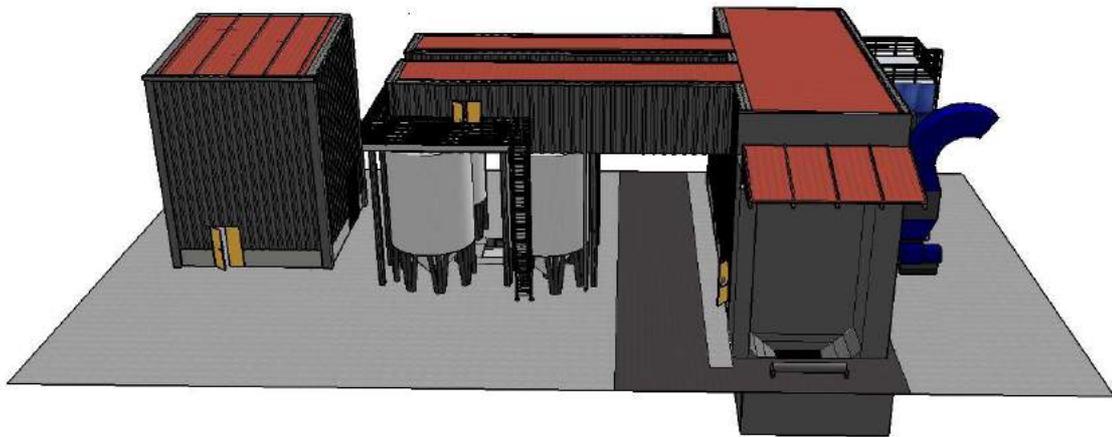


Figura 191: Vista lateral del edificio de descarga y limpieza

#### 4.5.1 Zonas del edificio de descarga y limpieza

A continuación, se detalla cada una de las zonas que forman parte del edificio de descarga y limpieza.

- Edificio principal

En primer lugar, se encuentra el edificio principal, en el cual se llevarán a cabo las operaciones de limpieza, manejo y transporte de la materia prima. También será en este edificio donde se lleve a cabo la descarga de grano. Este edificio está constituido por cuatro niveles, incluida la planta sótano.

En la zona de descarga, los camiones se situarán y procederán a la descarga de grano. Tal y como se comentó en capítulos anteriores, los camiones basculantes accionarán el sistema hidráulico incorporado en el camión para descargar el producto en la tolva. En caso de que no se trate de camiones basculantes, una plataforma colocada en el suelo se elevará hidráulicamente para que el grano pueda descargarse.

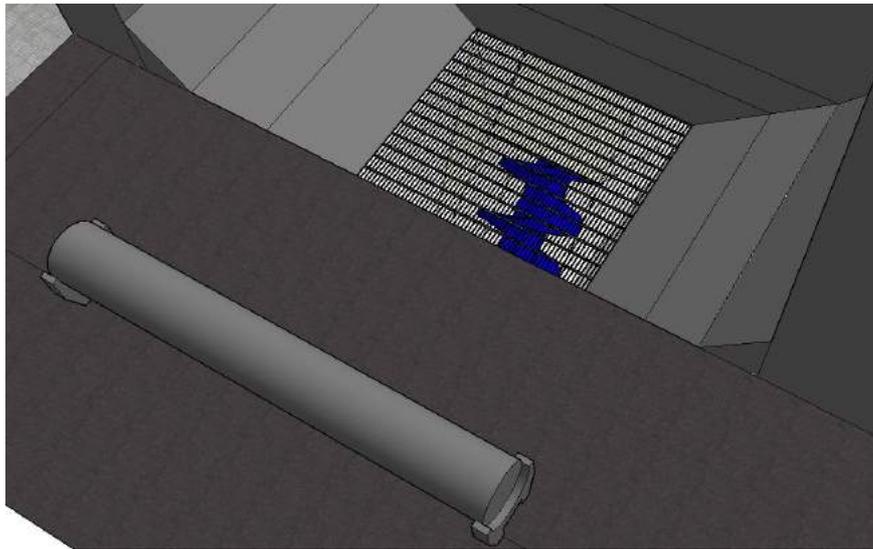


Figura 192: Tolva de descarga

En cada uno de los cuatro niveles que forman parte del edificio principal se desarrollará una actividad diferente. El grano se transportará de un nivel a otro a través de elevadores verticales de cangilones, excepto en la planta sótano en la cual no habrá flujo de grano en sentido ascendente, sino que los residuos generados tras los procesos de limpieza caerán por gravedad por medio de conductos a los contenedores ubicados en el nivel bajo rasante.

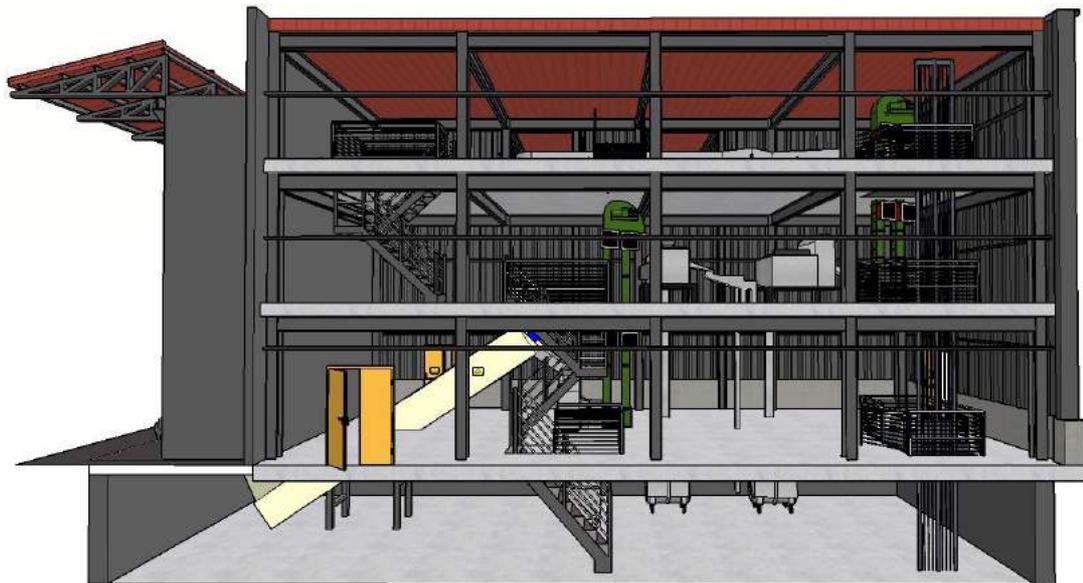


Figura 193: Vista interior del edificio principal

En la imagen anterior puede observarse la distribución por niveles de las máquinas y elevadores mencionados anteriormente.

Los cuatro niveles están comunicados mediante escaleras metálicas, que serán las que se usarán de forma general. En caso de que se necesite subir o bajar de nivel con una carga pesado como herramientas o equipos, se dispone de un montacargas con unas dimensiones de la plataforma de 2 m de ancho y 1,5 m de largo, dimensiones necesarias para el manejo de la maquinaria de un nivel a otro. Dicho montacargas se encontrará en una esquina del edificio principal y en las aberturas de cada nivel se han colocado vallas de seguridad para prevenir caídas al nivel inferior.

Cada nivel tiene unas dimensiones de 18 m x 7 m y una altura de 3,5 m. Al nivel inferior se puede acceder por tres puertas situadas en puntos opuestos. Dichas puertas serán de dos hojas abatibles

y se utilizarán de forma general para entrar y salir al edificio utilizando una única hoja, pero también cumplirán la función de vía de evacuación en caso de emergencia al disponer de dispositivos de empuje manual desde el interior del recinto. Las dimensiones de las puertas es de 1,5 m x 2,2 m. En la imagen anterior puede observarse la ubicación de los accesos.

En cuanto al sótano, los contenedores que se encuentran en este nivel se elevarán a través del montacarga a la planta baja para retirar los residuos almacenados.



Figura 194: Vista interior de la planta baja

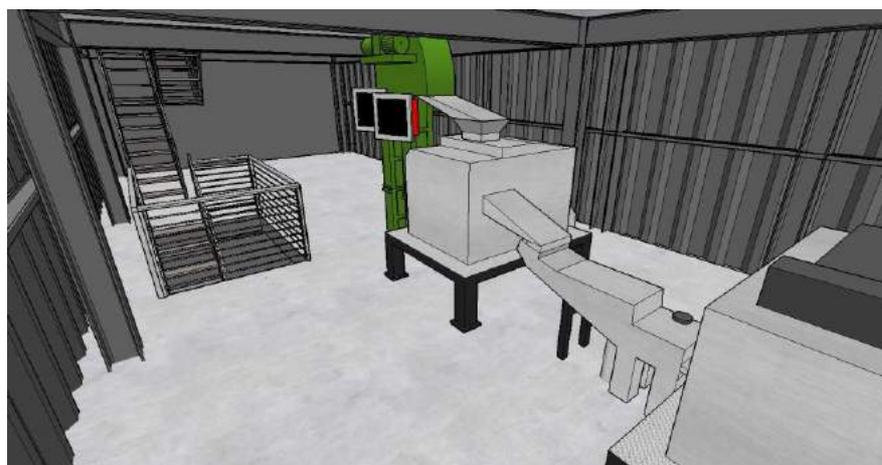
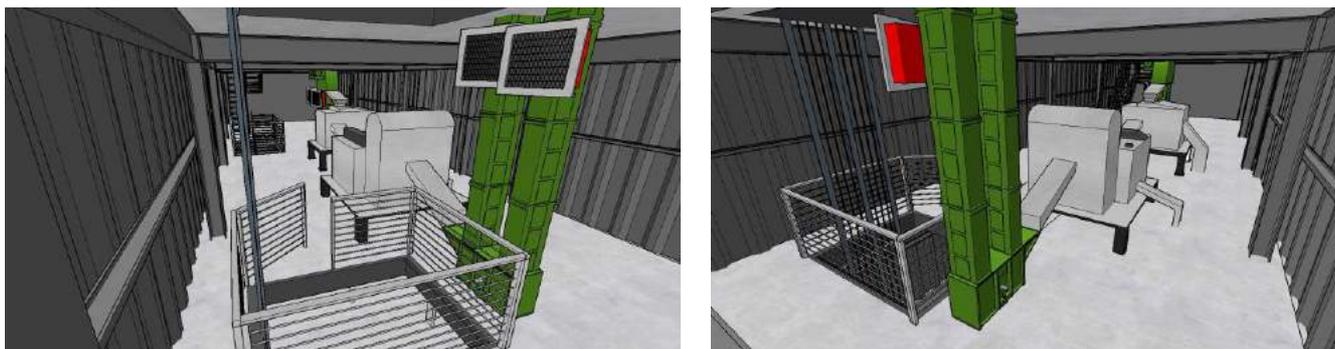


Figura 195: Vista interior de la planta primera

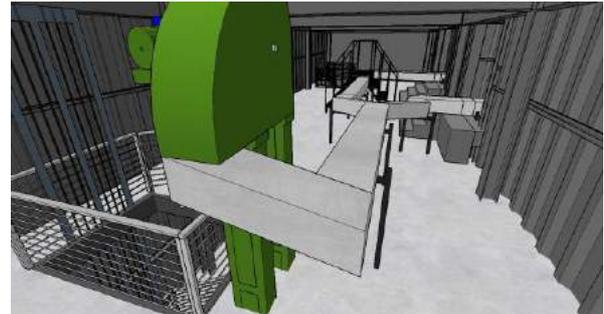
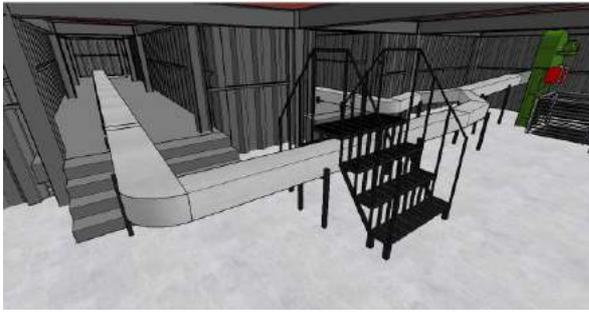


Figura 196: Vista interior de la planta segunda

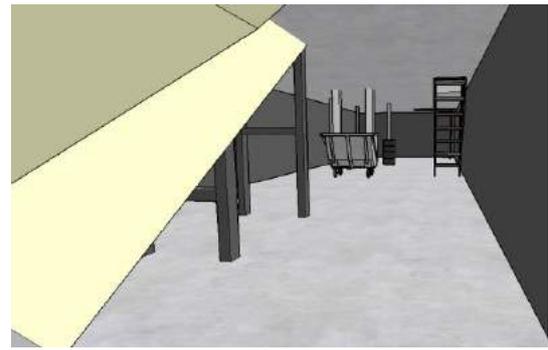
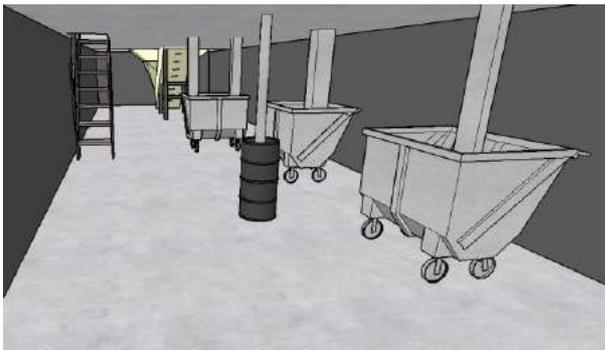


Figura 197: Vista interior de la planta sótano

En las imágenes anteriores pueden verse algunos detalles sobre equipos y señalización de la presencia de atmósfera explosiva ATEX. En los elevadores de cangilones se han colocado dispositivos apagallamas y válvulas anti-exposición. Además, en las puertas de acceso al edificio principal se han colocado señales ATEX. Sobre atmósferas explosivas se hablará en un capítulo reservado específicamente para esta cuestión.

- Edificio secundario

El edificio secundario está formado por una estructura elevada sobre el vial de circulación de camiones, y es en este edificio donde se encuentran los transportadores horizontales que desplazan el grano y lo conducen hasta que se descargan en el silo

A dicho edificio se puede acceder desde el interior de la segunda planta del edificio principal o bien desde el exterior. El acceso desde el exterior se realiza por medio de una plataforma metálica construida sobre los silos que rodea el edificio secundario y a la cual se puede acceder mediante dos escaleras de tipo gato situada en puntos opuestos.

El edificio secundario está a su vez compuesto por dos edificios independientes de las mismas dimensiones y características, en cada uno de los cuales hay instalado un transportador que conduce el grano y alimenta dos silos.

Las dimensiones del edificio secundario completo es de 15 m x 8 m, teniendo cada uno de los edificios individuales que forman parte del edificio secundario una longitud de 15 m y una anchura de 3,5 m. Está construido a una altura de 7 m sobre el nivel del suelo y en su interior tiene una altura disponible de 2,5 m.

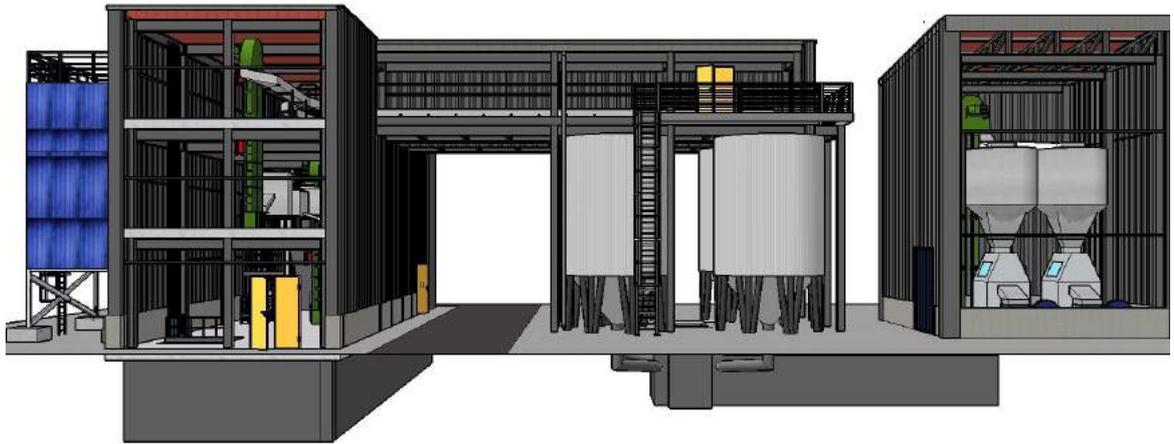


Figura 198: Vista interior del edificio principal, secundario y sala de molienda

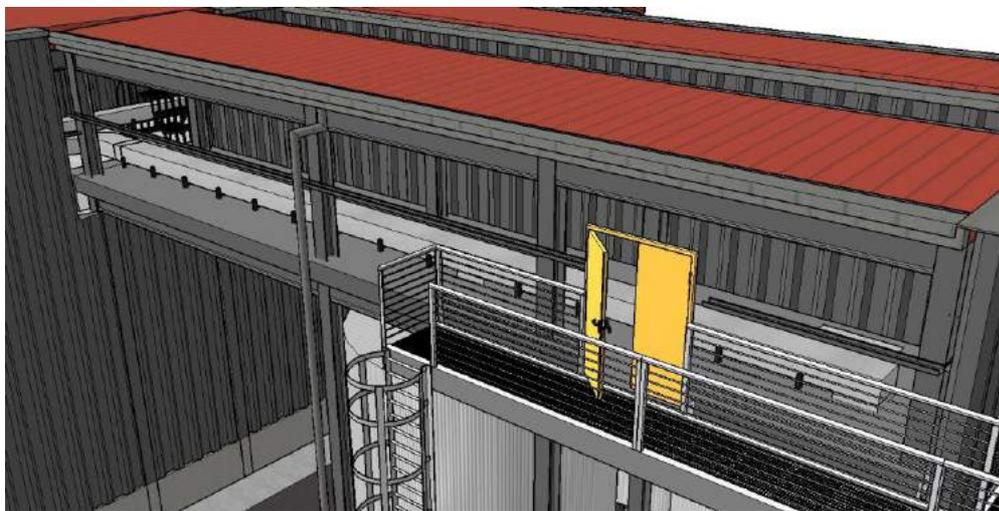


Figura 199: Vista interior de uno de los edificios que conforman el edificio secundario

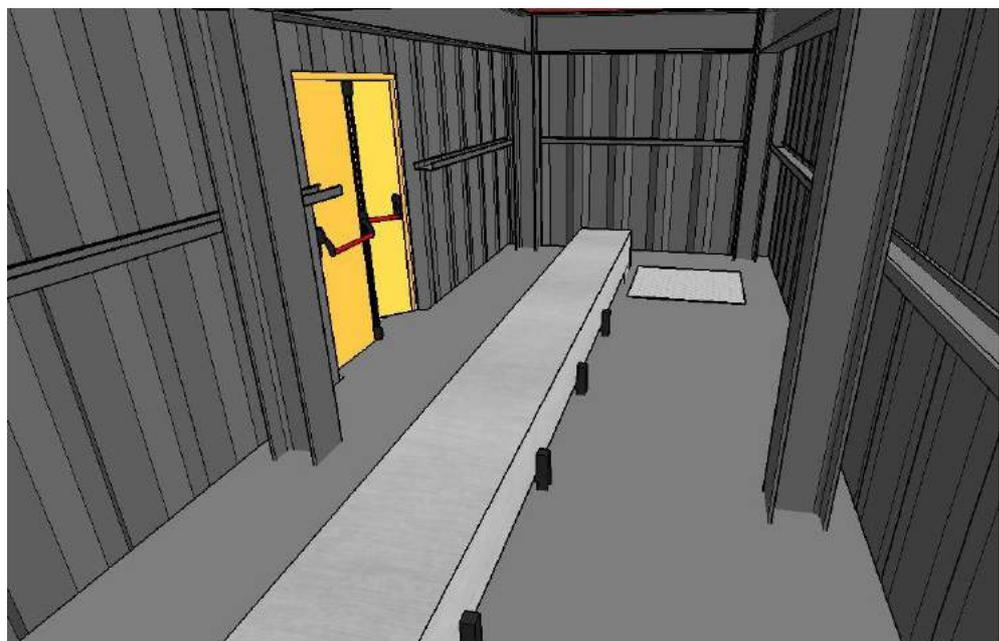


Figura 200: Vista interior del edificio principal

En la imagen anterior puede observarse el transportador horizontal que conduce los granos hasta que son descargados en el interior del silo. En cada uno de los dos edificios que conforman el edificio principal existen transportadores de este tipo y una trampilla metálica situada en el suelo que comunica con el silo. A través de dicha plantilla accederá el personal de mantenimiento y limpieza al interior del silo. Los operarios se colocarán un arnés conectado mediante una cuerda a una polea que cuelga de un trípode especial para actividades de mantenimiento en lugares confinados.

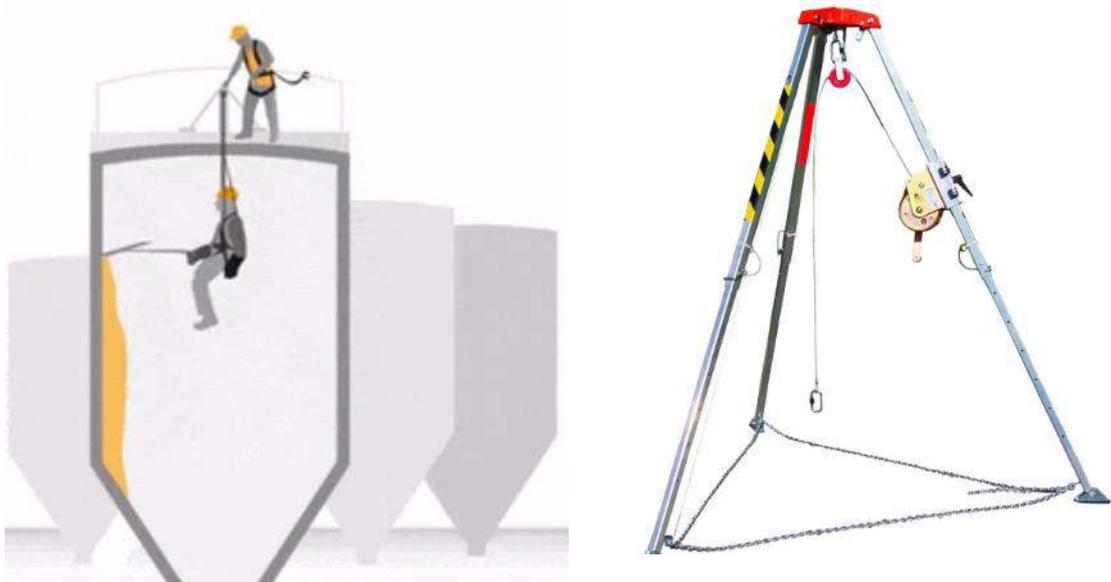


Figura 201: Limpieza de silo (izquierda) y trípode para actividades de mantenimiento (derecha)

- Silos

La zona que ocupan los silos tiene una superficie aproximada de  $100 m^2$ . En total existen cuatro silos cilindrocónicos de idénticas dimensiones y características, siendo las dimensiones de estos de 5 m de alto y 2 m de radio. Los silos descargarán por gravedad a una tolva situada en una galería subterránea construida a 3 m bajo rasante. A dicha galería podrá acceder el personal de mantenimiento por medio de una escalera vertical, la cual se encuentra generalmente tapada por una trampilla abatible de metal. La galería mide 13 m de largo y 2,6 m de ancho, dimensiones suficientes para llevar a cabo labores de mantenimiento.

Una vez la cebada ha sido descargada por los depósitos y transportada mediante conducciones a la tolva, una balanza pesará la cantidad de cebada y un sistema de accionamiento mecánico impedirá el paso de más grano cuando se haya alcanzado la cantidad requerida. Los granos llegarán a una cinta transportadora horizontal hasta llegar a un elevador de cangilones que desplazará el grano para llevarlo a la sala de molienda.

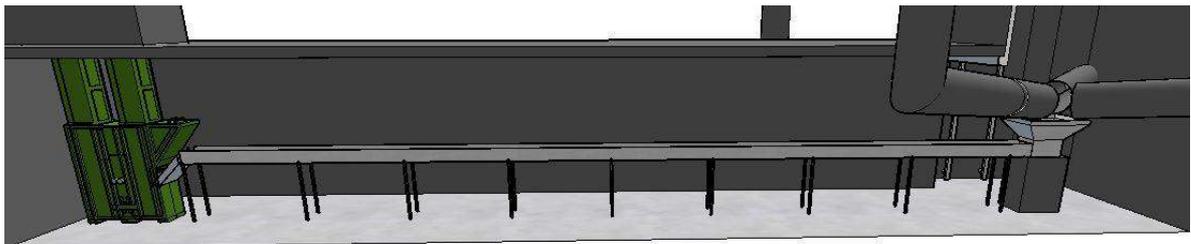


Figura 202: Vista lateral de la galería

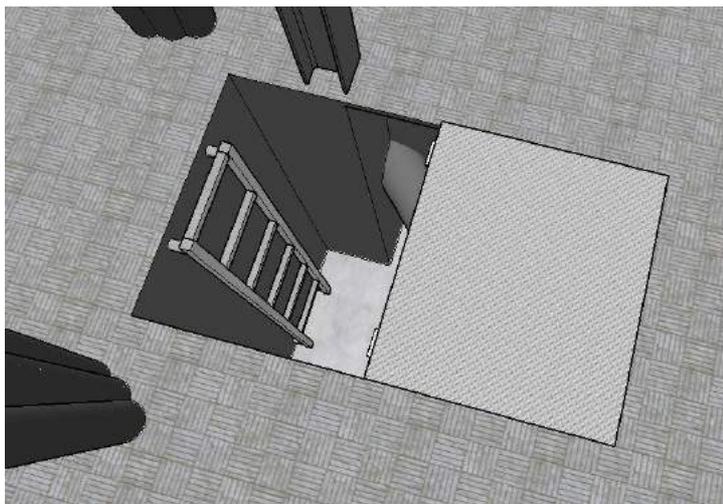


Figura 203: Acceso a la galería subterránea

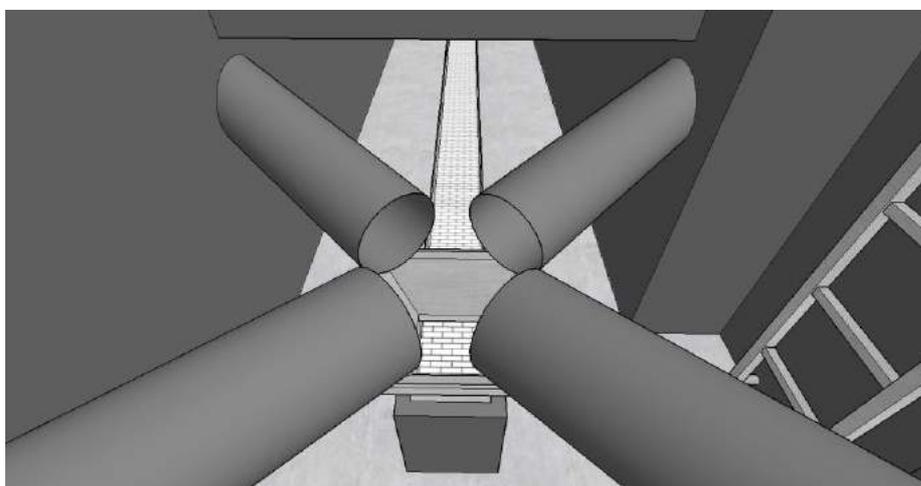


Figura 204: Descarga de grano a la tolva

## 4.6 Edificio de oficinas

El edificio de oficinas es donde se llevan a cabo las actividades organizativas de la empresa, administración y dirección. En este edificio también se encuentran áreas reservadas para el uso de trabajadores de la empresa como vestuarios, aseos, baños, zonas de descanso y cafetería.

El edificio de oficinas está compuesto por dos plantas, en cada una de las cuales existe una distribución determinada de salas, despachos y oficinas que se determinarán a continuación. El edificio tiene una longitud total de 40 m de largo y 16 m de ancho, siendo la altura de ambas plantas de 3 m. La planta superior cuenta con una terraza exterior a través de la cual se puede acceder a la cubierta en la que se encuentran los paneles solares.

A continuación, se muestran imágenes para visualizar de forma general el exterior del edificio de oficinas.

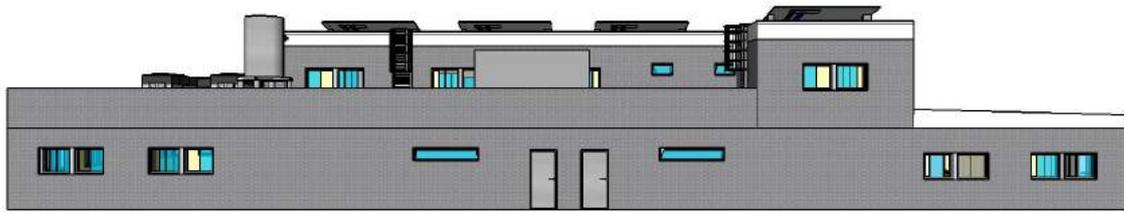


Figura 205: Vista frontal del edificio de oficinas

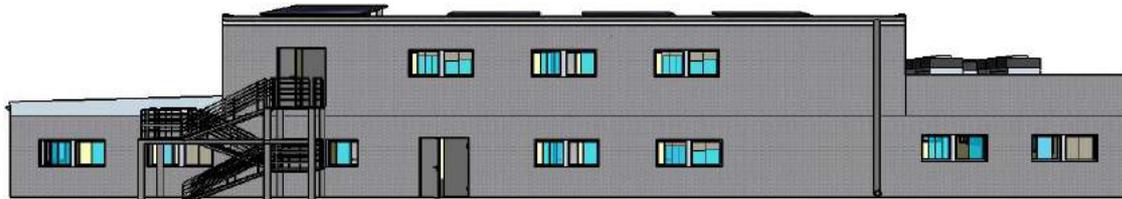


Figura 206: Vista trasera del edificio de oficinas

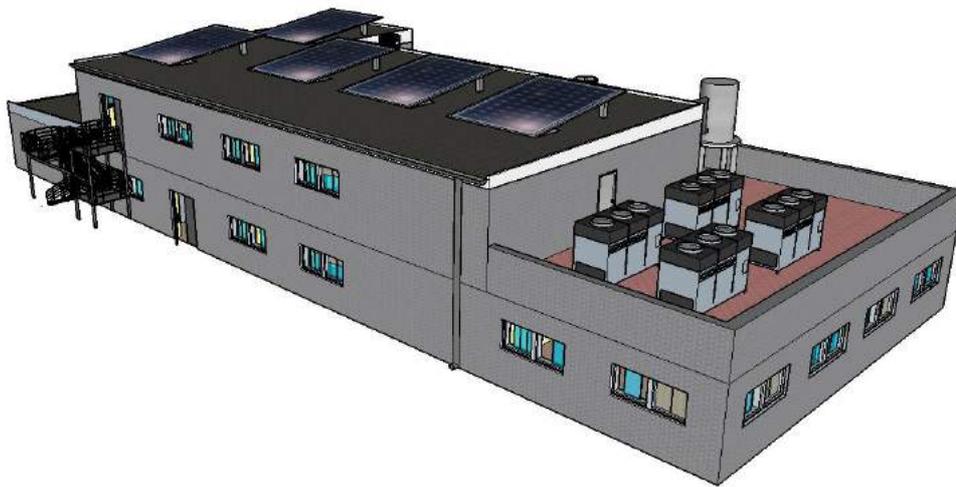


Figura 207: Vista en perspectiva del edificio de oficinas

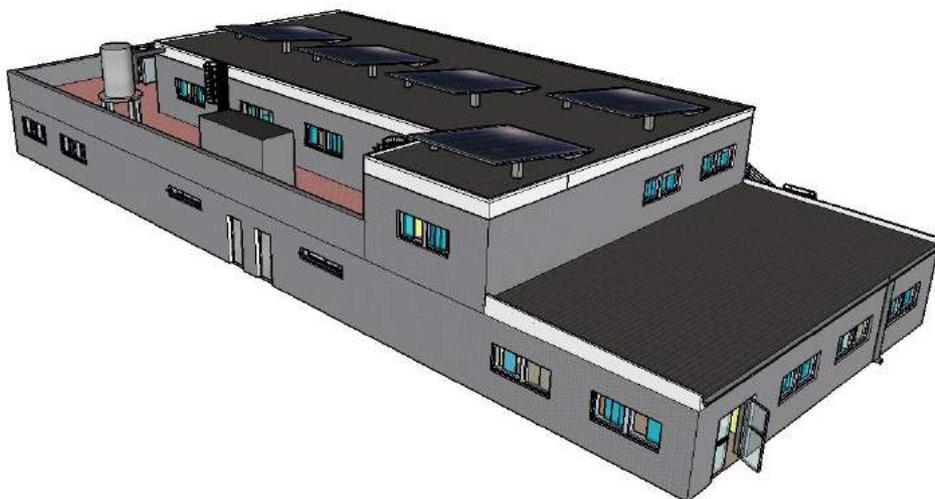


Figura 208: Vista en perspectiva del edificio de oficinas

Para detallar la ubicación y función de cada zona del edificio de oficinas, se muestran dos vistas en planta de cada uno de los pisos:

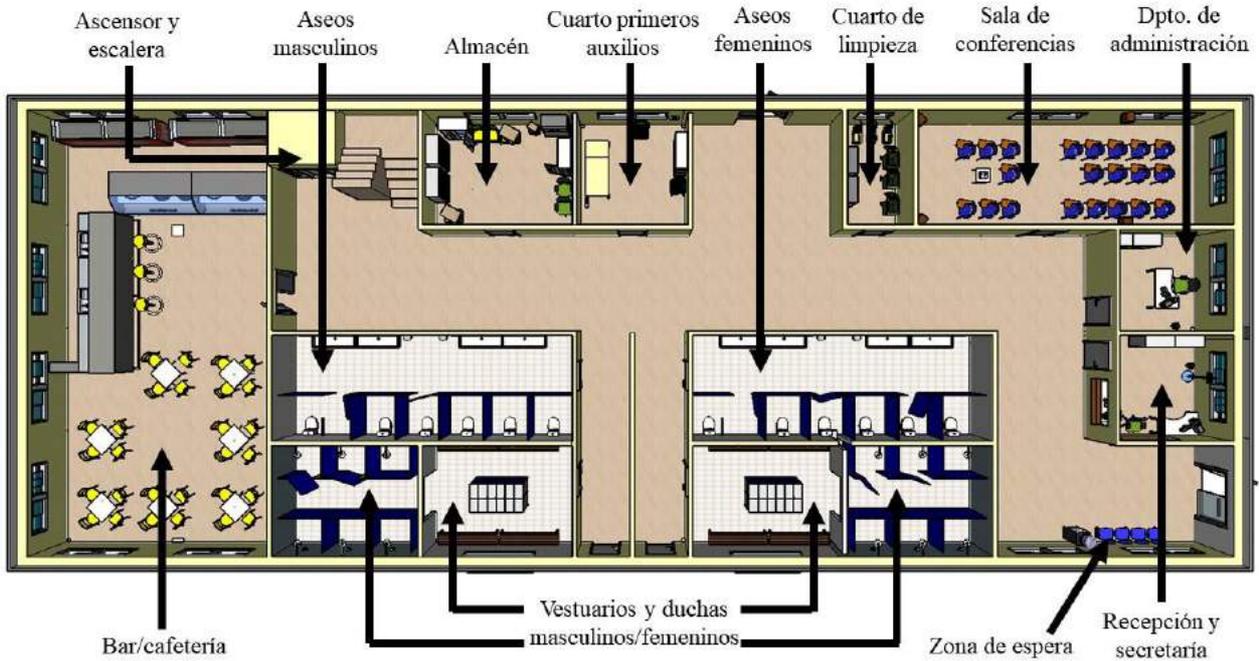


Figura 209: Vista en planta del interior de la planta baja

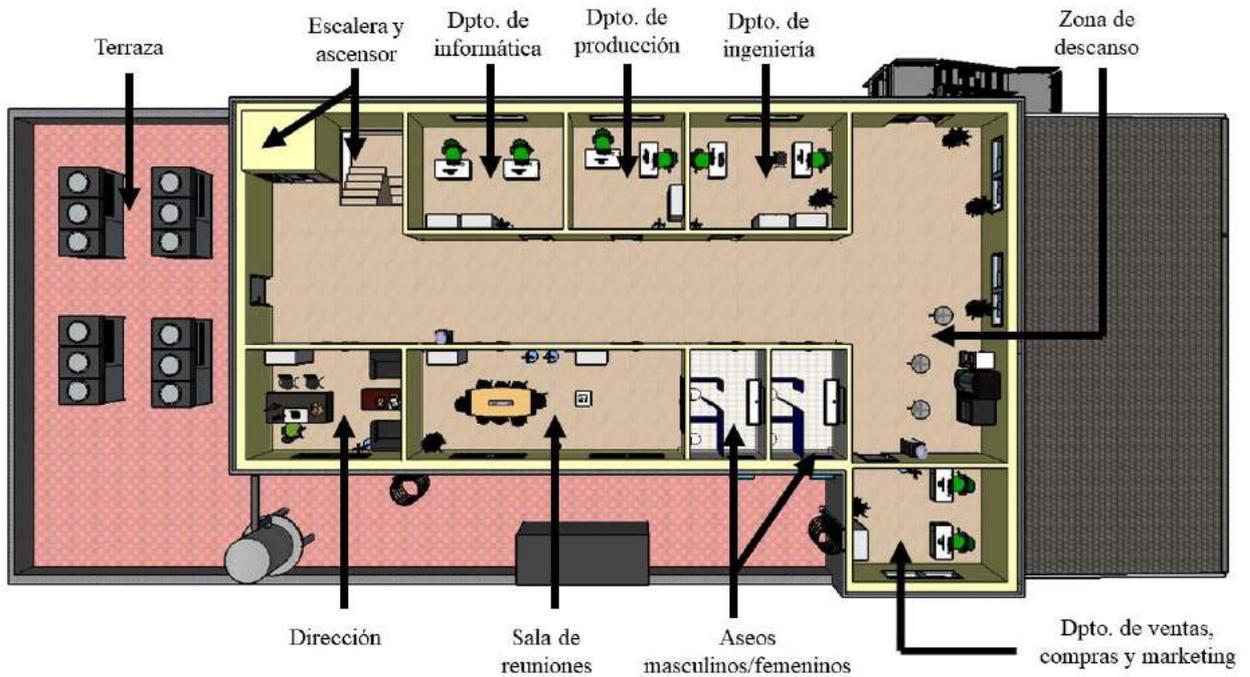


Figura 210: Vista en planta del interior de la primera planta

A continuación, se detalla la superficie ocupada por cada una de las zonas de cada planta:

<u>PLANTA BAJA</u>		<u>PRIMERA PLANTA</u>	
<b>Zona</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Zona</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
Cafetería	120	Dpto. de informática	17
Aseos masculinos/ femeninos	35	Dpto. de producción	14
Vestuarios masculinos/femeninos	18	Dpto. de ingeniería	18
Duchas masculinas/femeninas	17	Dirección	18
Almacén	20	Sala de reuniones	32
Cuarto de primeros auxilios	14	Aseos masculinos/femeninos	9
Cuarto de limpieza	8	Dpto. de compras, ventas y marketing	18
Sala de conferencias	40	Terraza	185
Dpto. de administración	13	Zona de descanso	16
Recepción y secretaría	14		

El edificio de oficinas cuenta con cuatro accesos. El primer acceso es el principal y será el que utilizarán de forma general el personal de la empresa. Las visitas también entrarán al edificio de oficinas por este acceso y serán atendidos en la ventanilla de recepción. Existen otros dos accesos que comunican directamente el exterior del edificio con el interior, y será generalmente utilizado por el personal para acceder a los vestuarios y duchas debido a la cercanía a la que se encuentran. El cuarto acceso constituirá la salida de emergencia de la planta baja, aunque podrá ser utilizada también para acceder a la parte trasera del edificio de oficinas, donde se encontrará el merendero.

A la primera planta se podrá acceder tanto en ascensor como por escaleras. Esta planta dispone de una salida de emergencia que comunica con una escalera de evacuación que se utilizará exclusivamente en caso de emergencia y que conduce al exterior del edificio de oficinas. Existirá también una puerta de acceso a la terraza que en ningún caso podrá ser utilizada como vía de evacuación, ya que no conduce a un espacio exterior seguro.

Desde la terraza es posible acceder a la azotea mediante dos escaleras tipo gato. El acceso a la azotea está exclusivamente permitido para el personal de mantenimiento de la instalación de energía solar.

Para tener una mejor visualización e idea del interior del edificio de oficinas, se van a mostrar unas imágenes que clarifican la información expuesta hasta ahora.



Figura 211: Zona de espera, recepción y secretaria



Figura 212: Sala de conferencias



Figura 213: Cuarto de limpieza



Figura 214: Cuarto de primeros auxilios



Figura 215: Baños planta baja (izquierda) y primera planta (derecha)

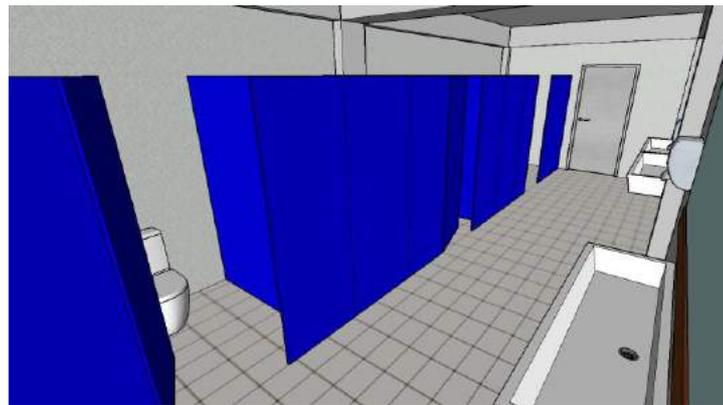
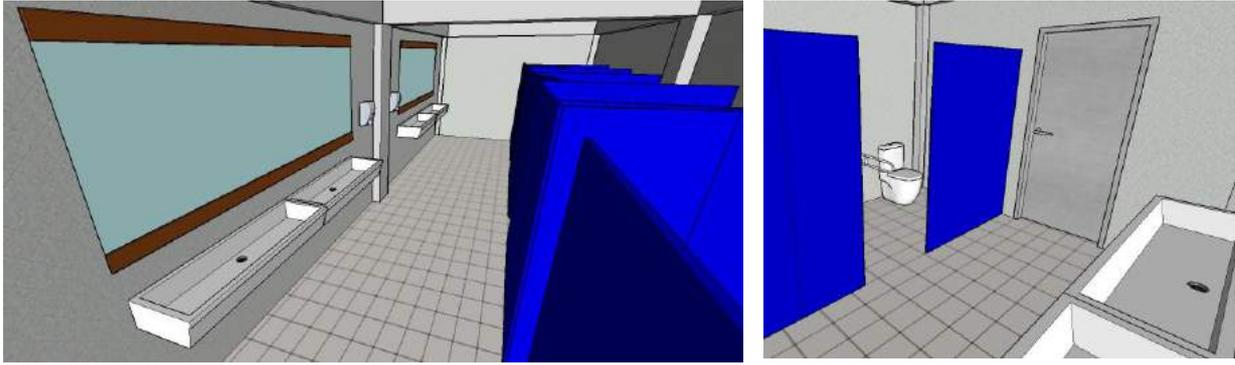


Figura 216: Baños planta baja

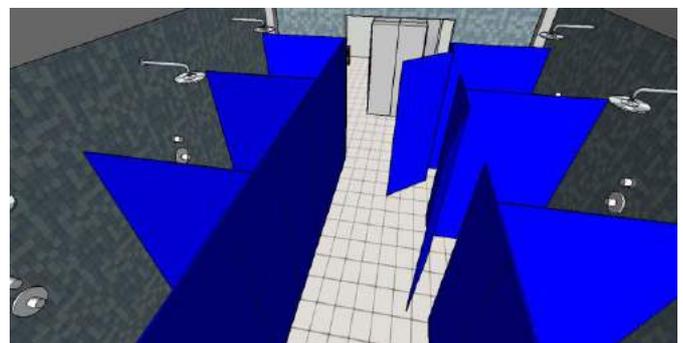
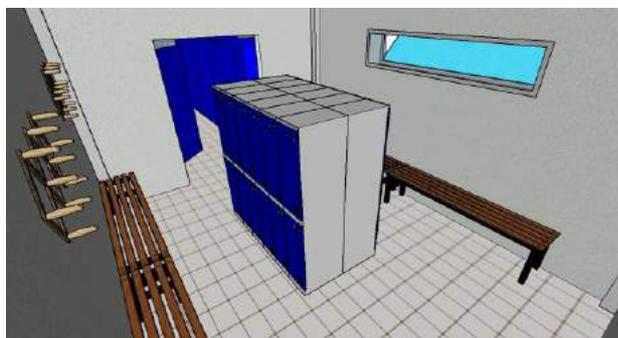


Figura 217: Vestuarios (izquierda) y duchas (derecha)



Figura 218: Almacén

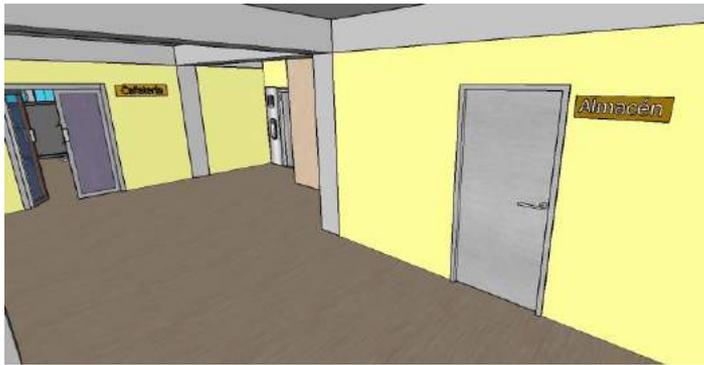


Figura 219: Pasillos de la planta baja



Figura 220: Cafetería



Figura 221: Ascensor y escalera



Figura 222: Despacho de dirección



Figura 223: Sala de reuniones



Figura 224: Oficina

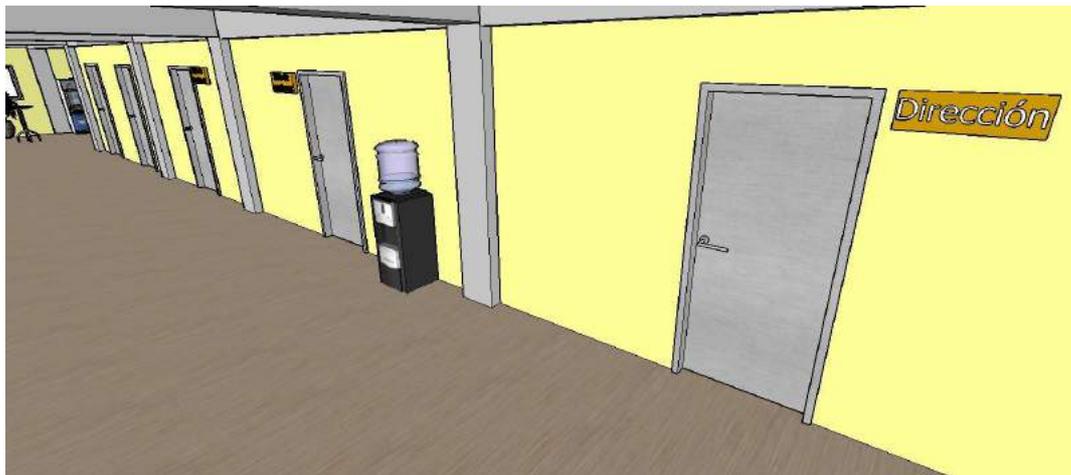


Figura 225: Pasillo de la primera planta



Figura 226: Zona de descanso



Figura 227: Salidas de emergencia planta baja (izda) y primera planta (dcha)

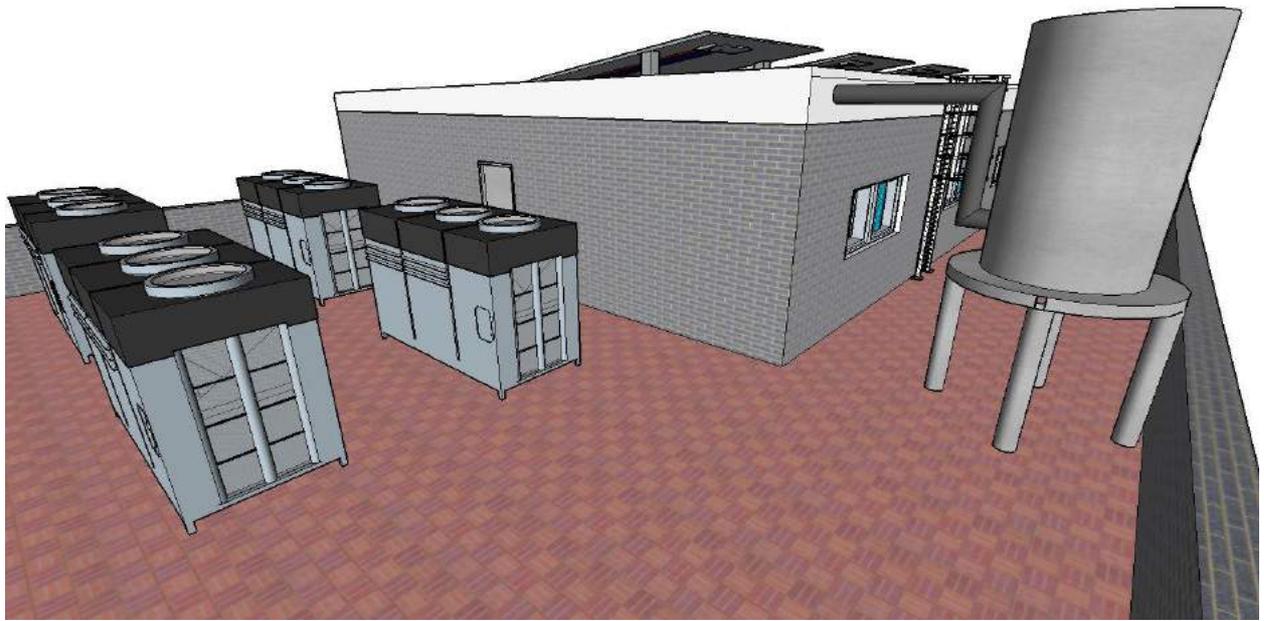


Figura 228: Terraza



Figura 229: Escaleras gato de acceso a la cubierta



## 5 Obra civil

**E**n el presente capítulo se va a describir cada una de las soluciones adoptadas relacionadas con la obra civil de la planta, incluyendo para ello las oportunas definiciones y explicaciones de las propiedades de cada uno de los elementos que formarán parte de los edificios, naves, y en general, de la fábrica. Además, se estudiarán los distintos tipos de materiales estructurales que ofrece el mercado y cuáles serán utilizados en este caso en concreto.

### 5.1 Descripción del solar

La planta industrial se encuentra en una parcela situada en la provincia de Sevilla, ocupando una superficie total de 24.650 m<sup>2</sup> y cuyas dimensiones se muestran en la imagen siguiente:

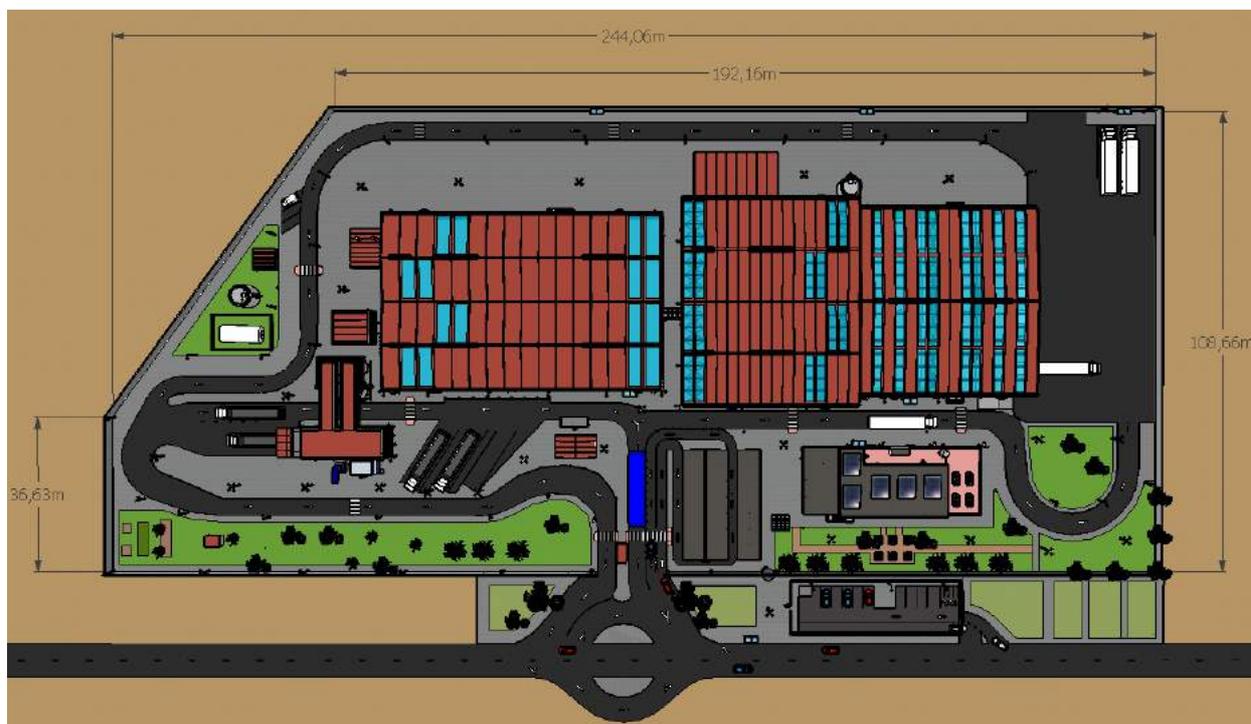


Figura 230: Dimensiones de la parcela

El terreno está limitado por el norte, este y oeste con otras parcelas, y por el sur con el vial de acceso a la planta.

El estado inicial de la parcela se aproxima a una extensión de terreno regular con desniveles pequeños, en el cual se encuentran restos de materiales de construcción y vegetación herbácea

## 5.2 Edificios y naves proyectados

En la parcela se proyectará un total de trece edificios, de los cuales se entrará en detalle y se profundizará solamente en seis de ellos debido a la funcionalidad, importancia e impacto que supondrán para el desarrollo de la empresa. El resto de los edificios, pasarán a un segundo plano en cuanto a nivel de definición y no se entrará en detalle acerca de la obra civil correspondiente.

- Nave de producción

En este edificio se llevarán a cabo todas las actividades relacionadas con la elaboración de cerveza. Las dimensiones de dicha nave son de 64 m de fachada y 40 m de ancho, ocupando una superficie total en planta de  $2.560 \text{ m}^2$ . Esta nave está construida a nivel del suelo, pero en determinadas zonas se ha construido un segundo nivel tal y como se comentará más adelante. La altura de la nave hasta la cabeza del pilar es de 9 m, siendo la altura máxima a cumbre de 10,5 m.

- Nave de envasado

En la nave de envasado se llevará a cabo todas las operaciones que permitan obtener el producto final listo para su comercialización. La nave tiene una longitud de 40 m y un ancho de 48 m y está proyectada a nivel del suelo. La altura de la nave será la misma que en la nave de producción.

- Nave de almacenamiento

La nave de almacenamiento constituye un espacio totalmente diáfano en el cual se realizarán todas las actividades logísticas de la empresa. La nave mide 40 m de largo y 43 m de ancho, y está construida a un metro sobre el nivel del suelo para facilitar las operaciones de carga y descarga de camiones en los muelles. La altura máxima a la cabeza de pilar es de 8 m, siendo la altura máxima a cumbre de 9,5 m.

- Edificio de descarga y limpieza

En este edificio se llevarán a cabo tanto la descarga de camiones de malta como las actividades de limpieza de la materia prima antes de ser almacenada en los silos. Este edificio está formado por un edificio principal y otro secundario, estando los dos anexos y comunicados entre sí.

El edificio principal tiene unas dimensiones de 18 m de largo y 7 m de ancho, y ha sido proyectado con tres plantas sobre el nivel del suelo y una planta sótano. Cada nivel tiene una altura de 3,5 m, lo que implica que el edificio principal tenga una altura de 11 m aproximadamente.

Por su parte, el edificio secundario está construido a 7 m sobre el nivel del suelo y se encuentra directamente comunicado con el edificio principal y con los silos. Tiene una longitud de 15 m y una anchura de 8 m, con una altura útil de 2,5 m.

- Silos

Los silos se encuentran situados en la zona oeste de la planta junto al edificio de descarga y limpieza, nave de producción y edificio de molienda. Se han instalado un total de cuatro silos los cuales ocupan una superficie de  $100 \text{ m}^2$ . Los silos se encuentran comunicados en su parte superior con el edificio de descarga y limpieza y en su parte inferior con la galería subterránea que transporta la cebada hacia el edificio de molienda.

- Edificio de oficinas

El edificio de oficinas se encuentra situado en la zona sur de la planta junto al aparcamiento de vehículos y justo enfrente de la nave de almacenamiento. El edificio ha sido proyectado en dos plantas, teniendo la planta baja unas dimensiones de 40 m de largo y 16 m de ancho mientras que

la planta alta tiene una longitud de 24 m y un fondo de 13 m. Ambas plantas tienen una altura útil de 3 m.

- Edificio de molienda

Como su nombre indica, en este edificio se llevará a cabo la molienda de la malta y desde aquí se enviará a la nave de producción para comenzar el proceso de elaboración del mosto. El edificio ha sido proyectado en una sola planta y presenta unas dimensiones de 9 m x 8 m, con una altura útil de 9,5 m.

- Garita de seguridad

Se encuentra justo en la entrada de la planta, junto a los viales y zonas de tránsito de vehículos. Tiene una superficie de 8 m<sup>2</sup>, con una fachada de 4 m y un fondo de 2 m. La altura de la garita es de 3 m. Debido a las reducidas dimensiones que presenta, se plantea utilizar una construcción modular prefabricada.

- Laboratorio

El edificio del laboratorio es de una única planta y ha sido construido con unas dimensiones de 9,5 m de largo y 5 m de ancho, con una altura hasta cabeza del pilar de 3 m y una altura máxima a cumbre de 4 m. Este edificio se plantea construirlo con una estructura metálica, a dos aguas, sin pilares intermedios y utilizando paneles tipo sándwich para los cerramientos y la cubierta.

- Mantenimiento

Este edificio servirá de almacén para los equipos y herramientas que utilicen los operarios de mantenimiento y jardineros. Ocupa una superficie de 9 m<sup>2</sup>, con una longitud y un ancho de 3 m. Debido a las reducidas dimensiones, se propone utilizar una edificación modular prefabricada al igual que en el caso de la garita de seguridad.

- Cuartillo eléctrico

El cuarto eléctrico ocupa una superficie de 25 m<sup>2</sup>, siendo su longitud y anchura de 5 m y presentando una altura de 3 m. Este cuarto eléctrico se construirá de hormigón prefabricado de acuerdo con la Norma ENDESA FNH001 y las Especificaciones Técnicas de ENDESA Referencias nº 6702980 a 6702983. Se colocarán losas de hormigón tanto en la cubierta como en la solera.

- Sala de calderas

La sala de calderas tiene unas dimensiones de 9 m de largo y 8 m de ancho, con una altura de 4 m. El estudio de los elementos constructivos utilizados se incluirá en un apartado del subcapítulo de instalación de gas natural dentro del capítulo de instalaciones auxiliares.

- Sala de compresores

En esta sala irán instalados todos los equipos, conducciones y maquinaria relacionada con la instalación de aire comprimido. La sala presenta una longitud de 10 m y un ancho de 10 m, con una altura total de 7 m. La definición de los elementos estructurales utilizados para la construcción de la sala de compresores se incluirá en un apartado específico del subcapítulo instalación de aire comprimido dentro del capítulo de instalaciones auxiliares.

## 5.3 Terreno. Características

El terreno sobre el cual se construirá la planta se considera topografía subhorizontal con pequeños desniveles, información que se puede contrastar con el correspondiente estudio geotécnico. No es necesario realizar operaciones de movimiento de tierras de gran importancia para conseguir la nivelación del terreno y se tomará como cota de referencia la de los viales.

### 5.3.1 Características del suelo

El suelo sobre el que se llevará a cabo la obra civil se puede clasificar en dos niveles:

- Nivel 0: Correspondiente a suelo vegetal, formado por arenas limoarcillosas con un espesor máximo de 1 m.
- Nivel 1: Formado por arenas limosas con gravas dispersas con un espesor máximo de 5,6 m, siendo su clasificación la correspondiente a SM según la USCS (Unified Soil Classification System).

El nivel 0 del suelo será superado por la cimentación al carecer de calidad geológica, considerándose adecuada una cimentación superficial apoyada sobre el nivel 1 a una profundidad de 1 m.

Por otra parte, los estudios de laboratorio han determinado que no se necesita utilizar cementos sulforresistentes debido a que el suelo no es agresivo con el hormigón.

Los parámetros geológicos más importantes a tener en cuenta son el módulo de elasticidad, densidad aparente seca y el módulo de compresibilidad, correspondientes al nivel 1. En la tabla que se muestra a continuación se recogen los valores asociados a estos parámetros

Parámetro	Unidades	Valor
Módulo de elasticidad, E	kg/cm <sup>2</sup>	235-350
Densidad aparente seca, $\rho$	g/cm <sup>3</sup>	1,58
Módulo de compresibilidad, $E_{v2}$	MPa	$\geq 120$

Tabla 9: Parámetros geológicos

### 5.3.2 Limpieza del solar. Excavaciones

En primer lugar, hay que proceder a eliminación de los escombros y la vegetación herbácea que hay en la parcela. Posteriormente hay que llevar a cabo una nivelación y compactación del suelo con zahorra natural usando motoniveladoras y motocompactadoras.



Figura 231: Motocompactadora (izda) y motoniveladora (dcha). Fabricante Cat

Para las excavaciones se usarán equipos mecánicos, agilizando de esta manera el proceso. Las excavaciones son necesarias para:

- Excavación de la planta sótano del edificio de descarga.

La planta sótano se encontrará a una profundidad de 3 m y ocupará una superficie de  $126 \text{ m}^2$ , siendo por tanto necesaria una excavación de la zona de 20 m de largo y 8 m de ancho. Las dimensiones anteriores son superiores a las que tendrá finalmente la planta sótano, por lo que se procederá a rellenar las zonas excavadas sobrantes.

- Excavación de la galería subterránea.

La galería subterránea servirá de vía de comunicación entre los silos y el edificio de molienda. Los silos descargarán por gravedad a una tolva dotada de una báscula instalada en el interior de dicha galería. Los granos de malta se desplazarán por el interior de la galería hasta el edificio de molienda a través de un transportador horizontal y un elevador de cangilones.

Dicha galería irá construida a una profundidad de 3 m, presentando la excavación unas dimensiones de 14 m de largo y 4 m de ancho.

El acceso a la galería subterránea se realizará por medio de un acceso con escaleras, el cual estará generalmente protegido por una trampilla metálica.

- Excavación para la cimentación

Se realizarán excavaciones para la formación de zanjas donde se construirán las cimentaciones de cada uno de los edificios y naves.

El terreno de excavación durante las obras no se acumulará en ningún momento junto a los bordes del vaciado, debiendo estar separado de este una distancia superior a dos veces la profundidad del vaciado del borde correspondiente, salvo que la dirección de la obra lo permita.

En cuanto a los rellenos, se podrán utilizar los productos exteriores e interiores de la obra siempre que estos tengan las condiciones necesarias para que la consolidación, compactación y asiento sean buenos y uniformes.

## 5.4 Descripción de los elementos constructivos

En los siguientes puntos se detallarán los elementos constructivos que definen cada una de las naves y edificios de la planta. Se hará especial hincapié en la definición de cimentaciones, soleras, cerramientos, cubiertas y estructuras de los correspondientes edificios.

### 5.4.1 Nave de producción

La nave de producción constituye un espacio independiente al resto de edificios de la planta, por lo que tendrá una cimentación, solera y estructura particular.

#### 5.4.1.1 Cimentación

El tipo de cimentación que se utilizará será superficial y estará constituida por zapatas cuadradas aisladas unidas mediante riostras. El número de zapatas utilizadas para la cimentación de la nave de producción es de 30, compartiendo zapatas los pilares contiguos de los pórticos.

Las zapatas y riostras irán construidas de hormigón HA-25/B/20/ Ila y la armadura de acero que se utilizará será UNE-EN 10080 B 500 S. La carga máxima admisible será de  $2,5 \text{ kg/cm}^2$ . Las dimensiones de las zapatas se muestran en la siguiente figura:

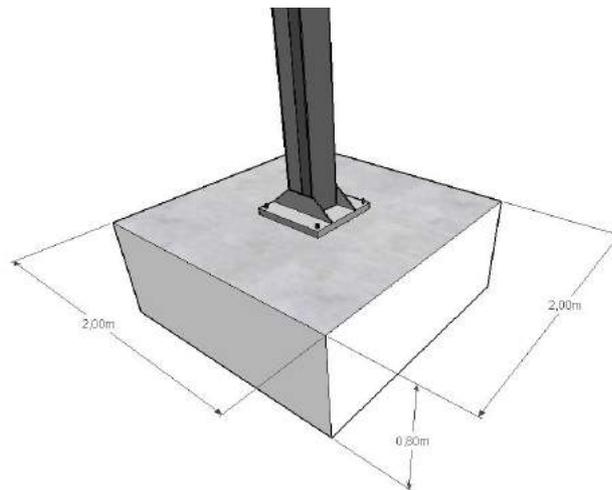


Figura 232: Dimensiones de las zapatas

En la anterior imagen puede observarse como se ha resuelto la unión del pilar con la zapata por medio de una placa de anclaje con pernos, acompañada de cartelas para rigidizar la unión.

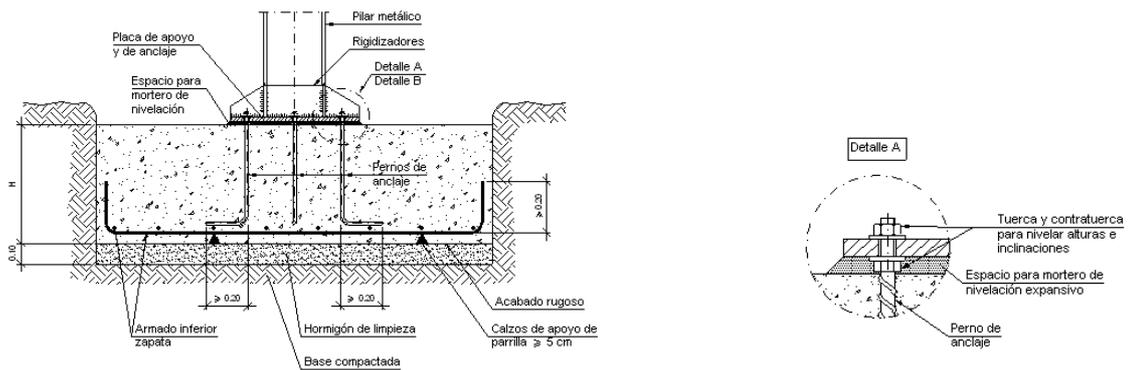


Figura 233: Detalle constructivo de arranque del pilar HEB en cimentación

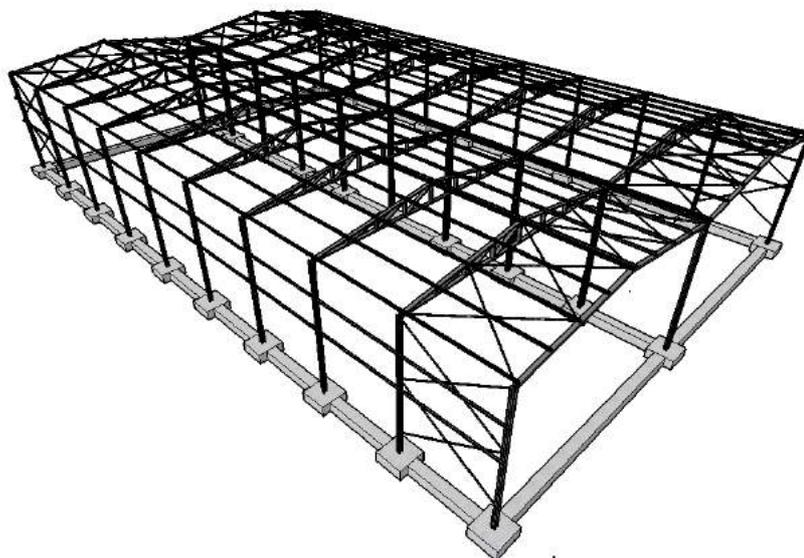


Figura 234: Cimentación y estructura metálica de la nave de producción

### 5.4.1.2 Solera

Tras las operaciones de limpieza del terreno, desbroce y nivelación del terreno se procederá a la ejecución de la solera, la cual estará constituida por cinco capas:

- Primera capa. Esta capa se denomina subrasante y está constituida por la explanada del terreno.
- Segunda capa. Se denomina subbase granular y está constituida por una capa de 15 cm de espesor formada por arena y grava compactada hasta conseguir un valor del 95 % del próctor normal. El objetivo de esta capa es proporcionar un cimiento más uniforme, ya que el terreno natural podría contener elementos que afecten negativamente a la estabilidad de la estructura.
- Tercera capa. En esta capa se colocará una lámina de polietileno que actúe como aislante.
- Cuarta capa. Se verterá hormigón en masa HM-20 hasta conseguir un espesor de 15 cm. Se añadirá además una malla electrosoldada para mejorar la resistencia a la fisuración y se situará como máximo a 5 cm de la superficie.
- Quinta capa. Es la capa más externa y en ella se llevará a cabo un pulido y fratasado mediante polvo de cuarzo para conseguir un buen acabado superficial. Se aplicará además una capa de resina epoxi que dote al suelo de carácter antideslizante.

La solera se irá ejecutando por tramos de 5 x 5 m y se colocarán las oportunas juntas de dilatación. Dichas juntas tendrán un espesor de 5 mm y una profundidad de 4 cm, siendo necesario sellar las juntas con PVC rígido para evitar que penetren partículas no deseadas.

Además, al tratarse de una industria alimentaria, para mantener las condiciones de higiene se dispondrán zócalos redondeados en todas las esquinas y rodapiés para evitar que se acumulen bacterias y microorganismos.

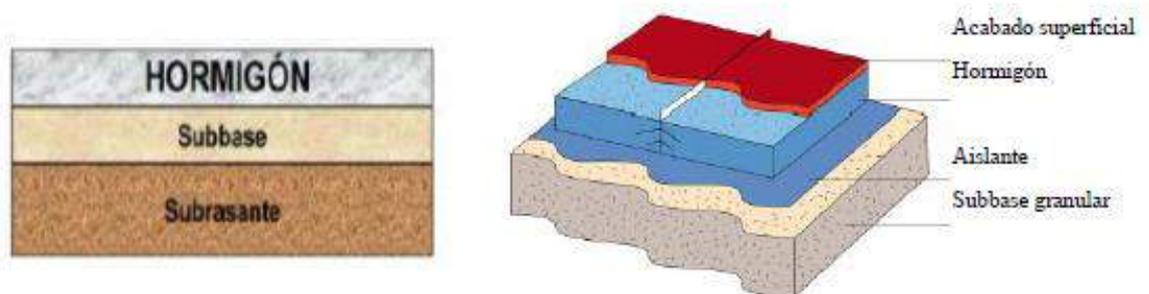


Figura 235: Capas constituyentes de la solera



Figura 236: Zócalo redondeado

### 5.4.1.3 Estructura

La estructura de la nave de producción estará formada por perfiles metálicos de acero S 275 JR. La nave se considerará múltiple y estará formada por dos estructuras a dos aguas anexas una a la otra. Cada estructura estará formada por dos pórticos hastiales y ocho pórticos intermedios. Al estar las dos estructuras anexas, se duplicarán los pilares en la zona de unión.

La profundidad de la nave es de 64 m, estando los pórticos separados 7 m. La nave tiene un fondo de 40 m, salvando cada estructura una luz de 20 m.

Los pórticos hastiales estarán formados por pilares HEB 240 y dinteles de perfil IPE 240.

Los pórticos intermedios estarán formados por pilares HEB 240 y sobre estos se apoyan las celosías trapezoidales de perfil tubular cuadrangular de sección 175 x 175 mm y un espesor de 8 mm.

En cuanto al sistema de contraviento, se ha utilizado arriostramientos en forma de cruces de san Andrés y se han situado en la sección inicial y final de la nave tanto en la fachada lateral como en los faldones de cubierta. Las cruces de san Andrés se han resuelto con un sistema de barras de acero con un diámetro de 40 mm, optándose como fabricante la empresa CABLES ESTRUCTURALES.

Para las correas de cubierta se ha optado por utilizar un perfil IPE 160 de acero S275 JR. Dichas correas irán colocadas sobre los nudos de las cerchas, utilizándose en cada faldon cinco correas separadas 2,5 m haciendo un total de 20 correas en la estructura.

Las correas de fachada se han elegido de un perfil en C con las características que se muestra en la tabla correspondiente. Se colocarán tanto en las fachadas laterales como en las frontales, estando la primera a 4 m sobre el suelo y la segunda a 2,5 m de la primera. Las correas irán soldadas a los pilares y sobre ellas se colocarán los cerramientos de fachada atornillados.

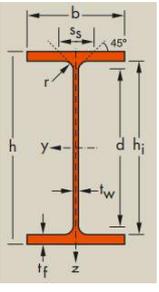
	<b>Pilares</b>				
	<b>PERFIL HEB 240</b>				
	h (mm)	b (mm)	tf (mm)	tw (mm)	r (mm)
	230	240	12	7,5	21

Tabla 10: Datos técnicos del perfil HEB 240. Fabricante Arcelormittal

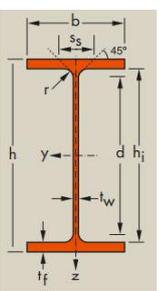
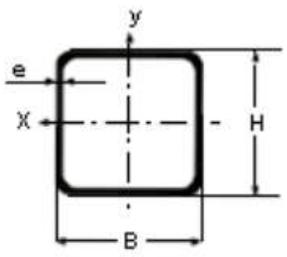
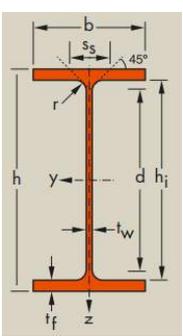
	<b>Dinteles</b>				
	<b>Perfil IPE 160</b>				
	h (mm)	b (mm)	tf (mm)	tw (mm)	r (mm)
	240	120	9,8	6,2	15

Tabla 11: Datos técnicos del perfil IPE 240. Fabricante Arcelormittal



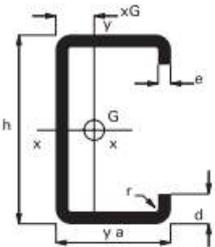
<b>Cercha</b>				
<b>Perfil tubular cuadrado</b>				
H (mm)	B (mm)	E (mm)	P (kg/m)	A (mm <sup>2</sup> )
175	175	8	41,63	53,03

Tabla 12: Datos técnicos perfil tubular cuadrado. Fabricante Arcelormittal



<b>Correas de cubierta</b>				
<b>Perfil IPE 160</b>				
h (mm)	b (mm)	tf (mm)	tw (mm)	r (mm)
160	82	7,4	5	9

Tabla 13: Datos técnicos del perfil IPE 160. Fabricante Arcelormittal



<b>Correas de fachada</b>				
<b>Perfil en C</b>				
h (mm)	a (mm)	d (mm)	e = r (kg/m)	A (mm <sup>2</sup> )
160	60	20	2,5	7,75

Tabla 14: Datos técnicos del perfil IPE 160. Fabricante Tubosarg

A continuación se muestran varias imágenes desde diferentes vistas de la estructura completa de la nave de producción. Además se ofrecen también vistas del subconjunto de estructuras que forman cada una de las dependencias, pasarelas y nivel elevado del interior de la nave

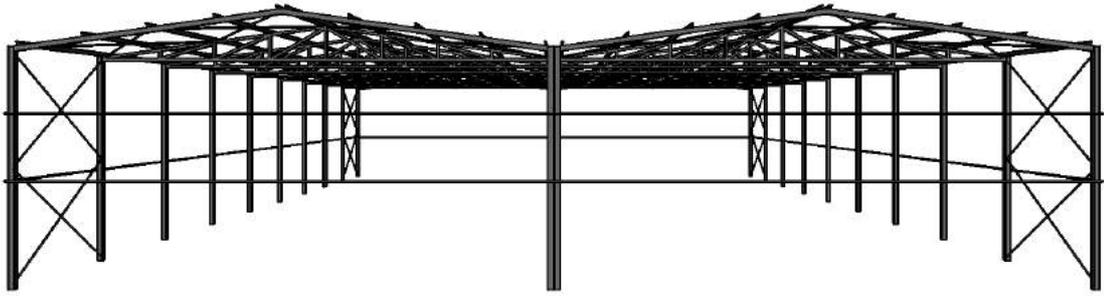


Figura 237: Vista frontal de la estructura metálica

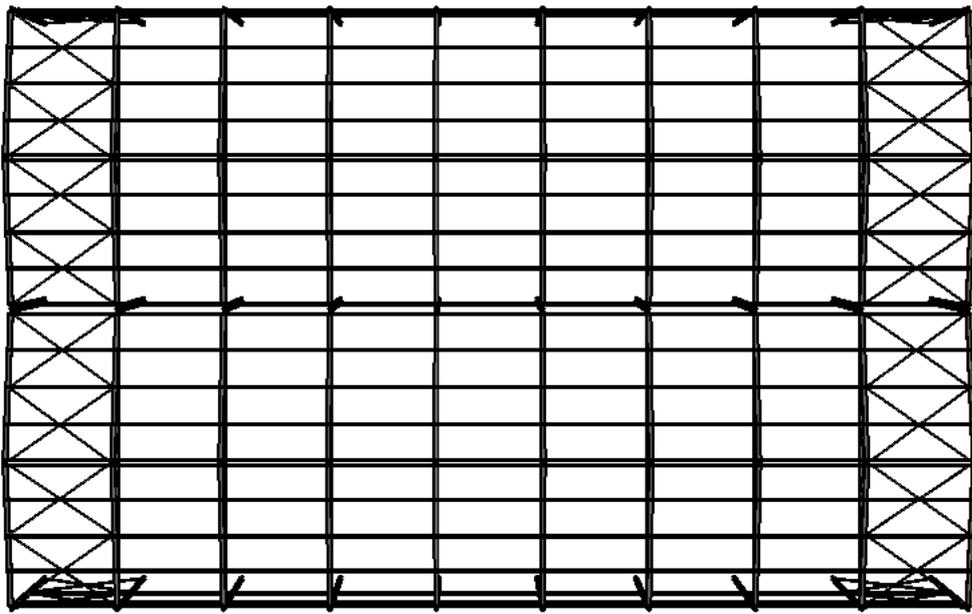


Figura 238: Vista en planta de la estructura metálica



Figura 239: Vista lateral de la estructura metálica

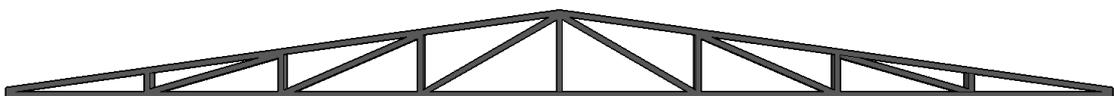


Figura 240: Cercha

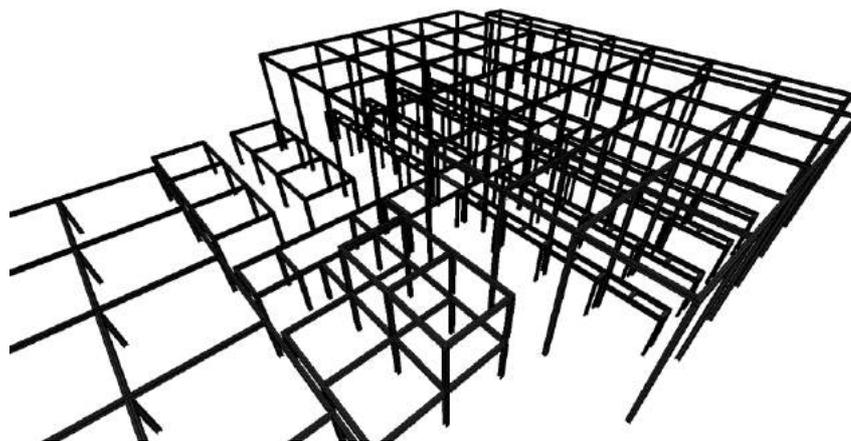


Figura 241: Estructuras metálicas del interior de la nave

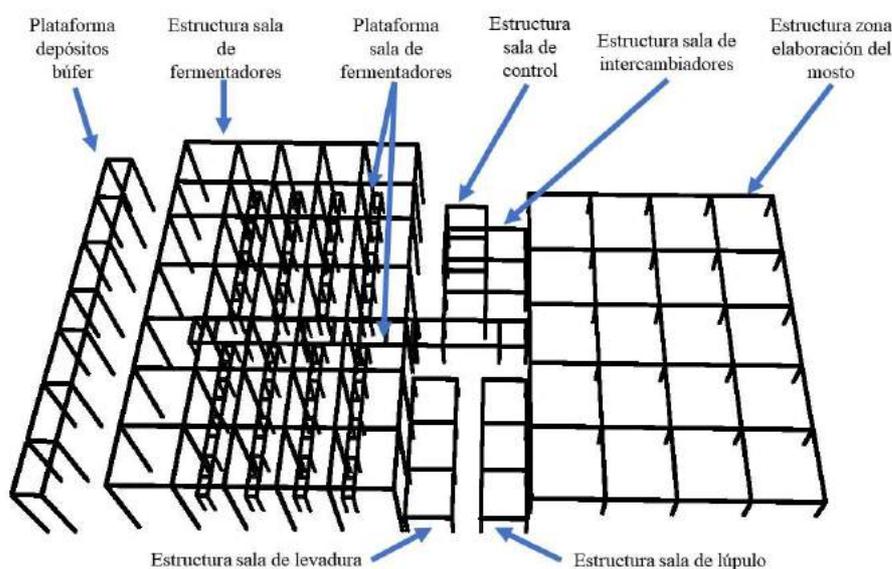


Figura 242: Esquema de estructuras secundarias

#### 5.4.1.4 Cerramientos

Los cerramientos de fachada serán mixtos, compuestos por un zócalo formado por bloques de hormigón y paneles tipo sándwich. Con esta configuración se pretende proporcionar mayor resistencia a posibles golpes en la parte inferior del cerramiento.

El zócalo de hormigón tendrá un espesor de 40 cm, arrancando desde el suelo hasta alcanzar una altura de 1,75 m y sobre él se colocarán los paneles sándwich hasta llegar a la altura de la cubierta.

Las caras externas del panel sándwich serán de chapa metálica grecada de 0,5 mm de espesor y el interior del panel estará constituido por una capa de poliuretano con una densidad media  $10 \text{ kg/m}^3$ . El panel sándwich tendrá un espesor total de 30 cm, utilizando tornillería oculta y tapajuntas para mejorar la estética y evitar la entrada de agua a las capas internas. La longitud de cada panel será de 1 m x 1 m. En la parte superior del último panel sándwich se colocarán chapas de coronación.

Se tendrá en cuenta para la colocación de los cerramientos la ubicación y dimensiones de los accesos a la nave y las aperturas necesarias para la colocación de ventiladores tipo mural.

En cuanto a los canalones, serán interiores y dispondrán de un peto cubrirán la parte superior del último panel sándwich colocado en la fachada.

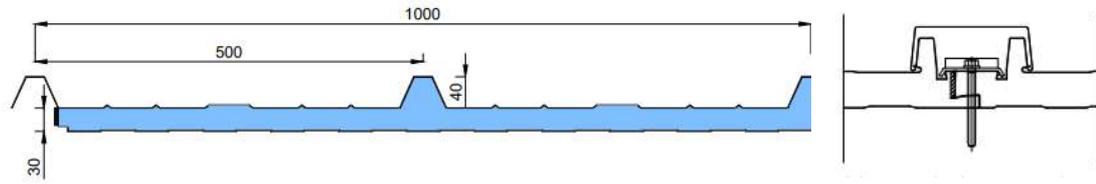


Figura 243: Sección de panel sándwich (izda) y detalle de unión oculta con tornillería (dcha)

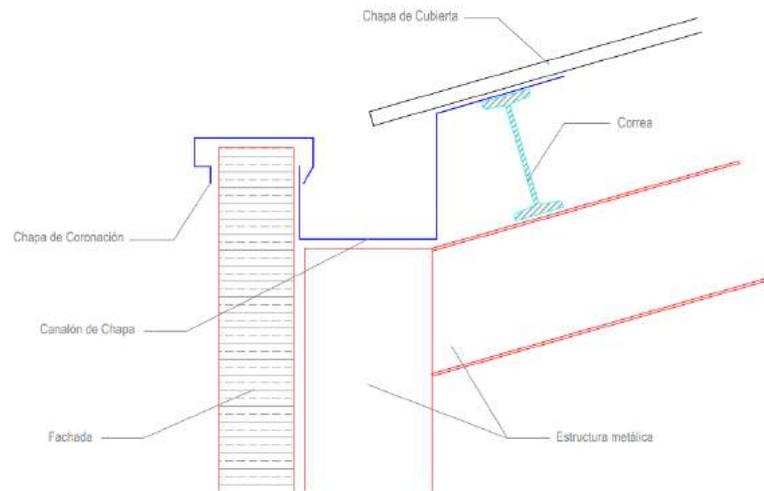


Figura 244: Detalle constructivo de canalón y chapa de coronación

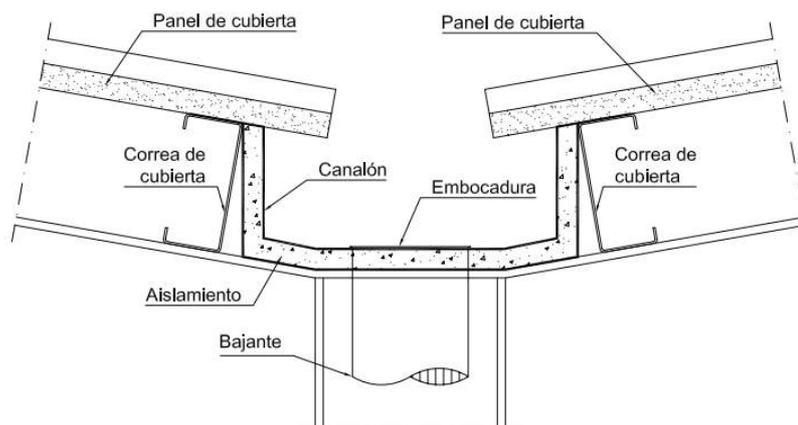


Figura 245: Detalle constructivo del canalón en la unión de las dos naves adosadas

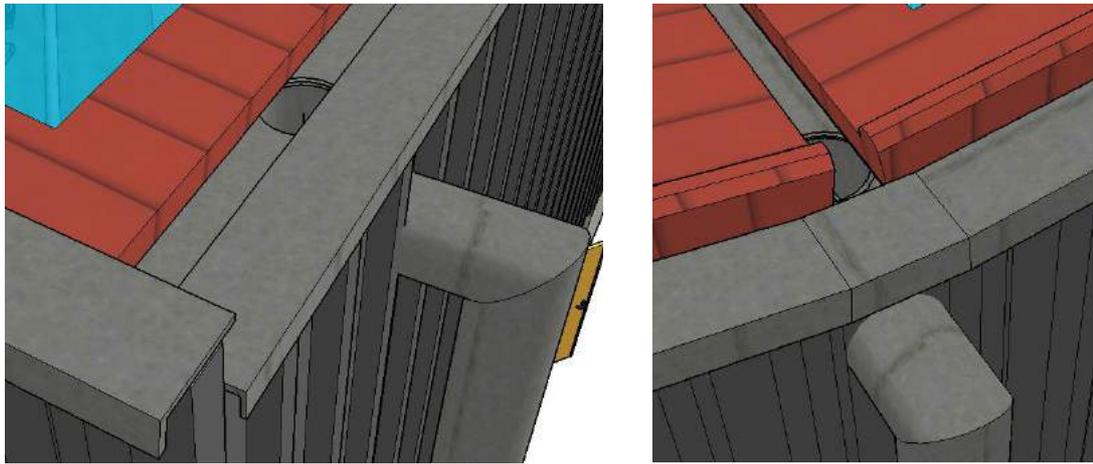


Figura 246: Detalle de canalones y chapas de coronación

#### 5.4.1.5 Cubierta

Sobre las correas de cubierta se colocarán paneles tipo sándwich con dos láminas de acero perfiladas y conformadas con una inserción de aislante compuesto de lana de roca. La instalación de estos paneles es sencilla y poseen una junta con fijación oculta. El motivo de la elección de la lana de roca es que este material aporta al conjunto una estabilidad al fuego y unas buenas propiedades acústicas. Los paneles tendrán un ancho útil de 1000 mm, los espesores de acero interior y exterior serán de 0,5 mm cada uno y el espesor total del panel de 200 mm. El modelo elegido para los paneles es PANEL 3G-1100 mm, los cuales son fabricados con tres grecas y con tornillería oculta y tapajuntas. El tapajuntas sirve para eliminar las posibilidades de gotera, ya que oculta y protege las fijaciones y aísla la junta entre paneles de las inclemencias meteorológicas.

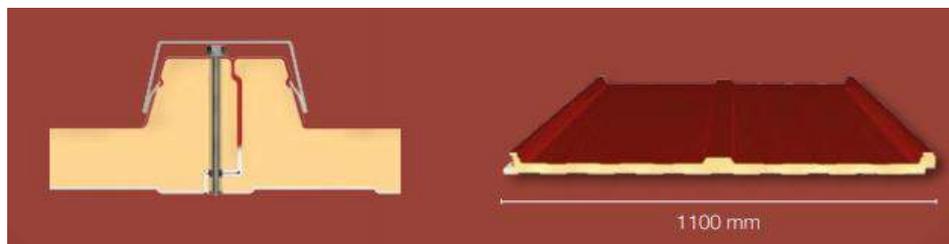


Figura 247: Panel tipo sándwich para la cubierta. Fabricante Metalpanel

Por otro lado, se ha destinado una superficie de 288 m<sup>2</sup> para la colocación de lucernarios. Dichos lucernarios dotan de iluminación natural al interior de la nave, lo que supone un gran ahorro energético en horarios de trabajo diurnos. Los lucernarios están colocados estratégicamente en la cubierta, de forma que en la zona donde se encuentra la sala de fermentación no se ha dispuesto estos lucernarios. Las dimensiones de los lucernarios son de 9 m x 2 m.

En la cumbre, se han colocado aireadores estáticos metálicos para la ventilación del interior de la nave, siendo sus dimensiones de 3,5 m x 0,8 m.

A continuación, se muestra una imagen de la cubierta de la nave de producción:

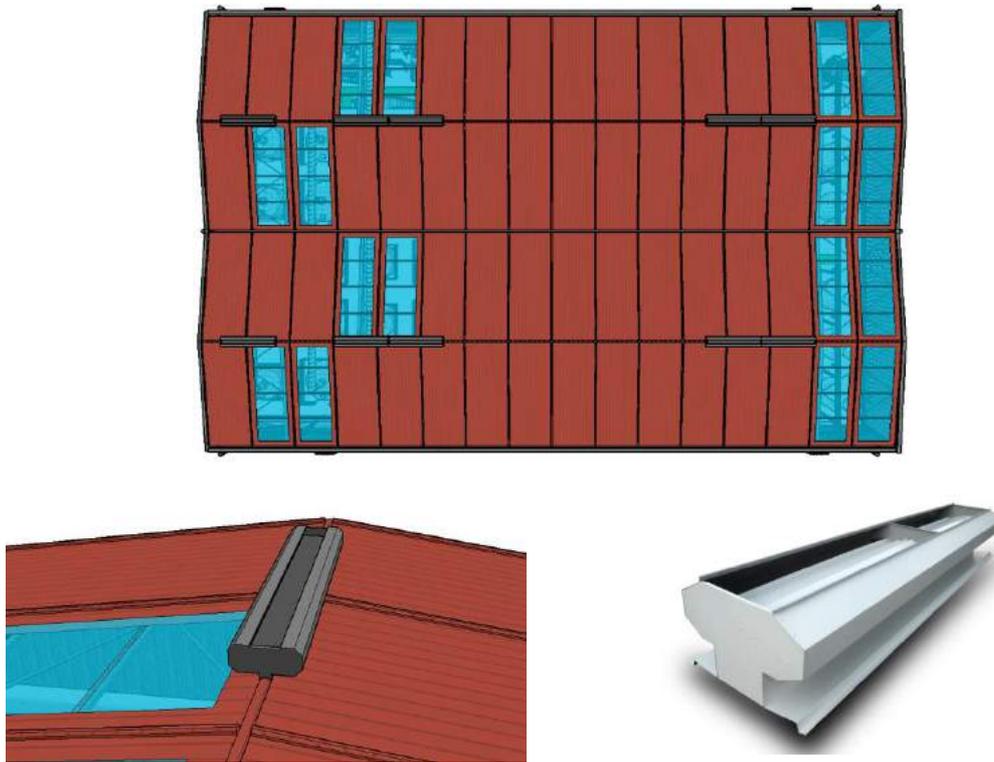


Figura 248: Cubierta con lucernarios y aireadores estáticos

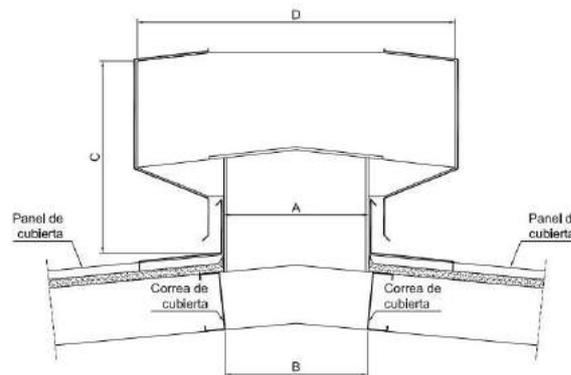


Figura 249: Detalle constructivo de aireador estático

#### 5.4.1.6 Forjados

Como se comentó previamente, en el interior de la nave se ha proyectado un segundo nivel que comunicará la zona de elaboración de mosto, la sala de control y la sala de fermentación. Para ello se ha decidido construir una estructura metálica sobre la cual se apoyará un forjado mixto, también llamado forjado colaborante. También se utilizará un forjado colaborante en la plataforma superior de los depósitos buffer.

Este tipo de forjado se caracteriza por estar compuestos por una chapa nervada de acero que se sujeta a las vigas soportes y sirve de base del encofrado. La chapa perfilada se une a la estructura mediante tornillos autorroscantes. Sobre dicha chapa se vierte el hormigón y se coloca un mallazo cerca de la cara superior de la losa. Se trata de un forjado mixto en el cual la chapa resiste las tracciones provocadas por momentos positivos, el hormigón absorbe las compresiones y el mallazo de la parte superior de la losa se encarga de repartir las cargas y absorber los esfuerzos provocados por la retracción y la temperatura.

En la zona de elaboración de mosto, es necesario dejar huecos en el forjado para que puedan ir instaladas las cubas. Dichos huecos se crearán colocando encofrados interiores de bloques de espuma de poliestireno con la forma de la chapa nervada. Una vez el hormigón hay fraguado, se procederá a cortar la chapa que ocupa el hueco. De esta forma no se necesitarán puntales debido a que será la chapa la que absorberá las cargas durante el hormigonado.



Figura 250: Tipos de chapa (izda) y esquema de forjado colaborante (dcha)

El forjado mixto presenta una serie de ventajas que ha hecho que sea la solución adoptada en el presente proyecto, aunque también presenta algunos inconvenientes que se presentarán a continuación

Ventajas	Inconvenientes
La chapa una vez colocada constituye una plataforma de trabajo durante el montaje.	Se adapta muy bien a estructuras metálicas y mixtas, pero presenta dificultad en otros tipos.
Simplifica la ejecución de las obras al no ser preciso colocar apuntalamientos.	Se puede utilizar para cubrir luces con un máximo de 5 m.
Debido a la forma de la chapa, el forjado mixto permite colocar elementos complementarios e instalaciones sin necesidad de utilizar falsos techos o suelos.	El proceso de fabricación de las chapas puede ser de elevado coste.
Ideal para edificios en altura	A partir de 30 min la resistencia al fuego disminuye y se requiere instalar protecciones adicionales

Tabla 15: Ventajas e inconvenientes de un forjado mixto

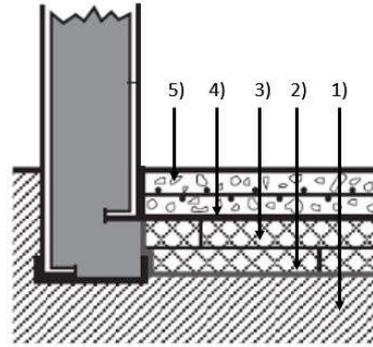
En este proyecto, el nivel elevado del interior de la nave de producción irá totalmente construido con un forjado colaborante de 20 cm de espesor, respetando los huecos para la instalación de los equipos.

#### 5.4.1.7 Sala de fermentación

Puesto que la sala de fermentación se debe de mantener a una temperatura constante de 4-5 ° C, lo cual se consigue con un sistema de refrigeración, deberá de aislarse adecuadamente el suelo y los cerramientos.

Para evitar desniveles al aislar la solera de la sala de fermentación, se ha optado por enterrar la cámara los centímetros que tenga la solera para conseguir el nivel de cota 0. Las capas que de la solera serán las siguientes:

- 1) Suelo
- 2) Barrera de vapor de 1 cm de espesor
- 3) Aislamiento de poliuretano rígido
- 4) Impermeabilizante
- 5) Hormigón armado de 15 cm de espesor



Con el objetivo de minimizar la transmisión de calor al interior, los cerramientos de la sala se construirán usando unos materiales que tengan baja conductividad. Además, el espesor del aislante es un factor muy importante que se determina teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas exterior e interior. En cuanto a los accesos a la sala, los sistemas de cierre de las puertas deben ser lo más estancos posibles para evitar la entrada de aire caliente a la cámara.

Los materiales para aislamiento térmico más usados son el poliuretano, poliestireno expandido, poliestireno extruido, fibra mineral y fibra de madera.

La imagen siguiente muestra las equivalencias entre los distintos materiales de aislamiento térmico:

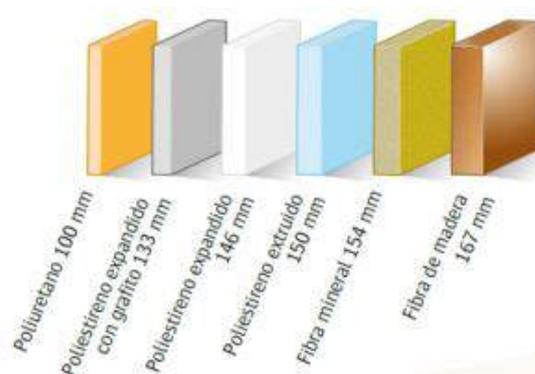


Figura 251: Equivalencia de materiales de aislamiento térmico

Tal y como refleja se puede ver en la imagen anterior, el poliuretano es el mejor aislamiento térmico que se puede utilizar para construir una cámara frigorífica ya que el espesor necesario es inferior en comparación con los demás tipos de aislante térmico. Este material ofrece otros beneficios:

- Tiene una alta durabilidad.
- Es un material muy ligero.
- El poliuretano se adhiere muy bien a las pieles exterior del panel sándwich.

Por estos motivos se ha decidido construir los cerramientos de la sala de fermentación de paneles sándwich de poliuretano.

Para determinar a grosso modo el espesor del material aislante que se utilizará en el panel sándwich se puede emplear la siguiente expresión que ofrece en su catálogo la empresa ISOTERMIA:

$$e = \frac{C \cdot (T_e - T_i)}{F} \cdot 1000$$
 , donde  $e$  es el espesor del aislante (mm),  $F$  el flujo de calor ( $Kc/hm^2$ ),  $C$  el coeficiente de conductividad térmica ( $Kc/hm^{\circ}C$ ),  $T_e$  y  $T_i$  la temperatura exterior e interior ( $^{\circ}C$ ) respectivamente.

Teniendo en cuenta que el poliuretano tiene un coeficiente de conductividad térmica de  $0,020 \text{ Kc/ hm}^\circ\text{C}$  y considerando que en las cámaras frigoríficas de refrigeración el flujo de calor que puede pasar a través del aislamiento para lograr un aislamiento ideal es de  $7\text{-}8 \text{ kcal / hm}^2$ :

$$e = \frac{0,02 \cdot (27 - 4)}{7} \cdot 1000 = 66 \text{ mm}$$

Debido a que se trata de un cálculo aproximado, se elige un espesor para el panel sándwich de 100 mm.

Dicho paneles sándwich tienen un recubrimiento metálico, un acero base, bases de imprimación, chapa pretratada y acabados en la cara exterior.

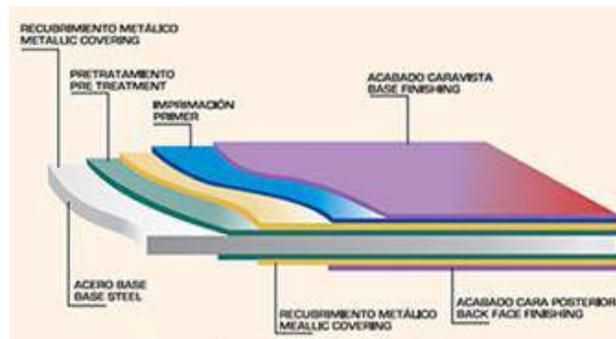


Figura 252: Capas panel sándwich

## 5.4.2 Nave de envasado

La nave de envasado se encuentra anexa a la nave de producción, compartiendo solamente el cerramiento que divide ambas naves.

### 5.4.2.1 Cimentación

Al igual que en la nave de producción, se ha optado por utilizar un sistema de cimentación superficial formado por zapatas cuadradas aisladas unidas mediante vigas riostras. Cada uno de los pilares de la estructura arrancará desde las zapatas e irán unidas mediante una placa de anclaje con pernos y cartelas para mejorar la rigidez de la unión.

Se utilizará un total de 27 zapatas, de las cuales 9 de ellas serán compartidas por los pilares que se encuentran anexos. Dichas zapatas tendrán unas dimensiones de  $2 \times 2 \text{ m}$  y un canto de  $0,8 \text{ m}$ .

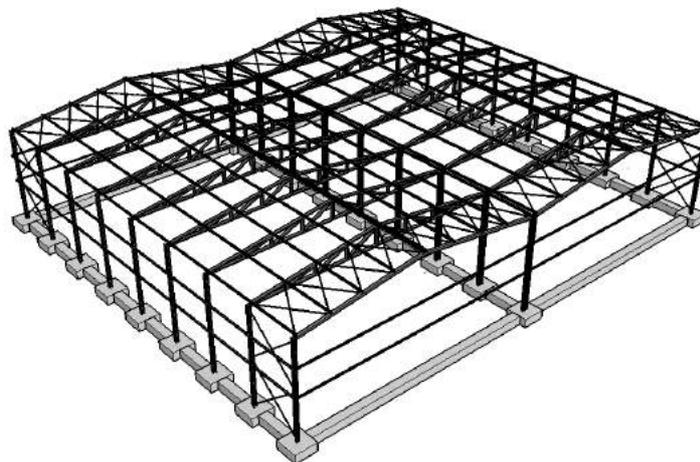


Figura 253: Cimentación de la nave de envasado

### 5.4.2.2 Solera

La tipología y construcción de la solera de la nave de envasado será idéntica a la de la nave de producción, por lo que no se explicarán nuevamente los detalles en este apartado.

### 5.4.2.3 Estructura

La nave de envasado está constituida por dos naves a dos aguas adosadas y comunicadas cuyas estructuras estarán construidas por pilares, cerchas, vigas y correas de acero S275 JR.

La nave tiene una profundidad de 40 m y un ancho total de 47 m, por lo que cada pórtico de las naves salvará una luz de 23,5 m. La estructura está formada por 9 pilares, de los cuales dos son pórticos hastiales y el resto pórticos intermedios. La separación entre pórticos es de 4,5 m aproximadamente.

Los pórticos hastiales están compuesto de pilares HEB 240 y dinteles con perfil IPE 240. Los pórticos intermedios están formados por pilares HEB 240 sobre los que apoyan las cerchas trapezoidales. Los pórticos serán a dos aguas con una inclinación de  $7^\circ$  aproximadamente.

El sistema de contraviento se ha resuelto mediante cruces de San Andrés compuestas por un sistema de barras. Dichos arriostramientos se llevarán a cabo en el primer y último marco de la estructura y los faldones correspondientes de la cubierta.

Para las correas de cubierta se han utilizado perfiles IPE 160, utilizando un total de 20 correas separadas entre sí 2,9 m. Dichas correas apoyarán en los nudos de la cercha.

Las correas de fachada se han colocado en todo el perímetro de la nave, utilizándose dos correas por fachada. La primera correa se ha colocado a 4 m desde el pie del pilar y la segunda a 2,5 m de la primera correa. Para las correas de fachada se ha utilizado un perfil en C idéntico al utilizado en el caso de la nave de producción.



Figura 254: Vista frontal de la estructura



Figura 255: Vista lateral de la estructura

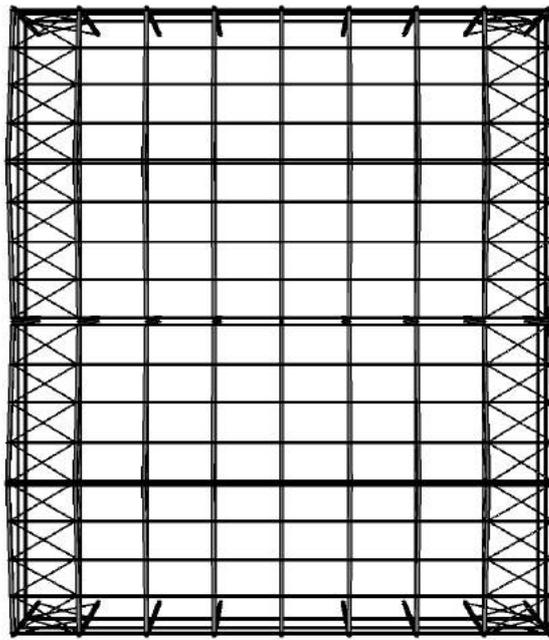


Figura 256: Vista en planta de la estructura



Figura 257: Cercha

#### 5.4.2.4 Cerramiento

La ejecución de los cerramientos se acometerá de la misma manera que en el caso de la nave de producción. La única diferencia que existe es que en el frontal de la nave que se encuentra anexo a la nave de almacenamiento se ha optado por utilizar un cerramiento formado por paneles de hormigón prefabricado, detallándose sus características en el apartado concerniente a la nave de producción.

La tipología de canalones y ubicación de estos será idéntica que en la nave de producción.

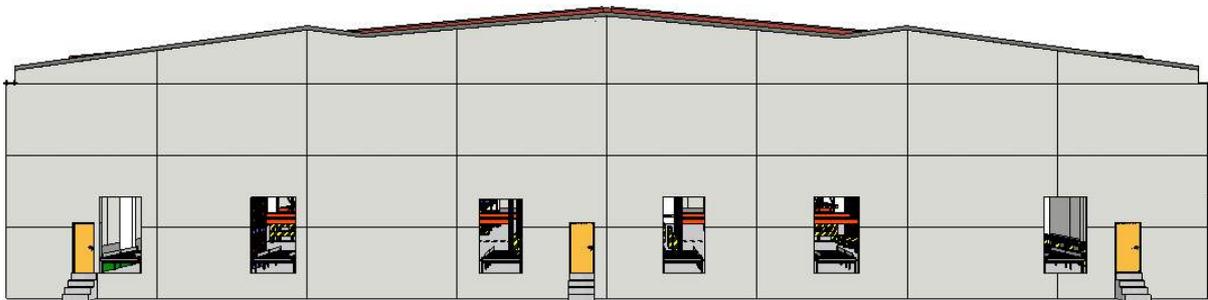


Figura 258: Cerramiento compartido entre nave de envasado y almacén

Este cerramiento dispondrá de las aperturas necesarias para permitir la instalación de los transportadores que comunican la nave de almacenamiento y envasado, a través de los cuales circularán los productos.

#### 5.4.2.5 Cubierta

La cubierta se construirá con los mismos materiales y con el mismo modo de operación que en la nave de producción.

Se instalarán además aireadores estáticos a lo largo de la cumbrera.

Los lucernarios ocuparán una superficie total aproximada de 320 m<sup>2</sup>, utilizándose un total de 16 lucernarios. Cada uno de ellos tendrá unas dimensiones de 1,9 x 10,5 m.

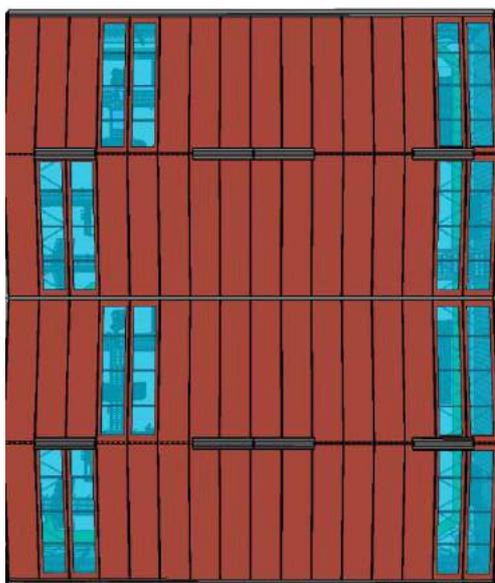


Figura 259: Cubierta de la nave de envasado

### 5.4.3 Nave de almacenamiento

La nave de almacenamiento está constituida por un edificio cerrado anexo a la nave de envasado, cuya estructura y cerramientos serán de hormigón prefabricado como se detallará más adelante.

#### 5.4.3.1 Cimentación y solera

Para la nave de almacenamiento se utilizará una cimentación superficial compuesta por zapatas aisladas unidad por vigas riostras sobre las que arrancarán muretes de hormigón.

Los muretes tendrán una altura de 1 m y un espesor de 40 cm e irán distribuidos en todo el perímetro de la nave. La superficie encerrada por los muros perimetrales será rellenada con zahorra y se compactará adecuadamente hasta llegar a la altura de los muros. Sobre el nivel creado se ejecutará una solera de hormigón armado de 20 cm de espesor a la cual se le aplicará un tratamiento de pulido y resina epoxi para dotarle propiedades antideslizantes.

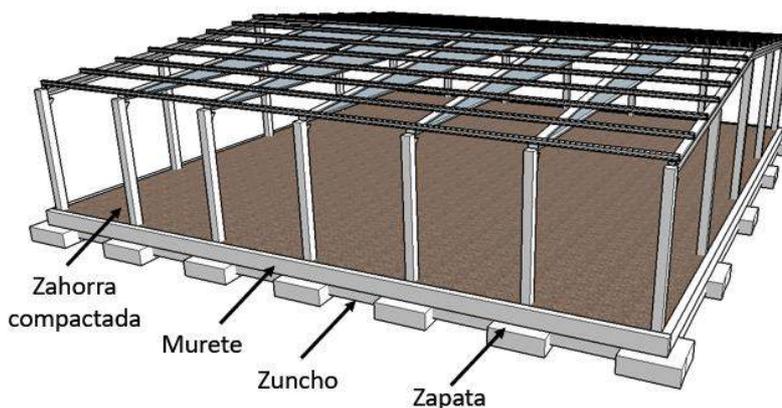


Figura 260: Cimentación de la nave de almacenamiento

La solera elevada del almacén se podría haber construido otras técnicas más sofisticadas que conllevarían un mayor tiempo de construcción y desembolso económico.

- Forjado sanitario con viguetas autoportantes

El forjado sanitario estaría constituido por viguetas pretensadas autorresistentes en doble T apoyadas sobre jácenas de hormigón armado, las cuales a su vez irían apoyadas sobre enanos de hormigón armado. Entre las viguetas se colocarían bovedillas de hormigón sobre las cuales se dispondría una malla electrosoldada y a continuación se verterá hormigón hasta cubrir la parte superior de las bovedillas.

- Forjado con sistema cáviti

El sistema cáviti consiste en la colocación de elementos prefabricados de polipropileno que se ensamblan entre sí para formar un encofrado continuo con sus propios apoyos.

Solera elevada sobre zahorra compactada con muros perimetrales de hormigón armado	Forjado sanitario de viguetas autoportantes	Forjado sanitario con sistema cáviti
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil ejecución</li> <li>• Precio económico</li> <li>• Hay que prestar especial atención a la compactación del relleno.</li> <li>• Menores tiempo de construcción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio elevado</li> <li>• Tiempo de construcción lento</li> <li>• Cumplimiento riguroso de especificaciones técnicas.</li> <li>• Sistema tradicional de forjado sanitario.</li> <li>• Problemas de carbonatación por humedades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio elevado</li> <li>• Problemas de asentamiento al removerse el terreno y no compactarlo bien posteriormente</li> <li>• Montaje sencillo y rápido</li> <li>• Los formatos comerciales no suelen superar cantos de 70 cm</li> </ul>

Figura 261: Comparativa entre tipos de forjado

### 5.4.3.2 Estructura

En el caso de la nave de almacén, se ha optado por utilizar una estructura de hormigón prefabricado por los siguientes motivos:

- Este tipo de estructuras permite salvar grandes luces sin ser necesario la colocación de pilares intermedios. Esto es fundamental en naves destinadas a almacenamiento de productos, debido a que al ser un espacio totalmente diáfano se facilita la colocación de estanterías por toda la superficie y los pasillos y zonas de tránsito de carretillas no posee obstáculos que dificulten las maniobras y circulación.
- Al estar fabricada de hormigón, la estructura tiene una alta capacidad de estabilidad frente al fuego, aspecto muy a tener en cuenta en almacenes.
- Menor tiempo de construcción debido a que la dificultad de montaje es baja.

Sin embargo, este tipo de estructuras supone un desembolso económico más grande que en el caso de estructuras metálicas.

La estructura ha sido diseñada para salvar una luz de 43 m, midiendo 40 m en la dirección longitudinal. Está formada por siete pórticos, de los cuales dos son pórticos hastiales y el resto pórticos intermedios. Los pórticos están separados una distancia de 6 m, aproximadamente de 6,5 m.

Los pórticos hastiales están formados por pilares prefabricados de hormigón de sección cuadrada 50 x 50, con una altura de 9 m. En los pórticos hastiales se ha colocado cinco pilares, separados 10,5 m aproximadamente. Los dinteles están formados por jácenas en I de hormigón que apoyan en ménsulas situadas a una altura de 8 m en los pilares extremos.

Los pórticos intermedios están formados también por pilares prefabricados de hormigón de la misma sección que los pilares de los pórticos hastiales, siendo la altura de ellos 9 m. En el caso de los pórticos intermedios, la luz es salvada por vigas delta apoyadas en ménsulas en una de las caras de los pilares.

Para las correas se utilizarán viguetas tubulares de hormigón. Se colocarán en total de dieciséis viguetas, ocho en cada faldón y separadas entre sí 3 m.

A continuación, se detallan las dimensiones de los elementos estructurales mencionados.

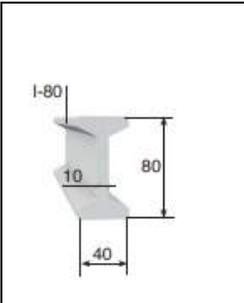
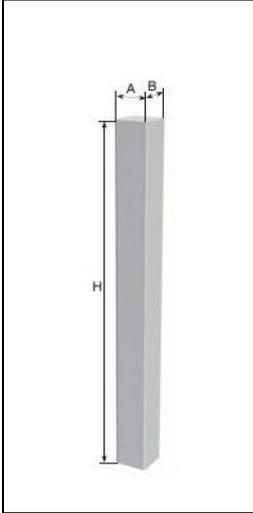
	Tipo	Base (cm)	Alma (cm)	Peso (kg/ml)
	I - 80	40	10	380

Tabla 16: Dimensiones y características de las jácenas. Fabricante Pretersa

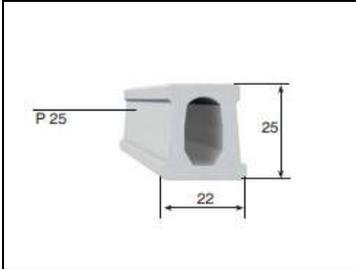
			
Tipo	Luz nominal L (m)	Altura central	Ancho (cm)
GL Pendiente 6 %	42	225	50

Tabla 17: Dimensiones y característica de las vigas delta. Fabricante Pretersa



Tipo	A x B (cm)	Peso (kg/ml)
Rectangular	50 x 50	625

Tabla 18: Dimensiones y características de los pilares. Fabricante Pretersa



Tipo	Peso (kg/ml)	Luz (m)
P 25	76	10

Tabla 19: Dimensiones y características de las viguetas tubulares. Fabricante Pretersa

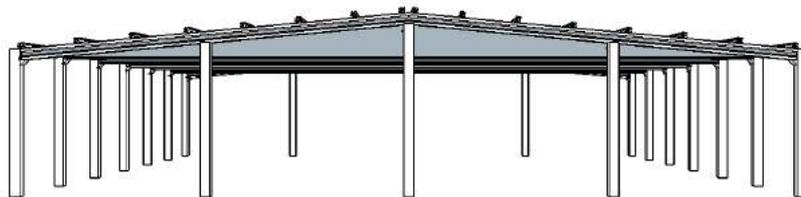


Figura 262: Vista frontal de la estructura

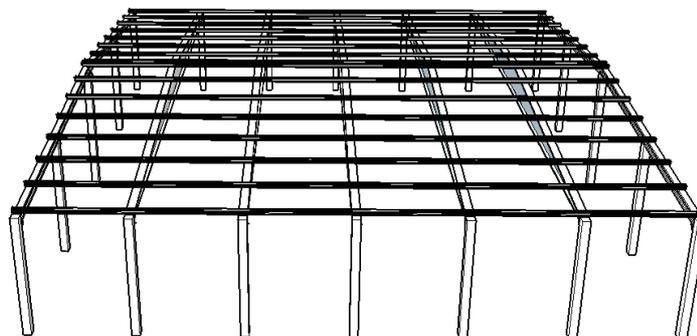


Figura 263: Vista lateral de la estructura

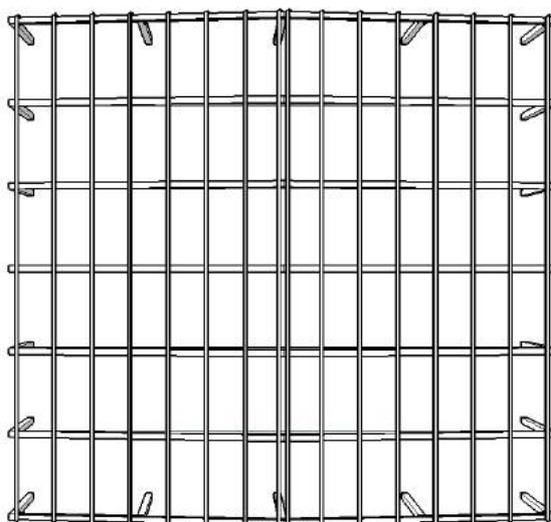


Figura 264: Vista en planta de la estructura

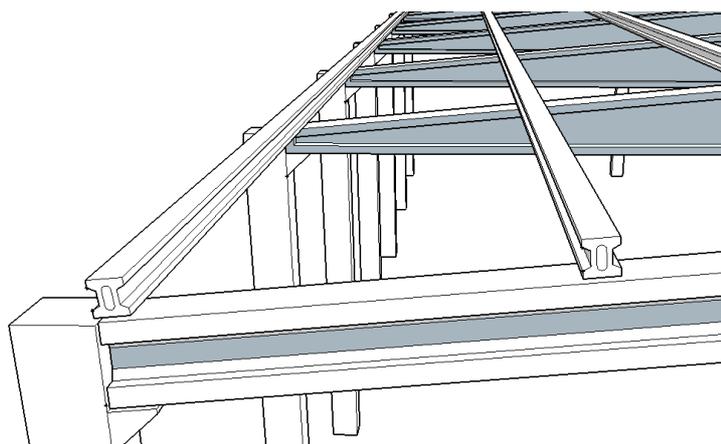


Figura 265: Detalle de viguetas, jácenas y pilares con ménsula

#### 5.4.3.3 Cerramientos

Para los cerramientos de fachada de la nave de almacenamiento se optado por utilizar paneles de hormigón prefabricado de 20 cm de espesor. Dichos paneles tendrán un ancho de 5 m y una altura de 3 m. Los paneles se colocarán sobre un zócalo de bloques de hormigón que partirá desde el nivel de rasante hasta una altura de 1,75 m. Los paneles de hormigón se unirán entre si ya que disponen de un sistema de solape, e irán unidos a los pilares. El acabado será liso.

Los cerramientos contarán con las aperturas necesarias para los accesos, muelles de carga y ventiladores murales.

La colocación de canalones se llevará a cabo de la misma forma que en la nave de producción.

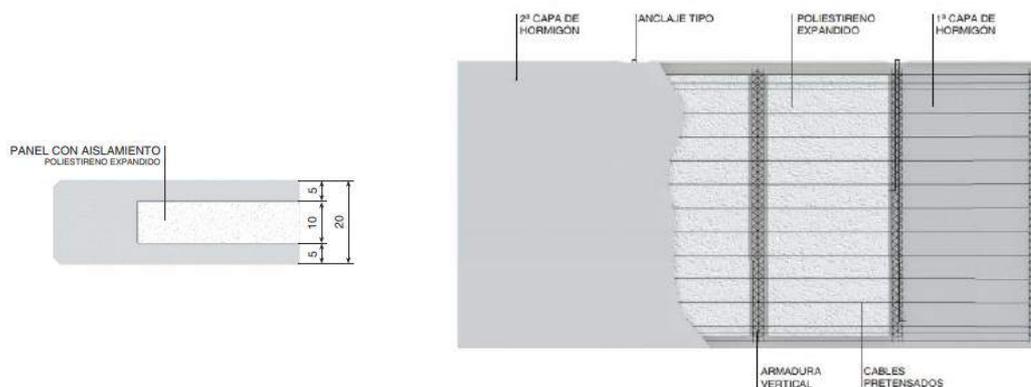


Figura 266: Dimensiones y composición de los paneles de hormigón prefabricado

#### 5.4.3.4 Cubierta

La cubierta se resolverá usando paneles tipo sándwich de las mismas características que los utilizados en la nave de producción.

Se dispondrá un total de 16 lucernarios en cada faldón, teniendo cada uno de ellos unas dimensiones de 1,8 x 10 m.

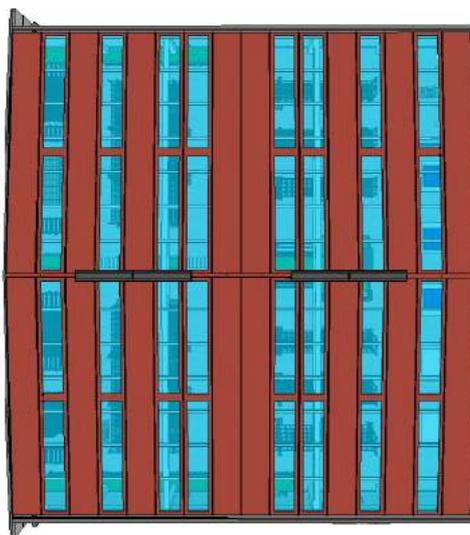


Figura 267: Cubierta de la nave de almacenamiento

#### 5.4.3.5 Muelle de carga

Se colocará un total de seis muelles de carga, separados entre sí 2,5 m aproximadamente.

Los muelles estarán provistos de un abrigo de carga flexible que permita el acoplamiento perfecto entre el muelle y el camión, la adaptación a diferentes medidas del vehículo y la protección en condiciones meteorológicas adversas.

En cuanto a las puertas, estas serán seccionales y estarán construida con paneles de 40, de espesor compuestos por doble chapa de acero galvanizado y lacado, y rellenos de poliuretano expandido. Las puertas tendrán un ancho de 2 m y una altura de 3 m.

En el interior de la nave se construirán rampas de hormigón de manera que se salve el desnivel que

puede haber entre el camión y la solera del almacén. En dicha rampa se construirá un foso de empotración para la rampa hidráulica.

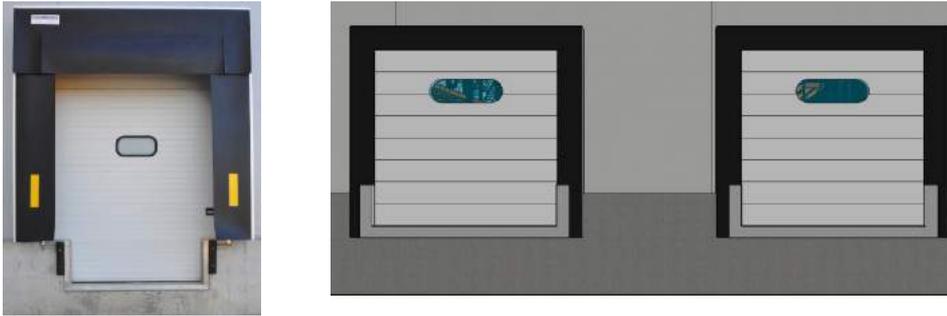


Figura 268: Muelle de carga general (izda) y muelles del proyecto (dcha)

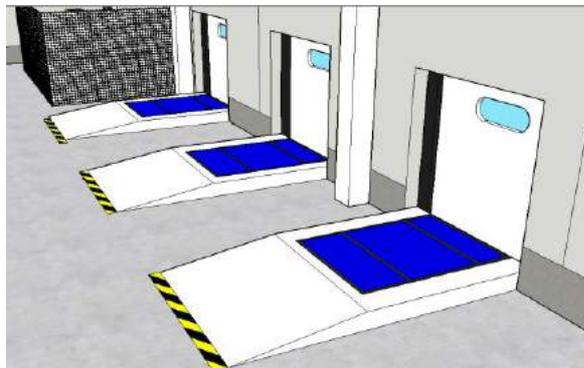


Figura 269: Rampa de hormigón con rampa hidráulica

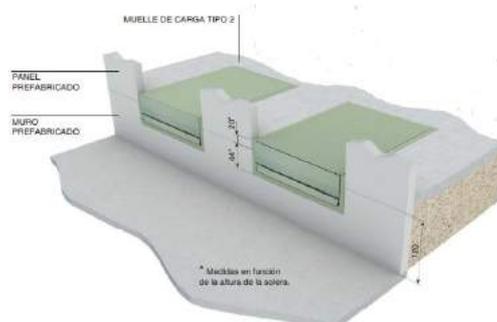


Figura 270: Rampa hidráulica (izda) y muelle de carga (dcha)

## 5.4.4 Edificio de descarga y limpieza

El edificio de descarga y limpieza está formado por dos edificios anexos y comunicados, siendo el edificio principal de 4 plantas incluido el sótano.

### 5.4.4.1 Cimentación

La cimentación del edificio principal se ejecutará a 3 m por debajo del rasante, ya que se va a construir una planta sótano. La cimentación estará constituida por zapatas corridas en todo el perímetro del edificio principal, sobre las cuales apoyarán los muros de sótano. Sobre dichos muros arrancarán los pilares metálicos de la estructura. Los muros de sótano serán de hormigón armado, y la unión de los pilares al muro se ejecutará mediante una placa de anclaje con sus respectivos pernos.

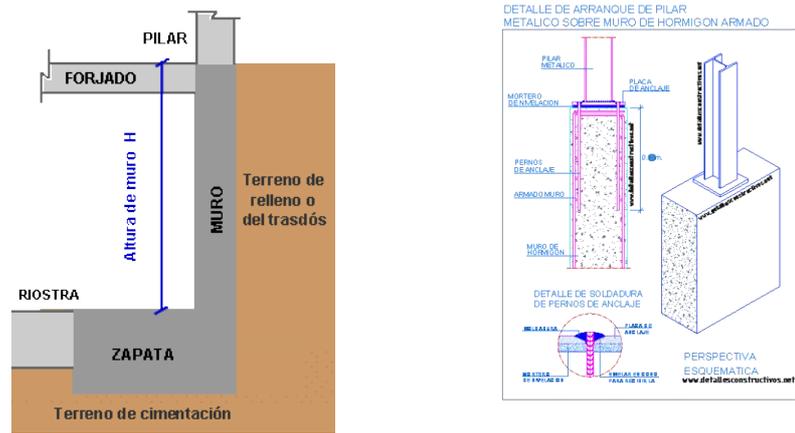


Figura 271: Esquema de zapata y muro de sótano (izda) y unión entre pilar metálico y muro (dcha)

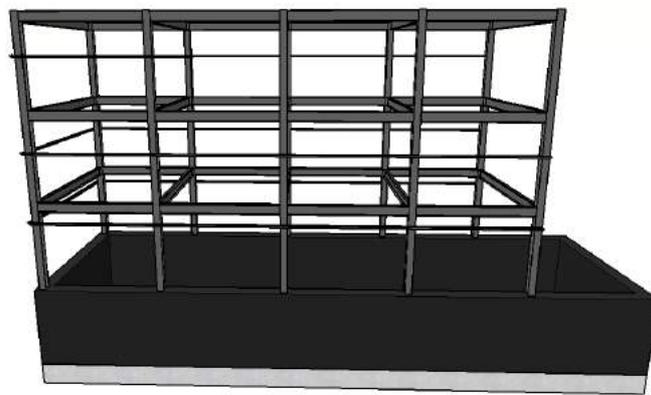


Figura 272: Cimentación con zapatas corridas y muros de sótano

Las zapatas corridas tendrán un canto de 0,8 m y un ancho de 1,5 m.

En cuanto al edificio secundario, se utilizarán zapatas aislada de 1 m de ancho y 0,8 m de canto sobre las cuales arrancarán los pilares metálicos de la estructura. La unión de los pilares con las zapatas se hará mediante placas de anclaje acarteladas y sus respectivos pernos de anclaje.

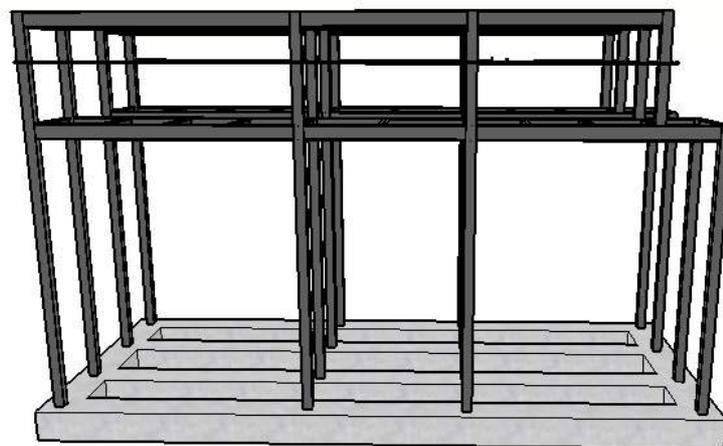


Figura 273: Cimentación edificio secundario

### 5.4.4.2 Forjado

El forjado de todas las plantas del edificio principal y secundario se ejecutará mediante un forjado mixto, debido a las ventajas mencionadas en el apartado de la nave de producción. El espesor del forjado será de 25 cm.

En el caso del sótano, la solera se realizará aplicando capas de arenas y gravas compactadas, seguida de una lámina de polietileno que sirva de aislante y por último hormigón en masa con un mallazo electrosoldado, sobre el cual se llevará a cabo finalmente un pulido y una imprimación de resina epoxi.

### 5.4.4.3 Estructura

Tanto para el edificio principal como para el secundario se ha elegido una estructura metálica de acero S275 JR.

- Edificio principal

El edificio principal está compuesto por una doble hilera de cuatro pilares en cada una de las hileras. Los pilares de una misma hilera están separados entre sí 4,5 m y la distancia entre las dos hileras es de 7 m. Los pilares tendrán una longitud de 3,3 m y el perfil utilizado será HEB 240. En la dirección longitudinal los pilares están unidos mediante vigas de perfil IPE 360 las cuales irán soldadas al alma de los pilares. En la dirección transversal, se usarán también vigas de perfil IPE 360 e irán soldadas a las alas de los pilares.

En cada nivel se utilizarán correas de fachada las cuales tendrán un perfil en C de las mismas características que las usadas en las naves de producción y envasado. En el lado contiguo a la zona de descarga, no se colocarán correas debido a que el cerramiento en este lado es el propio muro de hormigón.

En la cubierta se dispondrán ocho correas IPE 160 separadas entre sí una distancia de 2,5 m aproximadamente.

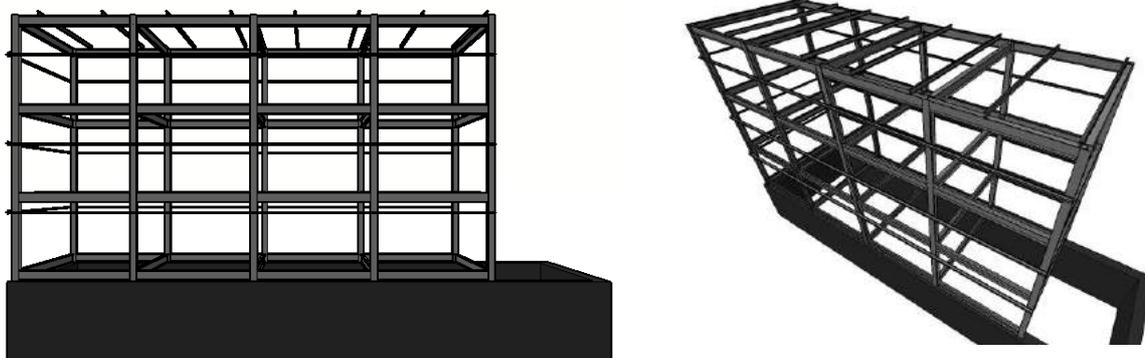


Figura 274: Estructura del edificio principal

- Edificio secundario

La estructura estará formada en este caso por cuatro hileras de pilares de perfil HEB 240. Los pilares están separados y tienen la altura reflejada en la siguiente imagen.



Figura 275: Altura y separación de los pilares

Tal y como se puede apreciar en la figura, el edificio secundario estará construido a 7 m de altura sobre el nivel del suelo para lo cual se han utilizado los pilares y vigas mostrados en la figura anterior. Los pilares irán unidos entre si mediante soldadura.

Longitudinalmente los pilares están unidos mediante vigas de perfil IPE 360. En la dirección transversal se usarán travesaños del mismo perfil que los anteriores.

En cuanto a las correas, se utilizarán perfiles en C iguales a los utilizados en los demás casos.

Las correas de cubierta se han resuelto mediante viguetas IPE 160 separadas entre ellas 3 m.

#### 5.4.4.4 Cerramientos

Los cerramientos tanto del edificio principal como del secundario se han ejecutado mediante paneles tipo sándwich de las mismas prestaciones y características que los empleados en la nave de producción y envasado.

Los distintos cerramientos irán unidos entre si mediante tornillos y a su vez también se anclarán a la estructura por medio de las correas de fachada. En la parte superior de la última fila de paneles sándwich, se utilizarán chapas de coronación para la protección contra la lluvia y la humedad.

Los cerramientos del edificio principal partirán de un zócalo de hormigón armado de 1,75 m que se construirá en todo el perímetro del edificio excepto en el lado anexo a la zona de descarga.

Los canalones se han resuelto utilizando la misma tipología que en los casos anteriores, siendo interiores y con peto.

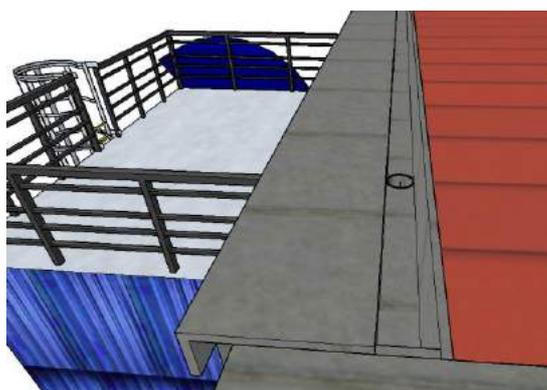


Figura 276: Canalón y chapa de coronación

#### 5.4.4.5 Cubierta

Se utilizará para la cubierta de ambos edificios paneles sándwich grecados del mismo modelo y tipología que los usados en el resto de los edificios comentados hasta ahora. En este caso no se utilizarán lucernarios.

#### 5.4.5 Silos

Al haberse optado por utilizar silos elevados, la ejecución de la obra civil se simplifica ya que la cimentación estará compuesta únicamente por una losa de cimentación. En caso de haberse elegido silos asentados habría sido necesario un anillo perimetral, una losa para el fondo del silo, canales de ventilación y un túnel que albergase la mecanización de descarga.

Los silos serán metálicos, estando la estructura soporte formada por columnas de perfil redondo estructural galvanizadas en caliente y arriostradas entre ellas por perfiles laminados.

Puesto que los silos descargan por gravedad hacia la tolva situada en la galería subterránea, será necesario ejecutar la cimentación y estructura de dicha galería.

La cimentación empleada para la galería serán zapatas corridas de 1,5 m de ancho y 0,8 m de canto, sobre las cuales apoyarán muros de carga de 40 cm de ancho y 3 m de altura. Sobre los muros de carga apoyarán viguetas autoportantes de hormigón armado y se colocarán bovedillas de hormigón. Una vez colocadas, se procederá al hormigonado.

A la hora de construir la galería, es necesario dejar un hueco sin cubrir en el forjado para construir el acceso a la galería y otro hueco para la instalación del elevador de cangilones que comunicará con el edificio de molienda. El hueco de acceso a la galería estará cerrado por medio de una trampilla metálica.

#### 5.4.6 Sala de molienda

La sala de molienda está constituida por una estructura metálica de acero S275 JR.

La cimentación que se utilizará serán zapatas aisladas de 1,5 x 1,5 m y un canto de 0,8 m unidas mediante vigas riostras con una sección de 0,5 x 0,4 m. A las zapatas irán anclados los pilares de la estructura por medio de una placa de anclaje con sus respectivos pernos.

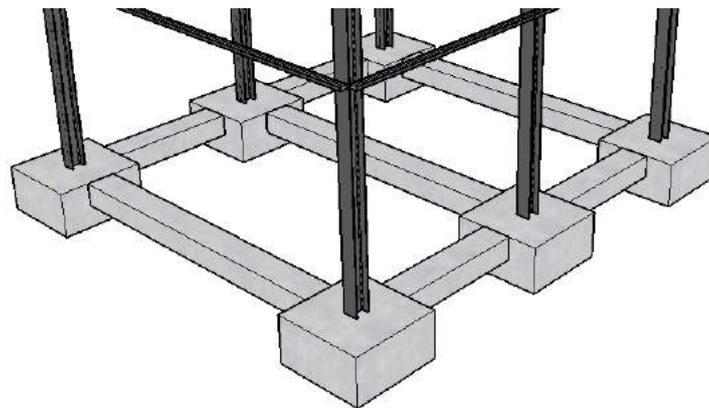


Figura 277: Cimentación del edificio de molienda

La estructura está formada por seis pilares de perfil HEB 240, habiendo en la dirección longitudinal tres pilares separados 3,8 m y en la transversal 7 m, aproximadamente. Puesto que la altura de la estructura es de 9 m, se utilizarán pilares de 4,5 m y se soldarán hasta alcanzar la altura necesaria.

A la altura de 9 m, en la dirección longitudinal se utilizarán vigas de perfil IPE 360 que se soldarán a

las alas de los pilares. En la dirección transversal se utilizarán las mismas vigas, pero se soldarán al alma de los pilares. Sobre dichas vigas apoyará una estructura en celosía formada por perfiles cuadrados de 10 cm x 10 cm. Dicha celosía será triangular con un ángulo de inclinación de 8 grados.

En la fachada se utilizarán correas de perfil en C sobre las cuales se anclarán los cerramientos. Se dispondrán dos correas separadas entre si 3,5 m. En la cubierta se utilizarán también correas con perfil en C que apoyarán sobre los nudos de la cercha y servirán de apoyo para la cubierta.

Los cerramientos laterales se han resuelto mediante paneles tipo sándwich del mismo tipo que los utilizados en las demás naves. Para la cubierta también se usará paneles sándwich grecados de las mismas características que los usados en los anteriores casos. Todos los paneles de fachada dispondrán en su parte superior de chapas de coronación.



Figura 278: Estructura metálica del edificio de molinera

## 5.4.7 Oficinas

El edificio de oficinas está constituido por dos plantas y no se encuentra anexo a ningún otro edificio, por lo que tendrá una cimentación y estructura particulares.

### 5.4.7.1 Cimentación

Para el edificio de oficinas se ha optado por utilizar una cimentación superficial formada por zapatas cuadradas aisladas de dimensiones 1,5 x 1,5 x 0,5 m, las cuales estarán unidas en las dos direcciones ortogonales mediante vigas de atado.

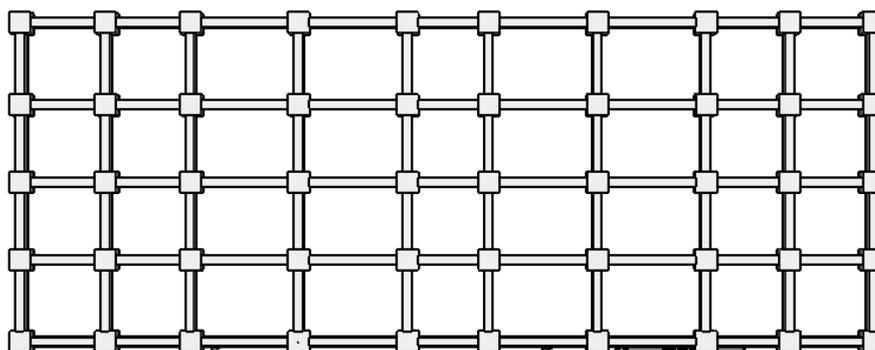


Figura 279: Cimentación del edificio de oficinas

### 5.4.7.2 Forjado y solera

El forjado que se utilizará será de placas alveolares sobre el cual se situará la solera.

La solera estará formada por las siguientes capas:

- Primera capa: En esta capa se colocará el soporte de la estructura mediante una losa de placas alveolares prefabricadas de hormigón pretensado de canto 25+5 cm, la cual irá apoyada directamente.
- Segunda capa. Estará constituida de mortero de regulación y tendrá un espesor de 5 cm.
- Tercera capa. Se dispondrá un aislamiento térmico de poliestireno extruido de 4 cm de espesor.
- Cuarta capa. Constituida por mortero de agarre.
- Quinta capa. Se dispondrá un suelo de parqué.

### 5.4.7.3 Estructura

La estructura del edificio se resolverá mediante vigas y pilares de dimensiones 40 x 40 cm. Tanto los pilares como las vigas serán fabricadas in situ utilizando hormigón armado HA-25/B/20/IIa y acero UNE-EN 10080 B 500 S.

Se han utilizado un total de 50 pilares en la planta baja y 26 pilares en la primera planta., teniendo todos ellos una altura de 3,3 m. La distribución de los pilares se detalla en la siguiente imagen.

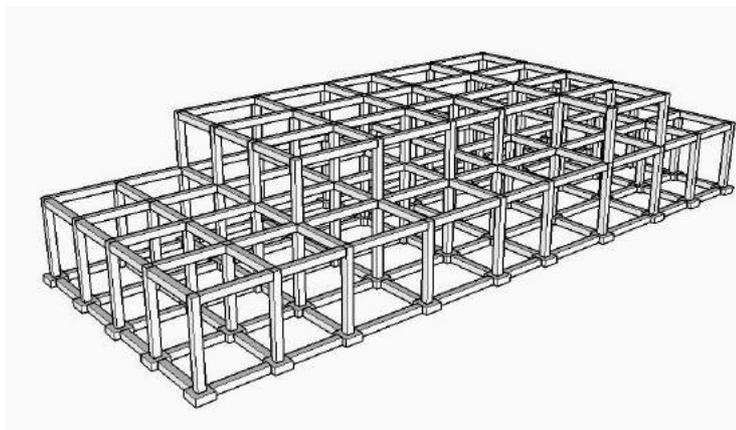


Figura 280: Vista isométrica de la estructura

### 5.4.7.4 Cerramientos

El cerramiento del edificio de oficinas parte desde el nivel del suelo y llega hasta la altura de cada piso. El cerramiento estará constituido por las siguientes capas:

- La primera capa estará compuesta de ladrillo cerámico macizo de color gris, de dimensiones 24 x 11 x 5,4 cm. La junta de los ladrillos será de mortero con cemento M 7,5, de color gris.
- La segunda capa se trata de una cámara de aire de 4 cm de espesor, actuando como aislamiento térmico.
- La tercera capa está formada por una plancha de poliestireno extruido de espesor 4 cm, sirviendo también de aislamiento térmico.
- La cuarta capa tiene un espesor de 15 cm y se fabricará mediante bloques de Ytong de 62,5 x 25 cm y 15 cm de espesor.
- La última capa, correspondiente a la cara interna del cerramiento se aplicará un enlucido de yeso de 1 cm de espesor.

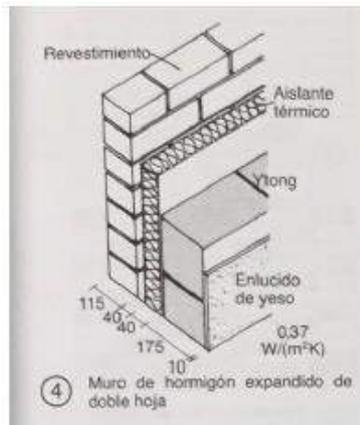


Figura 281: Capas del cerramiento

Con respecto a las particiones del interior del edificio, se decidió construir muros de ladrillo cerámico perforado de 12 cm de espesor. En ambas caras de los muros se llevará a cabo un enlucido de yeso que aporte un buen acabado superficial.

#### 5.4.7.5 Cubierta

Tanto la cubierta de la planta baja como la de la primera planta estarán a 3,5 m de altura, y se apoyarán sobre el forjado de la estructura. Las cubiertas serán transitables y tendrán una pendiente del 1 %. Sobre las cubiertas irán instalados los equipos de ventilación, placas solares y depósito de agua caliente sanitaria.

Las capas que formarán la cubierta se detallan a continuación.

- La capa interna corresponde al forjado de la estructura.
- La segunda capa tendrá un espesor de 5 cm e irá compuesta de mortero de regulación.
- La tercera capa está formada por un panel de poliestireno extruido de 5 cm de espesor, el cual actuará como aislante térmico.
- La capa cuarta se hará de mortero de protección. Además, en esta capa será donde se forme las pendientes de la cubierta.
- En la capa quinta se colocará una lámina de impermeabilización con unos 10 mm de espesor.
- En la capa última se colocará mortero de agarre y sobre él se colocarán tejas en el caso de la cubierta de la primera planta, y losetas de arcilla en el caso de la cubierta de la planta baja.

## 5.5 Urbanización

En este apartado se explicarán los detalles constructivos, técnicas de construcción y materiales utilizados en las zonas de tránsito de vehículos y de personas.

### 5.5.1 Acerado

Para la ejecución de las zonas de tránsito de personas, se llevará a cabo el replanteo de estas y a continuación se removerá el suelo una profundidad de 30 cm. Luego, se verterá una capa de arena compactada y se colocarán bordes de acera de granito con mortero de apoyo y fijación. Posteriormente se verterá una capa de hormigón sobre el cual se colocarán baldosas hidráulicas de hormigón con dibujo en cigarrillo y de dimensiones 30 x 30 cm. En los pasos rebajados que conducen a un paso de peatones, se utilizarán baldosas de botones de 40 x 40 cm.



Figura 282: Baldosas y borde de acera

Entre baldosas se dejará una junta de separación 3 mm, utilizándose como relleno lechada de cemento.

### 5.5.2 Viales

Para la construcción de viales de tránsito de vehículos es necesario fijar dos parámetros: la explanada sobre la que se construirá el vial y el tráfico pesado que circulará sobre el firme. Para ello se tendrá en cuenta la norma 6.1 IC: Secciones de firmes.

En primer lugar, el tráfico pesado se mide en una escala de diez valores de la siguiente forma:

Categoría de tráfico pesado	T00	T0	T1	T2	T31	T32	T41	T42
IMDp	$\geq 4.000$	$< 4.000$	$< 2.000$	$< 800$	$< 200$	$< 100$	$< 50$	$< 25$
(vehículos pesados/día)		$\geq 2.000$	$\geq 800$	$\geq 200$	$\geq 100$	$\geq 50$	$\geq 25$	

Tabla 20: Categorías de tráfico según la norma 6.1 IC.

El número de IMDp con el que hay que entrar en la tabla anterior es por carril, de forma que:

- En el caso de calzadas de dos carriles y doble sentido de circulación, sobre cada carril incide la mitad de los vehículos que circulan por la calzada.
- En calzadas con dos carriles por sentido, hay que considerar que todos los vehículos van por el carril exterior, adoptándose este como el de diseño.
- En el caso de calzadas que tengan tres o más carriles por sentido de circulación, hay que considerar que sobre el carril exterior actúa el 80 % del número total de vehículos que circulan en ese sentido.

En segundo lugar, hay que determinar el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga, el cual se obtendrá de acuerdo con la norma NLT-357.

Categoría de explanada	E1	E2	E3
$E_{v2}$ (MPa)	$\geq 60$	$\geq 120$	$\geq 300$

Tabla 21: Categoría de explanada según la norma 6.1 IC

En función del tipo de material que forme el suelo, será necesario determinados tratamientos de mejora de acuerdo con la siguiente tabla:

		TIPOS DE SUELOS DE LA EXPLANADA (DESMONTES) O DE LA OBRA DE TIERRA SUBYACENTE (TERRAPLENES, PEDRAPLENES O RELLENOS TODO-UNO)				
		SUELOS INADECUADOS Y MARGINALES (IN)	SUELOS TOLERABLES (0)	SUELOS ADECUADOS (1)	SUELOS SELECCIONADOS (2) y (3)	ROCA (R)
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1 $E_{d,0} \geq 60\text{MPa}$					
	E2 $E_{d,0} \geq 120\text{MPa}$					
	E3 $E_{d,0} \geq 300\text{MPa}$					

IN Suelo inadecuado o marginal (Art. 330 del PG-3)

0 Suelo tolerable (Art. 330 del PG-3)

1 Suelo adecuado (Art. 330 del PG-3)

2 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

3 Suelo seleccionado (Art. 330 del PG-3)

S-EST 1 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST 2 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

S-EST 3 Suelo estabilizado in situ (Art. 512 del PG-3)

HM-20 Hormigón (Art. 610 del PG-3)

tipo de material  
espesor mínimo en cm

S-EST 3 30 suelo de explanación o de la obra de tierra subyacente

2

Figura 283: Categorías de la explanada según el tipo de suelo y sus tratamientos

Una vez determinado el tipo de tráfico y la categoría de la explanada, se utiliza la siguiente tabla para determinar el paquete de firme:

		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
		T00	T0	T1	T2
CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1				
	E2				
	E3				

MB Mezclas bituminosas HF Hormigón de firme HM Hormigón magro vibrado GC Gravaemento SC Suelocemento ZA Zahorra artificial

Espesores mínimos en cm

(1) Para las categorías de tráfico pesado T00 y T0 se emplearán únicamente pavimentos continuos de hormigón armado con los espesores indicados.  
 (2) Capas tratadas con cemento que deberán prefisurarse con espacimientos de 3 a 4 m, de acuerdo con el artículo 513 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3).  
 (3) Para poder proyectar esta solución será preceptivo que la capa superior de la explanada E2 esté estabilizada con cemento.

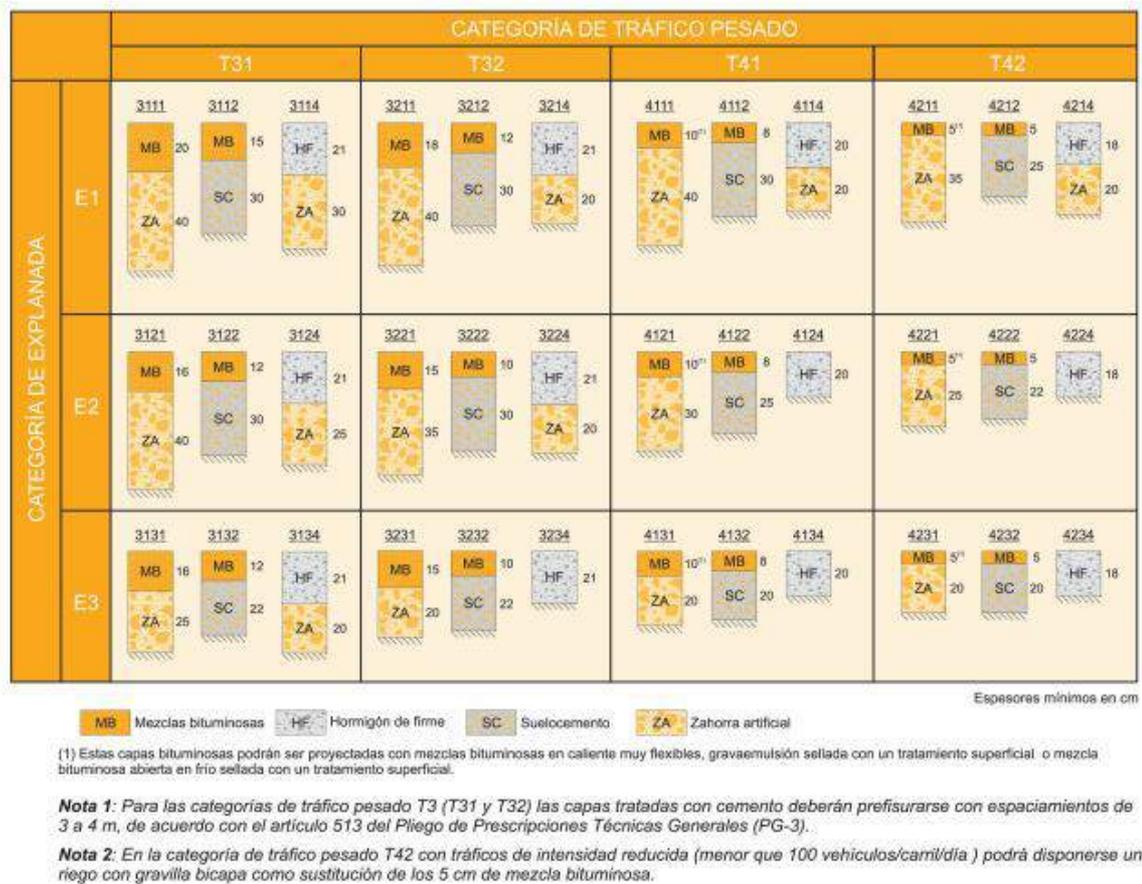


Figura 284: Paquetes y secciones de firme según la explanada y el tráfico pesado

En nuestro caso, la categoría de la explanada corresponde a E2 y la IMDp a una categoría T42. Con estos valores podemos determinar la sección de firme, resultando un firme compuesto por 22 cm de suelocemento y 5 cm de mezcla bituminosa.

## 5.6 Elementos auxiliares

En este apartado se detallarán la estructura y detalles de algunos elementos constructivos auxiliares que se encontrarán en la planta.

### 5.6.1 Estructura de aparcamientos

Los aparcamientos situados en el interior de la planta estarán al aire libre y cubiertos por una estructura metálica sobre la que apoya una cubierta.

La cimentación de la estructura se ha llevado a cabo mediante zapatas corridas de hormigón armado, siendo el hormigón HA-25/B/20/IIa y el acero UNE-EN 10080 B 500 S.

La estructura estará formada por pilares HEB 180 sobre los cuales irán soldadas unas vigas de perfil IPE 180 en voladizo. Las correas de cubiertas tendrán un perfil en C y se colocarán tres correas en dirección longitudinal separadas 1,5 m, siendo la longitud de dichas correas de 2,5 m.

La cubierta se ha resuelto con una chapa perfilada de acero galvanizado de 1 mm de espesor. La cubierta irá atornillada a las correas.

## 5.6.2 Plataformas

### 5.6.2.1 Plataforma para la toma de muestra en camiones

Una vez que entran los camiones de malta en la planta y son pesados en la báscula, se colocarán bajo una estructura metálica desde la cual un técnico tomará muestras de la materia prima para proceder al análisis y validación de la mercancía.

Dicha estructura tendrá una altura de 6,5 m de altura y estará compuesta por perfiles metálicos de acero. Los pilares tendrán un perfil HEB 180 y se utilizará un total de cinco pilares separados entre sí 1,75 m. A los pilares se unirán vigas IPE 180 en voladizo, y sobre estos se colocarán vigas con perfil IPE 160 en la dirección longitudinal. Para rigidizar la estructura, se colocarán perfiles de acero de manera que actúen como escuadra.

El suelo de la plataforma estará formado por una rejilla metálica soldada de planchuelas de 3,2 mm de espesor y 25,4 mm de ancho.



Figura 285: Rejilla metálica soldada

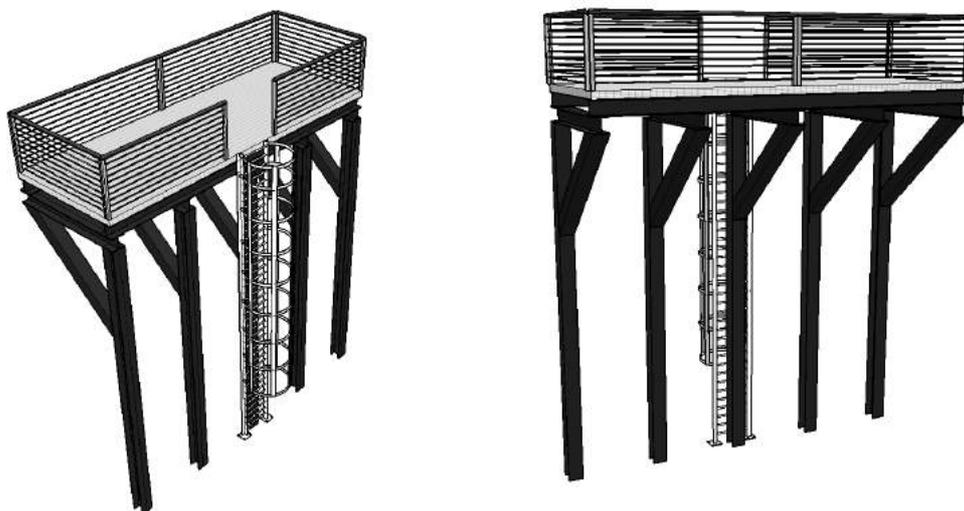


Figura 286: Plataforma para la toma de muestras

### 5.6.2.2 Plataforma de los silos

La plataforma irá construida sobre los silos, al mismo nivel que el edificio secundario del edificio de descarga y limpieza.

La plataforma está constituida por unos largueros metálicos de perfil rectangular, los cuales están

unidos en dirección transversal por medio de unos travesaños rectangulares. De esta forma se construirá la plataforma y posteriormente se colocará una rejilla metálica soldada como en la plataforma para toma de muestras. Los largueros y travesaños tendrán una sección de 30 x 10 cm y 20 x 10 cm, respectivamente.

La plataforma apoyará sobre la estructura del edificio secundario y sobre unos pilares de acero S275 JR de perfil HEB 240, tal y como se muestra en las imágenes siguientes. Los pilares arrancarán desde las zapatas corridas de cimentación.

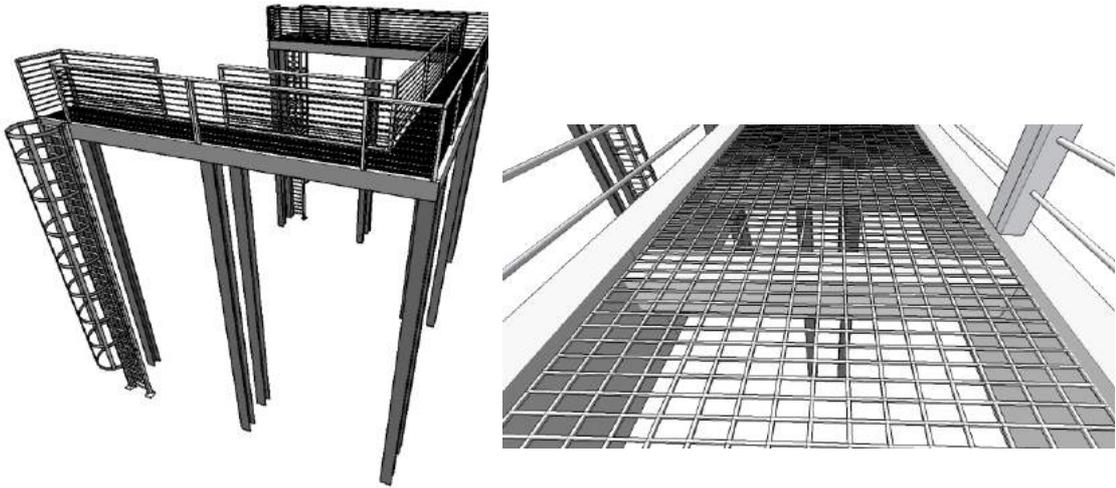


Figura 287: Plataforma de los silos (izda) y detalle de rejilla metálica, travesaños y largueros (dcha)

## 5.7 Cercado y cerramientos exteriores

### 5.7.1 Cerramiento perimetral de la planta

Todo el perímetro exterior de la planta irá cerrado mediante un muro de 3,5 m de altura fabricado de bloques de CV de hormigón de dimensiones 40 x 20 x 10 cm.

En dicho muro se dispondrá el acceso de peatones y vehículos. Para el acceso de peatones se ha decidido utilizar un torno giratorio tal y como se explicó en el primer apartado del capítulo Layout.



Figura 288: Cerramiento exterior de la planta

### 5.7.2 Cercado del depósito de gas natural

Para restringir el acceso al personal no autorizado a la zona donde se encuentra instalado el depósito de gas natural, se ha cercado la zona mediante una valla electrosoldada compuesta por la unión de alambres verticales y horizontales.

Las mallas tendrán una altura de 2 m d alto y 2,75 m de ancho. Las mallas irán unidas a postes formados por tubos circulares de 6 cm de diámetro. Puesto que la valla está colocada en el exterior, estará acabada en galvanizado en caliente Zn 275 y pintada en poliéster, como medio de protección ante agentes meteorológicos



Figura 289: Valla metálica



## 6 Instalaciones auxiliares

**E**n este capítulo se desarrollarán cada una de las instalaciones auxiliares que se implantarán en la planta. El uso de cada una de ellas se justificará adecuadamente y se detallarán el conjunto de equipos y dispositivos que formarán parte de cada una de estas instalaciones. Concretamente, las instalaciones auxiliares que se incluirán son de gas natural, aire comprimido, ventilación y climatización, instalación eléctrica, saneamiento, protección contra incendios y abastecimiento de agua.

### 6.1 Instalación de Gas Natural

#### 6.1.1 Utilidad de gas natural en la planta

Es necesario disponer de una instalación de gas natural para satisfacer las necesidades del área de producción, siendo utilizado este gas concretamente como combustible para las calderas. En las calderas se generará vapor que servirá de fuente de calor para calentar el agua que será utilizada en los procesos de maceración, filtración, cocción y clarificación. Además, para tener buen control de la temperatura, las cubas dispondrán de un sistema de regulación que permitirá ajustar los valores de la temperatura del agua según las necesidades.

#### 6.1.2 Caldera

Las calderas se pueden clasificar atendiendo a distintos criterios:

- Tipos de calderas según la disposición de los fluidos

Las calderas se pueden clasificar según como se produzca el paso del fluido que transporta calor a través de los tubos en calderas acuotubulares y piro-tubulares.

##### a) Calderas acuotubulares

En este tipo de calderas el fluido de trabajo circula interiormente por los tubos durante su calentamiento mientras que los gases de combustión circulan por el exterior. Estas calderas operan a presiones superiores a 22 bares. Se caracterizan por ser equipos muy voluminosos y por tener un volumen de agua bajo. Además, el agua que alimenta a este tipo de calderas requiere de unas ciertas especificaciones de calidad superiores al requerido en otras tipologías.

##### b) Calderas piro-tubulares

En esta tipología, los gases de combustión son los que circulan por el interior de los tubos, mientras que el fluido de trabajo se encuentra en un recipiente que atraviesan dichos tubos. La presión de trabajo en este tipo de caldera es inferior a 22 bares. Al contrario de las anteriores, son más compactas, presentan un gran volumen de agua y las exigencias de la calidad del agua con la que se alimenta la caldera son inferiores a las que se necesita en el caso de la tipología acuotubular, presentando también un mayor rendimiento que las acuotubulares.

Por otro lado, en función de cómo estén dispuestos los tubos, este tipo de caldera puede ser horizontal o vertical. Además, en función del número de haces tubulares existen calderas de dos pasos de gases y de tres pasos.



Figura 290: Caldera acuotubular (izquierda) y caldera pirotubular horizontal (derecha)

- Tipos de calderas según su tecnología

El combustible utilizado en las calderas puede ser sólido, líquido o gaseoso. En función de la tecnología que usen las calderas existen calderas de agua caliente, de agua sobrecalentada, de vapor y de fluido térmico

a) Calderas de agua caliente

En estas calderas el agua se calienta hasta temperaturas inferiores a los 100 ° C. El fluido que transporta calor es el agua. Pueden ser acuotubulares o pirotubulares

b) Calderas de agua sobrecalentadas

Al igual que en el caso anterior, el agua es el fluido caloportador y permiten elevar la temperatura hasta valores superiores a 110 ° C. Pueden ser acuotubulares o pirotubulares

c) Calderas de vapor

En las calderas de vapor el fluido caloportador es vapor de agua. Pueden ser pirotubulares o acuotubulares.

d) Calderas de fluido térmico

En estas calderas el fluido que se utiliza es distinto al agua, utilizándose generalmente aceites. Esta tipología solo admite la configuración de calderas acuotubulares

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en la elección de una caldera es la emisión de gases contaminantes. Los NOx son gases contaminantes, estando en Europa regulada su emisión. Las calderas pirotubulares de tres pasos de humos favorece la limitación de las emisiones de NOx, debido a que en la zona de combustión la temperatura se reduce. Además, este tipo de caldera tiene una carga térmica volumétrica de la cámara del hogar de combustión inferior a 1,3 MW/m<sup>3</sup>, un valor bajo que muestra su limitada emisión de NOx.

En la tabla que se muestra a continuación, se muestra la eficiencia de las calderas en función del combustible utilizado y de la configuración del equipo según la disposición de los fluidos.

EFICIENCIA		
Caldera pirotubular	Caldera acuotubular	Combustible
81,2 %	78,5%	Gas natural
84,7 %	81,0%	Diesel 2
85,0 %	81,4 %	Residual 6 (Fueloil)

Tabla 22: Eficiencia de las calderas en función del combustible utilizado

Se observa que independientemente del tipo de combustible utilizado, las calderas pirotubulares son más eficientes que la tipología acuotubular. Por otro lado, la tabla muestra el valor de rendimiento más bajo para el gas natural, aunque la diferencia respecto a los otros dos combustibles mostrados en la tabla es relativamente pequeña.

La siguiente tabla muestra las emisiones de NOx y el factor de emisión para diferentes combustibles utilizados en calderas industriales.

Combustible	Factor de Emisión NOx	Emisión NOx (mg/Nm <sup>3</sup> – ppm)
LPG	0,00441	340 – 165
Gas Natural	0,00226	175 – 85
Petróleo Diesel	0,00283	250 – 120
Petróleo Residual	0,00676	600 – 290
Carbón	0,00375	540 – 260
Biomasa	0,00075	270 - 130

Tabla 23: Emisiones de NOx de los distintos tipos de combustibles

Se observa que el combustible con menores emisiones NOx y factor de emisión NOx es el gas natural. Por otro lado, en el mercado existen también calderas eléctricas que utilizan la electricidad en lugar de combustible para calentar el fluido. Sin embargo, el uso de estas calderas está limitado a ciertas condiciones de operación e industrias, debido a que el precio de la electricidad y coste de inversión de equipos es bastante superior. Por el contrario, el rendimiento que presentan las calderas eléctricas es bastante superior al de las calderas de combustión.

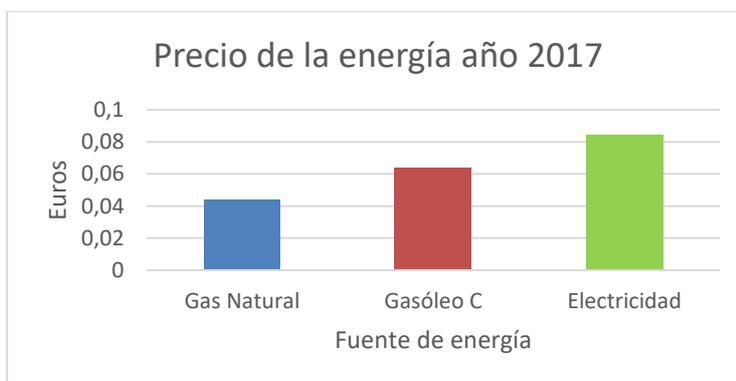


Figura 291: Comparativa de precios de distintas fuentes de energía

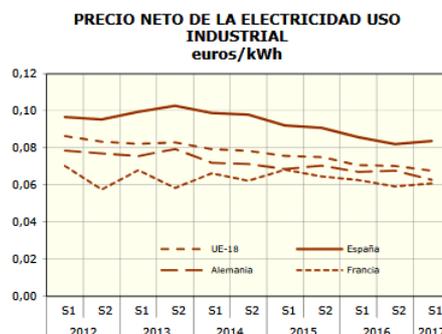


Figura 292: Evolución de precios de la electricidad a nivel industrial en distintos países europeos. IDAE

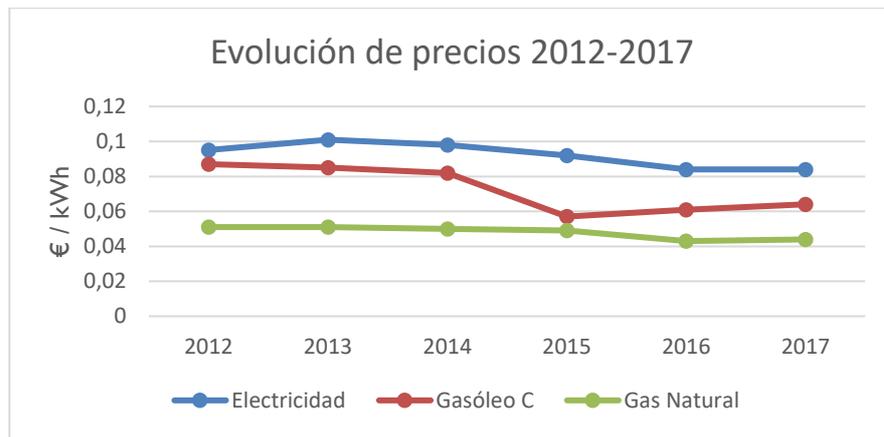


Figura 293: Evolución de precios en los últimos cinco años de la electricidad, gasóleo C y gas natural

### 6.1.3 Sala de calderas

Toda la información que se expone a continuación ha sido recogida y es conforme a las normas UNE 100.020, UNE 60.601.

La sala de calderas deberá estar destinada exclusivamente a contener las calderas y equipos auxiliares de la instalación, es decir, no podrá usarse para otros fines.

De acuerdo con la normativa mencionada, puesto que la sala de caldera de la planta será exterior y adyacente a la nave de producción, el acceso a la sala desde el interior se hará a través de un vestíbulo. También habrá un acceso a la sala de caldera desde el exterior. Ambos accesos contarán con puertas que abrirán hacia afuera, teniendo una dimensión tal que los dispositivos que hay instalados en la sala quepan por dichos accesos. Además, las puertas dispondrán de cerradura con llave desde el exterior y serán de fácil apertura desde el interior aun incluso cuando se hayan cerrado con llave. Los accesos estarán diseñados de forma que ningún punto de la sala diste más de 15 m de dichos accesos. Por otro lado, las puertas estarán colocadas estratégicamente tal y como se mostrará más adelante en los planos de forma que no exista contacto visual con el quemador de la caldera.

En cuanto a los cerramientos, estos estarán diseñados para evitar la existencia de filtraciones de humedad. Asimismo, el suelo tendrá la resistencia suficiente para soportar el peso de los equipos instalados. El material con el que estarán construidos la solera y los cerramientos laterales será hormigón. En cuanto a la cubierta, de acuerdo con la normativa esta debe estar fabricada de un material ligero, de forma que en caso de explosión se asegure que no se produzca derrumbamiento de la cubierta. Para la cubierta se ha elegido paneles sándwich.

Para que las operaciones de mantenimiento y operación se lleven a cabo adecuadamente, se tendrán en cuenta las dimensiones óptimas del espacio entre equipos y cerramientos. Teniendo en cuenta esto, las calderas estarán ubicadas en la sala de forma que se cumplan las siguientes especificaciones de espacio:

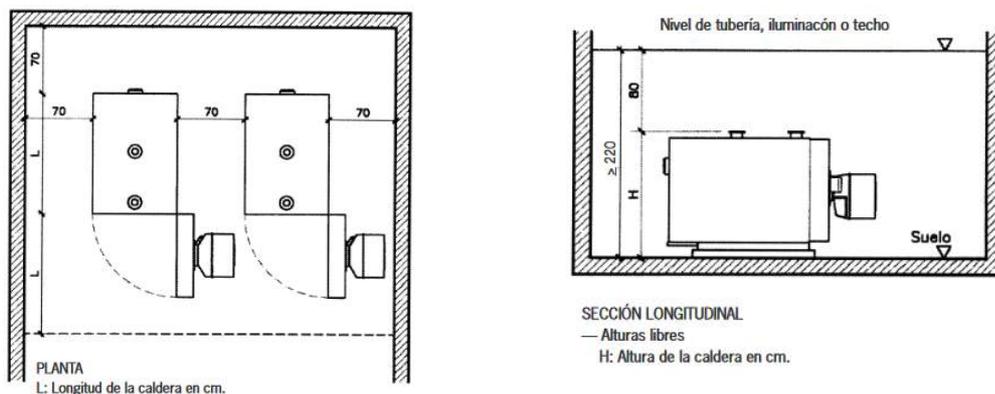


Figura 294: Distancias mínimas a cumplir en la sala de calderas.

En los accesos desde el exterior a la sala de calderas deberá de colocarse un cartel con el mensaje “Solo personal autorizado”.

Con respecto a la ventilación de la sala, esta es necesaria para suministrar el aire para que pueda producirse la combustión y para renovar el aire interior. Esta puede ser:

- Ventilación natural directa (o por orificios)

Se utiliza cuando alguno de los cerramientos de la sala de calderas está en contacto directo con el exterior. La comunicación con el exterior se lleva a cabo mediante una abertura con rejilla y malla anti pájaro.

- Ventilación natural indirecta (o con conductos)

Se utiliza cuando la sala de calderas no es contigua con el exterior, utilizándose por tanto conductos con un recorrido horizontal inferior a 10 m. Dichos conductos deben estar fabricados de un material resistente al fuego.

- Forzada

Consiste en instalar un ventilador enclavado con los quemadores.

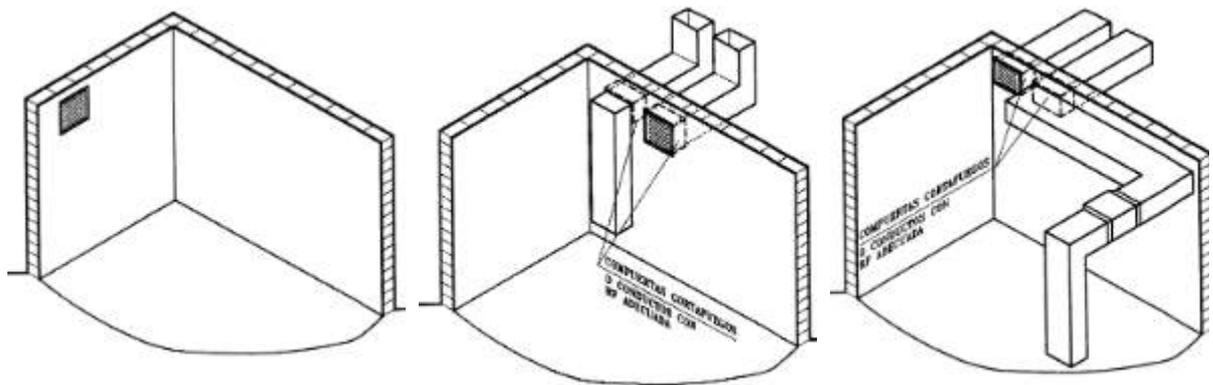


Figura 295: De izquierda a derecha; ventilación natural directa, natural indirecta y forzada.

#### 6.1.4 Tanque de almacenamiento de gas natural

Debido a que la parcela en la que se ubicará la planta no tiene conexión directa con la red de distribución de gas natural, se utilizará un tanque de almacenamiento que contendrá el gas suficiente para satisfacer las necesidades de la fábrica durante el tiempo definido. Como se comentó previamente, el gas se utilizará como combustible en las calderas para producir vapor de agua que sirva de fluido caloportador.

El gas se conservará en estado líquido dentro del depósito, no pudiendo vaciarse por un nivel inferior al 20% ni llenarse por un nivel superior al 85 % por lo que la capacidad útil del depósito será del 65%.

Los depósitos pueden ser enterrados o aéreos, Los enterrados disminuyen el impacto visual, aunque en el caso de depósitos aéreos el proceso de llenado y el acceso se ven facilitados por lo que se optará por esta variedad.

El gas natural se clasifica dentro de los líquidos inflamable en el grupo A. Existen dos sistemas de venteos que se instalan en depósitos que contengan líquidos inflamables de clase A: venteos normales y de emergencia. Los venteos normales sirven para prevenir la deformación de depósito como consecuencia de llenados, vaciado o cambios de temperatura ambiente. Por otro lado, los venteos de emergencia sirven para aliviar el exceso de presión interna causado por un fuego exterior, previniendo así cualquier sobrepresión que pueda causar que el depósito se rompa.

En cuanto al emplazamiento del depósito este debe estar situado en un recinto limitado por vallas de forma que se cumplan las medidas de seguridad que establece la normativa. Dicha normativa establece:

- La distancia al cerramiento:  $D_p = 2$ .
- Espacio libre alrededor de la proyección sobre el terreno del depósito:  $D_p = 1$ .
- Distancia a muros:  $D_p = 3$
- Distancia a límites de propiedades, aberturas de inmueble, focos fijos de inflamación, motores fijos de explosión, vías públicas férreas o fluviales, proyección de líneas aéreas de alta tensión, sótanos, alcantarillas o desagües:  $D_p = 6,5$  y  $D_o = 8,5$ .
- Distancia de boca de carga a la cisterna de trasvase: 3m

$D_o$  y  $D_p$  hacen referencia a las distancias medidas a partir de los orificios o de las paredes de los depósitos, respectivamente. Cuando se habla de orificios estos pueden ser cualquier abertura no cerrada mediante roscas o bridas ciegas, como puede ser las válvulas de seguridad o boca de carga.

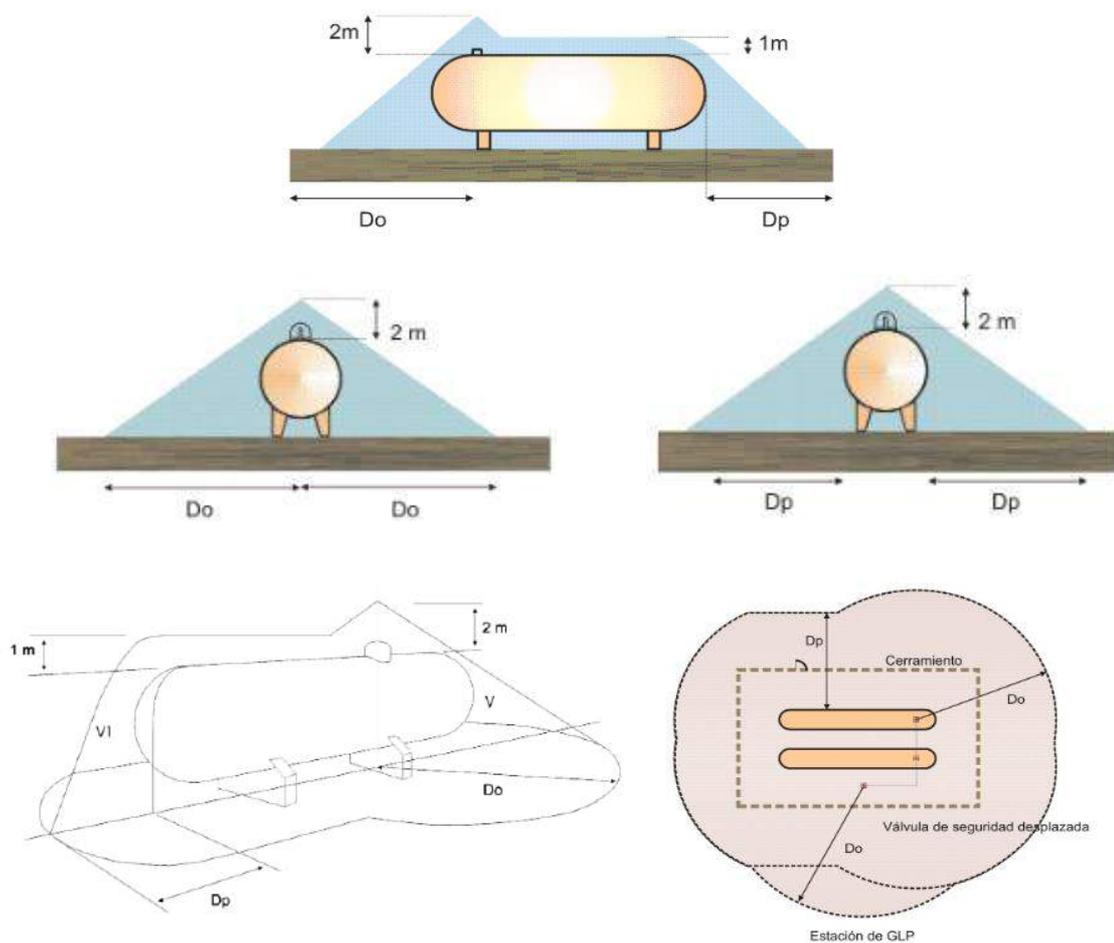


Figura 296: Distancias de emplazamiento de depósitos de gas según el RD 2001/379.

### 6.1.5 Tuberías

Las tuberías de la instalación que comunicarán el depósito de gas con la caldera serán aéreas, de forma que el mantenimiento y la detección y arreglo de averías sea más fácil y rápida. Al ser la instalación aérea se utilizarán elementos de sujeción. Para atravesar los muros se usarán pasamuros para introducir las tuberías en la sala de calderas.

### 6.1.6 Equipo de regulación y medida (ERM)

Con el fin de regular la presión y controlar el consumo de gas natural a través de la instalación se utiliza un equipo de regulación y medida. Con este equipo es posible monitorizar y controlar en tiempo real la cantidad de gas que circula por la instalación y es posible detectar a tiempo posibles fugas o filtraciones.

Los ERM constan de un contador de gas y un regulador de presión.

Existen diversos tipos de contadores de gas, siendo los más usados a nivel industrial los contadores de pistón rotativo y de turbina

Los contadores de pistones rotativos se caracterizan por sus elevados rangos de medición, dimensiones compactas y su elevada precisión. Además, trabajan independientemente de las influencias de la instalación.

Los contadores de turbina son muy robustos y presentan muy buen comportamiento metrológico. Presentan una elevada precisión y fiabilidad. La principal diferencia de esta tipología frente a la anteriormente descrita es que existen modelos en el mercado que permiten medir caudales 15 veces superiores que en el caso de contadores de pistones rotativos.

En cuanto a los reguladores, son dispositivos de control independiente que utilizan la energía del sistema controlado para funcionar. No hay que confundirlos con las válvulas de control, las cuales necesitan una fuente de alimentación externa e instrumentos de transmisión y control.

Los reguladores reductores de presión trabajan manteniendo una presión de salida determinada, a la vez que proporciona el caudal de flujo necesario para satisfacer la demanda aguas abajo. Existen dos tipos de reguladores reductores de presión:

- Regulador de acción directa  
Estos reguladores consiguen un control muy preciso con un error del 1% para presiones bajas (inferiores a 0,07 bar). Cuando las presiones son más elevadas, el control que se consigue es del 10-20 %.
- Regulador pilotado  
Cuando los caudales son altos o la precisión que se requiere es elevada, se usan este tipo de reguladores.

### 6.1.7 Evacuación de humos

El escape de humos se lleva a cabo a través de conductos de ventilación. Estos conductos tienen que cumplir los requisitos que se muestran a continuación:

- La estanqueidad del conducto debe garantizarse mediante las uniones.
- En la salida de gases del conducto se debe colocar un deflector.
- Los conductos deben estar fabricados de un material liso, incombustible y con resistencia a altas temperaturas.
- Debe existir un punto localizado en el conducto para llevar a cabo la toma de muestras.
- Los conductos deben ser lo más cortos posibles y presentar una inclinación ascendente.
- No debe existir estrechamientos en el diámetro interior.

### 6.1.8 Solución adoptada

Como conclusión a todo lo mostrado anteriormente, se optará por utilizar calderas pirotubulares de vapor que usarán como combustible gas natural. El uso de esta tipología se justifica con:

- Precio de inversión del equipo menor a las demás tipologías de caldera.
- Bajo coste de combustible.

- Las calderas de gas natural producen unas emisiones de NOx inferiores a los que producen otros tipos de combustibles.
- Buen rendimiento.
- A pesar de requerir una instalación de gas natural y tanque de almacenamiento conforme a las normas, a largo plazo resulta más rentable esta tipología.
- Las calderas pirotubulares son más compactas, por lo que ocuparán menos espacio en nuestra planta.
- El vapor de agua transmite el calor al mosto de una manera más efectiva y rápida.

En cuanto al número de calderas que se instalarán, serán dos. En condiciones normales de trabajo y demanda, solamente se utilizará una de ellas quedando la otra como reserva, poniéndose operativa cuando para casos en la demanda de producto fabricado aumente o en caso de avería de la caldera titular.

La sala de calderas será anexa a la nave de producción. El motivo de colocar la salda de caldera próxima a las cubas de elaboración es minimizar la longitud de tuberías y por tanto los costes asociados a la instalación. Dadas las características de la sala de calderas y teniendo en cuenta el factor económico, se decide utilizar ventilación natural directa por medio de rejillas metálicas empotradas en los muros. Además, teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma, se utilizarán cuatro rejillas situadas a 30 cm del suelo para la entrada de aire y tres rejillas a 40 cm de la cubierta para la salida del aire. Las rejillas de entrada y salida de aire se colocarán en paredes opuestas para favorecer la renovación del aire y ventilación de la sala.

Con respecto a los reguladores, se opta por utilizar un regulador pilotado debido a que la precisión que ofrece es mayor que en el caso de regulador de acción directa y debido también a la presión de operación de 2 bar.

La evacuación de humos se llevará a cabo mediante una chimenea que extraerá los gases de combustión originados en la caldera. En la salida de los gases se colocarán un deflector.

El cálculo de las dimensiones del depósito de gas natural se ha realizado determinando el consumo mensual de gas natural. A continuación, se detallarán los pasos seguidos para el cálculo:

- Las calderas elegidas tienen una potencia media de 2890 kW, un rendimiento del 80 % y funcionarán de media 140 h/mes.
- El gas natural tiene un PCI de 10.800 kcal / kg y una densidad aproximada de 431 kg / m<sup>3</sup>.

Con los datos anteriores se tiene que:

$$10.800 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot 431 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1\text{m}^3}{1.000\text{l}} = 4.655 \frac{\text{kcal}}{\text{l}}$$

Por otro lado, tenemos que 1 kWh equivale a 860 kcal, por lo que:

$$2.890 \text{ kW} \cdot 140 \frac{\text{h}}{\text{mes}} \cdot \frac{860 \text{ kcal}}{1 \text{ kWh}} = 348 \cdot 10^6 \frac{\text{kcal}}{\text{mes}}$$

Suponiendo un rendimiento del 80 %:

$$0,8 \cdot 4.655 \frac{\text{kcal}}{\text{l}} = 3.724 \frac{\text{kcal}}{\text{l}}$$

Finalmente, el consumo mensual de gas natural se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{348 \cdot 10^6}{3.724} = 93.448 \frac{\text{l}}{\text{mes} \cdot \text{caldera}} \cdot 2 \text{ calderas} = 187.000 \frac{\text{l}}{\text{mes}}$$

Por tanto, se ha decidido que la capacidad del depósito será de 65 m<sup>3</sup>, con unas dimensiones aproximadas de 9 m de largo y 3 m de diámetro. La recarga del depósito se efectuará cada 10 días.

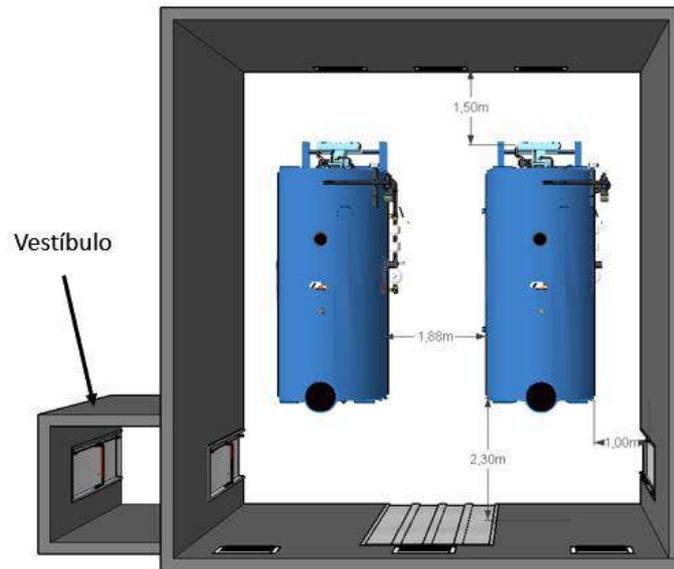


Figura 297: Dimensiones en la sala de calderas

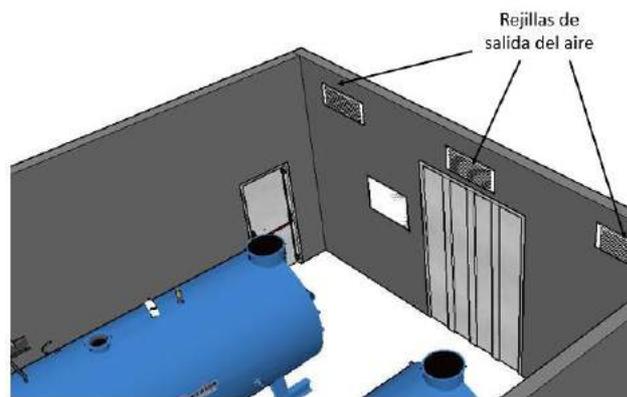


Figura 298: Vista interior de la sala de calderas

En la imagen anterior se puede ver que se ha instalado una puerta de dimensiones 2,5 x 3,5 m que permitirá extraer e introducir las calderas de la sala en caso de que fuese necesario.

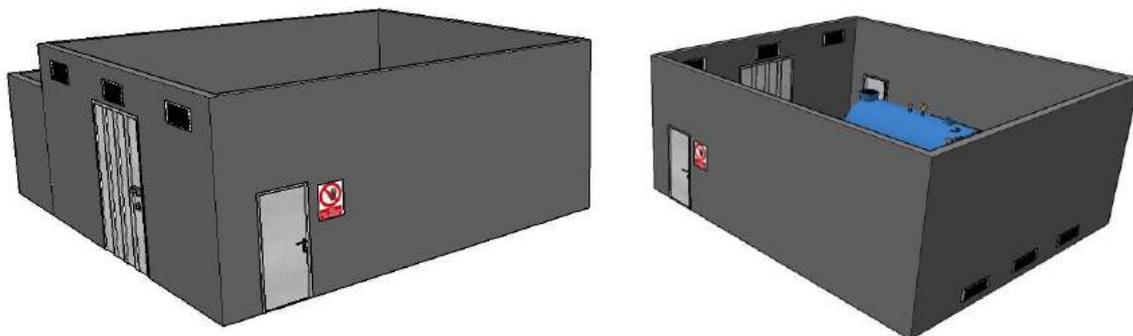


Figura 299: Posiciones de las rejillas de ventilación

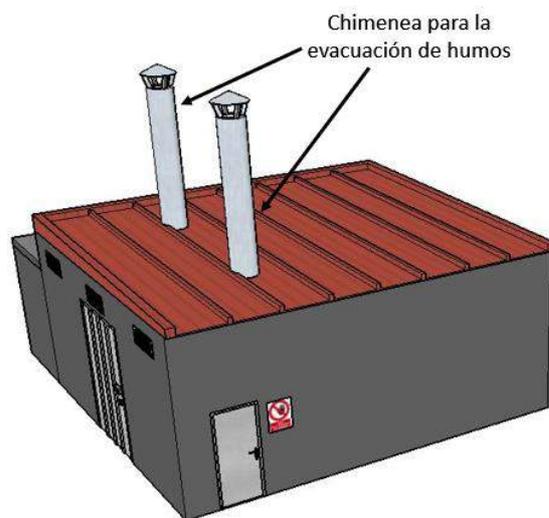


Figura 300: Vista exterior de la sala de calderas

## 6.2 Instalación de aire comprimido

### 6.2.1 Utilidad de aire comprimido en la planta

En la planta objeto de diseño, el aire comprimido se utilizará en las estaciones de llenado, taponado y encajonado de la nave de envasado. Así mismo, los robots paletizador y despaletizador necesitarán aire comprimido para que los efectores finales puedan sujetar con firmeza las botellas y cajas.

### 6.2.2 Elementos básicos de una instalación de aire comprimido

Las instalaciones de aire comprimido agrupan una serie de elementos principales entre los que se encuentran el compresor, enfriador, deshumidificador, líneas de suministro, puntos de consumo, reguladores y filtros.

#### 6.2.2.1 Compresor

El compresor es el equipo que tiene como función aspirar el aire de la atmósfera y comprimir el volumen. Dicho volumen de aire comprimido es almacenado en un depósito. En la industria, se utilizan comúnmente dos tipos de compresores: compresor de desplazamiento positivo y turbocompresores.

- Compresor de desplazamiento positivo (CDP)

Los compresores de desplazamiento positivo (también llamados volumétricos) operan aumentando la presión interna hasta llegar al valor de diseño previsto, reduciendo el volumen interno de la cámara. Para ello es necesario consumir un trabajo mecánico. Los tipos de CDP más utilizados actualmente son los compresores de pistón, de tornillo, de paletas, de émbolos rotativos y Scroll.

- Turbocompresor

Los turbocompresores operan aspirando aire por el rodete a través de la campana de entrada. Posteriormente el aire se acelera a gran velocidad y es descargado a un difusor, transformándose toda la energía cinética en presión estática. Se utilizan para grandes caudales de aire a presiones moderadas. Los tipos de TC que existen son compresores axiales y radiales.



Figura 301: Compresor de desplazamiento positivo (izda) y turbocompresor (dcha). Fabricante Kaeser

### 6.2.2.2 Depósito

El depósito normalmente va integrado en el compresor. Los compresores se arrancan cuando la cantidad de aire contenida en el depósito es baja. Los depósitos de aire comprimido sirven para compensar las puntas de consumo y con frecuencia separar el condensado del aire comprimido. La diferencia entre los compresores alternativos y los compresores centrífugos, de husillo y de paletas es que los primeros se regulan para que tenga un máximo de funcionamiento del 70 % mientras que los demás pueden trabajar el 100 % del tiempo.

Por otro lado, los depósitos también pueden ser independientes del compresor, estando instalados antes o después del tratamiento de aire comprimido.

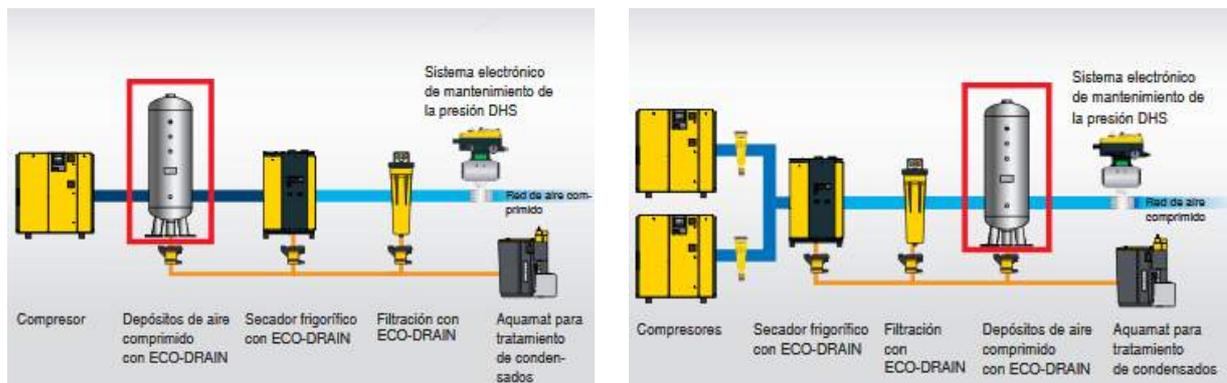


Figura 302: Diferentes configuraciones en la instalación del depósito de aire comprimido

### 6.2.2.3 Enfriador

La compresión del aire conlleva que la temperatura de este aumente, aumentando por tanto su capacidad para retener vapor de agua. Hay que tener también en cuenta que un incremento de presión hace que se reduzca la capacidad del aire para retener agua. Por tanto, cuando el aire es comprimido en el compresor, la temperatura aumenta y el agua no condensa. Sin embargo, a lo largo de los conductos la temperatura va disminuyendo y la presión se mantiene en valores altos por lo que el agua si podrá condensar.

Puesto que las condensaciones hay que eliminarlas en la medida de lo posible, la temperatura del aire se reduce en el enfriador, el cual irá colocado lo más cerca posible del compresor.

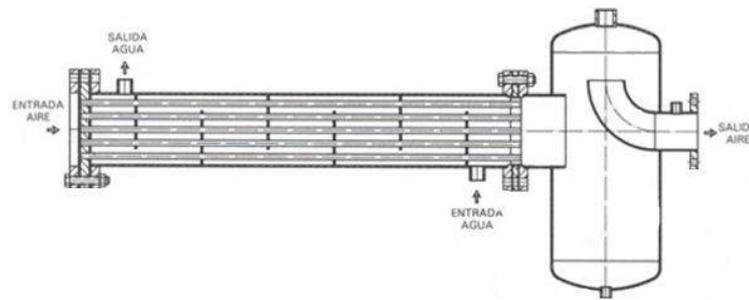


Figura 303: Esquema de enfriador para instalación de aire comprimido

#### 6.2.2.4 Deshumificador

En el enfriador, la condensación que precipita es retirada por medio del deshumificador. En la figura anterior está representado el deshumificador acoplado al enfriador.

#### 6.2.2.5 Líneas de suministro

El compresor, depósito, enfriadores y deshumificadores se ubican en una sala independiente y aislada. Por tanto, son necesarias líneas de suministro que transporten el aire comprimido hasta los equipos oportunos. Se debe minimizar la distancia entre los equipos y el compresor, por lo que los conductos deben tener la menor longitud posible.

Por otro lado, la pendiente de las tuberías deberá ser aproximadamente del 1 %, descendiendo los conductos levemente en la dirección del flujo. En los puntos más bajos se colocarán puntos de drenaje, colocados con la ayuda de conexiones en "T". Es muy importante utilizar el menor número de juntas y codos posible para reducir al máximo las pérdidas.

#### 6.2.2.6 Secadores de aire comprimido

Estos equipos se utilizan cuando se requiere que el suministro de aire sea completamente seco. Para ello se necesita un sistema adicional de condensado del aire.

#### 6.2.2.7 Puntos de consumo

Los puntos que conectan la instalación con los equipos a los cuales se va a suministrar aire comprimido están conectados a filtros y reguladores de presión para acondicionar adecuadamente el suministro. Estos filtros además retienen partículas de un tamaño tal que no pudieron ser retenidas en filtros colocados en otros puntos de la instalación.

#### 6.2.2.8 Otros elementos

En ocasiones es necesario incorporar una serie de elementos adicionales para mejorar el funcionamiento general de la instalación. Algunos de esos elementos son:

- Filtros anticontaminantes
- Filtros para la admisión del aire del compresor. Se utilizan cuando el ambiente de trabajo contiene aire con muchas partículas en suspensión.
- Silenciadores. En general los compresores son ruidosos, por lo que se instalan dispositivos para disminuir el ruido.

A continuación, se muestra un esquema general de una instalación de aire comprimido con cada uno de los elementos anteriormente descritos.

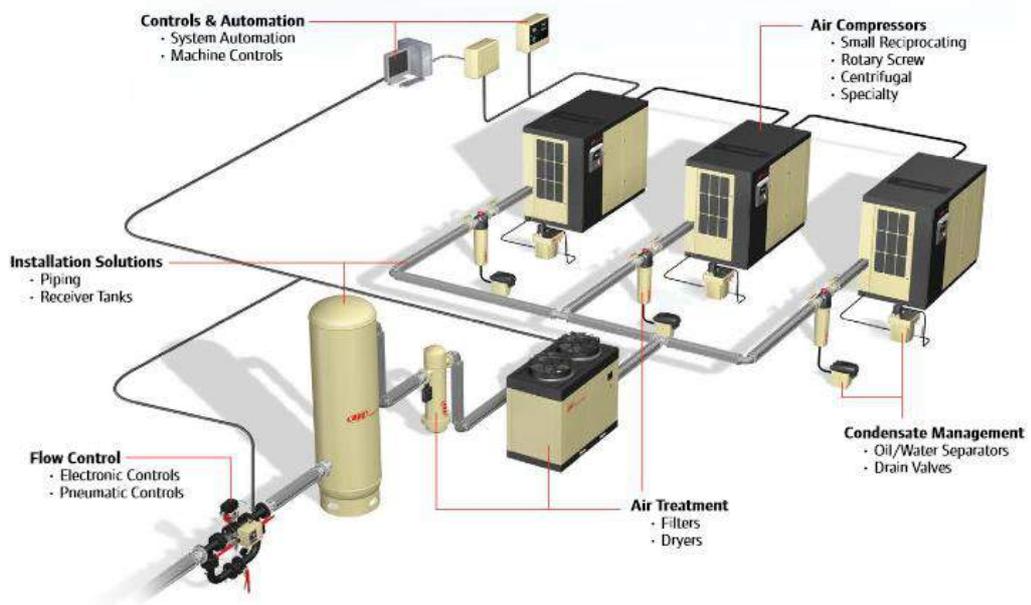
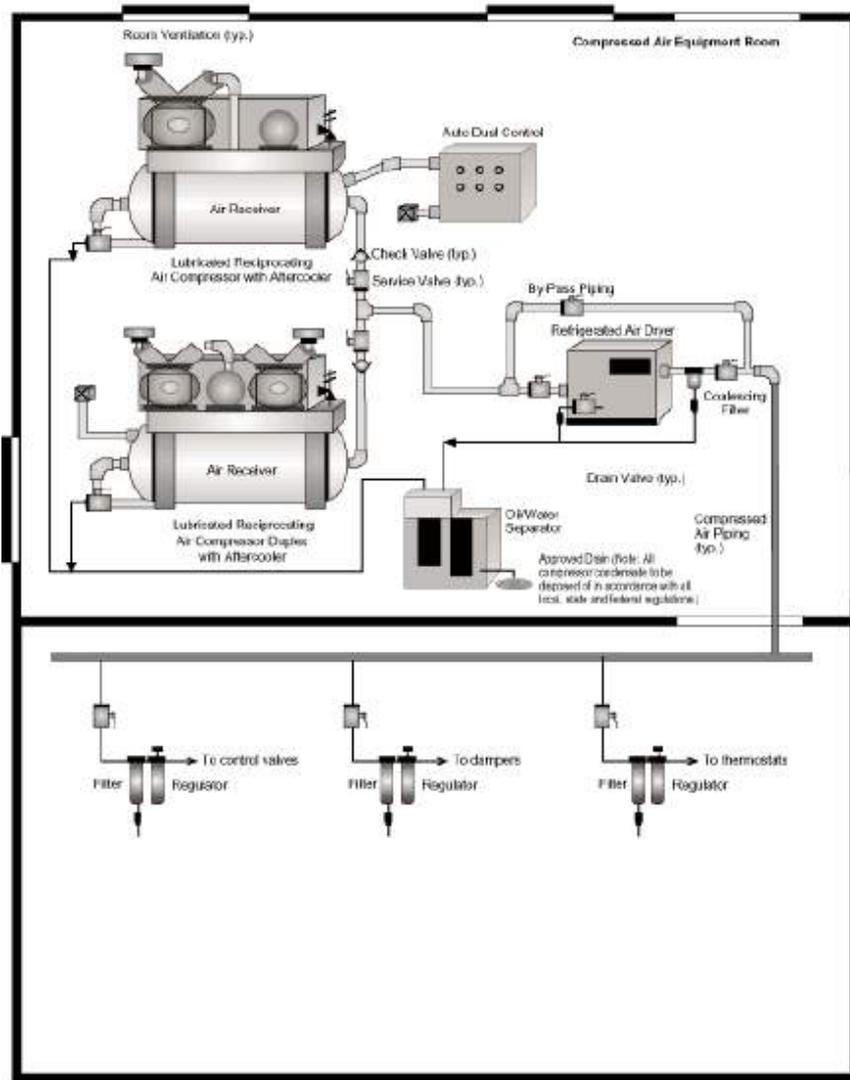


Figura 304: Esquemas generales de una instalación de aire comprimido. Ingersoll Rand

### 6.2.3 Ubicación

Para asegurar la durabilidad del compresor y la calidad del aire, hay que controlar los niveles de humedad, contaminantes en el aire y temperatura del ambiente. Por todo esto y por el ruido que generan los compresores, estos serán instalados en una sala independiente. Dichos equipos deberán ir colocados sobre una superficie nivelada, sin necesidad de usar en la mayoría de los casos anclajes o cimentaciones especiales.

En cuanto a las dimensiones de la sala de compresores, esta debe tener el tamaño suficiente para poder albergar los equipos y maquinaria auxiliar necesaria para implementar la instalación de aire comprimido. Además, los accesos a dicha sala deberán tener el tamaño adecuado para que los equipos puedan ser introducidos en el cuarto de compresores.

Como se ha comentado, la temperatura, concentración de partículas contaminantes en el aire, humedad y corrosión son factores que influirán determinadamente en el diseño de la sala de compresores.

- La temperatura debe estar dentro del rango indicado por el fabricante de los equipos. Temperaturas demasiado bajas pueden influir en el flujo de lubricantes y provocar la indeseable condensación del agua. Las altas temperaturas tampoco son deseables debido a que afecta a la durabilidad de los lubricantes. Para ello se contará con sistemas de ventilación que se comentarán más adelante.
- Con el objetivo de evitar la penetración de partículas de polvo y suciedad en el interior del compresor, se instalará un prefiltro que servirá de protección antes estas partículas.
- Los compresores se instalarán como se ha dicho en el interior de una sala acondicionada, de forma que se evite la exposición del compresor a la humedad del ambiente y la lluvia. La humedad es indeseable debido a que podría corroer el compresor y sus componentes internos.

### 6.2.4 Ventilación

La ventilación es un factor muy importante a tener en cuenta en instalaciones de aire comprimido por razones concretas. Los compresores y secadores son equipos que durante su funcionamiento producen una gran cantidad de calor, el cual debe ser eliminado de la sala de compresores para mantener la temperatura del habitáculo dentro del rango óptimo.

Los extractores de aire se colocarán en la parte superior de uno de los muros de la sala de compresores. La entrada de aire del exterior se llevará a cabo a través de persianas controladas por un termostato. La aspiración de aire deberá colocarse lo más bajo posible, con un mínimo de 30 cm de separación del suelo. Hay que controlar que la velocidad de aire en el orificio de entrada de ventilación no supere los 4 m/s.

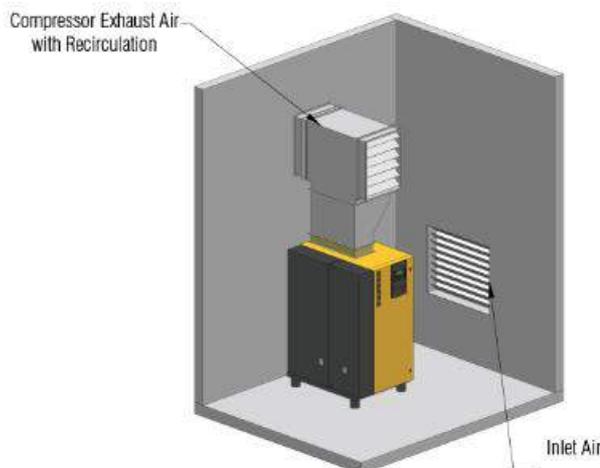


Figura 305: Ventilación de una sala de compresores

## 6.2.5 Solución adoptada

Por todo lo anteriormente descrito, la instalación de aire comprimido estará compuesta por un compresor, depósito pulmón antes del tratamiento, enfriador, deshumificador, una línea principal de suministro desde la cual existirán las derivaciones oportunas para los distintos equipos, secador de aire debido a la humedad del ambiente de Sevilla, filtros y reguladores en los puntos de consumo. El compresor y equipos auxiliares irán instalados en una sala acondicionada adyacente a la nave de envasada con el objetivo de minimizar la distancia desde el compresor a cada uno de los equipos.

Con respecto al tipo de compresor que se usará, se decide utilizar un compresor volumétrico de tornillo por los siguientes motivos:

- Fácil acceso para mantenimiento y limpieza.
- Reducción de ruido comparado con los demás tipos de compresores.
- Refrigeración controlada por sonda.
- Excelente rendimiento.
- Buen desempeño.
- Pre-filtro instalado.

A pesar de que la inversión inicial es superior al de otras tipologías, por todos los demás aspectos técnicos y tecnológicos descritos se ha decidido instalar el compresor de tornillo. En la sala de compresores se instalarán en concreto dos unidades, de forma que una de ellas actúe como reserva en caso de avería o indisponibilidad por mantenimiento o cualquier otra causa del compresor titular.

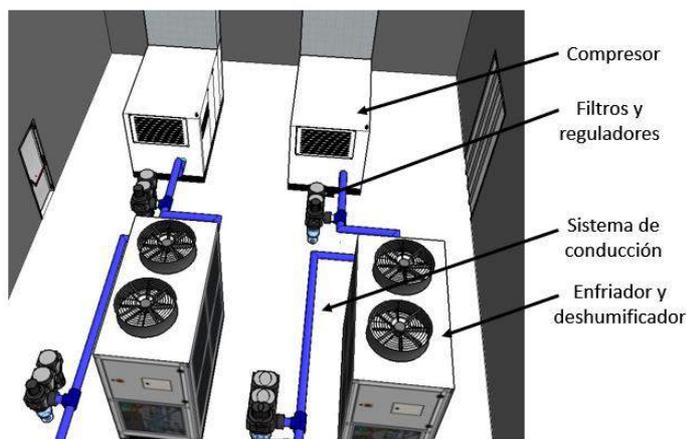


Figura 306: Vista interior de la sala y equipos de la instalación

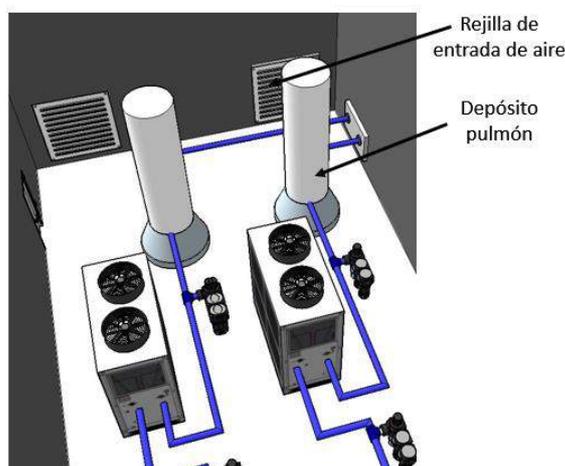


Figura 307: Vista interior de la sala de compresores

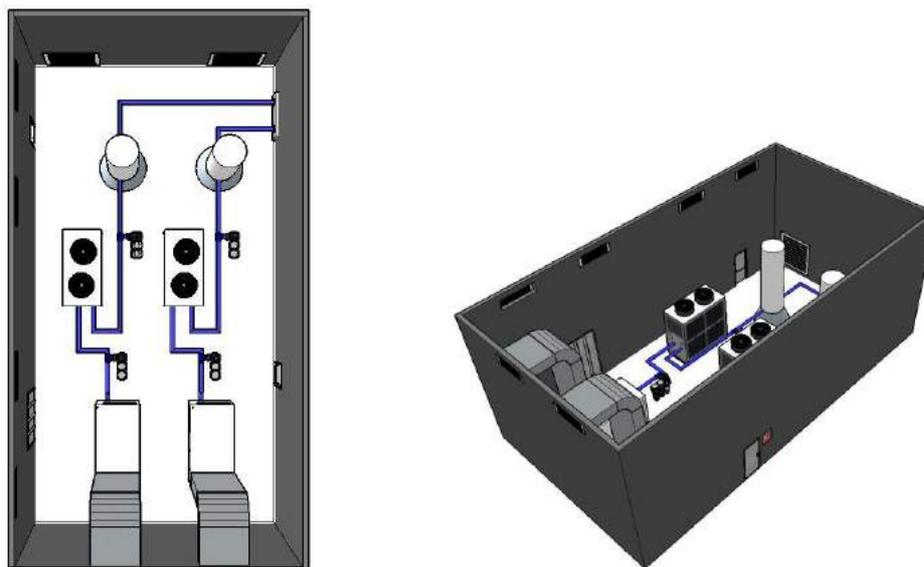


Figura 308: Vista en planta (izquierda) y vista general (derecha) de la sala de compresores

## 6.3 Climatización y ventilación

### 6.3.1 Uso de climatización y ventilación en la planta. Normativa aplicable.

Los sistemas de climatización se aplicarán al edificio de oficinas y la sala de fermentación, aunque en el caso de la sala de control y oficina de logística se instalarán equipos portátiles de climatización.

Las instalaciones de ventilación se aplican tanto en el edificio de oficinas como en el resto de las naves y edificios de la planta, de manera que el aire interior recircule y se renueve continuamente.

Para desarrollar el sistema de climatización se ha usado las siguientes normativas:

- RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación).

Las instalaciones de ventilación y climatización de la planta se han dimensionado de acuerdo con lo expuesto en el RITE, quedando sujeta a los requisitos exigidos, y que dependen tanto de la ocupación del edificio como de la superficie de las instalaciones, en función de la calidad del aire interior.

- DB HE 2 (Documento Básico de Exigencias Básicas de Ahorro de Energía y Rendimiento de las Instalaciones Térmicas)

En este documento se recogen las exigencias que deben cumplir los edificios para disponer de instalaciones térmicas apropiadas para proporcionar el bienestar de los usuarios.

- DB HS 3 (Documento Básico de Exigencias Básicas de Salubridad y Calidad del aire interior)

En este documento se regula la disposición de medios para una ventilación adecuada, eliminándose los contaminantes que se produzcan habitualmente con un uso normal del edificio.

- NTE ICI (Norma Técnica de Edificación para las Instalaciones de Climatización Industrial)

Con esta norma se normaliza y regula las actuaciones de diseño, cálculo, construcción, control, valoración y mantenimiento de las instalaciones de climatización industrial.

### 6.3.2 Instalación de climatización

En la actualidad, una nueva tecnología de climatización se está anteponiendo frente a los sistemas usados comúnmente como los sistemas todo-aire o todo-agua. Esta nueva tecnología se denomina sistemas de caudal variable de refrigerante. En el mercado este sistema se conoce por las iniciales en

inglés VRF (Variable Refrigerant Flow), VRV (Variable Refrigerant Volume) o en español CVR.

Estos sistemas surgieron como una evolución de los sistemas Multi-Split Inverter. Las ventajas que presentan son numerosas, entre las que se encuentran:

- Ahorro energético, consiguiéndose unos niveles de ahorro del 11-20 %.
- Tecnología inverter, mediante la cual la velocidad del compresor se puede regular de forma que no funcione siempre a la velocidad máxima. La variación de velocidad se lleva a cabo según lo lejos que se encuentre la temperatura real de la temperatura deseada.
- Instalación sencilla, al tener un diseño modular y ser relativamente ligeros comparados con otros sistemas de climatización.
- Mantenimiento económico.
- Control optimizado, de forma que la temperatura de cada habitación o espacio determinado sea independiente de las del resto de salas pudiéndose adaptar en todo momento a las necesidades del usuario.

Sin embargo, además de ser un sistema de elevada inversión inicial, el mayor inconveniente que presenta es la peligrosidad que supone una fuga del gas refrigerante (normalmente R410A), ya que este gas inundaría toda la habitación desapareciendo el oxígeno. Por este motivo el Reglamento de Instalaciones frigoríficas establece que exista un límite entre el gas total de la instalación y el espacio cerrado más pequeño del edificio.

El sistema VRV pretende eliminar conversiones intermedias, quedando el flujo de energía solamente en aire-gas-aire. A través de tuberías de cobre se conecta una unidad exterior a varias unidades interiores, circulando el fluido refrigerante por dichas tuberías.

Las instalaciones VRV se pueden clasificar según el modo de suministro térmico en:

- Sólo frío. De esta forma las unidades interiores solamente pueden refrigerar. No suelen usarse actualmente.
- Bomba de calor. Las unidades interiores funcionan de forma simultánea en modo frío o en modo calor. Es la tipología más usada en la actualidad.
- Recuperación de calor. Todas las unidades interiores tienen la capacidad de refrigerar o calentar simultáneamente. Debido a la alta inversión que requiere, su uso se limita a espacios con alta confluencia de personas.

Otro criterio de clasificación se basa en el modo de distribución del refrigerante:

- A dos tubos: en estos sistemas una tubería es de líquido y por la otra se succiona gas o se descarga.
- A tres tubos: en este caso una tubería es de líquido, otra de succión de gas y la tercera de descarga.
- A cuatro tubos: estos sistemas tienen un circuito de frío formado por dos tubos y otros dos de calor.

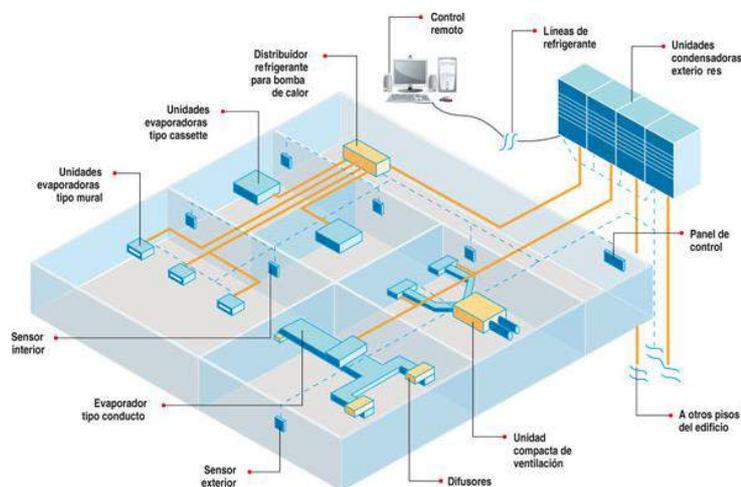


Figura 309: Esquema general sistemas VRV

Debido a las características expuestas anteriormente, se ha decidido utilizar un sistema de climatización VRV que se instalará en el edificio de oficinas.

Para el diseño de la instalación de climatización se han tenido en cuenta la superficie de los distintos espacios que forman parte del edificio de oficinas:

Planta baja			
Nombre de la sala	Superficie (m <sup>2</sup> )	Nombre de la sala	Superficie (m <sup>2</sup> )
Cafetería	120	Cuarto de primeros auxilios	14
Aseos masculinos/femeninos	35 (cada uno)	Sala de conferencias	40
Vestuarios masculinos/femeninos	18 (cada uno)	Cuarto de limpieza	8
Pasillos	270	Dpto. de administración	13
Almacén	20	Recepción y secretaría	14
Primera planta			
Nombre de la sala	Superficie (m <sup>2</sup> )	Nombre de la sala	Superficie (m <sup>2</sup> )
Dpto. de informática	17	Dirección	18
Dpto. de producción	14	Sala de reuniones	32
Dpto. de ingeniería	18	Aseos masculinos/femeninos	9 (cada uno)
Dpto. de compras y marketing	18	Pasillos	190

Tabla 24: Superficies de las distintas salas y zonas del edificio de oficinas

Por otro lado, hay que tener en cuenta las condiciones en las cuales trabajan los equipos: refrigeración y calefacción.

- Refrigeración

Los dispositivos trabajarán en modo refrigeración en los meses de primavera y verano, siendo el rango de temperatura operativa y humedad relativa de 23-25 ° C y 45-60 %, respectivamente.

- Calefacción

Los dispositivos trabajarán en modo refrigeración en los meses invierno fundamentalmente, siendo el rango de temperatura operativa y humedad relativa de 21-23 ° C y 45-50 %, respectivamente.

Para el diseño de la instalación se ha considerado una potencia de refrigeración de 100 f/h por cada metro cuadrado de superficie. Con este dato se han calculado las frigorías/hora y kW en cada una de las salas, teniendo en cuenta la superficie de estas mostradas en la tabla anterior.

PLANTA BAJA		
Sala	Potencia (f / h)	Potencia (kW)
Cafetería	12000	13,95
Aseos masculinos/femeninos	3500 (cada uno)	4,07 (cada uno)
Vestuarios masculinos/femeninos	1800 (cada uno)	2,09 (cada uno)
Pasillos	27000	31,40
Almacén	2000	2,33
Cuarto de primeros auxilios	1400	1,63
Sala de conferencias	4000	4,65
Cuarto de limpieza	800	0,93
Dpto. de administración	1300	1,51
Recepción y secretaría	1400	1,63
PLANTA ALTA		
Sala	Potencia (f / h)	Potencia (kW)
Dpto. de informática	1700	1,98
Dpto. de producción	1400	1,63
Dpto. de ingeniería	1800	2,09
Dpto. de compras y marketing	1800	2,09
Dirección	1800	2,09
Sala de reuniones	3200	3,72
Aseos masculinos/femeninos	900 (cada uno)	1,05 (cada uno)
Pasillos	19000	22,09

Tabla 25: Frigorías / hora y kWh necesarios en cada sala del edificio de oficinas

El Instituto de la Diversificación del Ahorro y de la Energía (IDAE) Ofrece una tabla orientativa que relaciona la superficie objeto de refrigerar y la potencia necesaria para ello:

Superficie a refrigerar en m <sup>2</sup>	Potencia refrigerante en kW
9-15	1,5
15-20	1,8
20-25	2,1
25-30	2,4
30-35	2,7
35-40	3
40-50	3,6
50-60	4,2

Figura 310: Relación entre superficie a refrigerar y potencia requerida. Tabla facilitada por IDEA.

### 6.3.3 Sistemas de climatización en la planta

#### 6.3.3.1 Edificio de oficinas

Como se ha comentado, el sistema de climatización que se usará en el edificio de oficinas será VRV.

En cuanto al refrigerante a utilizar, se ha optado por el R410A. Los sistemas de climatización que funcionan con dicho refrigerante presentan un bajo consumo de energía y buen rendimiento, no utiliza componentes como el cloro que pueda dañar la capa de ozono y tienen una buena fiabilidad. Además, los sistemas que utilizan este refrigerante tienen un mayor Coeficiente de Eficiencia Energética (EER).

El circuito principal transcurre desde la unidad exterior colocada en la terraza de la primera planta del edificio y de ese circuito se dividirá en derivaciones que suministrarán el refrigerante en estado líquido (modo refrigeración) o en gas (modo calefacción) a cada una de las unidades interiores que se ubicarán en las salas del edificio. La configuración del sistema VRV que se ha decidido es a dos tubos.

Las tuberías de la instalación serán de cobre e irán aisladas adecuadamente con fibra de vidrio.

Para llevar a cabo el equilibrado hidráulico del circuito de distribución del refrigerante se instalarán válvulas en los circuitos secundarios.

#### 6.3.3.2 Sala de fermentación

La necesidad de mantener la temperatura ambiente en la sala de fermentadores a una temperatura de 4-5 ° C obliga a utilizar un sistema de climatización. En realidad, no se trata de un sistema de climatización como tal, sino que se va a emplear un sistema de refrigeración como si la sala de fermentadores se tratara de una cámara frigorífica de temperatura positiva.

Los componentes principales de la instalación frigorífica son los siguientes:

- **Compresor**  
Es el equipo que se encarga de generar la diferencia de presiones en las que el ciclo trabaja. El refrigerante es aspirado a baja presión y temperatura por el compresor y lo comprime hasta alcanzar las condiciones adecuadas para evacuar el calor en el condensador.
- **Evaporador**  
Este equipo se trata de un intercambiador de calor. Su función es extraer el calor del recinto objeto de refrigerar. El fluido térmico se calienta mientras que el aire de la sala se enfría.
- **Condensador**  
El condensador se encarga de ceder calor al exterior. El condensador se instalará en el exterior del edificio.
- **Válvula de expansión**  
La válvula de expansión acondiciona el refrigerante una vez que sale del condensador, baja su presión y temperatura y lo adecúa para volver a entrar en el compresor.

Como elemento auxiliar, la instalación contará con un termostato para regular la temperatura interior de la cámara.

### 6.3.4 Instalación de ventilación

La instalación de ventilación es necesaria en todos los edificios y naves de la planta, ya que a pesar de ser el edificio de oficinas el que está en su mayor parte ocupado por personas, también habrá actividad humana en el resto de las naves.

En los edificios los sistemas de ventilación que se implementan pueden ser de dos tipos:

- **Sistemas de ventilación mecánica**  
Estos sistemas emplean un motor eléctrico para extraer el aire. La entrada del aire se efectúa por medio de unas rejillas por depresión, las cuales se colocan en la fachada. En estos sistemas la extracción de aire contaminado es permanente.
- **Sistemas de ventilación híbrida**  
Funcionan extrayendo el aire de forma natural mientras las condiciones de viento exterior sean favorables. En casos de que sea desfavorable se utiliza un motor eléctrico que extrae la cantidad mínima de aire necesaria. Dicho motor eléctrico se pone en funcionamiento mediante sensores de control de viento.

Puesto que la ventilación se llevará también a cabo en los demás edificios y naves de la planta para asegurar una renovación del aire, hay que realizar el diseño de acuerdo con lo expuesto en el Real Decreto 486/1997 del 14 de abril, que fija las “Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo”.

### 6.3.4.1 Oficinas

La ventilación en el edificio de oficinas se proyectará instalando equipos externos que traten el aire, recogiendo y poniéndolo a una temperatura adecuada para ser introducido en los distintos locales. El aire recogido por el equipo circula por unos conductos y entra en los recintos por medio de unas rejillas de impulsión. Para extraer el aire existirá otra red de conductos y un sistema de rejillas de retorno colocadas en puntos estratégicos para llevar a cabo adecuadamente la renovación de aire. El material de la instalación será de chapa galvanizada ya que es el material más recomendado para esta aplicación.

Es importante definir dos conceptos fundamentales:

- **IDA:** calidad del aire interior requerida

Categoría	Calidad del aire	Uso del local
IDA 1	Aire de calidad óptima	Hospitales, clínicas, laboratorios, guarderías
IDA 2	Aire de calidad buena	Oficinas, residencias, salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza, piscinas.
IDA 3	Aire de calidad media	Edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiesta, gimnasios, locales para deporte, salas de ordenadores.
IDA 4	Aire de calidad baja	

Tabla 26: Calidad del aire interior

- **ODA:** calidad del aire exterior

ODA 1	Aire puro que se ensucia solo temporalmente
ODA 2	Aire con concentraciones altas de partículas y/o gases contaminantes
ODA 3	Aire con concentraciones muy altas de gases contaminantes y/o de partículas

Tabla 27: Calidad del aire exterior

- AE: calidad del aire de extracción

Categoría	Nivel de contaminación	Uso del local
AE 1	Bajo	Oficinas, aulas, salas de reuniones, locales comerciales, espacios de uso público, escaleras y pasillos.
AE 2	Moderado	Restaurantes, habitaciones de hoteles, vesturarios, aseos, cocinas domésticas, bares, almacenes.
AE 3	Alto	Saunas, cocinas industriales, imprentas, habitaciones destinadas a fumadores.
AE 4	Muy alto	Extracción de campanas de humos, aparcamientos, locales para manejo de pinturas, locales de almacenamiento de residuos de comida, laboratorios químicos.

Tabla 28: Calidad del aire de extracción

Para calcular el caudal mínimo de aire exterior de ventilación necesario para alcanzar las categorías de calidad de aire interior, se utilizará el método indirecto de caudal de aire exterior por persona

$$Q_{\text{imp}} = \text{IDAi} \cdot N \cdot 3,6, \text{ donde:}$$

- Q es el caudal de aire a impulsar ( $m^3/h$ )
- IDAi: Calidad de aire interior
- N es el número de persona

El término calidad de aire interior se aplica solamente a ambientes de interiores no industriales, por lo que solamente se aplicará al edificio de oficinas.

Categoría	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
$m^3/s$ por persona	20	12,5	8	5

Tabla 29: Volumen de aire de impulsión necesario por persona en función de la calidad del aire interior

La tabla anterior es válida cuando las personas presentes en las salas tienen una actividad metabólica de alrededor 1,2 met, la producción de sustancias contaminantes por fuentes diferentes del ser humano es baja y cuando no está permitido fumar.

Otro aspecto importante es determinar las clases de filtración mínimas a emplear, lo cual se obtiene teniendo en cuenta la calidad del aire exterior (ODA) y la calidad del aire interior (IDA).

Calidad del aire exterior	Calidad del aire interior			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	F5 + F7	F5 + F6
ODA 3	F7 + GF + F9	F7 + GF + F9	F5 + F7	F5 + F6

Tabla 30: Filtración mínima en función de la calidad del aire exterior e interior

Por otro lado, el caudal de aire de extracción de servicio debe ser como mínimo de 2 L/s por metro cuadrado de superficie en planta de forma que:

$$Q_{\text{ext}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 2 \left( \frac{\text{L}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \right) \cdot \text{Volumen del local (m}^3) \cdot 3,6$$

Dependiendo del uso que se le vaya a dar al edificio, hay que determinar también el número de renovaciones por hora mínima necesarias para garantizar la calidad del aire.

El número de renovaciones por hora del volumen de aire se determina en función del grado de contaminación del local a considerar. A continuación, se muestra una tabla donde se recoge el número de renovaciones/hora mínimos para garantizar la existencia de aire limpio:

Local	Renovaciones/hora	Local	Renovaciones/hora
Catedrales	0,5	Discotecas	10-12
Iglesias modernas	1-2	Gallineros	6-10
Escuelas	2-3	Club privado	8-10
Oficinas de bancos	3-4	Cocinas domésticas	10-15
Cantinas	4-5	Teatros	10-12
Hospitales	5-6	Lavabos	13-15
Oficinas generales	5-6	Sala de juegos	15-18
Bar de hotel	5-8	Cines	10-15
Restaurantes	5-6	Cocinas industriales	15-20
Laboratorios	6-8	Lavanderías	20-30
Talleres de mecanizado	5-10	Fundiciones	20-30
Tabernas	10-12	Obradores de panaderías	25-35
Fábricas en general	5-10	Naves industriales con hornos y baños	30-60
Sala de juntas	5-8	Talleres de pintura	40-60

Tabla 31: Número de renovaciones de aire por hora en función de la actividad del local

En lugar de hacer una clasificación en base a la actividad desarrollada en el local, existe otra que se basa en el volumen del recinto a considerar:

Volumen	Renovaciones / hora
$V \leq 1000 \text{ m}^3$	20
$1000 \text{ m}^3 \leq V \leq 5000 \text{ m}^3$	15
$5000 \text{ m}^3 \leq V \leq 10000 \text{ m}^3$	10
$V \geq 10000 \text{ m}^3$	6

Tabla 32: Número de renovaciones de aire por hora en función del volumen del local

En cualquier caso, los datos mostrados en ambas tablas son orientativos por lo que en locales donde el grado de contaminación sea alto se llevarán a cabo correcciones para garantizar la calidad del aire en el recinto en cuestión.

PLANTA BAJA									
Sala	IDA	ODA	AE	N <sub>p</sub>	N <sub>r</sub>	Vol. (m <sup>3</sup> )	Filtro	Q <sub>imp</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>ext</sub> (m <sup>3</sup> /h)
Cafetería	IDA3	ODA1	AE2	30	15	360	F7	864	2592
Aseos	IDA3	ODA1	AE2	5	13	105	F7	144	756
Vestuarios	IDA3	ODA1	AE2	10	13	54	F7	288	389
Pasillos	IDA3	ODA1	AE1	5	8	810	F7	144	5832
Almacén	IDA3	ODA1	AE2	2	5	60	F7	58	432
Cuarto de primeros auxilios	IDA3	ODA1	AE1	2	5	42	F7	58	302
Sala de conferencias	IDA3	ODA1	AE1	24	8	120	F7	691	864
Cuarto de limpieza	IDA3	ODA1	AE1	1	5	24	F7	29	173
Dpto. de administración	IDA3	ODA1	AE1	1	5	39	F7	29	281
Recepción y secretaría	IDA3	ODA1	AE1	2	5	42	F7	58	302
PLANTA ALTA									
Local	IDA	ODA	AE	N <sub>p</sub>	N <sub>r</sub>	Vol. (m <sup>3</sup> )	Filtro	Q <sub>imp</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>ext</sub> (m <sup>3</sup> /h)
Dpto. de informática	IDA3	ODA1	AE1	2	5	51	F7	58	367
Dpto. de producción	IDA3	ODA1	AE1	2	5	42	F7	58	302
Dpto. de ingeniería	IDA3	ODA1	AE1	2	5	54	F7	58	389
Dpto. de compras y marketing	IDA3	ODA1	AE1	2	5	54	F7	58	389
Dirección	IDA3	ODA1	AE1	1	5	54	F7	29	389
Sala de reuniones	IDA3	ODA1	AE1	10	5	96	F7	288	691
Aseos	IDA3	ODA1	AE2	2	13	27	F7	58	194
Pasillos	IDA3	ODA1	AE1	5	8	570	F7	144	4104

Tabla 33: Parámetros de ventilación en cada una de las salas del edificio de oficinas

### 6.3.4.2 Nave de producción, envasado y almacenamiento

En cuanto a la ventilación de naves industriales, no existe ningún reglamento que regule esta instalación. Lo único que existe es la normativa RD-427, el cual establece el número de renovaciones por hora que deben realizarse en las naves industriales. El RD-427 establece que se debe aplicar una renovación de aire en las naves de  $30 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{persona}$ . Sin embargo, la propuesta de esta normal es cuantitativa y cualitativamente insuficiente, debido a que se pueden encontrar casos de naves industriales con aire muy contaminados y otras con menor nivel de contaminación con diferente número de trabajadores en el recinto.

Por este motivo, se propone otra alternativa que consiste en determinar el número de renovaciones por hora en función del volumen de la nave y condiciones de la misma, variando en un rango de 4-10 renovaciones/hora.

En naves industriales diáfanas se suelen utilizar ventiladores helicoidales tipo mural. Estos ventiladores se instalan sin necesidad de utilizar conductos, descarga libres ni aspiración debido a que la pérdida de carga con la que trabajan es muy pequeña.

En naves industriales que no sean totalmente diáfanas, se utilizan un sistema de ventilación en el cual la extracción de aire se lleva a cabo a través de conductos. El ventilador que se usa es centrífugo.

Por otro lado, un sistema de ventilación no forzada bastante usado en naves industriales son los aireadores estáticos lineales. Dichos dispositivos son instalados en la cumbrera y permiten renovar el aire viciado, evacuar calor producido por la actividad industrial y mejorar la higrometría.

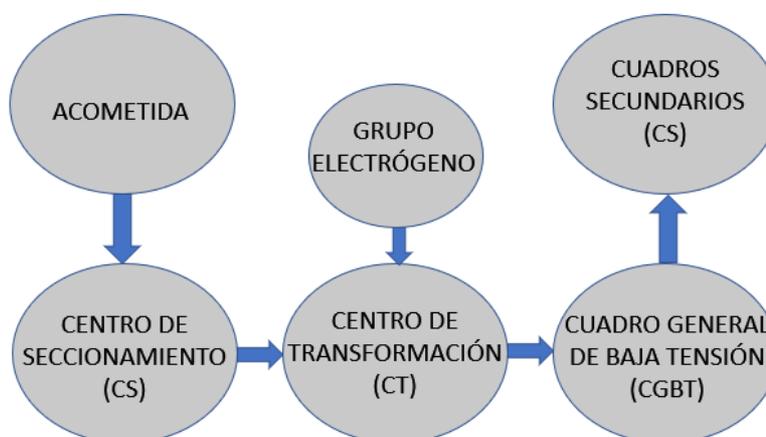
Debido a las características y necesidades de nuestra planta, se instalarán en todas las naves aireadores estáticos lineales. En la nave de producción, debido a la presencia de distintas dependencias se utilizará un sistema de ventilación con conductos de aspiración, utilizándose cajas de ventilación con ventiladores centrífugos. En el caso de la nave de envasado y almacenamiento al ser diáfanas, se ha optado por utilizar ventiladores helicoidales de tipo mural.

## 6.4 Instalación eléctrica

### 6.4.1 Introducción

El diseño de la instalación eléctrica de la planta se ha llevado a cabo de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico de Media y Baja Tensión.

El esquema general que seguirá la instalación es el siguiente:



La instalación comenzará con la acometida en Media Tensión y se conectará al centro de seccionamiento, continuando hasta el centro de transformación y cuadro general de baja tensión. Del cuadro general de baja tensión existirán derivaciones que conectarán con los cuadros secundarios.

Será necesario también el uso de un suministro complementario de reserva, el cual estará constituido por un grupo electrógeno.

En los apartados siguientes se definirá y diseñará todo lo anteriormente presentado.

## 6.4.2 Acometida

De acuerdo con la tensión nominal, las líneas eléctricas se pueden clasificar en cuatro categorías:

- Categoría 1:  $66 \text{ kV} < \text{Tensión nominal} < 220 \text{ kV}$ .
- Categoría 2:  $30 \text{ kV} < \text{Tensión nominal} < 66 \text{ kV}$
- Categoría 3:  $1 \text{ kV} < \text{Tensión nominal} < 20 \text{ kV}$
- Categoría especial La tensión nominal es igual o superior a 220 kV y tensión inferior que formen parte de la red de transporte conforme a lo establecido en el artículo 5 del RD 1955/00.

En nuestro caso, la compañía eléctrica suministrará la potencia necesaria por medio de una línea subterránea de categoría 3, siendo dicha línea de 15000 V a 50 Hz.

## 6.4.3 Centro de seccionamiento

Un centro de seccionamiento es una instalación eléctrica formada por un conjunto de celdas y aparataje eléctrica de protección y corte. El centro de seccionamiento une la red eléctrica de una compañía determinada con la instalación particular a la cual da servicio. En caso de incidencia, el centro de seccionamiento protege la instalación separándola de la red.

### 6.4.3.1 Celdas

El centro de seccionamiento en cuestión contará con las siguientes celdas:

- Celda de línea de entrada. La celda de entrada es aquella por la que entran los conductores de la acometida, los cuales alimentan el centro de seccionamiento de forma directa.
- Celda de línea de salida
- Celda de línea de seccionamiento. En esta celda se ubican los elementos de apertura de las distintas líneas de tensión. Cuentan con un interruptor-seccionador de corte.
- Celda de protección general. Las celdas de protección se sitúan a continuación de la celda de entrada y su misión es proteger la instalación de posibles anomalías.
- Celda de medida. Incluyen los transformadores de medida de tensión e intensidad, permitiendo conocer en todo momento la intensidad y tensión que circula.

En cuanto a las características de las celdas, estas serán modulares de la gama SM6. De acuerdo con el catálogo del fabricante Schneider, estas celdas son: “celdas modulares equipadas con aparataje fija, bajo envolvente metálico que utiliza hexafluoruro de azufre como agente de corte SF6. Se tratan de celdas para instalación interior. La conexión de las celdas se realiza mediante un juego de barras aisladas al aire. Los interruptores son de tipo rotativo de tres posiciones (abierto, cerrado y puesta a tierra)”. La gama SM6 corresponde en su concepción y fabricación según la norma UNE-EN 60298 a la definición de aparataje bajo envolvente metálica compartimentada.

En caso de producirse un arco eléctrico, el gas SF6 por sobrepresión rompe la placa de una las paredes

exteriores de la celda. Debido a la gran seguridad de las personas, facilidad de instalación y explotación, mantenimiento reducido, gran durabilidad eléctrica y mecánica y vida útil superior a los 30 años, queda justificado el uso de celdas SM6 para el centro de seccionamiento en cuestión.

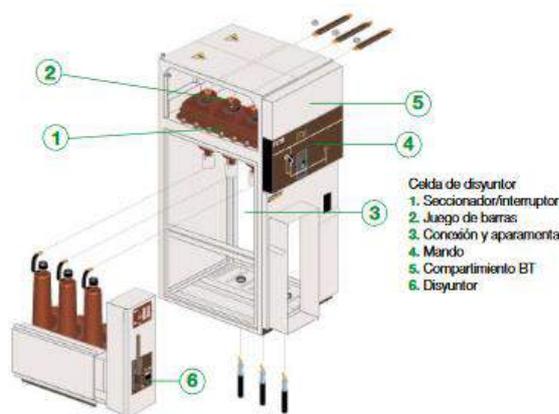


Figura 311: Celda SM6. Fabricante Scheneider

### 6.4.3.2 Medición de energía eléctrica en el centro de seccionamiento

La medición de la energía se llevará a cabo por medio del cuadro de contadores, el cual irá conectado al secundario de los transformadores de intensidad y tensión de la celda de medida.

Dicho cuadro estará constituido por un armario de aislamiento doble de dimensiones 800 x 550 mm y 215 mm de fondo, en el que se instalará un contador electrónico de energía eléctrica de clase 1 con medida activa y reactiva, registrador local de medidas para leer directamente de la memoria del contador, regleta de comprobación homologada, elementos de conexión y equipos de protección.

### 6.4.4 Centro de transformación.

Un centro de transformación es una instalación eléctrica que recibe energía en alta o media tensión y la entrega en media o baja tensión para que pueda ser utilizada por los usuarios. Por tanto, el centro de transformación de nuestra planta permitirá convertir la energía que viene en media tensión a baja tensión para ser utilizada por todos los equipos, máquinas e instalaciones auxiliares de la planta.

Los centros de transformación se pueden clasificar en función de diversos criterios:

Criterio	Tipos
Alimentación	En punta y en paso
Propiedad	De empresa y de abonado
Emplazamiento	Intemperie o aéreo e interior.
Acometida	Acometida aérea y acometida subterránea
Obra civil	Convencional, compacto semienterrado y de superficie, de maniobra y prefabricado.

Tabla 34: Tipos de centros de transformación

El centro de transformación que se utilizará será a la intemperie y la acometida al mismo será subterránea. La alimentación al centro será de media tensión y el suministro se realizará a una tensión de 15.000 V a una frecuencia de 50 Hz.

Dicho centro de transformación estará ubicado en una caseta independiente y estará construida de hormigón compacto, estando todos los cerramientos adecuadamente aislados frente filtraciones y acumulación de agua. El acceso al centro de transformación se efectuará por medio de una puerta. Solamente podrán acceder al centro de transformación el personal de la compañía eléctrica suministradora y personal de mantenimiento. Las puertas y rejillas de ventilación serán de acero galvanizado recubiertas con pintura epoxi. Las puertas se podrán abrir 180 ° hacia el exterior y podrán mantenerse en una posición de 90 ° mediante un retenedor metálico.

#### 6.4.4.1 Celdas

Las celdas del centro de transformación (celdas de línea y de protección) serán al igual que en el centro de seccionamiento de la serie SM6.

#### 6.4.4.2 Transformadores

Los transformadores permitirán convertir la energía eléctrica alterna de 15 kV en energía alterna de menor voltaje. Estará constituido

El transformador que se ha elegido es de 630 kVA, seco encapsulado y con refrigeración natural.

Los motivos de decisión de este tipo de transformador son los siguientes:

- En caso de existencia de fuego que afecte al transformador, presenta mayor resistencia a arder.
- Soporta mejor las sobrecargas de corta duración al tener una inercia térmica elevada.
- El diseño es muy compacto.
- El mantenimiento que precisan es reducido.
- La instalación es sencilla.

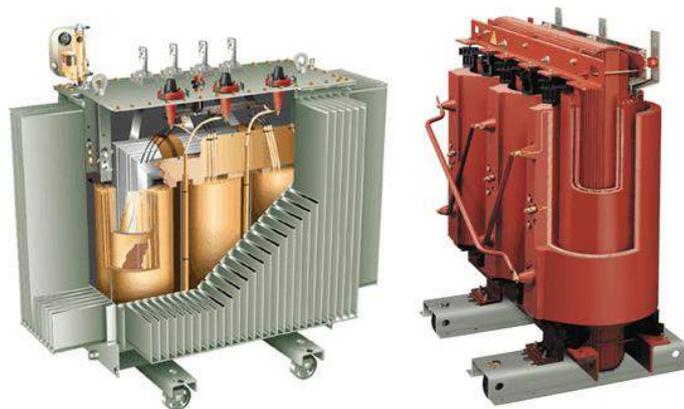


Figura 312: Transformador

#### 6.4.5 Grupo electrógeno

Un grupo electrógeno es una máquina formada por un motor de combustión interna y un generador eléctrico, cuya función es generar una corriente eléctrica que abastezca las necesidades de la instalación. Su función es asegurar en caso de fallo de alimentación del alumbrado normal, iluminación de los locales y accesos hasta salidas de emergencia y evacuación de usuarios.

En función de la duración del corte de suministro eléctrica, la funcionalidad de la fábrica con la puesta en marcha del grupo electrógeno variará de la siguiente forma:

- Si el corte de suministro es breve (en torno a unos 15-20 minutos) la fábrica seguirá actuando al máximo rendimiento.

- Si el corte es superior a 15-20 minutos, la funcionalidad de la fábrica se reducirá en un 25 %.
- Si pasa una hora desde que se produjo el corte de suministro, la funcionalidad se reduce a un 50 %.
- Si el corte de suministro se mantiene tras dos horas, los procesos de fabricación se detienen y se prioriza la seguridad.

El grupo electrógeno deberá atender fundamentalmente a los equipos contraincendios, extractores de aire y alumbrado. En el caso de las luces de emergencia, estas funcionarán debido a que son autónomas y cuentan con baterías.

El arranque del grupo electrógeno en caso de corte de suministro se llevará a cabo de forma automática. También será automática la parada de funcionamiento del equipo cuando la incidencia eléctrica haya terminado. La refrigeración del motor será por aire y se llevará a cabo mediante un ventilador soplante con las respectivas protecciones. En cuanto a la carcasa del grupo electrógeno, estas estarán conectadas a tierra.

El grupo electrógeno que se instalará en la planta será de 630 kW a 1500 rpm, siendo la tensión de funcionamiento de 400 V a 50 Hz.



Figura 313: Grupo electrógeno. Fabricante CUMMINS

### 6.4.6 Puesta a tierra

Los electrodos de la puesta a tierra se ubicarán en el nivel 0 del suelo, el cual está constituido por suelo vegetal y arenas limoarcillosas presentando el terreno una resistividad de 50-500 Ωm.

Naturaleza terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosas	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.00
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

Tabla 35: Valores orientativos de resistividad en función del terreno. ITC-BT-18

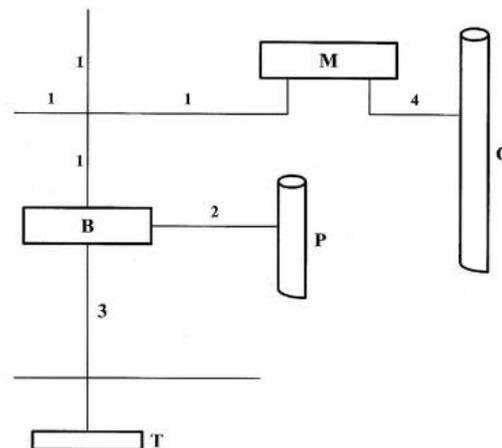
A pesar de que los aparatos eléctricos cuentan con medidas de seguridad adecuadas, la instalación eléctrica contará con redes de tierra para proteger en caso de contacto indirecto.

Dichas redes de tierra se colocan para que en la instalación no existan diferencias de potencial peligrosas y para que las corrientes de descarga de origen atmosférico puedan pasar a tierra.

De acuerdo con la ITC-BT-18 en la cual se establece la normativa y criterios de instalaciones de puesta a tierra, la elección e instalación de los materiales deben cumplir:

- El valor de la resistencia de puesta a tierra debe ser conforme a las normas de protección y de funcionamiento de la instalación y se mantendrá de esta manera a lo largo del tiempo, teniendo en cuenta los requisitos generales indicados en la ITC-BT-24 y los requisitos particulares de las Instrucciones Técnicas aplicables a cada instalación.
- Las corrientes de defecto a tierra y las corrientes de fuga podrán circular sin peligro, particularmente desde el punto de vista de solicitaciones térmicas, mecánicas y eléctricas.
- La solidez o la protección mecánica quedará asegurada con independencia de las condiciones estimadas de influencias externas.
- Contemplarán los posibles riesgos debidos a electrólisis que pudieran afectar a otras partes metálicas.

En el siguiente esquema se muestran los elementos de una instalación típica de puesta a tierra.



#### Leyenda

- 1 Conductor de protección.
- 2 Conductor de unión equipotencial principal.
- 3 Conductor de tierra o línea de enlace con el electrodo de puesta a tierra.
- 4 Conductor de equipotencialidad suplementaria.
- B Borne principal de tierra, o punto de puesta a tierra
- M Masa.
- C Elemento conductor.
- P Canalización metálica principal de agua.
- T Toma de tierra.

Figura 314: Esquema de instalación de puesta a tierra. ITC-BT-18

En cuanto a la separación entre las tomas de tierra de las masas de las instalaciones de utilización y de las masas de un centro de transformación, el ITC-BT-18 establece que hay que verificar que las masas puestas a tierra en una instalación de utilización no estén unidas a la toma de tierra de las masas de un centro de transformación. Esto se establece para evitar que, durante la evacuación de un defecto a tierra en el centro de transformación, las masas de la instalación de utilización queden sometidas a tensiones de contacto peligrosas. De esta forma se establece que la distancia mínima entre las tomas de tierra del centro de transformación y las tomas de tierra en las instalaciones de utilización sea de 15 metros para aquellos terrenos con una resistividad inferior a  $100 \Omega\text{m}$ .

### 6.4.6.1 Tomas de tierra

Para la toma de tierra se usarán electrodos formados por picas. Los electrodos son objetos conductores a través de los cuales se establece la conexión de forma directa a tierra. Dichos conductores son de cobre y serán de construcción y resistencia eléctrica según la clase 2 de la norma UNE 21.022.

En cuanto al tipo y profundidad de enterramiento de las tomas de tierra, el ITC-BT-18 establece: “deben ser tales que la posible pérdida de humedad del suelo, la presencia del hielo u otros efectos climáticos no aumenten la resistencia de la toma de tierra por encima del valor previsto, nunca siendo la profundidad menor a 0,5 m.”

Las tomas de tierra que se instalarán serán:

- Pararrayos.
- Centro de seccionamiento.
- Centro de transformación.
- Red de toma de tierra para la estructura.
- Laboratorio.
- Caseta de seguridad.

La instalación de toma de tierra estará formada por picas, conductores de cobre desnudos, grapas abarcón para conectar las picas, arquetas de polipropileno de 300 x 300 mm con tapa y puentes para comprobar la puesta a tierra de la instalación eléctrica. El número de componentes que se utilizarán se detalla a continuación en la siguiente tabla.

Componentes	Número de unidades
Picas	80
Grapa abarcón para conexión de pica	80
Conductor de cobre desnudo	650 m
Arqueta de polipropileno	8
Puente para comprobación de puesta a tierra de la instalación eléctrica	15

Tabla 36: Componentes de la instalación de puesta a tierra

A los electrodos se conectarán la estructura metálica de las naves y edificios, y cuando la cimentación de estos sea con zapatas de hormigón armado, los electrodos se conectarán como mínimo a uno de los hierros principales por zapata. Las uniones se llevan a cabo mediante soldadura aluminotérmica.

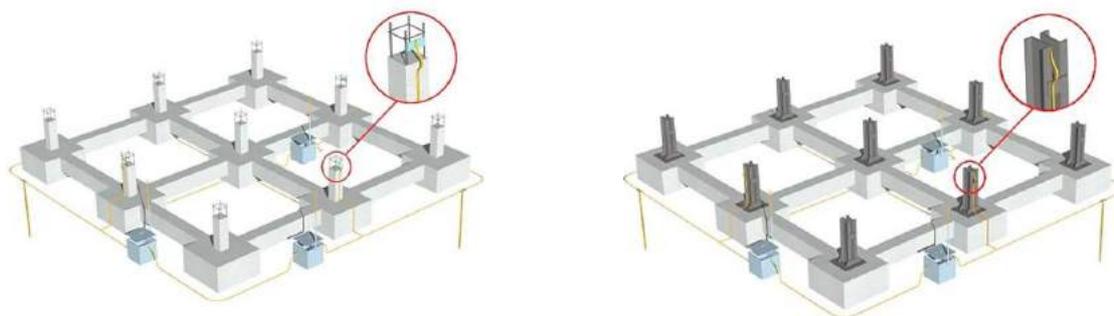


Figura 315: Red de puesta a tierra en estructura de hormigón armado (izquierda) y estructura metálica (derecha)

En el siguiente plano general de la planta se muestra la distribución de arquetas, conductores de cobre desnudo y ubicación del pararrayos:

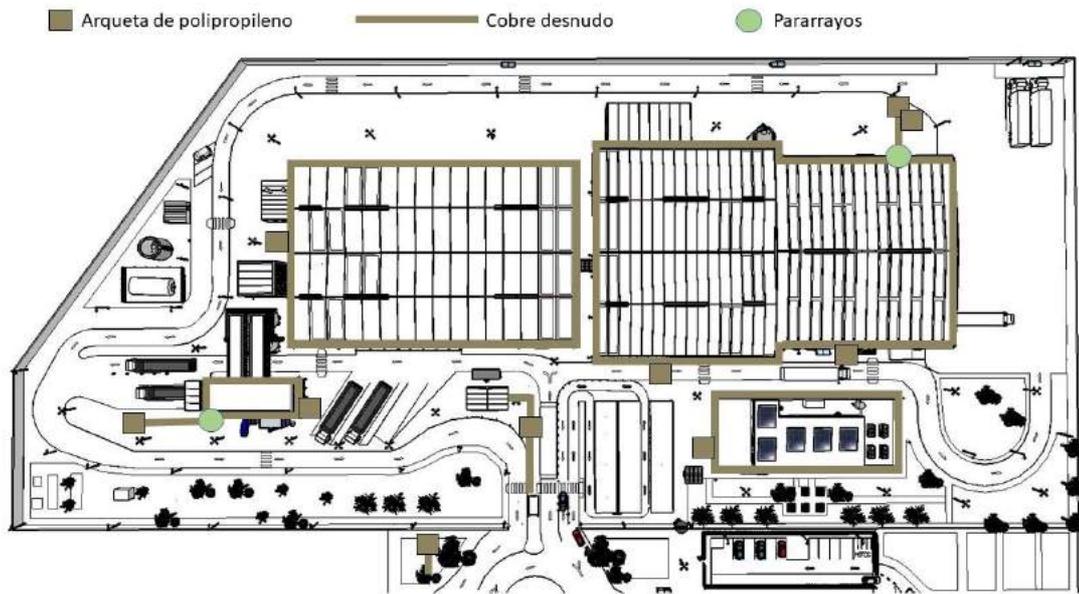


Figura 316: Distribución de puesta a tierra

#### 6.4.7 Pararrayos

De acuerdo con la norma UNE 21.186 es necesario instalar pararrayos con dispositivo de cebado en áreas de almacenamiento de productos inflamables. Por este motivo, se decide instalar un pararrayos en las inmediaciones de la nave de producción donde se encuentra el almacén de productos para los sistemas CIP y la sala de caldera. Las tomas de tierra de los PDCs y de las instalaciones que se van a proteger estarán unidas mediante un conductor equipotencial, realizándose dicha toma de tierra mediante un cable desnudo de  $50 \text{ mm}^2$  que enlazará la cabeza del pararrayos con los electrodos de la puesta a tierra.

El pararrayos que se instalará será por tanto un PDC del fabricante INGESCO. Según muestra la ficha del fabricante:

“El pararrayos INGESCO PDC permite producir una ionización de las partículas del aire alrededor de la punta del captador, que genera un trazador ascendente dirigido hacia la nube. Entre el conjunto excitador y la punta y conjunto deflector se establece una diferencia de potencia que es mayor cuando más alto es el gradiente de potencial atmosférico, es decir, cuando más inminente es la formación del rayo.”

Los beneficios que tiene el pararrayos elegido son:

- Eficacia máxima en descarga.
- Nivel de protección clasificado muy alto.
- Garantía de máxima durabilidad.
- Después de cada descarga conserva todas las propiedades técnicas iniciales.
- No necesita fuente de alimentación externa.
- Alta resistencia a la temperatura
- Alta resistencia a la intemperie y atmósferas corrosivas.
- No necesita mantenimiento

Las características del terminal aéreo de captación INGESCO PDC presenta las siguientes especificaciones técnicas:

- Dispositivo de anticipación del trazador ascendente.
- Condensador electroatmosférico.
- Acelerador atmosférico.
- Sistema de aislamiento certificado por el laboratorio de alta tensión LABELEC.
- Estructura fabricada de acero inoxidable AISI 316L.
- Dispositivo de cebado fabricado en acero inoxidable AISI 316L y poliamida PA 66.

El pararrayos se instalará sobre un mástil a una altura de 8 metros, de forma que la punta del pararrayos este situada dos metros por encima del punto más alto de la edificación que protege.



Figura 317: Pararrayos PDC. Fabricante Ingesco

#### 6.4.8 Cuadros y líneas de la instalación eléctrica

En la siguiente imagen se muestra la distribución y ubicación de los cuadros secundarios:

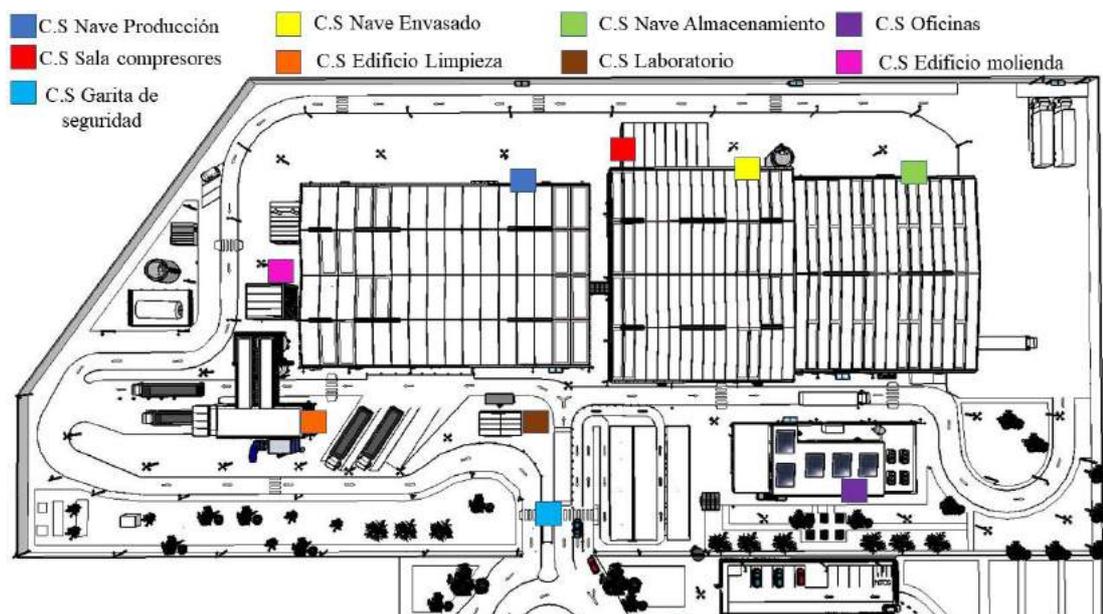


Figura 318: Distribución de cuadros secundarios

### 6.4.8.1 Cuadro general de baja tensión (CGBT)

En una instalación de baja tensión los circuitos de distribución parten del cuadro general de baja tensión, desde el cual los conductores alimentan las cargas a través de los cuadros de distribución secundaria.

En el cuadro general de baja tensión se alojarán los dispositivos de seccionamiento y protección de los circuitos de llegada (grupo electrógeno y transformador) y salida para los cuadros secundarios y tomas de electricidad.

El CGBT estará provisto de una envolvente metálica formada por paneles adosados con una doble puerta delantera de forma que la primera de ellas será transparente bloqueada por cerradura y la segunda, metálica troquelada para que los mandos de los interruptores automáticos sean accesibles. Las conexiones y partes metálicas quedarán ocultas. No será necesario acceder a la parte trasera del CGBT para reparar los elementos, debido a que se podrá acceder a todos desde la parte delantera.

Los conductores serán no propagadores de incendio ni llama y de baja emisión de humos. Las canaletas también serán no propagadores de llama.

En cuanto a los interruptores automáticos de protección de llegada y salida, serán de corte omnipolar con relés magnetotérmicos tetrapolares regulados a la intensidad máxima admisible por el circuito que va a proteger, siendo el poder de corte mínimo de 18 kA a 400 V. Los interruptores de protección de salida a cuadros secundarios contarán con dispositivos diferenciales residuales (DDR) con regulación de tiempo e intensidad de disparo. Para el control general se dispondrán contactos de estado.

Se instalarán además protección contra sobretensiones de origen atmosférico en el CGBT.

El CGBT se ubicará en la nave de producción en la esquina noroeste, junto a la sala de calderas.

### 6.4.8.2 Cuadros secundarios (CS)

Las envolventes para los CS serán para montaje empotrado construidas de chapa electrocincada con tapas de protección de material plástico aislante y autoextinguible. Tendrán doble puerta frontal, siendo la primera transparente y bloqueada mediante cerradura con llave maestra de seguridad y la segunda troquelada para dejar pasar los mandos manuales de interruptores. La envolvente tendrá un grado de protección IP acorde con los locales en las que serán instalados, siendo la altura de montaje tal que supere al rodapié existente.

Los cuadros secundarios alojarán interruptores generales manuales de corte en carga para llegadas, interruptores automáticos subgenerales de bloque con dispositivos de disparo por corriente residual (DDR) con una sensibilidad de 30 mA como protección contra contactos indirectos, y los interruptores automáticos magnetotérmicos de protección para los circuitos de salida destinados a la alimentación de puntos de luz y tomas de corriente.

Todos los circuitos de distribución se protegerán individualmente con interruptores automáticos magnetotérmicos de 2x10 A para el alumbrado y de 2x16 A para los de tomas de corriente normales. Las tomas de corriente superiores a 16 A se protegerán mediante interruptores automáticos independientes para uso exclusivo, estando dimensionados para la intensidad propia de la toma.

Los cables están fabricados de conductor flexible no propagadores de incendio y llama y baja emisión de humos. Para la conexión de los circuitos de distribución con el cuadro se dispondrán bornas de salida. Las conexiones en los cuadros se realizarán con terminales a presión.

Las intensidades nominales de los interruptores automáticos serán tales que no superarán en ningún caso la máxima corriente admisible por el conductor de mínima sección que protege el interruptor automático.

### 6.4.8.3 Líneas principales

Las líneas principales son aquellas que unen las bornas de baja tensión del transformador con el cuadro general de baja tensión. El cable que une el transformador con el CGBT será de cobre con aislamiento de polietileno reticulado, no propagador de incendio ni llama y bajo en emisión de humos,

correspondiendo con la designación R Z1-0,6/1 kV-K(AS).

Los conductores presentarán una sección tal que sean capaces de soportar sin sobrecalentamiento la potencia que se instale, la potencia de cortocircuito no debe superar 250 ° C en el tiempo de corte del interruptor automático que le protege y no se deben superar caídas de tensión que sobrepasen los permitidos por el reglamento.

La instalación de líneas principales será al aire sobre bandeja ventilada. Los cables irán clasificados por ternas con el neutro en el centro, estando separadas las ternas entre si una distancia igual a dos veces el diámetro del cable unipolar que lo forma. Los cables se dispondrán en la bandeja formando una sola capa e irán atados mediante bridas de poliamida.

Los cables se conectarán a las bornas de los interruptores mediante terminales metálicos que se unen a los cables por presión con un útil hexagonal, de forma que se garantice perfectamente la conexión sin que exista reducción aparente de la sección. Dentro de los cuadros, los cables irán fijados al bastidor.

Todos los circuitos serán identificados a través de etiquetas en las que se mostrará el destino, cuadro de procedencia, interruptor que le protege y las características del cable.

#### 6.4.8.4 Líneas de derivación a cuadros secundarios y tomas eléctricas

Estas líneas sirven para enlazar los interruptores automáticos de salida del CGBT con los cuadros secundarios de las distintas zonas y tomas eléctricas correspondientes.

Los cables de dichas líneas irán instalados en una bandeja metálica perforada sin tapa. Dichos cables serán de cobre con aislamiento de polietileno reticulado, autoextinguibles y con baja emisión de humos, correspondiendo con la designación R Z1-0,6/1 kV-K(AS). Además, los valores de las caídas de tensión máximas para la potencia de plena carga no superarán los valores indicados en el reglamento.

#### 6.4.8.5 Sección de los cables

Los distintos cables utilizados en la instalación eléctrica tendrán las siguientes secciones:

Uso del cable	Alumbrado	Tomas monofásicas	Tomas trifásicas	Acometida	Pararrayos
Sección (mm <sup>2</sup> )	1,5	2,5	10	150	150

Tabla 37: Secciones de los cables

#### 6.4.8.6 Distribución de instalación eléctrica

A continuación, se muestran los planos de cada zona indicando la ubicación y distribución de los cuadros y circuitos secundarios.

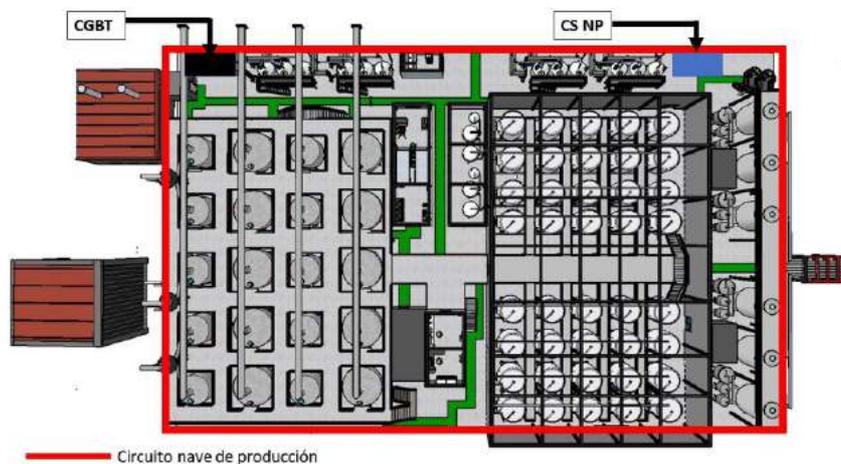


Figura 319: CS y circuito de la nave de producción

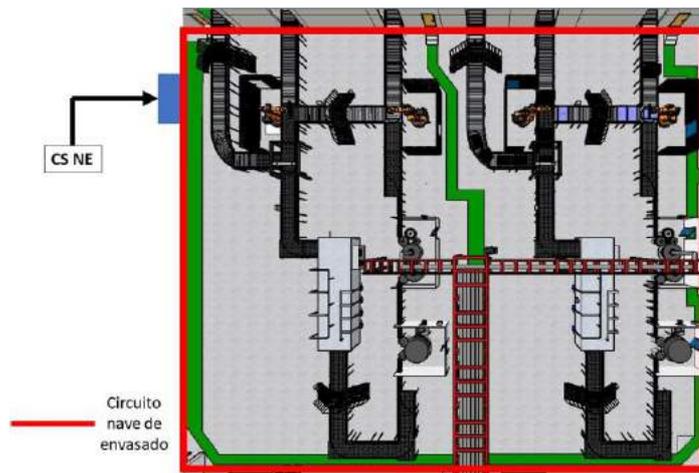


Figura 320: CS y circuito en la nave de envasado

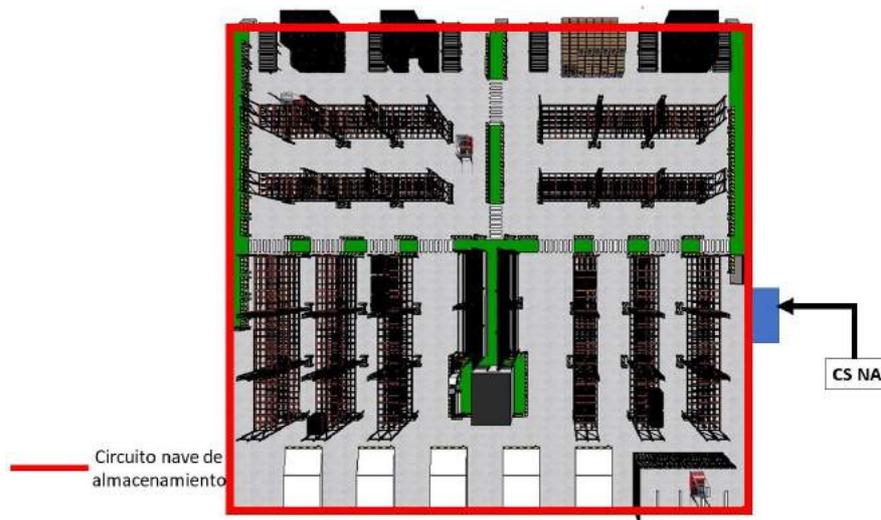


Figura 321: CS y circuito en la nave de almacenamiento

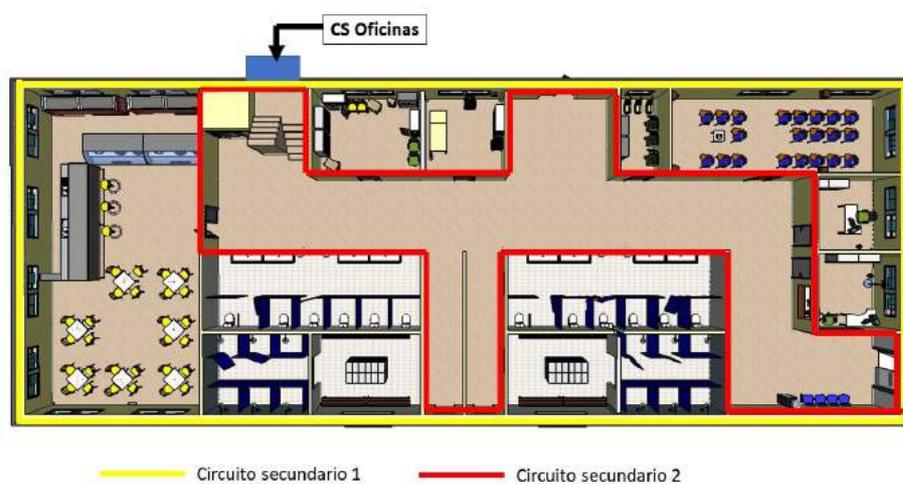


Figura 322: CS y circuitos de la planta baja del edificio de oficinas

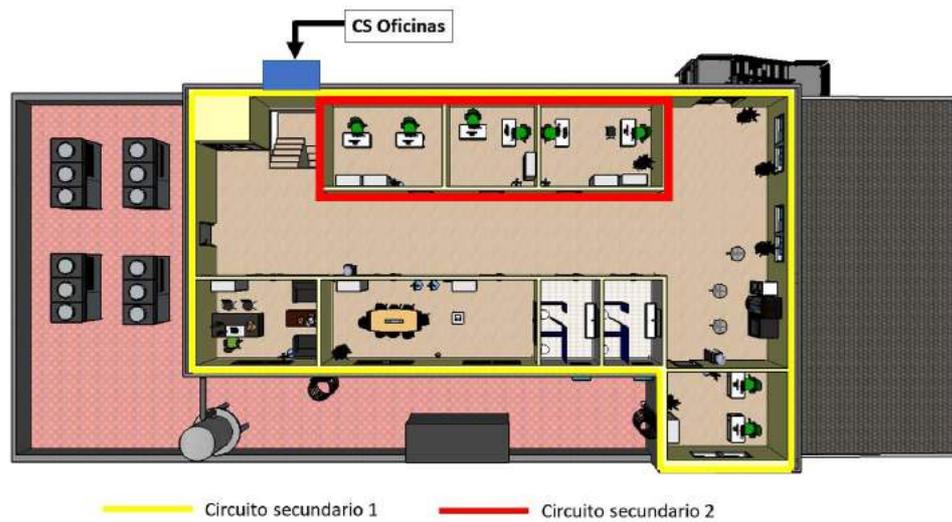


Figura 323: CS y circuitos de la primera planta del edificio de oficinas

#### 6.4.9 Alumbrado

Las iluminarias correspondientes a cada zona o nave de la planta se han diseñado de forma que quede garantizado que se pueda llevar a cabo correctamente cada una de las actividades.

Las iluminarias de la planta se organizarán por zonas de la planta de la siguiente manera:

- Alumbrado de la nave de producción
- Alumbrado de la nave de envasado
- Alumbrado de la nave de almacenamiento
- Alumbrado del edificio de recepción y limpieza de materia prima
- Alumbrado del edificio de oficinas.
- Alumbrado del parking.
- Alumbrado de exteriores.

Teniendo en cuenta la equivalencia de que 1 lux es igual a 1 lumen por metro cuadrado, se ha calculado los valores de potencia luminosa necesaria para la realización de cada una de las actividades en las diferentes zonas de la planta. A modo orientativo, las zonas en las cuales se vayan a desarrollar tareas que requieran gran esfuerzo visual (salas de reunión, oficinas, aulas) se necesitan 500 lux, mientras que en zonas donde el esfuerzo visual que se requiera no sea excesivo (zonas de tránsito, almacenes) es suficiente con 300 lux de potencia.

En cuanto a la protección, se utiliza un sistema de codificación para indicar los grados de protección proporcionados por la envolvente contra el acceso a las partes peligrosas, penetración de cuerpos sólidos extraños y penetración de agua. De acuerdo con la Guía Técnica de Aplicación para Baja Tensión- Anexo 1:

- La primera cifra característica indica la protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas, estando graduada dicha cifra de 0 a 6 de acuerdo con la siguiente tabla:

Cifra	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Indicación breve sobre los objetos que no deben penetrar en la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 50 mm	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 50 mm
2	Protegida contra los cuerpos sólidos de más de 12 mm	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 12 mm
3	Protegida contra cuerpos sólidos de más de 2,5 mm	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 2,5 mm
4	Protegida contra la penetración de polvo	Cuerpos sólidos con un diámetro superior a 1 mm
5	Protegida contra la penetración de polvo	No se impide totalmente la entrada de polvo, pero si que el polvo entre en cantidad suficiente de manera que llegue a perjudicar el funcionamiento del equipo
6	Totalmente estanco al polvo	Ninguna entrada de polvo

Tabla 38: Grados de protección indicados por la primera cifra característica. GUÍA-BT-ANEXO 1

- La segunda cifra significativa indica la protección del equipo en el interior de la envolvente contra los efectos perjudiciales debido a la penetración de agua, estando graduada de 0 a 8:

Cifra	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Indicación breve sobre los objetos que no deben penetrar en la envolvente
0	No protegida	Sin protección particular
1	Protegida contra la caída vertical de gotas de agua	La caída vertical de gotas de agua no deberá tener efectos perjudiciales
2	Protegida contra la caída de gotas de agua con una inclinación máxima de 15 °	Las caídas verticales de agua no deberán tener efectos perjudiciales cuando la envolvente esté inclinada hasta 15 ° con respecto a la posición normal
3	Protegida contra la lluvia fina	El agua de lluvia que cae en una dirección que forma un ángulo de 60 ° con la vertical, no tendrá efectos perjudiciales
4	Protegida contra las proyecciones de agua	El agua proyectada en todas direcciones sobre la envolvente no deberá tener efectos perjudiciales
5	Protegida contra los chorros de agua	El agua proyectada con la ayuda de una boquilla sobre la envolvente no deberá tener efectos perjudiciales

Cifra	Grado de protección	
	Descripción abreviada	Indicación breve sobre los objetos que no deben penetrar en la envolvente
6	Protegida contra fuertes chorros de agua	Bajo los efectos de fuertes chorros, el agua no deberá penetrar en la envolvente en cantidades perjudiciales
7	Protegida contra los efectos de la inmersión	Cuando se sumerge la envolvente en agua en unas condiciones de presión y con una duración determinada, no deberá ser posible la penetración de agua en el interior de la envolvente
8	Protegida contra la inmersión prolongada	El equipo es adecuado para la inmersión prolongada en agua

Tabla 39: Grados de protección indicados por la segunda cifra característica

- Adicionalmente, el código IP se puede complementar con una letra (A, B, C y D) para proporcionar información suplementaria sobre el grado de protección de las personas contra el acceso a partes peligrosas:

Letra	La envolvente impide la accesibilidad a partes peligrosas con:
A	Una gran superficie del cuerpo humano tal como la mano (pero no impide una penetración deliberada). Prueba con: esfera de 50 mm
B	Los dedos u objetos análogos que no excedan en una longitud de 80 mm. Prueba con: dedo de diámetro 12 mm y longitud 80 mm
C	Herramientas, alambres, etc., con un diámetro o espesor superior a 2,5 mm. Prueba con: varilla de diámetro 2,5 mm y longitud 100 mm
D	Alambres o cintas con un espesor superior a 1 mm. Prueba con: varilla de 1 mm y longitud 100 mm

Tabla 40: Descripción de la protección proporcionada por las letras adicionales. GUÍA-BT-ANEXO 1

#### 6.4.9.1 Cálculo del flujo luminoso y número de luminarias necesarias

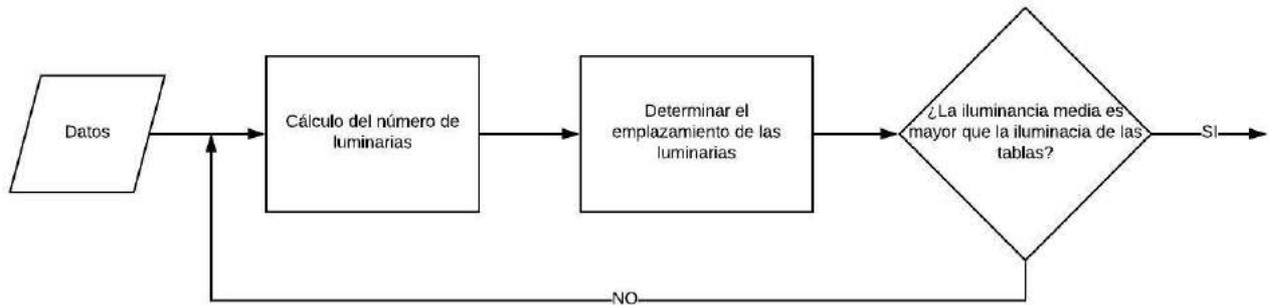
Para el cálculo de la iluminación general en instalaciones interiores el método más generalizado es el método de los lúmenes. Este método permite calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general.

El método de los lúmenes será el utilizado (salvo que se indique lo contrario en casos particulares) debido a que es muy práctico, fácil de usar y el error que se comete en los cálculos es de  $\pm 5\%$ .

Existe otro método conocido como método del punto, el cual se utiliza cuando se requiere una mayor precisión o se necesita conocer los valores de las iluminancias en puntos concretos.

### 6.4.9.1.1 Método de los lúmenes

El procedimiento utilizado en este método se puede resumir en el siguiente diagrama de flujo:



A continuación, se muestran los pasos a seguir para el cálculo lumínico de interiores:

#### a) Datos de entrada

- Nivel de iluminancia media ( $E_m$ )

El valor de la iluminancia media depende del tipo de actividad que se va a realizar en la zona objeto de estudio. La norma UNE 12464.1 recoge información sobre el nivel de iluminancia media en función de la actividad desarrollada en el establecimiento en cuestión.

A continuación, se muestran los valores de iluminancia media de los tipos de actividades que se realizarán en la planta

Tipo de actividad	$E_m$ (lux)	Tipo de actividad	$E_m$ (lux)
Oficinas		Industria	
Sala de conferencias y reuniones	500	Almacén industrial	300
Recepción	200	Fábricas en general	300
Oficinas en general	500	Salas de control	200
Lugares de pública concurrencia		Laboratorio	500
Comedor / cafetería	200		
Pasillos	100		
Aseos y vestuarios	200		

Tabla 41: Iluminancia media en los locales de la planta

- Tipo de lámpara

Para la iluminación de interiores, existen numerosos tipos de lámparas, eligiéndose aquellas cuyas características se adapten mejor a las necesidades del local.

Los tipos de lámparas más utilizados en función de la actividad que se desarrolla en el local son los siguientes:

Actividades domésticas	Actividades en oficinas	Actividades industriales
Incandescentes Fluorescentes Halógenas de baja potencia	Fluorescentes Incandescentes Halógenas LED	Fluorescentes si la altura es inferior a 6 m Lámparas de descarga a alta presión y LED si la altura es mayor a 6 m

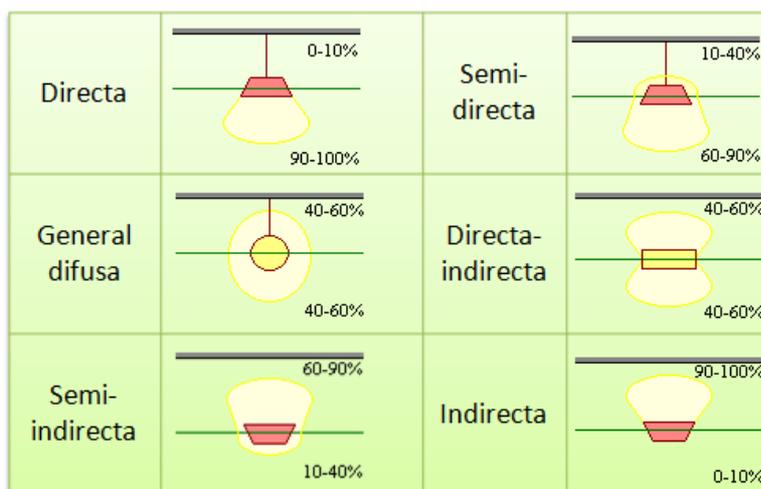
Tabla 42: Tipos de lámparas mas usadas en función de la actividad desarrollada en el local

- Sistema de alumbrado

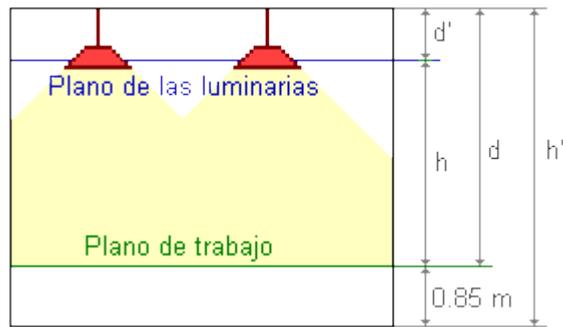
El flujo emitido por una lámpara puede incidir sobre los objetos del local de forma directa, semidirecta, difusa, semiindirecta o indirecta.

Sistema de iluminación	Reparto del flujo	Rendimiento	Nivel de deslumbramiento	Recomendaciones de uso
Directa	90-100 % suelo	Alto	Muy alto	Techos de altura media
Semidirecta	60-90 % suelo 10-40 % paredes y techo	Medio	Alto	Techos de altura media y sin lucernarios
Difusa	40-60 % suelo 40-60 % paredes y techo	Bajo	Bajo	Paredes de color claro
Semiindirecta	60-90 % paredes y techo 10-40 % suelo	Bajo	Bajo	Paredes de color claro
Indirecta	90-100 % techo	Muy bajo	Bajo	Se suele colocar en paredes

Tabla 43: Comparación de los sistemas de iluminación



- Altura de suspensión



$h$ : altura entre el plano de trabajo y las luminarias

$h'$ : altura del local

$D$ : altura del plano de trabajo al techo

$d'$ : altura entre el plano de trabajo y las luminarias

Las recomendaciones de altura de suspensión de las luminarias se muestran en la siguiente tabla:

	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (menor a 3 m)	Lo más alto posible
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	$h = \frac{4}{5} \cdot (h' - 0,85)$
Locales con iluminación indirecta	$d' \cong \frac{1}{4} \cdot (h' - 0,85)$ $h \cong \frac{3}{4} \cdot (h' - 0,85)$

Tabla 44: Cálculo de la altura de suspensión de las luminarias

- Cálculo del índice local ( $k$ )

$K$  es un número comprendido entre 1 y 10 que se calcula a partir de la geometría del local como se muestra a continuación:

	Sistema de iluminación	Índice local $k$
	Iluminación directa, semidirecta y difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
	Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0,85) \cdot (a + b)}$

- Coeficientes de reflexión

Los coeficientes de reflexión del techo, paredes y suelo se encuentran tabulados en función del tipo de material, superficie y acabado. En caso de no disponer de dicha información, puede utilizarse la siguiente tabla como referencia:

	Color	Factor de reflexión
Techo	Blanco	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1
Suelo	Claro	0,3
	Oscuro	0,1

Tabla 45: Factores de reflexión

Por defecto, los factores de reflexión que se suelen utilizar son 0,5 para los techos, 0,3 para las paredes y 0,1 para el suelo.

- Factor de utilización

El factor de utilización se calcula a partir del índice del local y los factores de reflexión, valores que se encuentran tabulados y son proporcionados por los fabricantes.

A continuación, se muestra una tabla de cálculo de factor de utilización a modo de ejemplo:

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización ( $\gamma$ )								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7			0.5			0.3		
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67	

Tabla 46: Cálculo del factor de utilización

- Factor de mantenimiento ( $f_m$ )

El factor de mantenimiento depende del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza. Generalmente se utilizan los valores de la siguiente tabla:

Estado del ambiente	Factor de mantenimiento ( $f_m$ )
Limpio	0,8
Sucio	0,6

Tabla 47: Factor de mantenimiento

- a) Cálculo del flujo luminoso total que se necesita

La siguiente expresión permite el cálculo del flujo luminoso total necesario:

$$\Phi_T = \frac{E_m \cdot S}{f_u \cdot f_m}$$

Donde:

$E_m$  : nivel de iluminación medio (en lux).

$\Phi_T$  : flujo luminoso que necesita la zona en cuestión.

$S$  : superficie a iluminar ( $m^2$ ).

$f_u$  : Coeficiente de utilización. Es la relación entre el flujo luminoso que recibe un cuerpo y el flujo emitido por la fuente luminosa. Es proporcionado por el fabricante de la luminaria.

$f_m$  : Coeficiente de mantenimiento

- b) Cálculo del número de luminarias

Una vez determinado el flujo luminoso, se puede determinar el número de luminarias de acuerdo con la siguiente expresión:

$$NL = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$

Donde:

$\Phi_T$  : flujo luminoso que necesita la zona en cuestión.

$\Phi_L$  : flujo luminoso de una lámpara.

$n$  : número de lámparas que tiene la luminaria

En caso de obtener un valor decimal, se redondeará por exceso.

- c) Emplazamiento de las luminarias

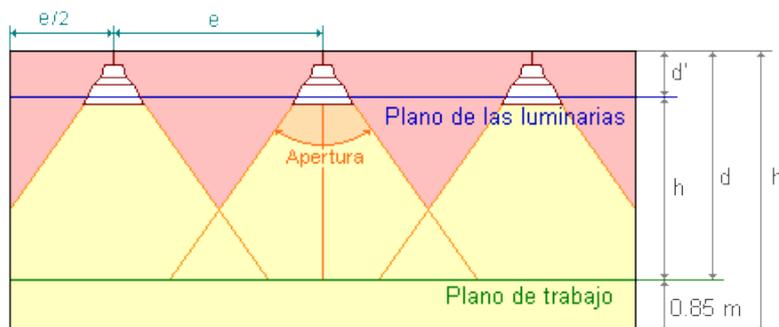
Una vez calculado el número de luminarias, es necesario distribuirlas en planta.

Para calcular la distribución de las luminarias en locales rectangulares se utilizarán las siguientes expresiones:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{NL}{\text{largo}} \cdot \text{ancho}}$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \cdot \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}}\right)$$

La distancia máxima de separación entre las luminarias depende del ángulo de apertura del haz de luz y de la altura de las luminarias sobre el plano de trabajo.



Para simplificación de cálculos se utilizará la siguiente tabla:

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
Intensiva	> 10 m	$e \leq 1,2 h$
Extensiva	6 - 10 m	$e \leq 1,5 h$
Semiextensiva	< 6 m	
Nota: la distancia entre la pared y las luminarias será de $e / 2$		

Tabla 48: Distancia entre luminarias

d) Comprobación de los resultados

Una vez realizados todos los cálculos, se procederá a comprobarlos de manera que se cumpla:

$$E_m = \frac{NL \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} \geq E_{m(\text{tablas})}$$

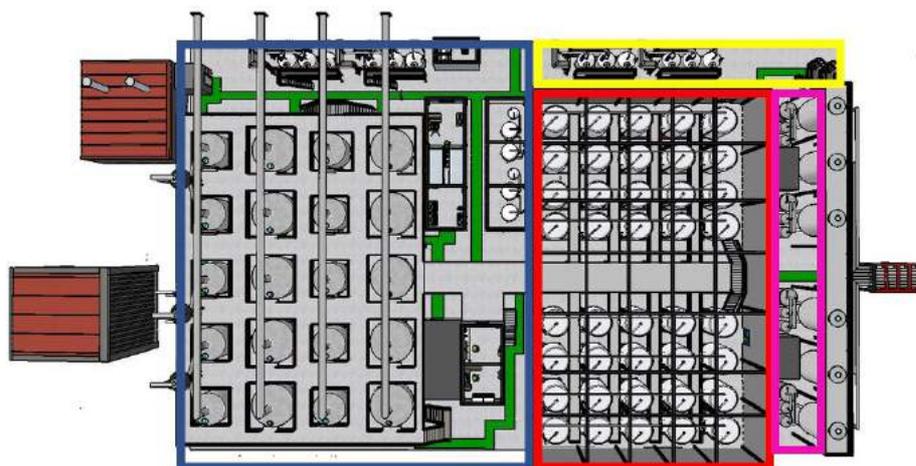
### 6.4.9.2 Cálculo lumínico de los edificios y naves de la planta

En este punto se determinará el tipo y número de luminarias, calculadas a partir del método de los lúmenes.

En algunos casos, se llevarán a cabo simplificaciones para obtener con mayor precisión y sencillez los resultados lumínicos.

- Nave de producción

Para la nave de producción se hará una simplificación, de forma que la superficie total se dividirá en cuatro áreas distintas. Con esto se conseguirá obtener áreas rectangulares para facilitar el cálculo del emplazamiento de las luminarias. En el siguiente plano se muestra las cuatro áreas definidas:



a) Zona 1 (azul)

Parámetro		Valor
Dimensiones del local (m)		33 x 40
Altura del local (m)		9
$E_m$ (tablas) (lux)		300
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara suspendida LED / directa
Altura de suspensión (m)		6,5
Índice del local k		2,78
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1
Factor de utilización $f_u$		0,93
Factor de mantenimiento $f_m$		0,8
Flujo luminoso total $\Phi_T$ (lúmenes)		532.258
Número total de luminarias		3'
Número de luminarias a lo largo		6
Número de luminarias a lo ancho		5
Distancia entre luminarias / luminaria-pared (m)		6,7 / 3,3
$E_m$ (lux)		314 (cumple)

Tabla 49: Cálculo lumínico zona 1 de la nave de producción

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
SIMON	Modelo 806	18.600



## b) Zona 2 (amarillo)

Parámetro		Valor
Dimensiones del local (m)		30 x 6
Altura del local (m)		9
$E_m$ (tablas) (lux)		300
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara suspendida LED / directa
Altura de suspensión (m)		6,5
Índice del local k		0,77
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1
Factor de utilización $f_u$		0,69
Factor de mantenimiento $f_m$		0,80
Flujo luminoso total $\Phi_T$ (lúmenes)		97.826
Número total de luminarias		6
Número de luminarias a lo largo		6
Número de luminarias a lo ancho		1
Distancia entre luminarias / luminaria-pared (m)		5 / 2,5
$E_m$ (lux)		342 (cumple)

Tabla 50: Cálculo lumínico zona 2 de la nave de producción

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
SIMON	Modelo 806	18.600



## c) Zona 3 (rojo)

Parámetro		Valor
Dimensiones del local (m)		34 x 21
Altura del local (m)		8
$E_m$ (tablas) (lux)		100
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara suspendida LED / directa
Altura de suspensión (m)		5,7
Índice del local k		2,6
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1
Factor de utilización $f_u$		0,92
Factor de mantenimiento $f_m$		0,80
Flujo luminoso total $\Phi_T$ (lúmenes)		97.010
Número total de luminarias		9
Número de luminarias a lo largo		3
Número de luminarias a lo ancho		3
Distancia entre luminarias / luminaria-pared (m)		7 / 3,5
$E_m$ (lux)		106 (cumple)

Tabla 51: Cálculo lumínico zona 3 de la nave de producción

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
SIMON	Modelo 816	11.800



## d) Zona 4 (violeta)

Parámetro		Valor
Dimensiones del local (m)		34 x 4,5
Altura del local (m)		9
$E_m$ (tablas) (lux)		300
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara suspendida LED / directa
Altura de suspensión (m)		6,5
Índice del local k		0,61
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1
Factor de utilización $f_u$		0,63
Factor de mantenimiento $f_m$		0,80
Flujo luminoso total $\Phi_T$ (lúmenes)		91.071
Número total de luminarias		5
Número de luminarias a lo largo		5
Número de luminarias a lo ancho		1
Distancia entre luminarias / luminaria-pared (m)		6,8 / 3,4
$E_m$ (lux)		306 (cumple)

Tabla 52: Cálculo lumínico zona 4 de la nave de producción

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
SIMON	Modelo 806	18.600



En la plataforma de los depósitos buffer, puesto que la altura hasta la cubierta es de 2,5 m, no se utilizarán luminarias suspendidas. Se utilizarán en su lugar 5 luminarias de pie colocadas entre cada pareja de depósitos. Las características de dichas luminarias se muestran en la siguiente tabla.

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
Philips	FS484F-LED45S	4.500



- Nave de envasado

El cálculo lumínico de la nave de envasado es más sencillo debido a que se trata de un espacio rectangular totalmente diáfano.

Parámetro		Valor
Dimensiones del local (m)		47 x 40
Altura del local (m)		9
$E_m$ (tablas) (lux)		300
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara suspendida LED / directa
Altura de suspensión (m)		6,5
Índice del local k		3,32
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1
Factor de utilización $f_u$		0,95
Factor de mantenimiento $f_m$		0,80
Flujo luminoso total $\Phi_T$ (lúmenes)		742.105
Número total de luminarias		40
Número de luminarias a lo largo		8
Número de luminarias a lo ancho		5
Distancia entre luminarias / luminaria-pared (m)		5,9 / 2,9
$E_m$ (lux)		301 (cumple)

Tabla 53: Cálculo lumínico de la nave de envasado

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
SIMON	Modelo 806	18.600



- Nave de almacenamiento

La nave de almacenamiento se tratará como un espacio rectangular diáfano de dimensiones 43 x 40 m. Se prestará especial atención en colocar las iluminarias en los pasillos del almacén.

Parámetro		Valor
Dimensiones del local (m)		43 x 40
Altura del local (m)		8
$E_m$ (tablas) (lux)		300
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara suspendida LED / directa
Altura de suspensión (m)		5,7
Índice del local k		3,63
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1
Factor de utilización $f_u$		0,96
Factor de mantenimiento $f_m$		0,80
Flujo luminoso total $\Phi_T$ (lúmenes)		734.375
Número total de luminarias		40
Número de luminarias a lo largo		8
Número de luminarias a lo ancho		5
Distancia entre luminarias / luminaria-pared (m)		5,3 / 2,7
$E_m$ (lux)		332 (cumple)

Tabla 54: Cálculo lumínico de la nave de almacenamiento

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
SIMON	Modelo 806	18.600



- Edificio de oficinas

Para el edificio de oficinas se calculará las luminarias particularizando para la sala o local en cuestión. Para simplificar la tabla donde se muestra toda la información sobre la iluminación interior, se tendrá en cuenta que se mantiene para todos los locales la altura de suspensión, el tipo de lámpara y los coeficientes de reflexión.

Parámetro		Valor
Altura (m)		3
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara empotrada LED / directa
Altura de suspensión		3
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1

Tabla 55: Características comunes de las salas del edificio de oficinas

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales	Formato
SIMON	720 Advance	3.400	Cuadrado o rectangular (según convenga)

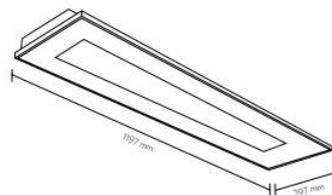
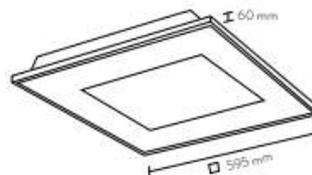


Figura 324: Luminarias utilizadas en el edificio de oficinas

Sala	Dim. (m)	$E_m(\text{tablas})$ (lux)	k	$f_u$	$f_m$	$\Phi_T$ (lum)	NL	$N_{\text{ancho}}$	$N_{\text{largo}}$	$E_m$ (lux)
Cafetería	15 x 8	200	1,74	0,48	0,8	62.500	18	3	6	201
Aseos planta baja	10 x 3,5	200	0,86	0,33	0,8	26.515	8	2	4	205
Vestuarios	5 x 3,5	100	0,69	0,28	0,8	7.812	3	1	3	130
Duchas	5 x 3,5	100	0,69	0,28	0,8	7.812	3	1	3	130
Almacén	5 x 4	100	0,74	0,3	0,8	8.333	3	1	3	122
Cuarto primeros auxilios	4 x 4	200	0,67	0,28	0,8	14.285	4	2	2	201
Cuarto de limpieza	4 x 2	100	0,44	0,26	0,8	3.846	2	1	2	177
Sala de conferencias	10 x 4	500	0,95	0,37	0,8	67.567	20	2	10	503
Dpto. de administración	4 x 3,5	500	0,62	0,27	0,8	32.407	9	3	3	502
Recepción y secretaría	4 x 3,5	200	0,62	0,27	0,8	12.962	4	2	2	209
Dpto. de informática	5 x 3,7	500	0,71	0,29	0,8	39.870	12	3	4	511
Dpto. de producción	3,7 x 3,7	500	0,62	0,27	0,8	31.689	9	3	3	501
Dpto. de ingeniería	5 x 3,7	500	0,71	0,29	0,8	39.870	12	3	4	511
Dirección	5 x 3,5	500	0,71	0,29	0,8	37.715	12	3	4	540
Sala de reuniones	9 x 3,5	500	0,84	0,33	0,8	59.659	18	3	6	513
Aseos primera planta	3,5 x 2,5	200	0,49	0,26	0,8	8.413	3	1	3	202
Dpto. de compras, ventas y marketing	5 x 3,5	500	0,69	0,28	0,8	39.062	12	3	4	522
Zona de descanso	6 x 5	100	0,91	0,35	0,8	10.714	4	2	2	137
Pasillos planta baja	28 x 3,5	100	1,04	0,40	0,8	30.625	10	1	10	111
Pasillos primera planta	19 x 3,5	100	0,99	0,39	0,8	21.314	7	1	7	112

Tabla 56: Cálculo lumínico del edificio de oficinas

- Edificio de descarga y limpieza

El edificio de descarga y limpieza, al estar clasificado como zona ATEX, será necesario utilizar unas luminarias específicas diseñadas para este ambiente.

a) Plantas del edificio principal

Parámetro		Valor
Dimensiones del local (m)		18 x 7,5
Altura del local (m)		3,5
$E_m$ (tablas) (lux)		200
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara suspendida LED / directa
Altura de suspensión (m)		3
Índice del local k		1,76
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1
Factor de utilización $f_u$		0,87
Factor de mantenimiento $f_m$		0,80
Flujo luminoso total $\Phi_T$ (lúmenes)		38.793
Número total de luminarias		10
Número de luminarias a lo largo		5
Número de luminarias a lo ancho		2
Distancia entre luminarias / luminaria-pared (m)		3,6 / 1,8
$E_m$ (lux)		237 (cumple)

Tabla 57: Cálculo lumínico del edificio principal de limpieza

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
SICCIS	PSF 28 LED / 1	4.600



## b) Edificio secundario

Parámetro		Valor
Dimensiones del local (m)		15 x 3,5
Altura del local (m)		2,5
$E_m$ (tablas) (lux)		200
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara suspendida LED / directa
Altura de suspensión (m)		2,3
Índice del local k		1,23
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1
Factor de utilización $f_u$		0,81
Factor de mantenimiento $f_m$		0,80
Flujo luminoso total $\Phi_T$ (lúmenes)		16.203
Número total de luminarias		4
Número de luminarias a lo largo		4
Número de luminarias a lo ancho		1
Distancia entre luminarias / luminaria-pared (m)		3,8 / 1,9
$E_m$ (lux)		227 (cumple)

Tabla 58: Cálculo lumínico del edificio secundario de limpieza

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
SICCIS	PSF 28 LED / 1	4.600



- Laboratorio

El laboratorio utilizará un tipo de luminaria específica, ya que se considerará que tiene las características de “sala limpia”. A continuación, se muestra el cálculo lumínico interior del laboratorio.

Parámetro		Valor
Dimensiones del local (m)		7 x 5
Altura del local (m)		3,5
$E_m$ (tablas) (lux)		500
Tipo de lámpara / sistema de alumbrado		Lámpara suspendida LED / directa
Altura de suspensión (m)		3
Índice del local k		0,97
Coeficientes de reflexión	Techo	0,5
	Pared	0,3
	Suelo	0,1
Factor de utilización $f_u$		0,67
Factor de mantenimiento $f_m$		0,80
Flujo luminoso total $\Phi_T$ (lúmenes)		32.649
Número total de luminarias		8
Número de luminarias a lo largo		4
Número de luminarias a lo ancho		2
Distancia entre luminarias / luminaria-pared (m)		1,8 / 0,9
$E_m$ (lux)		588 (cumple)

Tabla 59: Cálculo lumínico del laboratorio

Fabricante	Luminaria utilizada	Lúmenes totales
PHILIPIS	CR434B LED 48	4.800



A continuación, se muestran las tablas que se han usado para el cálculo del factor de utilización facilitadas por los fabricantes:

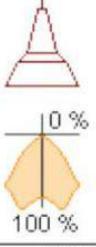
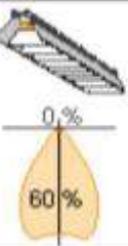
Local	Tabla de cálculo del factor de utilización													
Nave de producción	Tipo de aparato de alumbrado 	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
Nave de envasado			Factor de reflexión del techo											
Nave de almacenamiento			Factor de reflexión de las paredes											
Edificio de descarga y limpieza			0.8	0.7	0.5	0.3	0	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3
	0.6	.66	.62	.60	.66	.62	.60	.65	.62	.59	.62	.59	.58	
	0.8	.75	.71	.68	.75	.71	.68	.74	.71	.68	.70	.68	.67	
	1.0	.80	.76	.73	.80	.76	.73	.79	.76	.73	.76	.73	.72	
	1.25	.85	.81	.80	.85	.81	.80	.84	.81	.78	.80	.78	.77	
	1.5	.88	.86	.82	.88	.85	.82	.88	.84	.82	.84	.82	.81	
	2.0	.94	.90	.88	.93	.90	.88	.92	.89	.87	.88	.87	.85	
	2.5	.96	.93	.92	.96	.93	.91	.94	.92	.90	.91	.89	.88	
	3.0	.99	.95	.94	.98	.95	.93	.96	.94	.92	.93	.91	.89	
	$D_{max} = 0.7 H_m$	4.0	1.01	.99	.96	1.00	.98	.96	.98	.97	.95	.95	.94	.92
$f_m$ .70 .75 .80	5.0	1.02	1.01	.99	1.01	1.00	.98	1.00	.98	.97	.97	.96	.94	
Oficinas	Tipo de aparato de alumbrado 	Índice del local k	Factor de utilización (η)											
			Factor de reflexión del techo											
			Factor de reflexión de las paredes											
			0.8	0.7	0.5	0.3	0	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3
	0.6	.30	.26	.25	.29	.26	.23	.29	.26	.23	.25	.23	.22	
	0.8	.36	.32	.29	.35	.32	.29	.35	.31	.29	.31	.29	.27	
	1.0	.43	.40	.37	.43	.40	.37	.42	.39	.37	.39	.37	.36	
	1.25	.47	.44	.42	.47	.44	.41	.46	.43	.41	.43	.41	.40	
	1.5	.50	.47	.44	.50	.47	.44	.49	.46	.44	.46	.44	.43	
	2.0	.53	.50	.49	.53	.50	.48	.51	.50	.48	.49	.47	.46	
2.5	.55	.53	.51	.55	.53	.51	.54	.52	.50	.51	.50	.49		
3.0	.57	.54	.53	.56	.54	.52	.55	.53	.51	.52	.51	.50		
$D_{max} = 0.8 H_m$	4.0	.59	.57	.55	.58	.56	.55	.56	.55	.54	.54	.53	.52	
$f_m$ .65 .70 .75	5.0	.60	.58	.57	.59	.57	.56	.57	.56	.56	.56	.54	.53	
Laboratorio	Reflectances for ceiling, walls and working plane (CIE)													
	Room Index k	0.80	0.80	0.70	0.70	0.70	0.70	0.50	0.50	0.30	0.30	0.00		
		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.30	0.30	0.10	0.30	0.10	0.00		
		0.30	0.10	0.30	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00		
	0.60	0.62	0.59	0.62	0.60	0.59	0.53	0.53	0.49	0.52	0.49	0.47		
	0.80	0.73	0.68	0.72	0.69	0.68	0.62	0.61	0.57	0.61	0.57	0.55		
	1.00	0.81	0.75	0.80	0.77	0.74	0.69	0.68	0.64	0.68	0.64	0.62		
	1.25	0.89	0.81	0.87	0.84	0.80	0.75	0.75	0.71	0.74	0.71	0.69		
	1.50	0.94	0.85	0.92	0.88	0.85	0.80	0.79	0.76	0.78	0.75	0.73		
	2.00	1.03	0.92	1.00	0.95	0.91	0.87	0.86	0.83	0.85	0.82	0.80		
2.50	1.08	0.95	1.05	1.00	0.95	0.91	0.90	0.88	0.89	0.87	0.85			
3.00	1.12	0.98	1.09	1.03	0.97	0.94	0.93	0.91	0.92	0.90	0.88			
4.00	1.16	1.01	1.13	1.06	1.00	0.98	0.96	0.94	0.95	0.93	0.91			
5.00	1.19	1.02	1.16	1.08	1.01	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93			

Tabla 60: Tablas de cálculo del factor de utilización

## 6.5 Protección contra incendios (PCI)

Para establecer y definir los requisitos que deben satisfacer y las condiciones que deben cumplir los establecimientos e instalaciones industriales para su seguridad en caso de incendio, prevenir su aparición y dar la respuesta adecuada en caso de producirse, se ha utilizado el RD 2267/2004.

En el caso del edificio de oficinas, se aplicará el Código Técnico de la Edificación (CTE) “Seguridad en caso de incendio” (SI).

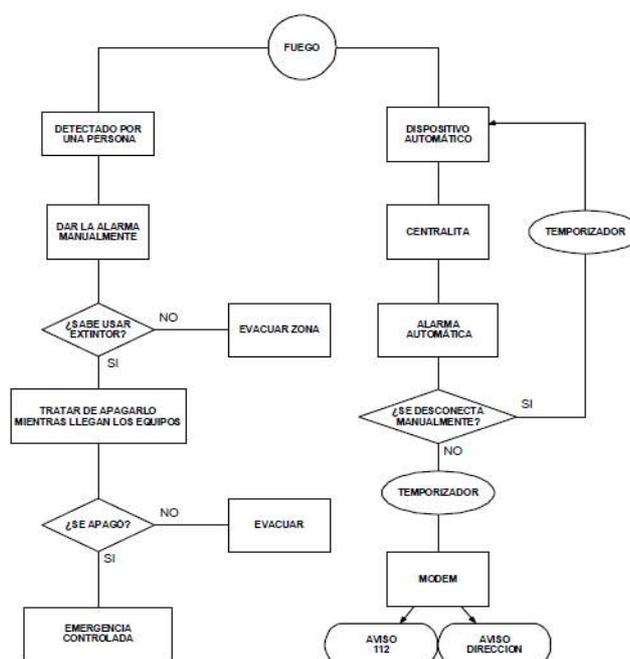
Es conveniente realizar una distinción entre las actividades para prevenir un incendio y las actividades de respuesta al incendio en caso de que se produzca. Las primeras tienen como objetivo limitar la presencia del riesgo de fuego mientras que las segundas tienen como finalidad controlar y tratar de extinguir el incendio de forma que se minimicen los daños o pérdidas que pueda generar.

En cuanto al ámbito de aplicación, el RD 2267/2004 es aplicable a:

- Industrias, considerándose como industrias las actividades que tienen como objetivo obtener, reparar, mantener o transformar productos industriales, así como su envasado y embalaje. Por tanto, queda justificada la aplicación del RD 2267/2004 a las naves de producción y envasado de la planta.
- Almacenes industriales, entendiéndose como tal aquellos recintos cubiertos o al aire libre que se dediquen de forma fija o temporal exclusivamente a albergar productos del tipo que sea. La nave de almacenamiento de la planta cumple con estos requisitos para poder aplicar el RD 2267/2004.

Por otro lado, los titulares del establecimiento industrial deben solicitar la inspección de sus instalaciones, en las cuales se comprobará que no hay cambios en la actividad industrial ni se han llevado a cabo ampliaciones, que se mantiene el riesgo intrínseco y la tipología de los sectores y que los equipos/sistemas de protección contra incendios siguen siendo válidos y se le ha ido aplicando operaciones de mantenimiento. La periodicidad de dichas inspecciones dependerá del riesgo intrínseco, de forma que se llevará a cabo cada cinco años (riesgo bajo), tres años (riesgo medio) o cada dos años (riesgo alto).

En caso de que se detecte un fuego, se seguirán los pasos reflejados en el siguiente diagrama de flujo:



### 6.5.1 Caracterización de los establecimientos industriales.

Los establecimientos industriales se pueden clasificar según su configuración de la siguiente manera:

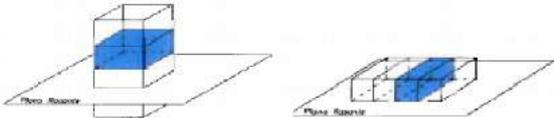
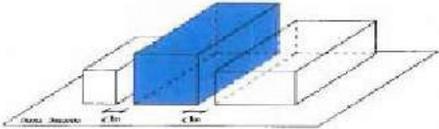
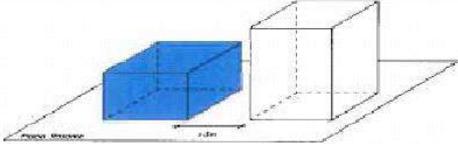
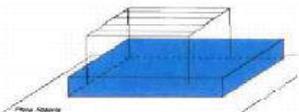
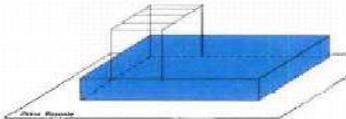
Tipo	Características	Configuración física
A	El establecimiento industrial forma parte de un edificio en el que existen otros establecimientos	
B	El establecimiento industrial ocupa un edificio completo que esta adosado a otros edificios, siendo la distancia de separación igual o inferior a tres metros.	
C	El establecimiento industrial ocupa un edificio completo, siendo la distancia al edificio más próximo superior a tres metros. Dicha distancia debe estar libre de combustibles.	
D	El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, totalmente cubierto o no, y cuyas fachadas carecen de cerramiento lateral.	
E	El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, parcialmente cubierto o no, y algunas de sus fachadas carecen de cerramiento lateral.	

Tabla 61: Caracterización de los edificios industriales

Sector	Configuración
Nave de producción	B
Nave de envasado	C
Nave de almacenamiento	C
Edificio de descarga y limpieza	C
Sala de molienda	C
Laboratorio	C
Silos	D
Aparcamientos	E
Electricidad	C
Oficinas	C

Tabla 62: Configuración de los sectores incendio de la planta

## 6.5.2 Evaluación del nivel de riesgo intrínseco

Para determinar en primer lugar la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector de incendio, se hará una distinción entre actividades de producción, transformación y reparación y actividades de almacenamiento.

- Actividades de producción, transformación y reparación:

$$Q_S = \frac{\sum_1^i q_{si} \cdot S_i \cdot C_i}{A} \cdot R_a \quad \left( \text{en } \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \text{ ó } \frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2} \right)$$

Donde:

$q_{si}$  : Densidad de carga de fuego de cada zona con proceso diferente que se realizan en el sector ( $\text{MJ} / \text{m}^2$  o  $\text{Mcal} / \text{m}^2$ ).

$S_i$  : Superficie de cada zona con proceso diferente y  $q_{si}$  diferente ( $\text{m}^2$ ).

$C_i$  : Coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad de cada uno de los combustibles que existe en el sector de incendio.

$A$  : Superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio ( $\text{m}^2$ ).

$R_a$  : Coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc.

- Actividades de almacenamiento:

$$Q_S = \frac{\sum_1^i q_{vi} \cdot C_i \cdot h_i \cdot s_i}{A} \cdot R_a \quad \left( \text{en } \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \text{ ó } \frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2} \right)$$

Donde:

$q_{vi}$  : Carga de fuego aportada por cada  $\text{m}^3$  de cada zona con distinto tipo de almacenamiento existente en el sector ( $\text{MJ} / \text{m}^3$  o  $\text{Mcal} / \text{m}^3$ ).

$h_i$  : Altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles (m).

$s_i$  : Superficie ocupada en planta por cada zona con distinto tipo de almacenamiento en el sector de incendio ( $\text{m}^2$ ).

$C_i$ ,  $R_a$  y  $A$  tienen la misma definición que la expuesta en el caso anterior.

Los valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad  $C_i$ , se deducen de la tabla 1.1 del catálogo CEA de productos y mercancías, de forma que los valores 1 y 2 del coeficiente GG equivalen a  $C_i = 1,60$ , los valores 3 y 4 equivalen a  $C_i = 1,30$  y los valores 5 y 6 equivalen a  $C_i = 1,00$ .

Los valores del coeficiente de peligrosidad por activación  $R_a$  se obtiene de la tabla 1.2 del RD 2267/2004.

Los valores de la densidad de carga de fuego media  $q_{si}$  y los valores de carga de fuego por metro cúbico  $q_{vi}$  pueden obtenerse de la tabla 1.2 del RD 2267/2004.

Debido a que la planta sujeta a estudio está constituida por varios sectores, el cálculo de la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida del edificio industrial se ha realizado según la siguiente expresión:

$$Q_e = \frac{\sum_1^i Q_{si} \cdot A_i}{A_i} \quad \left( \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \text{ ó } \frac{\text{Mcal}}{\text{m}^2} \right)$$

Donde:

$Q_e$  : Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del edificio industrial ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  ó  $\text{MJ}/\text{m}^2$ ).

$Q_{si}$  : Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida de cada uno de los sectores de incendio que componen el edificio industrial ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  ó  $\text{MJ}/\text{m}^2$ ).

$A_i$  : Superficie construida de cada uno de los sectores o áreas de incendio que componen el edificio industrial ( $\text{m}^2$ ).

Una vez calculada la densidad de carga de fuego ponderada y corregida, el nivel de riesgo intrínseco se deduce de la tabla 1.3 del RD 2267/2004.

Nivel de riesgo intrínseco		Densidad de carga de fuego	
		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	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1275 < Q_s \leq 1700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1700 < Q_s \leq 3400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1600$	$3400 < Q_s \leq 6800$
	7	$1600 < Q_s \leq 3200$	$6800 < Q_s \leq 13600$
	8	$3200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

Tabla 63: Densidad de carga de fuego admisible en función del nivel de riesgo intrínseco

En la tabla que se muestra a continuación se recoge toda la información requerida para determinar el nivel de riesgo intrínseco:

Sector 1								
Edificio		$C_i$	$R_a$	$q_{si}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$q_{vi}$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$S_i$ (m <sup>3</sup> )	$Q_{si}$	Riesgo intrínseco
Nave de producción	Almacén lúpulo	1,3	2	-	1700	50,8	89,1	Bajo 1
	Sala prop. levadura	1,3	1,5	800	-	50,8	31,4	Bajo 1
	Almacén sust.CIP	1,3	1,5	-	300	34,5	12	Bajo 1
	Sala fermentadores	1,6	1,5	500	-	714	340	Bajo 1
	Resto	1,3	1,5	500	-	1.670	646	Bajo 2
	GLOBAL					2.520	527	Bajo 2
$Q_{si \text{ TOTAL}}(\text{MJ}/\text{m}^2)$		527						
Riesgo intrínseco		Bajo 2						
Configuración		C						

Sector 2							
Edificio	$C_i$	$R_a$	$q_{si}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$q_{vi}$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$S_i$	$Q_{si}$	Riesgo intrínseco
Nave de envasado	1,3	1,5	800	-	1.880	1.560	Medio 4
Nave de almacenamiento	1,3	1,5	-	800	1.720	9.360	Alto 7
$Q_{si\ TOTAL}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	5.286						
Riesgo intrínseco	Alto 6						
Configuración	C						
Sector 3							
Edificio	$C_i$	$R_a$	$q_{si}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$q_{vi}$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$S_i$	$Q_{si}$	Riesgo intrínseco
Parking	1,3	1,5	200	-	625	390	Bajo 1
$Q_{si\ TOTAL}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	390						
Riesgo intrínseco	Bajo 1						
Configuración	E						
Sector 4							
Edificio	$C_i$	$R_a$	$q_{si}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$q_{vi}$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$S_i$	$Q_{si}$	Riesgo intrínseco
Electricidad	1,3	1,5	300	-	6	311,2	Bajo 1
$Q_{si\ TOTAL}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	31,2						
Riesgo intrínseco	Bajo 1						
Configuración	C						
Sector 5							
Edificio	$C_i$	$R_a$	$q_{si}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$q_{vi}$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$S_i$	$Q_{si}$	Riesgo intrínseco
Silos	1,6	2	-	13.400	121	343.040	Alto 8
$Q_{si\ TOTAL}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	343.040						
Riesgo intrínseco	Alto 8						
Configuración	E						

Tabla 64: Análisis completo de los sectores de incendio 1-5

Sector 6							
Edificio	$C_i$	$R_a$	$q_{si}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$q_{vi}$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$S_i$	$Q_{si}$	Riesgo intrínseco
Laboratorio	1,3	1	200	-	12	260	Bajo 1
$Q_{si\ TOTAL}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	260						
Riesgo intrínseco	Bajo 1						
Configuración	C						
Sector 7							
Edificio	$C_i$	$R_a$	$q_{si}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$q_{vi}$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$S_i$	$Q_{si}$	Riesgo intrínseco
Descarga y limpieza	1,6	1,5	600	-	161	1.440	Medio 4
$Q_{si\ TOTAL}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	1.440						
Riesgo intrínseco	Medio 4						
Configuración	C						
Sector 8							
Edificio	$C_i$	$R_a$	$q_{si}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$q_{vi}$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$S_i$	$Q_{si}$	Riesgo intrínseco
Oficinas	1	1	600	-	615	600	Bajo 2
$Q_{si\ TOTAL}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	600						
Riesgo intrínseco	Bajo 2						
Configuración	C						
Sector 9							
Edificio	$C_i$	$R_a$	$q_{si}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	$q_{vi}$ (MJ/m <sup>3</sup> )	$S_i$	$Q_{si}$	Riesgo intrínseco
Molienda	1,6	1,5	600	-	54	1.440	Medio 4
$Q_{si\ TOTAL}$ (MJ/m <sup>2</sup> )	1.440						
Riesgo intrínseco	Medio 4						
Configuración	C						

Tabla 65: Análisis completo de los sectores de incendio 6-9

La configuración del establecimiento se ha elegido de acuerdo a la tabla 2.1. del RD 2267/2004, en la cual se establece la máxima superficie construida admisible de cada sector de incendio.

Riesgo intrínseco del sector incendio	Configuración del establecimiento		
	Tipo A (m <sup>2</sup> )	Tipo B (m <sup>2</sup> )	Tipo C (m <sup>2</sup> )
BAJO	(1) (2) (3)	(2) (3) (5)	(3) (4)
	1.000	6.000	SIN LÍMITE
2	1.000	4.000	6.000
MEDIO	(2)-(3)	(2)-(3)	(3) (4)
	3	500	3.500
	4	400	3.000
	5	300	2.500
ALTO	NO ADMITIDO	(3)	(3) (4)
		2.000	3.000
		1.500	2.500
		NO ADMITIDO	2.000

Tabla 66: Máxima superficie construida admisible de cada sector de incendio. RD 2267/2004

A la tabla anterior, cabe añadir una serie de notas que afecta de forma considerable al objeto de proyecto:

- En caso de que se instalen rociadores automáticos que no sean exigidos por el reglamento, las máximas superficies construidas admisibles de la tabla anterior podrán multiplicarse por 2.
- En las configuraciones tipo C, el sector incendios puede tener cualquier superficie siempre que el sector completo cuente con una instalación automática de extinción y la distancia a los límites de parcelas en las que sea posible edificar sea superior a 10 metros.

En el caso del sector 2, formado por la nave de envasado y almacenamiento, puesto que la superficie total construida es de 3600 m<sup>2</sup> y riesgo alto nivel 6, se pueden plantear dos alternativas:

- Sectorizar el sector de incendio
- Instalar rociadores automáticos en las naves, de forma que aumente la máxima superficie construida admisible y pase de 3000 a 6000 m<sup>2</sup>.

Se ha tomado la decisión de instalar rociadores automáticos en ambas naves.

### 6.5.3 Requisitos constructivos de los establecimientos

- Fachadas accesibles

De acuerdo con el RD 2267/2004, la altura del alfeizar respecto del nivel de la planta en el edificio de oficinas no excede el valor de 1,20 metros. Además, las dimensiones de los huecos de la fachada (ventanas y puertas) son superiores a 0,80 metros de anchura y 1,20 metros de altura. Se ha tenido en cuenta además que no existan elementos que impidan o dificulten la accesibilidad al interior de los edificios tales como rejas metálicas.

Por otro lado, los viales de aproximación hasta las fachadas accesibles de los establecimientos industriales cumplen lo exigido en el RD 2267/2004 de forma que los viales tienen una anchura libre de 5 metros, una altura mínima libre superior a 4,5 metros y una capacidad portante superior a 2000 kp/m<sup>2</sup>.

- Materiales

Los productos de construcción utilizados en las naves y edificios de la planta cumplen con la norma UNE-EN 13501-1 y la norma UNE 23727.

En cuanto a los productos utilizados como acabado superficial en los suelos son de acuerdo con la normativa CFL-s1 (M2).

Los lucernarios utilizados, al no ser continuos se han diseñado de forma que sean de clase D-s2d0 (M3).

Los materiales de los cables utilizados en toda la instalación eléctrica de la planta serán no propagadores de incendio y con baja emisión de humo.

Estabilidad al fuego de elementos constructivos portantes

Teniendo en cuenta que la cubierta utilizada en las naves es ligera (considerando cubierta ligera aquella cuyo peso propio es inferior a  $100 \text{ kg/m}^2$ ), la estructura principal de dichas cubiertas y sus soportes en planta sobre rasante, no siendo previstas además para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes, los valores que se adoptarán se obtienen de la siguiente tabla:

Nivel de riesgo intrínseco	Tipo B	Tipo C
	Sobre rasante	Sobre rasante
Riesgo bajo	R 15 (EF-15)	No se exige
Riesgo medio	R 30 (EF-30)	R 15 (EF-15)
Riesgo alto	R 60 (EF-60)	R 30 (EF-30)

Tabla 67: Estabilidad al fuego de naves ligeras con estructura sobre rasante

La estabilidad al fuego de los elementos estructurales portantes se determina a partir de la siguiente tabla:

Nivel de riesgo intrínseco	Tipo B		Tipo C		Tipo C	
	Planta sótano	Sobre rasante	Planta sótano	Sobre rasante	Planta sótano	Sobre rasante
Riesgo 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)
Riesgo medio	No admitido	R 120 (EF-120)	R 120 (EF-120)	R 90 (EF-90)	R 90 (EF-90)	R 60 (EF-60)
Riesgo alto	No admitido	No admitido	R 180 (EF-180)	R 120 (EF-120)	R 120 (EF-120)	R 90 (EF-90)

Tabla 68: Estabilidad al fuego de los elementos estructurales portantes

En la tabla que se muestra a continuación queda recogida toda la información referente a estabilidad al fuego de elementos estructurales portantes y cubiertas ligeras y sus soportes en cada uno de los sectores:

Sector	Estabilidad al fuego		Observaciones
	Elementos estructurales portantes	Cubierta ligera y soportes	
1	R 30	No se exige	
2	R 90	R 30	
3	No aplica	No aplica	Se expondrá en el apartado correspondiente a seguridad contra incendio de edificios y aparcamientos
4	R 30	No aplica	
5	No aplica	No aplica	
6	R 30	No se exige	
7	R 60	R 15	
8	No aplica	No aplica	Se expondrá en el apartado correspondiente a seguridad contra incendio de edificios y aparcamientos
9	R 60	R 15	

Tabla 69: Estabilidad al fuego de los elementos estructurales portantes de la planta

- Resistencia al fuego de elementos constructivos de cerramiento

El comportamiento ante el fuego de un elemento constructivo de cerramiento se define por los tiempos durante los que dicho elemento debe mantener capacidad portante, integridad al paso de llamas y gases caliente y aislamiento térmico.

La resistencia al fuego de las medianerías de unos establecimientos con otros, teniendo en cuenta el nivel de riesgo y que en ningún caso tendrán función portante, se deducirá de la siguiente tabla:

	Sin función portante	Con función portante
Riesgo bajo	EI 120	REI 120 (RF-120)
Riesgo medio	EI 180	REI 180 (RF-180)
Riesgo alto	EI 240	REI 240 (RF-240)

Tabla 70: Resistencia al fuego de los elementos constructivos de cerramiento

Además, las puertas de paso entre los sectores de incendio tendrán una resistencia al fuego como mínimo la mitad de la que se exige al elemento que separa ambos sectores de incendio.

Las puertas que comunican los sectores de incendio con el exterior estarán selladas para mantener la resistencia al fuego.

- Evacuación de los establecimientos industriales

Para determinar los requisitos relacionados con la evacuación de cada uno de los establecimientos industriales, hay que calcular previamente la ocupación del local en cuestión según las siguientes expresiones:

$$P = 1,20 \cdot p \quad \text{si } p < 100$$

$$P = 110 + 1,05 \cdot (p - 100) \quad \text{si } 100 < p < 200$$

$$P = 215 + 1,03 \cdot (p - 200) \quad \text{si } 200 < p < 500$$

$$P = 524 + 1,01 \cdot (p - 500) \quad \text{si } p > 500$$

Para determinar la ocupación en el edificio de oficinas, para tener en cuenta el carácter simultáneo o alternativo de las diferentes zonas de un edificio, se utiliza la tabla 2.1 del punto 2 del CTE SI. Atendiendo a esta tabla se determina la ocupación para aparcamiento vinculados a una actividad sujeta a horarios y plantas de oficinas en la tabla XXX:

Aplicando la primera expresión para todos los sectores de incendio de establecimientos industriales, las ocupaciones serán:

Sector	Número de personas	Ocupación ( $m^2/persona$ )
Sector 1	3	3,6
Sector 2	8	10
Sector 3	-	15
Sector 4	0	0
Sector 5	0	0
Sector 6	2	3
Sector 7	1	2
Sector 8	16	19,2
Sector 9	0	0

Tabla 71: Ocupación de cada uno de los sectores

Los elementos de evacuación están formados por:

#### Origen de evacuación

Forman parte del origen de evacuación todos aquellos puntos del edificio en los que la densidad de ocupación no excede de 1 persona /10  $m^2$ , siendo la superficie total inferior a 50  $m^2$ . Se considerará por tanto origen de evacuación las oficinas y la sala de logística ubicada en la nave de almacenamiento. Dichos orígenes de evacuación deben cumplir los límites que se establecen para la longitud de los recorridos de evacuación hasta la salida de dichos espacios.

#### Recorrido de evacuación

Son los recorridos que conducen desde un origen de evacuación hasta una salida de planta o de edificio. En función del riesgo, se determina la longitud del recorrido de evacuación en establecimientos industriales según el número de salidas a través de la siguiente tabla:

Longitud del recorrido de evacuación según el número de salidas		
Riesgo	1 salida (recorrido único)	2 salidas alternativas
Bajo	35 m	50 m
Medio	25 m	50 m
Alto	-	25 m

Tabla 72: Longitud máxima del recorrido de evacuación en función del número de salidas de emergencia

De acuerdo con la tabla 3.1 del apartado 3 de la sección SI 3 del Documento Básico del CTE “Seguridad en caso de incendio”, se utilizará solamente una única salida del recinto en el edificio de oficinas puesto que la altura de evacuación de la primera planta no excede de 28 metros y la ocupación no excede de 100 personas.

#### Espacio exterior seguro

Se define el espacio exterior seguro aquel en el que se puede dar por finalizada la evacuación de los ocupantes del edificio. En el caso de esta planta, no es necesario considerar la condición de espacio exterior seguro debido a que la ocupación en ninguno de los sectores de incendio excede de 50 personas. Dicho espacio exterior seguro debe permitir amplia disipación de calor, del humo y de los gases de producidos en el incendio y el acceso a los efectivos de bomberos.

#### Salida de planta

Las salidas que se tendrán en cuenta en este proyecto son todas aquellas salidas del edificio o nave.

#### Altura de evacuación

La altura de evacuación es la máxima diferencia de cotas entre un origen de evacuación y la salida del edificio. Por tanto, las alturas de evacuación en cada uno de los sectores de incendio serán las que se muestran en la siguiente tabla:

Sector	Altura de evacuación (m)
Sector 1	0
Sector 2	0
Sector 3	0
Sector 4	7,6
Sector 5	0
Sector 6	6,6
Sector 7	0

Tabla 73: Alturas de evacuación de los sectores de la planta

### Dimensionado de salidas, pasillos y escaleras

De acuerdo con la tabla 4.1 del punto 4 del CTE SI, se determina las dimensiones de las puertas, pasillos y escaleras. Utilizando las siguientes expresiones, se calculan las dimensiones:

- Puertas y pasos:

$$A \geq P/200 \geq 0,80 \text{ m}$$

$$A \geq 10/200 = 0,05.$$

Por tanto  $A > 0,8 \text{ m}$  y se ha elegido una anchura de 1 m. El resto de las puertas de edificio y naves de la planta tendrán una anchura de 1.25 m.

- Pasillos:

$$A \geq P/200 \geq 0,80 \text{ m}$$

$$A \geq 10/200 = 0,05.$$

Por tanto  $A > 1 \text{ m}$  y se ha elegido una anchura de 3 m para los pasillos del edificio de oficinas.

- Escaleras no protegidas (evacuación descendente):

$$A \geq P/160$$

$$A \geq 10/200 \geq 0,05 \text{ m}.$$

Puesto que la anchura mínima es de 1 m, la escalera de emergencia del edificio de oficinas tendrá una anchura de 1 m, la de uso habitual de 1,25, y las correspondientes a la nave de producción y edificio de descarga y limpieza tendrán un ancho de 1,5 m.

Por otro lado, de acuerdo con la tabla 5.1 del punto 5 del CTE SI se ha elegido la escalera de emergencia como no protegida debido a que la altura de evacuación para locales de uso administrativo es inferior a 14 metros.

- Señalización e iluminación

Todas las salidas de recintos, planta y edificios de la fábrica dispondrán de una señal con el rótulo "SALIDA". Las salidas previstas para uso exclusivo en caso de emergencia tendrán el rótulo "SALIDA DE EMERGENCIA". Los recorridos de evacuación dispondrán de señales indicativas de dirección que indiquen la dirección y ubicación de salidas. En las puertas que no sean salida y puedan inducir a error en la evacuación se dispondrán rótulos "Sin salida" que sean fácilmente visibles. Dichas señales serán visibles incluso en caso de fallo en el suministro eléctrico.

Así mismo, los equipos de protección contra incendios de utilización manual como extintores, bocas de incendio, hidrantes y pulsadores manuales de alarma quedarán señalizados mediante las señales que se definen en la norma UNE 23033-1 cuyos tamaños serán de:

- a) 210 x 210 mm cuando la distancia de observación de la señal no exceda de 10 m, como es el caso de laboratorio y sala de molienda.
- b) 420 x 420 cuando la distancia de observación esté comprendida entre 10 y 20 m, como es el caso del edificio de descarga y limpieza.
- c) 594 x 504 cuando la distancia de observación esté comprendida entre 20 y 30 m, como es el caso del edificio de oficinas y las naves de producción, envasado y almacenamiento.

- Ventilación y eliminación de humos y gases de combustión en edificio industriales

Puesto que la nave de producción constituye un sector de incendio con actividades de producción y riesgo intrínseco bajo no se usarán sistemas de evacuación de humos.

En cuanto a las naves de almacenamiento y envasado, las cuales constituyen un sector de incendio de riesgo intrínseco alto, se usarán sistemas de evacuación de humos por tener una superficie construida de 3600 superior a 1000  $m^2$  que es la establecida por la norma.

La ventilación será la establecida y expuesta en el punto 6 referente a la instalación de ventilación de este mismo proyecto.

- Almacenamientos

El almacenamiento que se lleva a cabo en la fábrica corresponde a un sistema de almacenaje independiente, ya que solamente soportan la mercancía almacenada y los elementos estructurales son desmontables e independientes de la estructura de cubierta.

Los requisitos que cumple el sistema de almacenaje en estanterías metálicas de la nave de almacenamiento son:

1. Los bastidores, largueros y paneles metálicos serán de acero de clase A1 (M0).
2. Los revestimientos de las estanterías son de material no inflamable, estando acreditados por un laboratorio autorizado.

Además, al estar operadas manualmente el sistema de rociadores automáticos respetará las holguras para que funcione adecuadamente el sistema de extinción. Los pasos longitudinales y recorridos de evacuación en la nave de almacenamiento tienen una anchura de 2 y 3 metros, dependiendo del pasillo en cuestión, cumpliendo con la norma la cual establece que la anchura libre sea superior a 1 m. Así mismo los pasos transversales entre estanterías están distanciados 3 metros, sin superar el valor máximo de longitud establecido que es de 10 m.

- Riesgo de fuego forestal

No será necesario contemplar este aspecto debido a que la planta no tiene terrenos de bosque colindantes.

## 6.5.4 Requisitos de las instalaciones de PCI en establecimientos industriales.

En este apartado solo se contemplarán las naves de producción, envasado, almacenamiento, edificio de descarga y limpieza, laboratorio, silos, cuarto de electricidad y de molienda. Todos los equipos y sistemas que formarán parte de las instalaciones de protección contra incendios cumplirán lo preceptuado en el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, aprobado por el RD 1942/1993, de 5 de noviembre. Los instaladores y mantenedores de dichas instalaciones también cumplirán con dicho reglamento.

### 6.5.4.1 Sistemas automáticos de detección de incendio

Se trata de equipos que permiten detectar un incendio en el tiempo más corto posible y emiten una señal que activa la alarma para que los ocupantes de las instalaciones tengan tiempo suficiente para evacuar la zona.

De acuerdo con la normativa, solamente se instalarán sistemas automáticos de detección de incendio en la nave de almacenamiento, ya que es de tipo C, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es de 1720  $m^2$ , superior al valor mínimo que establece la norma que es de 800  $m^2$ .

### 6.5.4.2 Sistemas manuales de alarma de incendio

Estos sistemas están constituidos por pulsadores que permiten transmitir voluntariamente por los ocupantes del sector una señal a una central de control y señalización permanentemente vigilada.

En el sector 1, se instalarán sistemas manuales de alarma de incendio debido a que en él se desarrollan actividades de producción y la superficie total construida es superior a 1000 m<sup>2</sup>, concretamente la superficie de este sector es de 2520 m<sup>2</sup>.

También se instalarán estos sistemas en la nave de envasado y almacenamiento, ya que las superficies totales construidas son de 1720 y 1880 m<sup>2</sup> respectivamente, superiores a los valores establecidos en la normativa.

Los pulsadores de alarma se colocarán junto a las salidas de evacuación de forma que la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar el pulsador no es superior a 25 m.

### 13.4.3 Sistemas de comunicación de alarma

No será necesario instalar sistemas de comunicación de alarma ya que la superficie total construida de todos los sectores de incendio del establecimiento industrial es de 8300 m<sup>2</sup>, inferior al valor de 10000 m<sup>2</sup> establecido por la norma.

### 6.5.4.3 Sistemas de hidrantes exteriores

Para la decisión de instalación de hidrantes exteriores se ha consultado la tabla 3.1 del punto 7 del anexo III del RD 2267/2004, la cual se muestra a continuación:

Configuración de la zona	Superficie del sector o área de incendio (m <sup>2</sup> )	Riesgo intrínseco		
		BAJO	MEDIO	ALTO
A	≥ 300	NO	SI	-
	≥ 1.000	SI	SI	-
B	≥ 1.000	NO	NO	SI
	≥ 2.500	NO	SI	SI
	≥ 3.500	SI	SI	SI
C	≥ 2.000	NO	NO	SI
	≥ 3.500	NO	SI	SI
D o E	≥ 5.000	-	SI	SI
	≥ 15.000	SI	SI	SI

Tabla 74: Hidrantes exteriores en función de la configuración, superficie y riesgo de las zonas. RD 2267/2004

De acuerdo con la tabla, será necesario instalar hidrantes exteriores en las inmediaciones del sector 2, el cual está formado por la nave de envasado y la nave de almacenamiento, debido a que el riesgo es alto, la configuración del sector es tipo C y la superficie construida es superior a 3600 m<sup>2</sup>.

Debido a las dimensiones de las dos naves que forman parte del sector 2, se utilizarán dos hidrantes exteriores de forma que la zona protegida por ellos sea la cubierta por un radio de 40 m, medidos horizontalmente desde el emplazamiento del hidrante. Uno de ellos tendrá una salida de 100 mm.

Debido a la existencia de viales y a la imposibilidad de colocar los hidrantes a una distancia mínima de 5 metros, estos se colocarán a una distancia de 4 metros desde el límite exterior de la zona que protegen.

En cuanto a la necesidad de agua para los hidrantes exteriores, se utiliza la siguiente tabla:

Configuración del establecimiento industrial	Nivel de riesgo intrínseco					
	BAJO		MEDIO		ALTO	
Tipo	Caudal (L / min)	Auton. (min)	Caudal (L / min)	Auton. (min)	Caudal (L / min)	Auton. (min)
A	500	30	1.000	60	-	-
B	500	30	1.000	60	1.000	90
C	500	30	1.500	60	2.000	90
D y E	1.000	30	2.000	60	3.000	90

Tabla 75: Necesidad de agua para hidrantes exteriores. RD 2267/2004

De acuerdo con la tabla anterior, puesto que los hidrantes exteriores que se colocarán protegen un sector de tipo C con nivel de riesgo intrínseco alto, el caudal será de 2000 L/min y la autonomía de 90 min. Además, la presión en las bocas de salida de los hidrantes será de cinco bar cuando se esté descargando dicho caudal.

#### 6.5.4.4 Extintores de incendio

Los extintores estarán presentes en todas las naves y edificios de la planta.

Las clases de fuego de cada uno de los sectores de incendio son de clase A-B en el sector 1 y 4, de clase A en los sectores 2,5,6,7 y 9, de clase B en el sector 3.

Para los sectores con clase de fuego A-b se ha determinado la dotación de extintores del sector de incendio sumando los necesarios para cada clase de fuego, utilizando las tablas 3.1 y 3.2 del punto 8 del RD 2267/2004.

Grado de riesgo intrínseco	Eficacia mínima del extintor	Área máxima protegida del sector de incendio			
BAJO	21 A	Hasta 600 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> )			
MEDIO	21 A	Hasta 400 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> )			
ALTO	34 A	Hasta 300 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> )			
		Volumen máximo V (L) de combustibles líquidos en el sector 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

Tabla 76: Dotación de extintores portátiles

Por otro lado, de acuerdo con la tabla I-1 del apéndice 1 del Reglamento de Instalaciones de protección contra incendios aprobado por el RD 1942/1943, de 5 de noviembre, se puede determinar el agente extintor utilizado en cada uno de los extintores portátiles que se instalarán.

En la tabla que se muestra a continuación queda recogida toda la información relativa a extintores portátiles que se utilizarán en cada uno de los sectores de la planta.

Sector	Clase de fuego	Extintor utilizado	Número de extintores	Agente extintor	Observaciones
1	A-B	21 <sup>a</sup> 113B	11	Polvo ABC CO <sub>2</sub>	Se colocarán extintores de CO <sub>2</sub> en la sala de control y en las zonas próximas a cuadros eléctricos.
2	A	34 A	18	Polvo ABC CO <sub>2</sub>	Los extintores de CO <sub>2</sub> se colocarán exclusivamente en las zonas cercanas a cuadros eléctricos y maquinaria de alto valor.
3	-	-	-	-	De acuerdo con la normativa, no se instalarán extintores portátiles en sectores tipo E con riesgo intrínseco bajo 1.
4	A-B	21 A 113 B	1	CO <sub>2</sub>	El extintor que se ha elegido es el recomendado por la ITC-BT 16
5	A	34 A	2	Polvo ABC	
6	A-B	21 A 113 B	1	CO <sub>2</sub>	Se ha decidido colocar este tipo de extintores para proteger los equipos de alto valor.
7	A	34 A	2	Polvo ABC	
8	-	-	8	Polvo ABC	
9	A	34 A	1	Polvo ABC	

Tabla 77: Extintores utilizados en los sectores de incendio de la planta

Los extintores portátiles se colocarán estratégicamente de forma que estén situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse un incendio y su distribución será tal que el recorrido máximo horizontal desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor sea inferior a 15 m.

#### 6.5.4.5 Sistemas de bocas de incendio equipadas

Estos sistemas están compuestos por una fuente de abastecimiento de agua, una red de tuberías para la alimentación de agua y las BIE.

De acuerdo con la normativa solamente se instalarán sistemas de bocas de incendio equipadas en el sector 2 formado por la nave de almacenamiento y envasado, ya que el sector es tipo C y tienen una superficie total construida de 3600 m<sup>2</sup>.

Puesto que el nivel de riesgo intrínseco es alto, se usarán BIEs DN 45 mm con una simultaneidad igual a 3 y una autonomía de 90 min. Además, la presión de la boquilla será de 3 bar, cumpliendo con el rango (2-5 bar) que establece la norma.

#### 6.5.4.6 Sistemas de columna seca

No se instalarán estos sistemas debido a que en ningún caso la altura de evacuación supera los 15 m.

#### 6.5.4.7 Sistemas de rociadores automáticos de agua.

Se utilizarán estos sistemas en el sector 2 tal y como se comentó previamente en el punto 6.5.2.

#### 6.5.4.8 Sistemas de alumbrado de emergencia

Se instalarán sistemas de alumbrado de emergencia de las vías de evacuación en el sector 2 en todas las vías de evacuación

Dichas luces entrarán automáticamente en funcionamiento al producirse un fallo del 70 % de su tensión nominal de servicio, mantendrá las condiciones de servicio durante una hora y proporcionarán una iluminancia de un lux en el nivel del suelo.

#### 6.5.4.9 Señalización

Las salidas de uso habitual, de emergencia y equipos de protección contra incendios de utilización manual quedarán señalizados de acuerdo con las normas UNE 23033, UNE 23034 y UNE 23035.

#### 6.5.4.10 Grupo de presión

Los grupos de presión son equipos cuya función es impulsar el agua hacia las instalaciones de protección contra incendios. Dicho equipo estará diseñado para satisfacer las necesidades de caudal y presión necesaria. La normativa específica para el diseño de estas instalaciones son la norma UNE 23500 y UNE EN 12845.

Los componentes básicos de este equipo son la bomba y el motor. Las bombas que se pueden emplear pueden ser verticales, axiales o de cámara partida, aunque las más usadas habitualmente son las dos últimas mencionadas. Los motores pueden ser eléctricos o diesel. Para asegurar en todo momento el funcionamiento del grupo de presión se instalará como es habitual uno de cada tipo para que un corte en la alimentación eléctrica no provoque un mal funcionamiento o la incapacidad de operar.

Por otro lado, el grupo de presión cuenta también con una bomba jockey. Dicho equipo es una bomba auxiliar de caudal pequeño que está diseñada para mantener la presión en la red contra incendios. Además, evita la puesta en marcha de las bombas principales en caso de que las demandas generadas en la red sean pequeñas. Una vez se haya obtenido la presión de trabajo máxima, la bomba jockey se para automáticamente.



Figura 325: Grupo de presión. Fabricante Enginyerbcn

### 6.5.5 Requisitos de las instalaciones de PCI en el edificio de oficinas

La dotación de instalaciones de protección contra incendios en el edificio de oficinas y parking se hará conforme a lo dispuesto en la sección 4 del Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio.

De acuerdo con la tabla 1.1 de la sección 4 del Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio se determina la necesidad o no de instalar bocas de incendio, columna seca, sistema de alarma, sistema de detección de incendio e hidrantes exteriores.

<b>Administrativo</b>	
Bocas de incendio	Si la superficie construida excede de 2.000 m <sup>2</sup> . <sup>(8)</sup>
Columna seca <sup>(6)</sup>	Si la altura de evacuación excede de 24 m.
Sistema de alarma	Si la superficie construida excede de 1.000 m <sup>2</sup> .
Sistema de detección de incendio	Si la superficie construida excede de 2.000 m <sup>2</sup> , detectores en zonas de riesgo alto conforme al capítulo 2 de la Sección 1 de este DB. Si excede de 5.000 m <sup>2</sup> en todo el edificio.
Hidrantes exteriores	Uno si la superficie total construida está comprendida entre 5.000 y 10.000 m <sup>2</sup> . Uno más por cada 10.000 m <sup>2</sup> adicionales o fracción. <sup>(4)</sup>
<b>Aparcamiento</b>	
Bocas de incendio	Si la superficie construida excede de 500 m <sup>2</sup> . <sup>(8)</sup> Se excluyen los <i>aparcamientos robotizados</i> .
Columna seca <sup>(6)</sup>	Si existen más de tres plantas bajo rasante o más de cuatro sobre rasante, con tomas en todas sus plantas.
Sistema de detección de incendio	Si la superficie construida excede de 500 m <sup>2</sup> . <sup>(8)</sup> Los <i>aparcamientos robotizados</i> dispondrán de pulsadores de alarma en todo caso.
Hidrantes exteriores	Uno si la superficie construida está comprendida entre 1.000 y 10.000 m <sup>2</sup> y uno más cada 10.000 m <sup>2</sup> más o fracción. <sup>(4)</sup>
Instalación automática de extinción	En todo <i>aparcamiento robotizado</i> .

Tabla 78: Componentes de PCI en edificios según el DB SI

Puesto que el edificio de oficinas tiene una superficie construida de 1183 m<sup>2</sup> y presenta una altura de evacuación de 3 m, se colocará un sistema de alarma.

En cuanto al parking, puesto que supone una superficie de 612 m<sup>2</sup> se instalará una boca de incendio.

En cuanto a los extintores portátiles, se establece que se usarán extintores de eficacia 21A- 113B de forma que se cumpla que cada origen de evacuación esté a una distancia máxima del extintor de 15 m.

### 6.5.6 Resistencia al fuego de la estructura en edificio de oficinas, electricidad y parking

De acuerdo con la tabla 3.1 de la sección 6 del Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio, los elementos estructurales tendrán una resistencia R 60, valor que representa el tiempo en minutos de resistencia ante el fuego.

Uso del sector de incendio considerado <sup>(1)</sup>	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		<15 m	<28 m	≥28 m
Vivienda unifamiliar <sup>(2)</sup>	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 <sup>(3)</sup>	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120 <sup>(4)</sup>		

Tabla 79: Resistencia al fuego de las estructuras en función de la altura en edificios

Mediante el anejo C se determina la resistencia al fuego de las estructuras de hormigón armado, la cual se utilizará en el edificio de oficinas. Se usará la tabla C.2 y C.6 del anejo C del Documento Básico SI Seguridad para obtener la resistencia al fuego de los soportes, vigas y muros de carga, asumiendo que los soportes y las vigas tienen una dimensión de la sección recta de 300 mm y que los muros de carga están expuestos por una sola cara cuyo lado menor mide 120 mm:

Resistencia al fuego	Lado menor o espesor $b_{\min}$ / Distancia mínima equivalente al eje $a_m$ (mm) <sup>(1)</sup>		
	Soportes	Muro de carga expuesto por una cara	Muro de carga expuesto por ambas caras
R 30	150 / 15 <sup>(2)</sup>	100 / 15 <sup>(3)</sup>	120 / 15
R 60	200 / 20 <sup>(2)</sup>	120 / 15 <sup>(3)</sup>	140 / 15
R 90	250 / 30	140 / 20 <sup>(3)</sup>	160 / 25
R 120	250 / 40	160 / 25 <sup>(3)</sup>	180 / 35
R 180	350 / 45	200 / 40 <sup>(3)</sup>	250 / 45
R 240	400 / 50	250 / 50 <sup>(3)</sup>	300 / 50

Resistencia al fuego	R 60	R 90	R 120	R 180	R 240
Dimensión mínima de la sección recta (mm)	90	120	160	200	280

Tabla 80: Resistencia al fuego de las estructuras de hormigón armado

Con la información que aparece en las tablas anteriores, quedan definidas la resistencia al fuego de los elementos mencionados, de forma que los soportes y vigas tendrán una resistencia R240 y los muros de carga R60.

La caseta de electricidad tendrá también una resistencia en los muros de carga R60.

En el anejo F del Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio, la tabla F.1 muestra la resistencia al fuego de muros y tabiques de fábrica de ladrillo cerámico, los cuales serán los que se usarán en el edificio de oficinas:

Tipo de revestimiento	Espesor $e$ de la fábrica en mm.							
	Con ladrillo hueco			Con ladrillo macizo o perforado		Con bloques de arcilla aligerada		
	$40 \leq e < 80$	$80 \leq e < 110$	$e \geq 110$	$110 \leq e < 200$	$e \geq 200$	$140 \leq e < 240$	$e \geq 240$	
Sin revestir	(1)	(1)	(1)	REI-120	REI-240	(1)	(1)	
Enfoscado	Por la cara expuesta	EI-60	EI-90	EI-180	REI-240	EI-180	EI-240	
	Por las dos caras	EI-30	EI-90	EI-120	REI-180	REI-240	REI-180	REI-240
Guarnecido	Por la cara expuesta	EI-60	EI-120	EI-180	EI-240	REI-240	EI-240	EI-240
	Por las dos caras	EI-90	EI-180	EI-240	EI-240	REI-240	EI-240	EI-240

<sup>(1)</sup> No es usual

Tabla 81: Resistencia al fuego de los muros y tabiques de ladrillo cerámico

Puesto que los ladrillos tendrán un espesor de 12 cm y los muros y tabiques irán enfoscados por las dos caras, la resistencia al fuego corresponde a EI 120. Esto será aplicable tanto al edificio de oficinas como a la caseta de electricidad.

### 6.5.7 Planos

A continuación, se muestran planos de los edificios y naves de la planta con toda la información relacionada con el sistema de protección contra incendios.

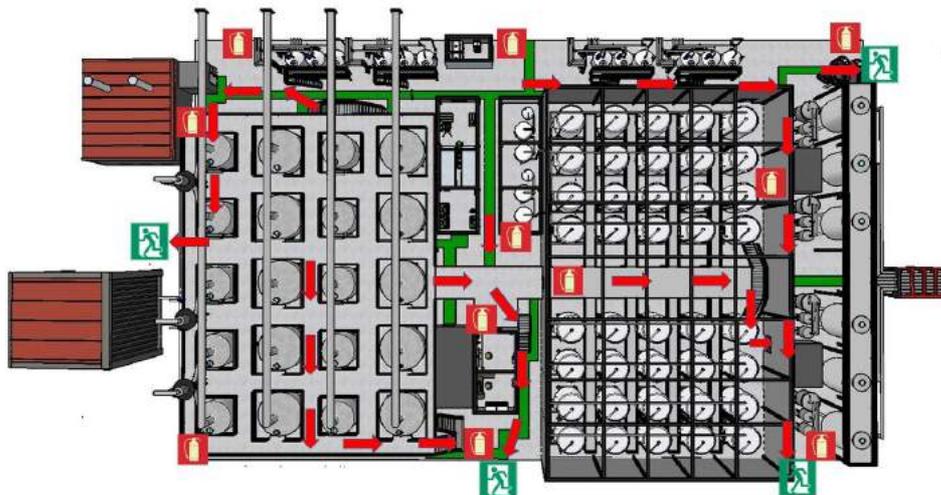


Figura 326: Nave de producción con sistemas PCI y recorridos de evacuación (sector 1)

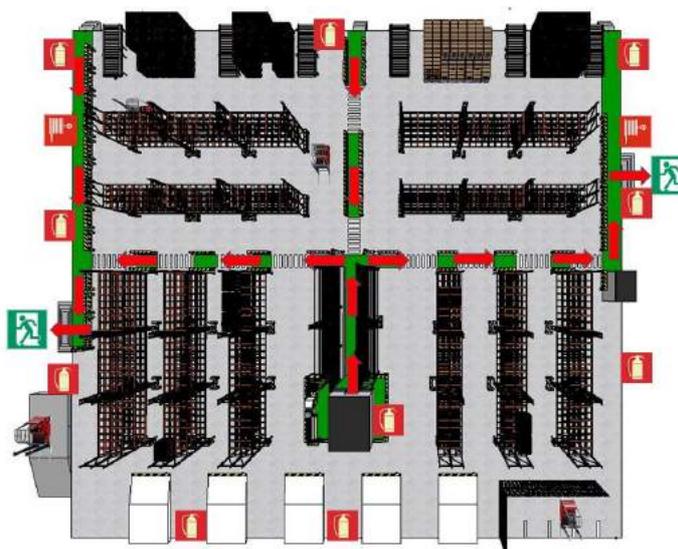


Figura 327: PCI en las naves de envasado y almacenamiento (sector 2)

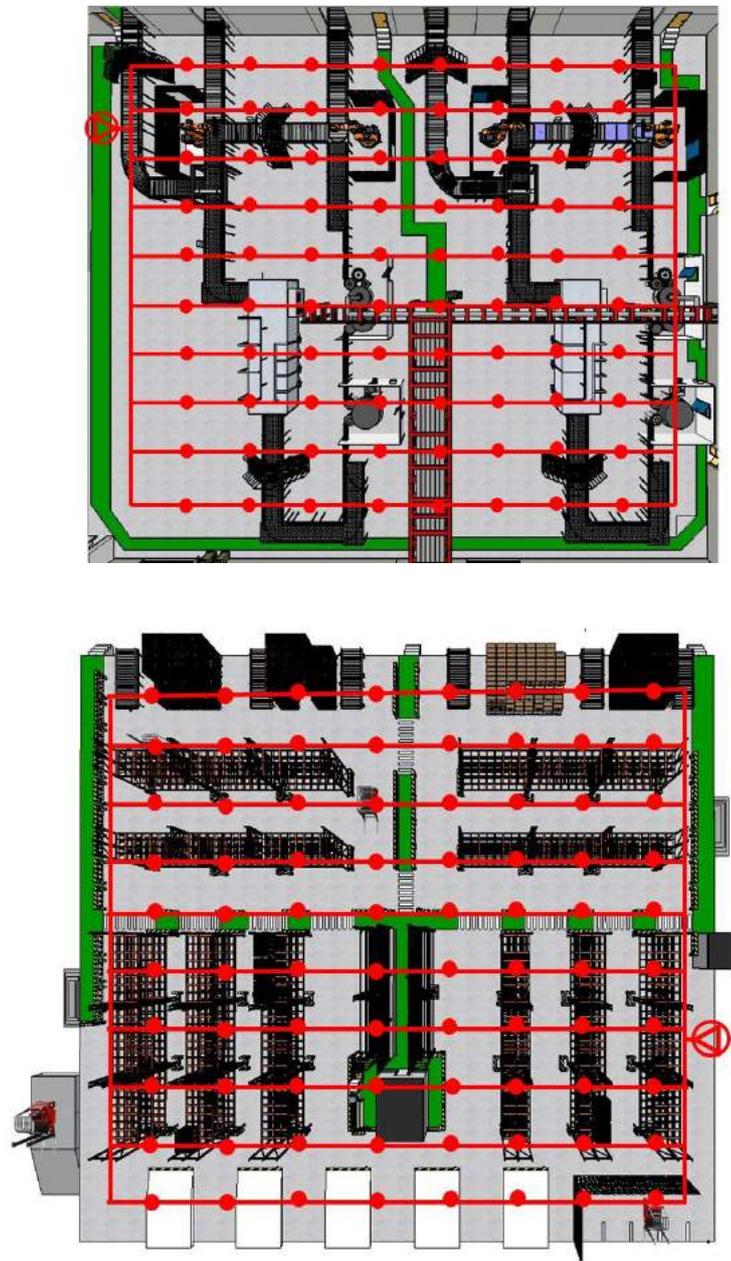


Figura 328: Distribución de sprinkles y ubicación del grupo de presión en el sector 2

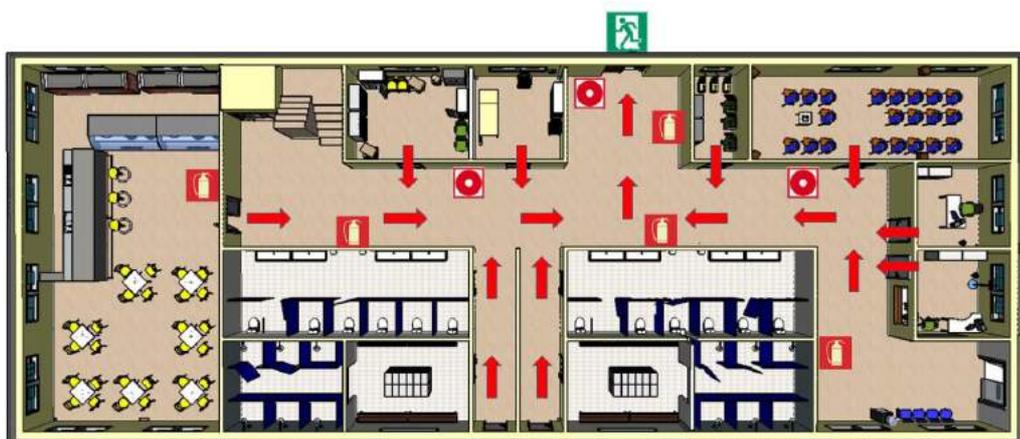


Figura 329: Planta baja del edificio de oficinas con sistemas PCI y recorridos de evacuación (sector 8)

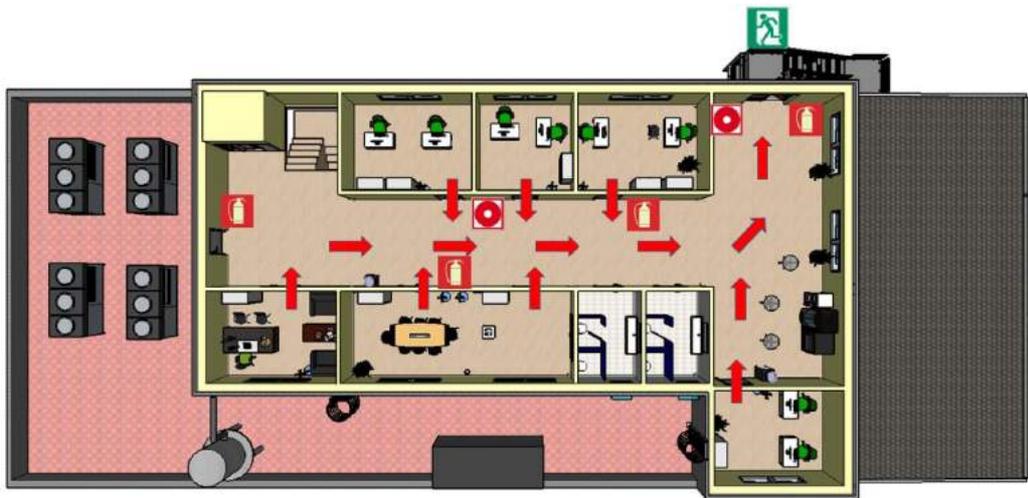


Figura 330: Primera planta de las oficinas con sistemas PCI y recorridos de evacuación (sector 8)

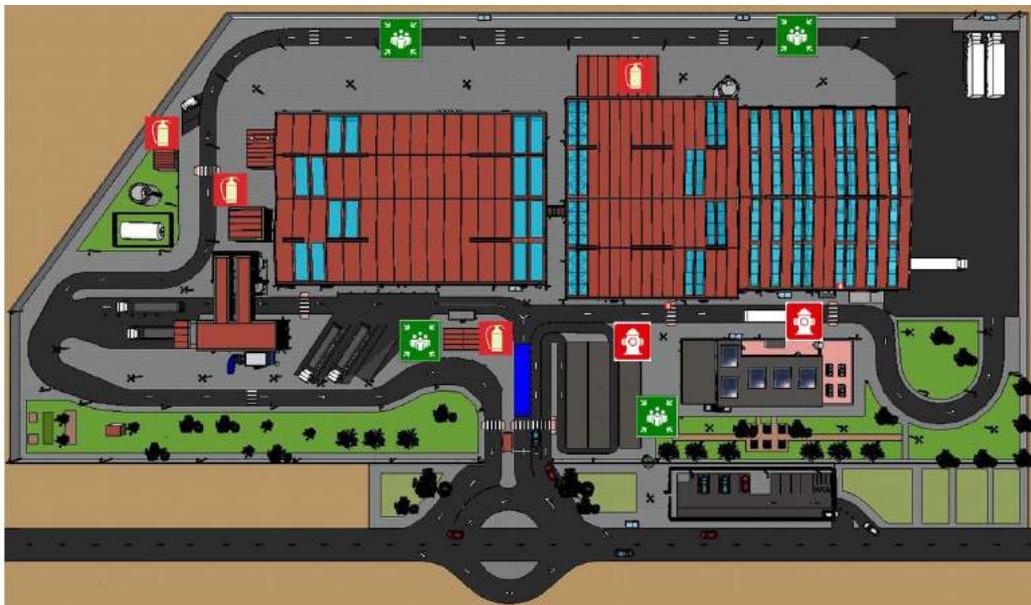


Figura 331: Plano general con señalizaciones de PCI

Simbología	Significado
	Recorrido de evacuación
	Extintor portátil
	Salida de emergencia
	Pulsador manual de alarma
	BIE

## 6.6 Instalación de abastecimiento de agua

### 6.6.1 Justificación de la necesidad de un sistema de abastecimiento de agua en la planta.

En la planta de elaboración de cerveza, el agua se utilizará para diferentes fines:

- Uso doméstico. El agua destinada a uso doméstico se refiere a aquella que satisface las necesidades de los empleados de la planta, como aseos, bar o duchas.
- Tareas de limpieza
- Uso industrial. El agua es una de las materias primas necesarias para la fabricación de cerveza. Además, se necesita agua para los sistemas de limpieza CIP de los equipos de la fábrica. También será necesaria el agua para abastecer los equipos de protección contra incendio como rociadores automáticos, BIE e hidrantes exteriores.
- Uso agrícola. Otra de las funciones del agua será su utilización como regadío de las zonas verdes presentes en la planta.

De esta manera queda justificada la necesidad de instalar un sistema de abastecimiento de agua, ya que además de ser exigida por ley, es necesaria para el proceso de producción.

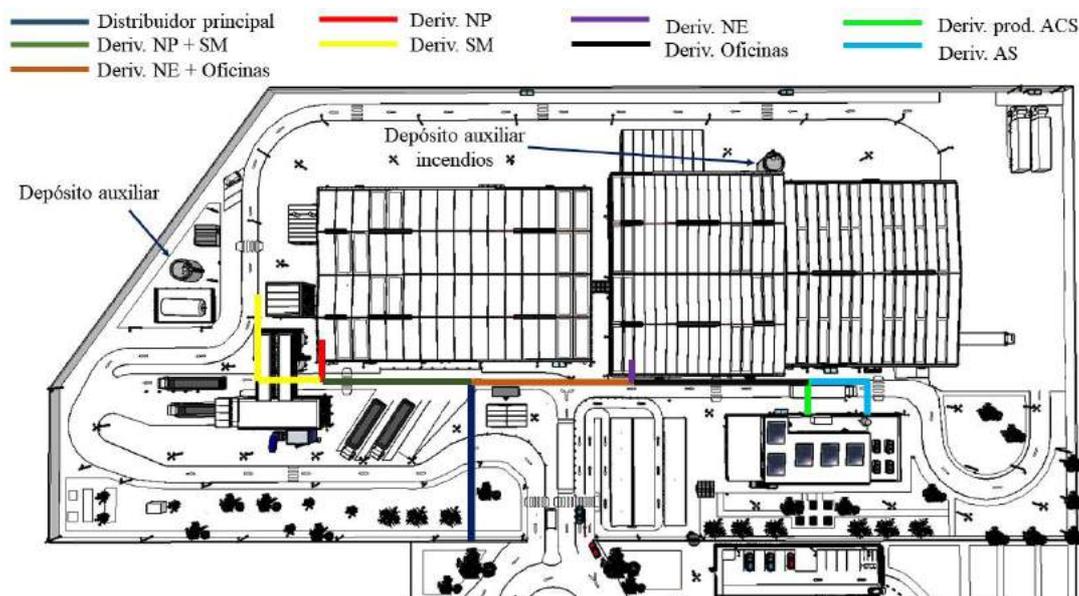
### 6.6.2 Normativa utilizada

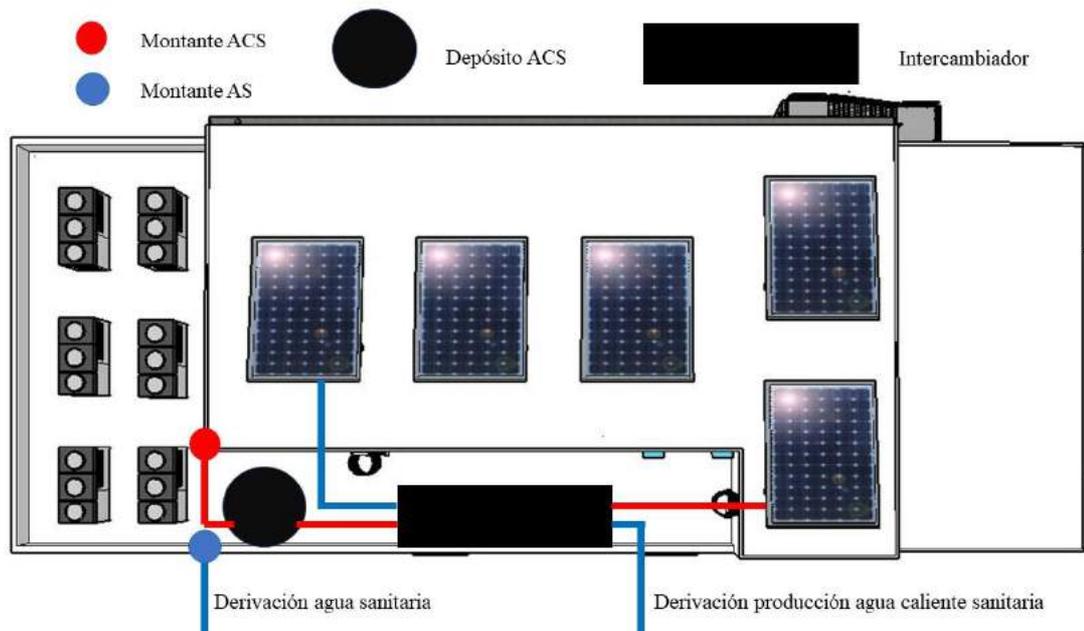
La instalación de abastecimiento de agua se ha diseñado conforme a lo expuesto en las siguientes normas:

- Documento Básico HS de Salubridad. En concreto se ha utilizado la sección 4, correspondiente a la normativa dedicada a suministro de agua.
- Documento Básico HE de Ahorro de Energía. Concretamente se ha utilizado la sección 4, correspondiente a la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- Norma Española UNE-EN 806-3. Esta norma se ha utilizado para hacer el diseño de las tuberías de agua sanitaria y agua caliente sanitaria (ACS).

### 6.6.3 Descripción general de la instalación de abastecimiento de agua

A continuación, se muestra un plano general de la fábrica en el cual quedan reflejados los distribuidores, derivaciones, montantes y otros elementos que forman parte de la instalación:





- **Acometida**  
La acometida es el punto origen de la instalación. A través de la acometida llega el suministro de agua a la planta por parte de la empresa distribuidora. Junto a la acometida se encuentra el armario de contador general en el que están instalada la llave de corte y el contador. A través del contador se obtendrán los datos de consumo de la planta.
- **Distribuidor principal**  
El distribuidor principal está formado por una tubería a través de la cual se transporta toda el agua necesaria para la planta.
- **Montantes de agua sanitaria para oficinas**  
Los montantes de agua sanitaria para oficinas son las tuberías encargadas de transportar tanto el agua sanitaria normal como el agua sanitaria caliente al edificio en cuestión.
- **Montante de agua sanitaria para la nave de procesos, envasado y edificio de molienda.**  
Estos montantes son las tuberías a través de las cuales se transporta el agua para abastecer las naves de procesos y envasado.
- **Depósito auxiliar de agua**  
El depósito auxiliar de agua provee de agua al sistema de protección contra incendios y además sirve de reserva en caso de que se produzca un corte eventual del suministro por parte de la empresa distribuidora, de forma que el proceso de producción no sea interrumpido.

En cuanto a los edificios que necesitan suministro de agua se encuentran:

- **Edificio de oficinas.** En este edificio será necesario instalar una red de abastecimiento de agua caliente sanitaria para las duchas y aseos.
- **Nave de producción.** En esta nave, la necesidad de una red de abastecimiento de agua queda razonablemente justificada, ya que tanto los procesos de macerado, filtrado, cocción y sistemas CIP, necesitan agua para que sea posible llevar a cabo las tareas de producción.
- **Nave de envasado.** En la nave de envasado se necesita agua para la máquina limpiadora de botellas y túnel de pasteurización.
- **Edificio de molienda.** En el edificio de molienda se encuentran los molinos de molturación húmeda, los cuales necesitan agua para operar.

## 6.6.4 Diseño de la instalación de abastecimiento de agua

### 6.6.4.1 Material de las tuberías

Existen diversas opciones de materiales para utilizar en las tuberías, como cobre, acero inoxidable, acero galvanizado, PE-X, PB, etc. En este caso se ha optado por utilizar policloruro de vinilo clorado (PVC-C), ya que este material termoplástico presenta dos ventajas fundamentales:

- Es un material muy versátil, ya que puede utilizarse tanto en las tuberías de agua sanitaria como en las de agua caliente sanitaria.
- Tiene menor coste que otros materiales.

### 6.6.4.2 Tuberías

Para el diseño de las tuberías se ha utilizado la norma UNE-EN 806-3. Los aspectos fundamentales que deben cumplirse son:

- La velocidad del agua no ha de superar los 2 m/s, de forma que no se incurra en problemas de contaminación acústica. Además, la velocidad del agua no debe ser inferior a 0,5 m/s para evitar la sedimentación del agua en las tuberías.
- La presión en los puntos de consumo debe ser mayor a 100 KPa.

En la tabla 3.7 de la norma UNE-EN 806-3 aparece toda la información necesaria para dimensionar las tuberías de PVC-C.

Carga máx.	LU	3	4	5	10	20	45	160	420	900
Valor más alto	LU			4	5	8				
$d_e \times s$	mm	16 x 2,0			20 x 2,3	25 x 2,8	32 x 3,6	40 x 4,5	50 x 5,6	63 x 6,9
$d_i$	mm	12,0			15,4	19,4	24,8	31	38,8	49,2
Longitud máxima de la tubería	m	10	6	5						

Figura 332: Unidades de carga para la determinación de diámetros en tuberías de PVC-C. UNE-EN 806-3

En la tabla aparece la unidad LU. Una unidad de carga LU equivale a 0,1 L/s. Los diámetros exteriores e interiores de las tuberías se han determinado conociendo el caudal que debe proporcionar cada tubería.

Una vez determinadas las dimensiones de la sección transversal de las tuberías, hay que comprobar que se cumplen las especificaciones referidas a la velocidad del agua que se expusieron previamente, teniendo en cuenta que:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Área}}, \text{ siendo el área: } \text{Área} = \frac{\pi \cdot D_{\text{int}}^2}{4}$$

En caso de que no se cumpla esta especificación, se tomará el siguiente valor mayor de diámetro disponible en la tabla, y se volverá a realizar la comprobación. Si el diámetro que hay que elegir es superior a los mostrados en la tabla, se tomarán formatos comerciales.

Las pérdidas de carga se calcularán mediante la aproximación de Colebrook-White y se expresarán en m.c.a/m (metros de columna de agua por unidad de longitud). La siguiente expresión corresponde a la aproximación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[ \frac{\varepsilon/D}{3,71} + \frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right]$$

Donde:

$\varepsilon$  : rugosidad del tubo. En el caso de materiales plásticos, su valor es 0,0015.

D: diámetro nominal del tubo.

Re: Número de Reynolds

f: factor de pérdida de carga.

El número de Reynolds se calculará según la expresión:

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot D \cdot v}{\mu}$$

Donde:

$\rho$  : densidad del fluido. En el caso del agua la densidad es 1000 kg/m<sup>3</sup>.

D : diámetro de la tubería (m).

v : velocidad del fluido (m/s).

$\mu$  : viscosidad dinámica. En el caso del agua la viscosidad dinámica es de 0,001002 Pa · s que equivale a 0,001002 kg/(m · s).

## 6.6.5 Dimensionado de la red de abastecimiento de agua sanitaria y ACS

### 6.6.5.1 Exterior

En la nave de procesos se ha calculado un consumo instantáneo de agua de 11,1 L/s, de acuerdo con los siguientes datos:

$$80300 \frac{\text{L agua}}{\text{día}} \cdot \frac{1 \text{ día}}{2 \text{ turnos}} \cdot \frac{1 \text{ turno}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 11,1 \text{ L/s}$$

Para calcular el consumo instantáneo de agua sanitaria en el edificio de oficinas se han recopilado los equipos que hacen uso de la instalación y el consumo instantáneo individual de cada equipo en la siguiente tabla:

Equipo	Número de equipos	Consumo por equipo (L/s)	Consumo total (L/s)
Inodoro	16	0,1	1,6
Lavabo	10	0,1	1
Ducha	12	0,2	2,4
Fregadero	2	0,2	0,4
TOTAL			5,4

Tabla 82: Consumo de agua sanitaria en el edificio de oficinas

Por otro lado, habrá un sistema de tuberías que transporte el agua caliente sanitaria, las cuales se han diseñado calculando el consumo total asumiendo que el consumo de cada uno de los equipos es dato según se refleja en la siguiente tabla:

Equipo	Número de equipos	Consumo por equipo (L/s)	Consumo total (L/s)
Lavabo	10	0,1	1
Ducha	12	0,2	2,4
Fregadero	2	0,2	0,4
TOTAL			3,8

Tabla 83: Consumo de agua caliente sanitaria en el edificio de oficinas

La nave de envasado y el edificio de molienda tendrán un consumo instantáneo de 6 L/s y 3 L/s , respectivamente.

A continuación, se muestra una tabla en la que aparecen las dimensiones y características del distribuidor principal:

Tubería	Carga (LU)	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	P.d.c (m.c.a/m)	L <sub>tubería</sub> (m)	P.d.c en la tubería (m.c.a)	V <sub>agua</sub> (m/s)
Distribuidor principal	293	168	160	0,0156	37	0,5772	1,457

Tabla 84: Características del distribuidor principal

De acuerdo con el plano general de la planta, el distribuidor principal va desde la acometida y finaliza en el punto donde se encuentra las derivaciones de la nave de procesos-sala de molienda y de la nave de envasado-oficinas.

A continuación, se muestra una tabla en la que se recogen las características de cada una de las tuberías de derivaciones y montantes:

Tubería	Carga (LU)	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	P.d.c (m.c.a/m)	L <sub>tubería</sub> (m)	P.d.c en la tubería (m.c.a)	V <sub>agua</sub> (m/s)
Deriv. NP + SM	131	118	110	0,0166	33	0,5478	1,378
Deriv. NP	111	118	110	0,0171	7	0,1197	1,168
Deriv. SM	30	53,6	50	0,0192	20	0,3840	1,528
Deriv. NE+ Oficinas	162	118	110	0,0159	37	0,5901	1,705
Deriv. NE	60	78	75	0,0180	3	0,0540	0,631
Deriv. Oficinas	102	93,2	90	0,0168	44	0,7480	1,603
Deriv. Prod. ACS	38	78	75	0,0198	7	0,1386	0,860
Deriv. AS	54	78	75	0,0184	7	0,1288	1,222

Tabla 85: Tuberías de derivaciones de la planta completa

Adicionalmente existirán 2 depósitos auxiliares de agua: uno destinado a abastecer la nave de procesos,

envasado y sala de molienda en caso de que se produzca corte por parte de la compañía en el sistema de suministro de agua, y un segundo depósito que abastecerá de agua a los sistemas de protección contra incendios que lo demanden.

La tabla que se muestra a continuación recoge toda la información acerca de estos dos depósitos:

Tubería		Carga (LU)	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	P.d.c (m.c.a/m)	L <sub>tubería</sub> (m)	P.d.c en la tubería (m.c.a)	V <sub>agua</sub> (m/s)
Depósito auxiliar 1	T1	201	168	160	0,0164	33	0,5471	0,999
	T2	171	118	110	0,0157	30	0,471	1,799
	T3	60	78	75	0,018	75	1,350	0,631
Depósito auxiliar incendios		200	168	160	0,0163	5	0,0815	0,721

Tabla 86: Red de tuberías de los depósitos auxiliares

### 6.6.5.2 Interior del edificio de oficinas

Antes de comenzar a dimensionar la red de abastecimiento de agua sanitaria y agua caliente sanitaria correspondiente al edificio de oficinas, se explica a continuación la nomenclatura utilizada que aparece en los planos y tablas de la instalación.

Cada una de las derivaciones están designadas por la letra “d” acompañada de un número, de forma que cada derivación queda perfectamente definida. Dichas derivaciones alimentan a un conjunto de equipos.

Por otro lado, las letras mayúsculas hacen referencia a los distribuidores que alimentan las distintas derivaciones.

Los equipos no están enumerados en los planos para no empeorar la visibilidad, pero en las tablas aparecerán diferenciados por tipos y enumerados.

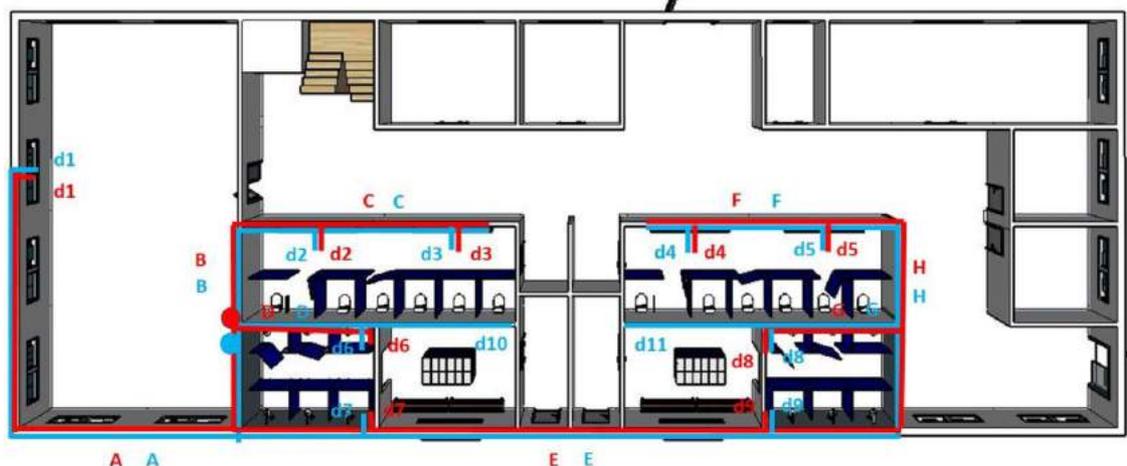


Figura 333: Red de derivaciones de saneamiento de la planta baja

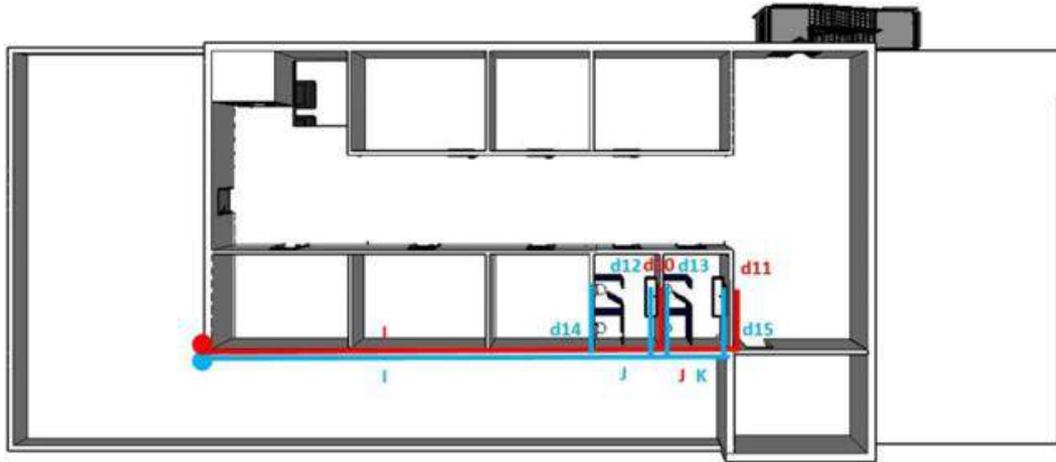


Figura 334: Red de derivaciones de saneamiento de la primera planta

- Instalación de agua sanitaria

A continuación, se muestran dos tablas que contienen toda la información acerca de las derivaciones y distribuidores.

	Tubería	Equipos que alimenta	Carga (LU)	$D_{ext}$ (mm)	$D_{int}$ (mm)	P.d.c (m.c.a/m)	$L_{tubería}$ (m)	P.d.c en la tubería (m.c.a)	$V_{agua}$ (m/s)
PLANTA BAJA	d1	Freg. 1 - 2	4	25	19,4	0,0244	1,5	0,0366	1,353
	d2	Lavabo 1 - 2	2	16	12	0,0258	0,5	0,0129	1,768
	d3	Lavabo 3 - 4	2	16	12	0,0258	0,5	0,0129	1,768
	d4	Lavabo 5 - 6	2	16	12	0,0258	0,5	0,0129	1,768
	d5	Lavabo 7 - 8	2	16	12	0,0258	0,5	0,0129	1,768
	d6	Duchas 1 - 3	6	32	24,8	0,0235	0,5	0,01175	1,242
	d7	Duchas 4 - 6	6	32	24,8	0,0235	0,5	0,01175	1,242
	d8	Duchas 7 - 9	6	32	24,8	0,0235	0,5	0,01175	1,242
	d9	Duchas 10 - 12	6	32	24,8	0,0235	0,5	0,01175	1,242
	d10	Inodoro 1 - 6	6	32	24,8	0,0235	4	0,094	1,242
	d11	Inodoro 7 - 12	6	32	24,8	0,0235	4	0,094	1,242
PRIMERA PLANTA	d12	Lavabo 9	1	16	12	0,0306	2	0,0612	0,884
	d13	Lavabo 10	1	16	12	0,0306	2	0,0612	0,884
	d14	Inodoro 13-14	2	16	12	0,0258	2	0,0516	1,768
	d15	Inodoro 15-16	2	16	12	0,0258	2	0,0516	1,768

Tabla 87: Derivaciones de agua sanitaria en el edificio de oficinas

Tubería	Derivaciones que alimenta	Carga (LU)	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	P.d.c (m.c.a/m)	L <sub>tubería</sub> (m)	P.d.c en la tubería (m.c.a)	V <sub>agua</sub> (m/s)
A	d1	4	25	19,4	0,0244	17	0,4148	1,353
B	d2,d3,d6,d7, d10	22	50	38,8	0,0195	7,5	0,1463	1,861
C	d2,d3	4	25	19,4	0,0244	8	0,1955	1,353
D	d6,d10	12	40	31	0,0211	4	0,0844	1,589
E	d7,d9	12	40	31	0,0211	24	0,5064	1,589
F	d4,d5	4	25	19,4	0,0244	8	0,1955	1,353
G	d8,d11	12	40	31	0,0211	4	0,0844	1,589
H	d4,d5,d8,d11, d9	22	50	38,8	0,0195	7,5	0,1463	1,861
I	d12,d13,d14, d15	6	32	24,8	0,0235	14	0,3290	1,242
J	d12,d13,d15	4	25	19,4	0,0244	2,5	0,0610	1,353
K	d15	2	16	12	0,0258	2,5	0,0645	1,768

Tabla 88: Distribuidores de agua sanitaria en el edificio de oficinas

Por último, desde las derivaciones hasta los puntos de servicio, las características y dimensiones de las tuberías de cada uno de los dispositivos de consumo se resumen en la siguiente tabla:

Dispositivo de consumo	Carga (LU)	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	P.d.c (m.c.a/m)	V <sub>agua</sub> (m/s)
Inodoro	1	16	12	0,0306	0,884
Fregadero	2	16	12	0,0258	1,768
Lavabo	1	16	12	0,0306	0,884
Ducha	2	16	12	0,0258	1,768

Tabla 89: Características de las tuberías de agua sanitaria de cada dispositivo de consumo

Finalmente, para terminar con el diseño de la instalación de agua sanitaria hay que comprobar que en los puntos de servicio la presión es superior a 10,2 m.c.a , que es el valor establecido en la normal.

Equipo	Presión en punto de servicio (m.c.a)	Equipo	Presión en punto de servicio (m.c.a)	Equipo	Presión en punto de servicio (m.c.a)
Fregadero 1	47,47	Inodoro 13	47,45	Ducha 11	47,26
Fregadero 2	47,47	Inodoro 14	47,45	Ducha 12	47,26
Inodoro 1	47,60	Inodoro 15	47,48	Lavabo 1	47,70
Inodoro 2	47,60	Inodoro 16	47,48	Lavabo 2	47,70
Inodoro 3	47,60	Ducha 1	47,50	Lavabo 3	47,70
Inodoro 4	47,60	Ducha 2	47,50	Lavabo 4	47,70
Inodoro 5	47,60	Ducha 3	47,50	Lavabo 5	47,00
Inodoro 6	47,60	Ducha 4	47,26	Lavabo 6	47,00
Inodoro 7	49,94	Ducha 5	47,26	Lavabo 7	47,00
Inodoro 8	49,94	Ducha 6	47,26	Lavabo 8	47,00
Inodoro 9	49,94	Ducha 7	47,03	Lavabo 9	47,48
Inodoro 10	49,94	Ducha 8	47,03	Lavabo 10	47,41
Inodoro 11	49,94	Ducha 9	47,03		
Inodoro 12	49,94	Ducha 10	47,26		

Tabla 90: Pérdidas de carga en los puntos de consumo

Los valores mostrados en la tabla anterior se han calculado teniendo en cuenta la presión con la que llega el agua a la acometida que es de 50 m.c.a y las pérdidas de carga en cada una de las derivaciones, distribuidores y tuberías de conexión a los equipos. Queda demostrado que en ninguno de los puntos de consumo la presión es inferior a 10,2 m.c.a tal y como exige la normativa.

Puesto que la presión en los puntos de consumo es muy elevada, se recurre a instalar válvulas reductoras de presión para disminuir los valores en torno a 20-30 m.c.a.

- Instalación de agua caliente sanitaria

Tal y como se mostraba en el plano general de la planta, existe una derivación de producción de agua caliente sanitaria. Una vez obtenida el agua caliente, esta se almacena en un depósito destinado para ello situado en la terraza de la primera planta del edificio de oficinas. Para el diseño de la instalación se procederá de la misma manera que en el caso del agua sanitaria mostrada en el punto anterior. En las tablas siguientes se recoge toda la información de las derivaciones y distribuidores de agua caliente sanitaria.

PLANTA BAJA	Tubería	Equipos que alimenta	Carga (LU)	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	P.d.c (m.c.a/m)	L <sub>tubería</sub> (m)	P.d.c en la tubería (m.c.a)	V <sub>agua</sub> (m/s)
	d1	Freg. 1 y 2	4	25	19,4	0,0244	1,5	0,0366	1,353
	d2	Lavabo 1 y 2	2	16	12	0,0258	0,5	0,0129	1,768
	d3	Lavabo 3 y 4	2	16	12	0,0258	0,5	0,0129	1,768
	d4	Lavabo 5 y 6	2	16	12	0,0258	0,5	0,0129	1,768
	d5	Lavabo 7 y 8	2	16	12	0,0258	0,5	0,0129	1,768
	d6	Duchas 1 a 3	6	32	24,8	0,0235	0,5	0,01175	1,242
	d7	Duchas 4 a 6	6	32	24,8	0,0235	0,5	0,01175	1,242
	d8	Duchas 7 a 9	6	32	24,8	0,0235	0,5	0,01175	1,242
	d9	Duchas 10 a 12	6	32	24,8	0,0235	0,5	0,01175	1,242
PRIMERA PLANTA	d10	Lavabo 9	1	16	12	0,0306	2	0,0612	0,884
	d11	Lavabo 10	1	16	12	0,0306	2	0,0612	0,884

Tabla 91: Derivaciones de agua caliente sanitaria en el edificio de oficinas

Tubería	Derivaciones que alimenta	Carga (LU)	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	P.d.c (m.c.a/m)	L <sub>tubería</sub> (m)	P.d.c en la tubería (m.c.a)	V <sub>agua</sub> (m/s)
A	d1	4	25	19,4	0,0244	17	0,4148	1,353
B	d2,d3,d6,d7	16	50	38,8	0,0198	7,5	0,1485	1,692
C	d2,d3	4	25	19,4	0,0244	8	0,1955	1,353
D	d6	6	32	24,8	0,0235	4	0,0940	1,242
E	d7,d9	12	40	31	0,0211	24	0,5064	1,589
F	d4,d5	4	25	19,4	0,0244	8	0,1955	1,353
G	d8	6	32	24,8	0,0235	4	0,0940	1,242
H	d4,d5,d8,d9	16	50	38,8	0,0198	7,5	0,1485	1,692
I	d10,d11	2	16	12	0,0258	16,5	0,4257	1,768
J	d11	1	16	12	0,0306	2,5	0,0765	0,884

Tabla 92: Distribuidores de agua sanitaria en el edificio de oficinas

Por otro lado, desde las derivaciones hasta los puntos de servicio, las características y dimensiones de las tuberías de cada uno de los dispositivos de consumo se resumen en la siguiente tabla:

Dispositivo de consumo	Carga (LU)	D <sub>ext</sub> (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	P.d.c (m.c.a/m)	V <sub>agua</sub> (m/s)
Fregadero	2	16	12	0,0258	1,768
Lavabo	1	16	12	0,0306	0,884
Ducha	2	16	12	0,0258	1,768

Tabla 93: Características de las tuberías de agua caliente sanitaria de cada dispositivo de consumo

Con todos los datos anteriormente recopilados, se procede a comprobar que la presión en los puntos de consumo es superior a 10, 2 m.c.a que es el valor establecido por la norma. Los cálculos se han hecho utilizando el mismo procedimiento que en la instalación de agua sanitaria.

Equipo	Presión en punto de servicio (m.c.a)	Equipo	Presión en punto de servicio (m.c.a)	Equipo	Presión en punto de servicio (m.c.a)
Fregadero 1	47,32	Ducha 7	47,11	Lavabo 3	47,55
Fregadero 2	47,32	Ducha 8	47,11	Lavabo 4	47,55
Ducha 1	47,66	Ducha 9	47,11	Lavabo 5	46,90
Ducha 2	47,66	Ducha 10	47,25	Lavabo 6	46,90
Ducha 3	47,66	Ducha 11	47,25	Lavabo 7	46,90
Ducha 4	47,25	Ducha 12	47,25	Lavabo 8	46,90
Ducha 5	47,25	Lavabo 1	47,55	Lavabo 9	47,42
Ducha 6	47,25	Lavabo 2	47,55	Lavabo 10	47,35

Tabla 94: Pérdida de carga en los puntos de consumo de agua caliente sanitaria

Al igual que en la instalación de agua sanitaria, al ser los valores de presión en los puntos de consumo demasiado elevados, se decide instalar estratégicamente válvulas reductoras de presión para disminuir la presión hasta 20-30 m.c.a

### 6.6.6 Generación de agua caliente sanitaria.

Actualmente las dos técnicas más comunes para obtener el agua caliente sanitaria son mediante un sistema de calentamiento a través de energía solar o a través de calderas.

El sistema de calentamiento de agua por medio de placas solares tiene como ventaja que se evita los continuos encendidos y apagados de las calderas, se puede utilizar el agua caliente de forma simultánea en dos puntos distintos y la potencia que se necesita para llevar el agua a los puntos de consumo es menor. Además, la utilización de placas solares supone un ahorro económico, a pesar de que la inversión inicial suele ser mayor. Por tanto, por todos los motivos mencionados se ha decidido instalar un sistema de placas solares para la generación de agua caliente sanitaria.

Las instalaciones térmicas de placas solares están constituidas por tres partes:

- Sistema de captación

Está formado por las placas solares propiamente dichas. Estas placas están formadas por captadores solares térmicos que aprovechan la energía que contiene la radiación solar y la transforman en energía térmica. Las placas están contenidas en una caja cubierta de vidrio, la cual actúa como “trampa de radiaciones solares” de forma que la temperatura en el interior de la caja aumenta progresivamente. El calor transportado es cedido mediante un intercambiador de calor. El circuito cerrado que une los captadores se denomina circuito primario y el circuito que parte del intercambiador al depósito de acumulación solar se denominado circuito secundario. Por el circuito primario circula un fluido caloportador que absorbe el calor. Se usará un intercambiador de calor externo al depósito.

- Sistema de acumulación

Debido a que la energía solar térmica no se consume totalmente instantáneamente, para no desaprovecharla hay que acumularla. El sistema de acumulación retiene esa energía y la suministra conforme se va demandando. El acumulador estará debidamente aislado para reducir al máximo las pérdidas de energía.

- Sistema de distribución

El sistema de distribución está formado por equipos de regulación, tuberías, bombas y elementos de seguridad. Las tuberías de este sistema trasladan el agua caliente obtenida a los puntos de consumo.

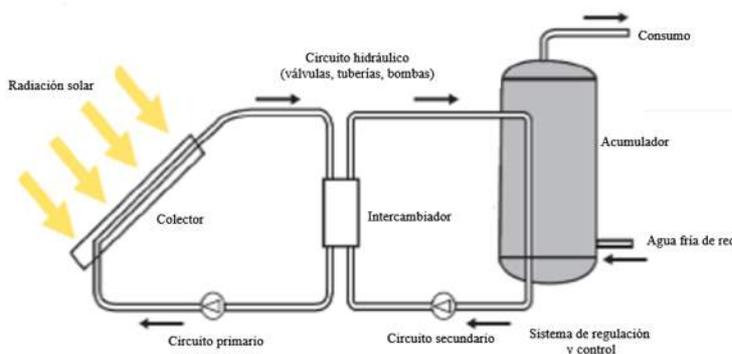


Figura 335: Esquema de sistema de generación de agua caliente

A continuación, se muestra el modelo y la ficha técnica de los captadores solares y el acumulador:

Captadores solares		Fabricante: FAGOR	Modelo: SOLARIA 2.1 G S8
Largo (mm)	1.900	Temperatura de estancamiento (° C)	197
Ancho (mm)	1.090	Flexión máxima (Pa)	1.000
Fondo (mm)	90	Cubierta transparente	Vidrio templado
Área total del captador (m <sup>2</sup> )	2,04	Carcasa	Acero lacado con epoxi
Área del absorbedor (m <sup>2</sup> )	2,4	Absorbedor	Aletas de cobre (0,5 mm) soldadas por ultrasonidos
Peso en vacío (kg)	38	Rendimiento óptico	69,30 %
Capacidad del fluido (l)	1,18	N.º de captadores utilizados	50

Fluido caloportador	Agua	Área efectiva de captación ( $m^2$ )	102
Acumulador		<b>Fabricante:</b> FAGOR	<b>Modelo:</b> ASF-800
Capacidad ACS (L)	800		
Peso en vacío (Kg)	170		
Temperatura máxima del depósito de ACS (°C)	90		
Diámetro exterior (mm)	950		
Longitud total (mm)	1.840		
Aislamiento	Aislamiento térmico con espuma rígida de poliuretano inyectado en molde libre de CFC		
Acabado exterior	Forro acolchado desmontable color blanco y tapa gris		
Otras características	Protección catódica compuesta por ánodos de magnesio con medidor de carga.		

El siguiente equipo que se va a diseñar es el intercambiador de placas, a través del cual se transmite la energía del circuito primario al secundario.

Su diseño se puede simplificar a groso modo utilizando la siguiente expresión:

$$P \geq 500 \cdot A$$

Donde:

P : potencia en vatios que debe transmitir el intercambiador.

A : Área efectiva total de los captadores.

De acuerdo con la expresión anterior, el intercambiador de calor debe cumplir  $P \geq 500 \cdot 102$ , es decir,  $P \geq 51000$

Finalmente se ha decidido utilizar el siguiente intercambiador de placas:

Intercambiador de placas		<b>Fabricante:</b> SUICALSA	<b>Modelo:</b> 360531PX10
Fuente de calentamiento	Solar		
Aplicación	Producción de ACS		
Potencia (kW)	60		
N.º de placas	31		
Caudal 1º / Caudal 2º (L/h)	5.431 / 1.734		
P. carga 1º / P. carga 2º (m.c.a)	2,79 / 0,32		

### 6.6.7 Depósitos de agua

Tal y como se comentó previamente, en nuestra planta se utilizarán dos depósitos auxiliares:

- Depósito auxiliar de abastecimiento de agua para la nave de producción, envasado y sala de molienda en caso de que se produzca un corte eventual en el suministro.
- Depósito auxiliar para abastecer la red y equipos contra incendios.

En ambos casos, los depósitos serán de superficie, cilíndricos verticales y con una impermeabilización mediante una membrana interior de PVC.

Ambos tendrán una capacidad de 117 m<sup>3</sup>, presentando unas dimensiones de 5 m de diámetro y 6 m de alto. El volumen de ambos depósitos se ha calculado teniendo en cuenta las necesidades de consumo de agua en el sistema de producción y en los equipos de protección contra incendios, de forma que cubren las necesidades de un día de producción y los equipos de protección contra incendios permanecen activos durante el tiempo que tardan en asistir los equipos de emergencia.

Otra posibilidad habría sido utilizar un solo depósito con un volumen tal que cubra las necesidades del sistema de producción y del sistema contraincendios de forma que existiera una toma de agua para el sistema de protección contra incendios en la zona inferior del depósito para garantizar que hay agua disponible en todo momento para este sistema, y una toma a una altura mayor que la anterior para proveer de agua a las naves de procesos, envasado y molienda. Sin embargo, se ha elegido la alternativa descrita anteriormente debido a que los depósitos están colocados estratégicamente en la parcela, de forma que el depósito destinado al sistema de protección contra incendios se ha ubicado lo más cerca posible de la nave de envasado, nave de almacenamiento y oficinas, que es donde se encuentran los equipos contraincendios que requieren de abastecimiento de agua reduciendo así las pérdidas de carga en las tuberías.

Aun con todo lo explicado, la red de tuberías de protección contra incendios estará también conectada a la red de abastecimiento de agua, de forma que el agua contenida en el depósito simplemente sirve como reserva en caso de que coexista un incendio con un corte eventual en el suministro de agua.



Figura 336: Depósito auxiliar. Fabricante EnginyerBCN

## 6.7 Red de saneamiento

En este punto se desarrollará la instalación de la red de saneamiento, cuya función será transportar el agua residual de los distintos focos donde se producen en la planta hasta la red principal de recogida de aguas. También será necesario una red de evacuación de aguas pluviales que se detallará en los siguientes puntos.

En función de la procedencia del agua, se proyectarán las siguientes redes:

- Red de aguas residuales

Esta red servirá para transportar las aguas fecales producidas en el edificio de oficinas y baños de la nave de envasado y producción. Las tuberías serán de PVC.

- Red de aguas pluviales

La red de aguas pluviales será la encargada de recoger el agua procedente de la lluvia.

- Red de aguas de procesos

El agua utilizada en los procesos de la planta será recogida por esta red, la cual la llevará hasta los equipos de depuración.

Las tres redes comentadas serán proyectadas de forma independiente, las cuales desembocarán en un colector común que comunicará con la red general.

El transporte de las aguas se llevará a cabo por gravedad, lo que supone no utilizar sistemas de bombeo. Para facilitar el transporte, se dotará a las tuberías de una cierta pendiente que variará según el caso.

Para el desarrollo de la red de saneamiento, la normativa que se ha utilizado es la siguiente:

- Instrucciones técnicas para redes de saneamiento, desarrollada por EMASESA.
- Documento Básico HS de Salubridad, concretamente la sección 5 referente a la evacuación de aguas.

### 6.7.1 Red de evacuación de aguas fecales

Como se ha comentado previamente, las aguas fecales se originan en el edificio de oficinas y baños de la nave de envasado y almacenamiento. Estas aguas se clasifican como aguas residuales urbanas, lo que significa que no será necesario someterlas a un tratamiento previamente a ser evacuadas en la red principal.

El documento HS de Salubridad establece un método para el dimensionamiento de la red de evacuación de aguas residuales. Dicho método consiste en adjudicar Unidades de Desagüe (UD) a cada tipo de aparato y un diámetro correspondiente a las tuberías correspondientes. A continuación, se muestra una tabla con la información concerniente a los equipos instalados en la planta:

Equipo	UD	D <sub>min</sub> (mm)
Lavabos	2	40
Duchas	3	50
Inodoros	5	100
Urinarios	2	40
Fregaderos	6	50

Tabla 95: UD y diámetro mínimo correspondiente a los distintos equipos sanitarios

Por otro lado, es necesario dimensionar los ramales colectores entre los aparatos sanitarios y los bajantes. Para ello se utilizará la siguiente tabla:

UD máximo			Diámetro (mm)
Pendiente			
1 %	2 %	4 %	
-	1	1	32
-	2	3	40
-	6	8	50
-	11	14	63
-	21	28	75
47	60	75	90
123	151	181	110
180	234	280	125
438	582	800	160
870	1.150	1.680	200

Tabla 96: Diámetro de los ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajantes

Por otro lado, será necesario instalar bajantes de aguas residuales para transportar el agua desde las plantas superiores hasta la red de tuberías principales. Estos bajantes se proyectarán de manera que no se rebasará el límite de variación de presión de  $\pm 250$  Pa. Deberán de cumplir también que el agua que transporte no puede ocupar una superficie mayor a  $1/3$  de la sección transversal de la tubería. El dimensionado de dichas tuberías se realiza con ayuda de la siguiente tabla:

UD máximo para una altura de bajante de:		UD máximo en cada ramal para una altura de bajante de:		Diámetro (mm)
Hasta 3 plantas	Más de 3 plantas	Hasta 3 plantas	Más de 3 plantas	
10	25	6	6	50
19	38	11	9	63
27	53	21	13	75
135	380	70	53	90
360	740	181	134	110
540	1.100	280	200	125
1.208	2.240	1.120	400	160
2.200	3.600	1.680	600	200
3.800	5.600	2.500	1.000	250
6.000	9.240	4.320	1.650	315

Tabla 97: Diámetro de bajantes según el número de alturas del edificio y valor de UD

El último elemento necesario para el diseño completo de la red de evacuación de aguas fecales es el colector. Los colectores se diseñarán teniendo en cuenta que el agua que transportan puede ocupar una superficie máxima de 3 / 4 de la sección transversal de la tubería. El dimensionado de los colectores se obtiene de la siguiente tabla:

UD máximo			Diámetro (mm)
Pendiente			
1 %	2 %	4 %	
-	20	25	50
-	24	29	63
-	38	57	75
96	130	160	90
264	321	382	110
390	480	580	125
880	1.056	1.300	160
1.600	1.920	2.300	200
2.900	3.500	4.200	250
5.710	6.920	8.290	315
8.300	10.000	12.000	350

Tabla 98: Diámetro de los colectores en función del valor máximo UD y la pendiente

### 6.7.1.1 Dimensionado de la red de evacuación de aguas fecales

De acuerdo con las tablas y la información mostrada hasta ahora, se dimensionarán las canalizaciones de la red de evacuación de aguas fecales de la siguiente forma:

	Tubería	Aparatos sanitarios						Total		Colector	
		Lavabos		Duchas		Inodoros		Fregaderos	M		F
		M	F	M	F	M	F				
Planta baja de las oficinas	N.º de unidades	4	4	6	6	6	6	2	16	16	-
	UD	8	8	12	12	24	24	6	44	44	88
	D (mm)	50	50	50	50	100	100	50	125	125	125
	Pendiente (%)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Longitud (m)	9	9	10	10	10	10	7	7	7	40

Tabla 99: Red de evacuación de aguas fecales en la planta baja de las oficinas

	Tubería	Aparatos sanitarios				Total		Colector
		Lavabos		Inodoros		M	F	
		M	F	M	F			M
Primera planta de las oficinas	N.º de unidades	1	1	2	2	3	3	-
	UD	2	2	8	8	10	10	20
	D (mm)	50	50	100	100	100	100	100
	Pendiente (%)	2	2	2	2	2	2	2
	Longitud (m)	1,5	1,5	1,5	1,5	4	4	32

Tabla 100: Red de evacuación de aguas fecales en la primera planta de las oficinas

	Tubería	Aparatos sanitarios		Colector
		Lavabos	Inodoros	
		Nave de almacenamiento	N.º de unidades	1
UD	2		4	8
D (mm)	50		100	100
Pendiente (%)	2		2	2
Longitud (m)	1		1	53

Tabla 101: Red de evacuación de aguas fecales en la nave de envasado

	Tubería	Aparatos sanitarios		Colector
		Lavabos	Inodoros	
		Nave de almacenamiento	N.º de unidades	1
UD	2		4	8
D (mm)	50		100	100
Pendiente (%)	2		2	2
Longitud (m)	1		1	50

Tabla 102: Red de evacuación de aguas fecales en la nave de almacenamiento

Todas las tuberías de aguas fecales del edificio de oficinas, nave de almacenamiento y nave de producción desembocan en un colector general de diámetro 315 mm, pendiente 4 % y una longitud de 110 m.

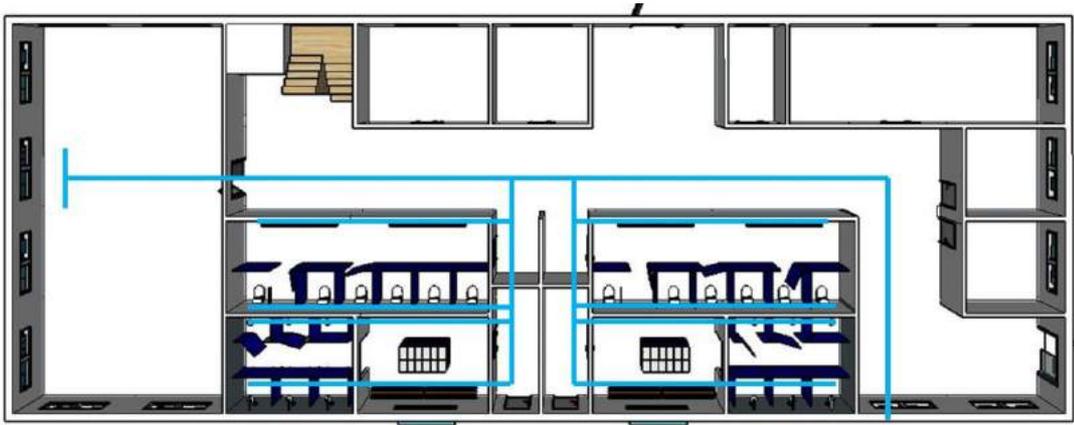


Figura 337: Plano de la red de evacuación de fecales en la planta baja de las oficinas

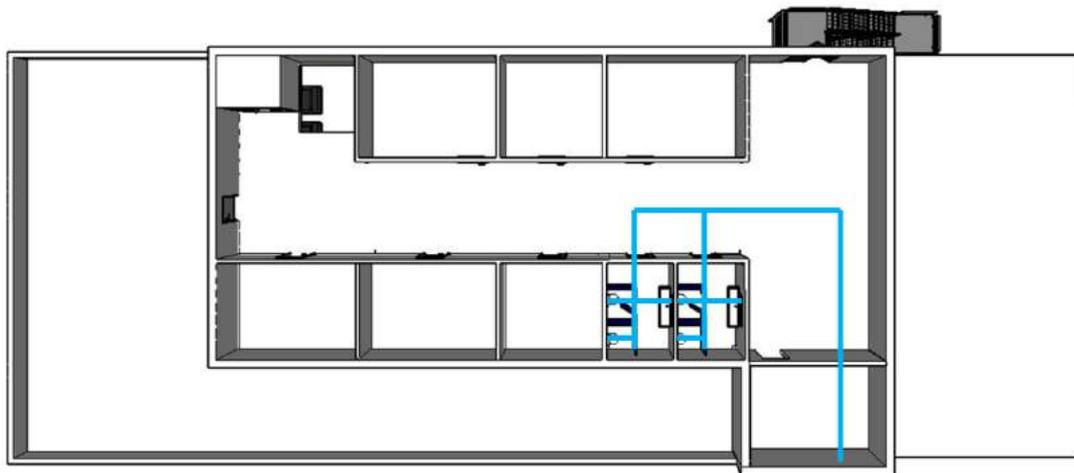


Figura 338: Plano de la red de evacuación de fecales en la primera planta de las oficinas

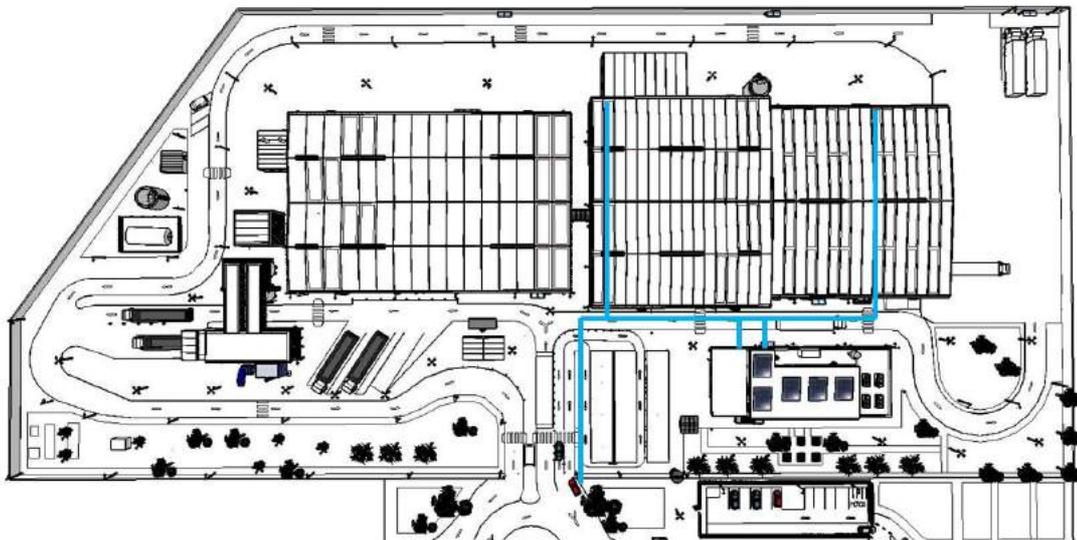


Figura 339: Plano de la red de evacuación de fecales de las naves y colector general

## 6.7.2 Red de evacuación de aguas pluviales

La red de evacuación de aguas pluviales será la encargada de recoger el agua procedente de la lluvia. Para dimensionar esta red de tuberías, se ha asumido lo siguiente:

- Las precipitaciones serán uniformes en espacio y tiempo.
- Los cálculos se realizarán suponiendo la situación más desfavorable.
- El coeficiente de escorrentía se estima en un valor de 0,5.

El diseño de la red de evacuación de aguas pluviales comienza con la ubicación de los imbornales. Los imbornales, conocidos comúnmente como alcantarillas, son las aberturas posicionadas en el suelo para dar salida al agua de la lluvia. En este proyecto se ha optado por imbornales de rejillas de fundición dúctil, aunque existen otras variedades de formatos como los imbornales de canales, buzón y mixtos.

En total se ha decidido colocar 95 imbornales, los cuales estarán distribuidos según se muestra en el siguiente plano:

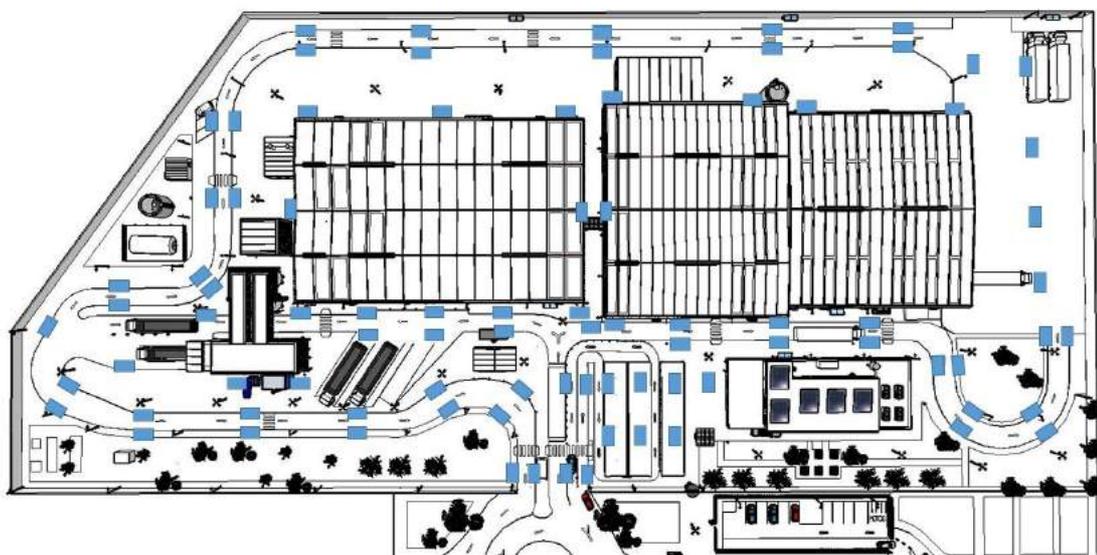


Figura 340: Plano general con la ubicación de los imbornales

Los canalones se dimensionarán suponiendo que la intensidad pluviométrica es de 100 mm/h y se utilizará la siguiente tabla:

Superficie máxima de cubierta en proyección horizontal (m <sup>2</sup> )				Diámetro nominal del canalón (mm)
Pendiente del canalón				
0,5 %	1 %	2 %	4 %	
35	45	65	95	100
60	80	115	165	125
90	125	175	255	150
185	260	370	520	200
335	475	670	930	250

Tabla 103: Dimensiones de los canalones para una intensidad pluviométrica de 100 mm/h

La tabla anterior proporciona las dimensiones de los canalones cuando estos tienen una geometría semicircular. Sin embargo, cuando la sección sea cuadrangular, las dimensiones se obtendrán teniendo en cuenta que la sección será la correspondiente al caso semicircular con un incremento del 10 %.

En cuanto a los colectores de aguas pluviales, estos se dimensionan en función de la superficie proyectada total de acuerdo con la siguiente tabla:

Superficie proyectada (m <sup>2</sup> )			Diámetro nominal del colector (mm)
Pendiente del colector			
1 %	2 %	4 %	
125	178	253	90
229	323	458	110
310	440	620	125
614	862	1.228	160
1.070	1.510	2.140	200
1.920	2.710	3.850	250
2.016	4.589	6.500	315

Tabla 104: Dimensiones de los colectores de aguas pluviales para una intensidad pluviométrica de 100 mm/h

### 6.7.2.1 Dimensiones de la red de evacuación de aguas pluviales

De acuerdo con las tablas mostradas en el punto anterior, se han calculado las dimensiones de los elementos de la red de evacuación de aguas pluviales de la siguiente manera:

- Los canalones serán rectangulares, tendrán unas dimensiones de 30 x 10 cm y una pendiente del 2 %. Para ello se ha tenido en cuenta que la superficie máxima de cubierta en proyección horizontal es de 650 m<sup>2</sup> aproximadamente.
- Los colectores tendrán un diámetro de 200 mm y una pendiente del 2 %.

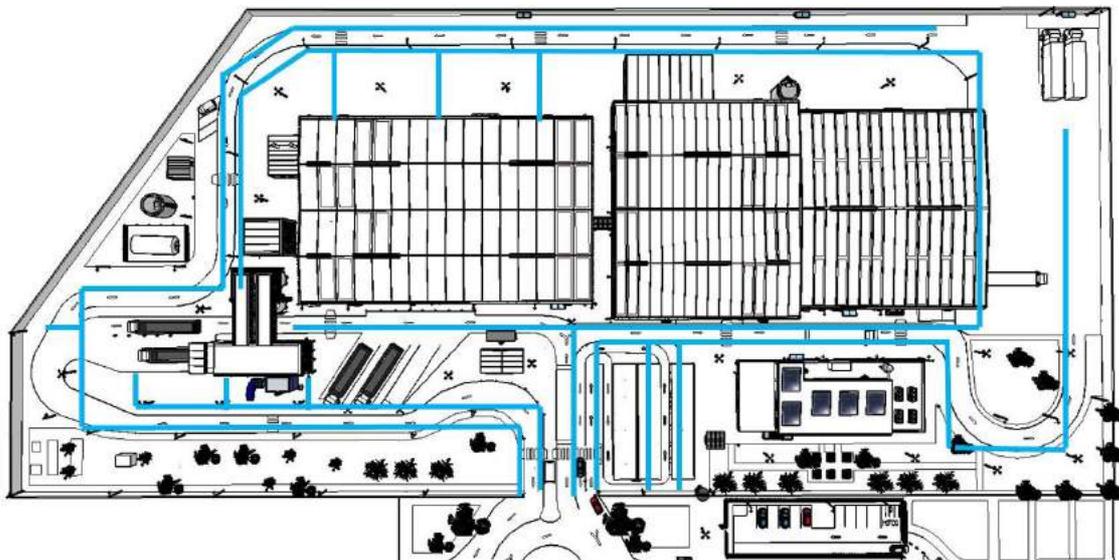


Figura 341: Red de tuberías de evacuación de aguas pluviales

### 6.7.3 Red de evacuación de aguas de procesos

En el proceso de elaboración de cerveza, existen corrientes de aguas de desechos que contienen un alto porcentaje de materia orgánica, por lo que no podrá ser evacuada directamente a la red general. Por tanto, dichas corrientes de agua se enviarán a un sistema depurador ubicado en la nave de producción.

El agua utilizada en el túnel de pasteurización y enjuagadora de botellas no será necesario tratarla y podrá ser evacuada directamente a la red general

#### 6.7.3.1 Depuración del agua de procesos

El agua procedente de los procesos de elaboración del mosto y cerveza será tratada en una planta específica de depuración. Dicha planta constará de un decantador y un separador centrífugo que funcionan de forma continua. Un compresor rotativo deshidratará el lodo y lo compacta, y en el decantador y separador se consigue depurar el agua reteniendo la mayor parte de los compuestos orgánicos y productos de limpieza.



Figura 342: Equipo de depuración de las aguas de procesos

#### 6.7.3.2 Distribución de tuberías de aguas de procesos

A continuación se muestra la distribución de las tuberías en la nave de procesos que circulará el agua hacia el equipo de depuración. El agua de procesos contiene residuos líquidos y sólidos resultante de la elaboración de cerveza y productos de limpieza.

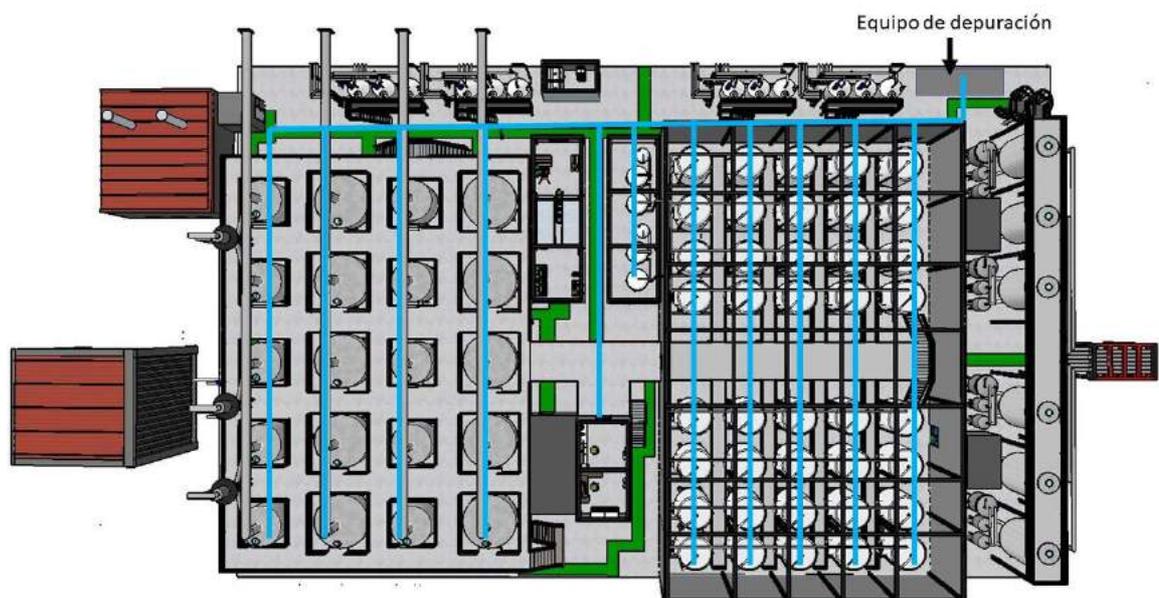


Figura 343: Red de tuberías de agua de procesos

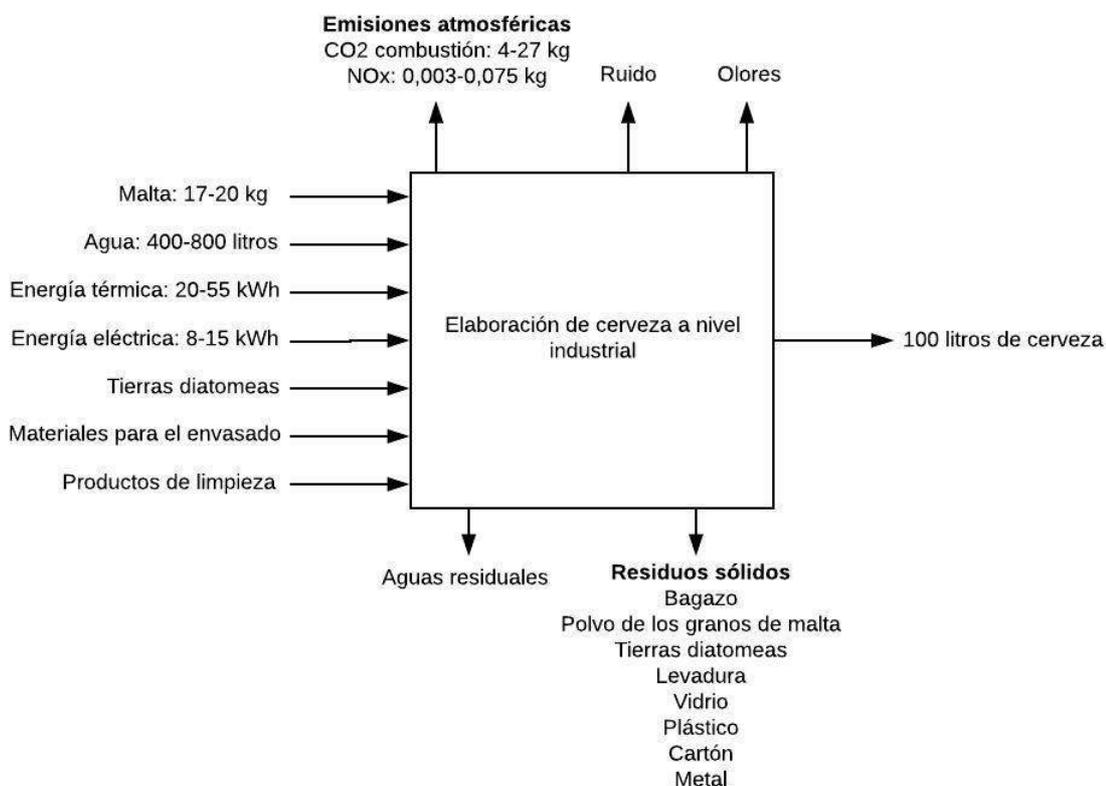


## 7 Evaluación de impacto ambiental

En este último capítulo se analizará y evaluará los factores que intervienen en el proceso de elaboración de cerveza y que suponen un impacto sobre el medio ambiente. En general, este tipo de industria causa un impacto global reducido. No obstante, será necesario identificar los impactos y estudiar las medidas correctoras más convenientes. Para dicho análisis se ha utilizado como apoyo la guía de Mejores Técnicas Disponibles (MTD) en España enfocado al sector cervecero.

### 7.1 Valores de consumo y emisiones

A continuación, se muestra un balance de entradas y salidas para explicar los valores de consumo y emisiones que se producen habitualmente en industrias cerveceras cuando se elaboran 100 litros de producto.



Los valores mostrados anteriormente son orientativos, ya que dependen en buena parte de muchos factores como el estado de las instalaciones, antigüedad de la fábrica, capacidad de producción, variedades de cerveza que se elaboran, metodologías y ejecución de cada uno de los procesos, tipo de combustible utilizado, envases y calidad del agua empleada, entre otros.

### 7.2 Niveles de emisión

A la hora de realizar un análisis de impacto ambiental, es fundamental centrar la atención en cada uno de los elementos ambientales y sus niveles de emisión.

Tal y como se mostró en el balance anterior, en el sector cervecero las emisiones están compuestas fundamentalmente por aguas residuales, residuos sólidos, olores, ruidos y emisiones atmosféricas consistentes en CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>.

- Aguas residuales

En el proceso de elaboración del mosto cervecero el agua total utilizada no se queda formando parte del producto final, sino que existe una proporción de agua residual que corresponde al agua que se evapora, la que queda retenida en el bagazo y “trub” y la proveniente de las operaciones de limpieza de los equipos e instalaciones.

De todos los orígenes comentados, sin duda la que mayor carga contaminante tiene es el agua residual que proviene de las operaciones de limpieza, ya que contiene una mayor concentración de sustancias químicas y sólidos en suspensión.

En el caso de no disponer de un sistema de recuperación y reutilización del agua utilizada en el proceso de enfriamiento del mosto, esta operación también supondría un foco de emisión de aguas residuales.

Las aguas residuales producidas tienen una carga contaminante que se puede evaluar con una serie de parámetros, entre los que destacan la DQO (Demanda Química de Oxígeno), sólido en suspensión, nitrógeno, fósforo y cloruros.

- Residuos sólidos

La mayoría de los residuos sólidos generados en las plantas de elaboración de cerveza, son de carácter orgánico y se pueden comercializar a otras industrias como alimento para animales o abono.

Sin embargo, otros residuos sólidos provienen de las operaciones de envasado y almacenamiento y son clasificados como “asimilables a urbanos”, es decir, no son residuos potencialmente peligrosos y por tanto se pueden reciclar sin que apenas tengan un fuerte impacto en el medioambiente.

- Olores

El vaho producido durante la cocción es liberado a la atmósfera y es la principal causa de la producción de olores, ya que estos vahos contienen una cantidad significativa de sustancias volátiles.

El impacto ambiental que suponen los olores en las industrias cerveceras está fundamentalmente condicionado por la proximidad de la planta a los núcleos urbanos.

- Ruido

El ruido en las plantas de elaboración de cerveza es originado principalmente por los vehículos que transitan por la planta y los sistemas de transporte de la materia prima en el edificio de descarga y limpieza. Otro foco emisor de ruido son los compresores, por lo que suelen instalarse en salas independientes totalmente cerradas para reducir el impacto ambiental que pueden suponer.

- Emisiones atmosféricas

Las emisiones atmosféricas están constituidas fundamentalmente por gases de combustión, CO<sub>2</sub> y polvo.

Los gases de combustión se forman en el interior de las calderas, los cuales son liberados a la atmósfera a través de las chimeneas. Dichos gases están constituidos por SO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub>, estando condicionada la proporción de estos gases por la condición del combustible y las condiciones de operación. Actualmente, la mayoría de las plantas utilizan gas natural como combustible debido a que es el que genera menor cantidad de compuestos contaminantes y presenta mayor rendimiento energético.

En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub>, este gas es producido durante el proceso de fermentación. Sin embargo, el CO<sub>2</sub> es el compuesto que menos repercusión tiene en aspectos ambientales debido a que forma parte del ciclo biológico de los vegetales. Actualmente se están desarrollando técnicas que permiten recuperar de forma eficiente el CO<sub>2</sub> producido durante la fermentación. Con estos sistemas se consigue disminuir la emisión de gases a la atmósfera y obtener un ahorro económico importante, ya que la empresa se abastecería de su propio CO<sub>2</sub> producido e incluso podría vender el excedente a terceros.

## 7.3 Niveles de consumo

Al igual que es necesario analizar los niveles de emisión, es imprescindible hacer un estudio de los niveles de consumo.

En el proceso de elaboración de cerveza, las principales fuentes de consumo son la malta, agua, energía térmica, energía eléctrica, tierras diatomeas, materiales utilizados en el envase y productos de limpieza.

- Malta

La malta es uno de los principales ingredientes de la cerveza, además del lúpulo, agua y levaduras. La cantidad de malta utilizada dependerá de criterios particulares de la empresa y del tipo de cerveza que se desea elaborar.

- Agua

El agua constituye más del 90 % de la cerveza final, por lo que analizar su consumo resulta imprescindible para reducir el impacto ambiental y favorecer el ahorro.

En los casos que hay que tratar el agua previamente a ser utilizada en el proceso productivo, el consumo de agua se incrementa debido a que existe una serie de pérdidas.

Por otro lado, los puntos de mayor consumo de agua en una industria cervecera son las operaciones de limpieza y desinfección de equipos e instalaciones, pasteurización, limpieza de envases y enfriamiento del mosto.

- Energía

El consumo de energía en las plantas cerveceras es muy variable, ya que depende de factores como la gestión de la energía, eficiencia energética de las instalaciones y el estado de los equipos.

La energía térmica es fundamentalmente consumida en las etapas de obtención del mosto, aunque también se consume en otros procesos como la fermentación y pasteurización. A pesar de estudiarse con detenimiento el consumo de energía, en la industria cervecera este consumo no supera el 4-5 % de los costes totales.

La energía eléctrica es consumida mayoritariamente en el proceso de molienda, generación de aire comprimido, depuración de aguas residuales y en los procesos de envasado. Por su parte, el consumo eléctrico supone en torno al 2-3 % de los costes totales.

## 7.4 Mejores técnicas aplicadas en la planta

En este punto se desarrollarán las mejores técnicas que se aplicarán en la planta para reducir el impacto ambiental de las operaciones realizadas en la planta. Estas técnicas buscan eficacia a nivel ambiental y viabilidad en términos técnicos y económicos.

Operación implicada	Técnica utilizada	Explicación	Mejora
Limpieza de equipos e instalaciones	Recogida del agua de la última fase CIP	El agua obtenida tras el último enjuagado se almacena en un depósito para ser reutilizada en el primer enjuague del siguiente ciclo.	Ahorro de agua (15-20%)
Pasteurización	Refrigeración del agua en los túneles de pasteurización	El agua caliente del túnel se hace pasar por un enfriador y se devuelve a través de un circuito cerrado al pasteurizador.	Ahorro de agua (75-80%)
Enfriamiento	Reutilización del agua de enfriamiento del mosto	Almacenamiento del agua caliente tras el enfriamiento del mosto en tanques para utilizarla posteriormente en la maceración	Reducción del consumo de agua y energía térmica.

Operación implicada	Técnica utilizada	Explicación	Mejora
Fermentación	Control de la turbidez de la cerveza	<p>Instalación de sondas que miden la turbidez para detectar la interfase de levadura /cerveza.</p> <p>Instalación de válvula que desvíe las levaduras cuando la concentración de partículas en suspensión supere un nivel establecido. Si la dicha concentración esté por debajo del nivel establecido la válvula desvía la cerveza hasta el depósito buffer.</p>	<p>Reducción de DQO</p> <p>Reducción de las pérdidas de cerveza en la separación de las levaduras</p>
Cocción	Recuperación de los vahos	<p>Reutilización de los vahos para el calentamiento del mosto.</p> <p>Reutilización del calor de los vahos para generar agua caliente.</p> <p>Utilización del agua caliente que se ha recuperado para la limpieza de equipos e instalaciones.</p>	<p>Ahorro energético</p> <p>Reducción del consumo de agua</p> <p>Reducción de los olores</p>
Clarificación del mosto	Recuperación del "trub"	Reintroducción del "trub" retirado en la cuba de maceración o cocción para recuperar el mosto contenido.	Reducción de carga contaminante en el vertido
Fermentación	Recolección de levaduras	Utilización de tanques cilindrocónicos para recuperar eficientemente las levaduras.	Reducción de carga contaminante en el vertido
Transporte	Recuperación de la cerveza mediante arrastre	En el transporte de la cerveza a través de las tuberías quedan importantes cantidades de producto en las líneas de transvase. Se utiliza CO <sub>2</sub> para el arrastre de la cerveza.	<p>Recuperación del producto</p> <p>Reducción de carga contaminante en el vertido</p>
Recepción de materia prima	Aspiración y retención de polvo	Instalación de equipos de captación y retención del polvo en el edificio de descarga y limpieza	Reducción de emisión atmosférica de polvo
Fermentación	Recuperación de CO <sub>2</sub>	Instalación de una planta de recuperación de CO <sub>2</sub>	<p>Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub></p> <p>Ahorro económico</p>
Calderas	Combustibles de bajo contenido en azufre	Utilización de gas natural como combustible en las calderas	Reducción de emisiones de gases contaminantes
Filtración	Recolección de tierras diatomeas	Recolección de las tierras diatomeas una vez finalizada la filtración y cesión a gestores autorizados	Reducción carga contaminante en el vertido

# Índice de figuras

Figura 1: Lúpulo en flor (izda), pellets (centro) y extracto (dcha). Heineken en Sevilla	6
Figura 2: Evolución del consumo aparente de cerveza por canal (hL)	8
Figura 3: Evolución de las ventas de cerveza por canal en los últimos 5 años (millones de hL)	8
Figura 4: Ventas de cerveza por trimestre en hL (izda) y ventas por tipo de envase (dcha)	9
Figura 5: Distribución de ventas por zonas geográficas	9
Figura 6: Producción de cerveza en España en 2016, en hectolitros	9
Figura 7: Producción de cerveza en España en los últimos 10 años, en hectolitros	10
Figura 8: Producción de cerveza en Europa (miles de hL)	10
Figura 9: Producción de cerveza en el mundo (miles de hL)	10
Figura 10: Centros de producción de cerveza en España en 2016	11
Figura 11: Evolución de las exportaciones de cerveza en España en los últimos 10 años (hL)	11
Figura 12: Principales destinos de las exportaciones de cerveza (millones de litros)	11
Figura 13: Recaudación por impuestos (izda) y contribución al empleo por países europeos (dcha)	12
Figura 14: Diagrama de flujo de procesos	13
Figura 15: Representación gráfica del proceso general de elaboración de cerveza	14
Figura 16: Etapas del proceso de obtención del mosto	14
Figura 17: Cribadora. Fabricante Zanin	16
Figura 18: Despedregadora. Fabricante Della Valle	16
Figura 19: Separador magnético. Fabricante Greenwood Magnetics	16
Figura 20: Aventador de circulación de aire. Fabricante Bühler	17
Figura 21: Planchister. Fabricante Della Valle	17
Figura 22: Molino de dos y cuatro rodillos. Fabricante Künzel	19
Figura 23: Molino de seis rodillos. Fabricante Künzel	19
Figura 24: Molino con acondicionamiento por remojo. Fabricante GEA	20
Figura 25: Molino de molturación húmeda.	20
Figura 26: Sistemas de transporte mecánico más comunes	21
Figura 27: Instalación por depresión (izda) y sobrepresión (dcha) de transporte neumático	22
Figura 28: Descarga de malta y tolva con tornillo sin fin. Heineken Sevilla	23
Figura 29: Máquina despedregadora (izda) y criba (dcha). Heineken Sevilla	23
Figura 30: Dependencia de la actividad enzimática con la temperatura, tiempo y pH.	25
Figura 31: Representación gráfica de las fases de la maceración	28
Figura 32: Maceración por infusión en cuatro fases	29
Figura 33: Maceración por infusión en tres fases	29
Figura 34: Fases en la maceración por decocción	31
Figura 35: Fases del filtrado y lavado en una cuba filtro.	33
Figura 36: Fases del filtrado y lavado en un filtro prensa.	34
Figura 37: Factores que influyen en la formación de isómeros solubles	34
Figura 38: Temperatura, tiempo y presión en las diferentes fases de la cocción a baja presión	37

Figura 39: Fases de la cocción a alta temperatura	37
Figura 40: Esquema simplificado de un condensador de vahos	39
Figura 41: Fases del proceso de clarificación con Whirlpool	40
Figura 42: Esquema de un intercambiador de placas	41
Figura 43: Equipos y sistemas de transporte en la planta baja y primera del edificio de limpieza	43
Figura 44: Equipos y sistemas de transporte en el edificio de limpieza y galería subterránea	43
Figura 45: Equipos y sistemas de transporte en el edificio de molienda	43
Figura 46: Cubas de maceración (izda) y agitador mecánico (dcha). Fabricante GEA	44
Figura 47: Drum trolley para el transporte de bidones y flujómetro de masa	47
Figura 48: Cuba filtro de Krones (izda) y cocedor interno de Braukon (dcha)	47
Figura 49: Instalación de dosificación automática de extracto de lúpulo. Fabricante Decker	48
Figura 50: Modelo de la instalación de dosificación de extracto de lúpulo	49
Figura 51: Secuencia de equipos para la obtención del mosto	50
Figura 52: Etapas del proceso de obtención del mosto	50
Figura 53: Levaduras de fermentación baja.	55
Figura 54: Levaduras de fermentación alta.	57
Figura 55: Variedades de depósitos para la maduración de la cerveza.	58
Figura 56: Filtro de tierras diatomeas. Fabricante Czech Brewery Systems	60
Figura 57: Fases del proceso de filtración con filtro de velas	60
Figura 58: Gráfica temperatura-tiempo de pasteurización para la eliminación de determinados microorganismos	62
Figura 59: Equipo de pasteurización flash. Fabricante GEA	62
Figura 60: Pasteurizador tipo túnel. Fabricante COMAC	63
Figura 61: Equipo de microfiltración de cartuchos. Fabricante OSMO	63
Figura 62: Equipo de carbonatación. Fabricante Termofiger	64
Figura 63: Esquema de una planta de recuperación de CO <sub>2</sub> . Fabricante Haffmans	64
Figura 64: Sistema de recuperación de CO <sub>2</sub>	65
Figura 65: Representación gráfica de las fases del proceso de limpieza CIP	67
Figura 66: Equipo Wortstar (arriba) y Propax (debajo). Fabricantes GEA y Meura	68
Figura 67: Depósito para fermentación con sistema de conducciones para cerveza y levadura	69
Figura 68: Equipo de filtración "CombiCubeF" de Krones	70
Figura 69: Evaporador (izda) y columna de tubos giratorios (dcha). Fabricante Conetech	72
Figura 70: Proceso y equipo para la ósmosis inversa	73
Figura 71: Fases del proceso de llenado isobárico	74
Figura 72: Almacenamiento y embalaje de producto terminado (izquierda) y envases vacíos (izquierda)	78
Figura 73: Aspirador ATEX (izda) y filtro de mangas (dcha)	80
Figura 74: Filtro de mangas (izda) y ventilador centrifugo (dcha). Heineken Sevilla.	80
Figura 75: Paneles de venteo con apagallamas (dcha) y válvula de aislamiento (izda). Heineken Sevilla.	81
Figura 76: Puesta a tierra de camiones (izda) y conexiones equipotenciales (dcha)	81

Figura 77: Filtro de mangas, elevador de cangilones y paneles de venteo con apagallamas	82
Figura 78: Reacción normal al yodo	89
Figura 79: Vista en planta de la fábrica	91
Figura 80: Vista frontal de la fábrica	92
Figura 81: Vista del perfil izquierdo de la fábrica	92
Figura 82: Vista del perfil derecho de la fábrica	92
Figura 83: Flujos de vehículos en la entrada a la planta	93
Figura 84: Flujo de camiones por la fábrica	94
Figura 85: Flujo de vehículos del personal en la planta	95
Figura 86: Descripción gráfica del recorrido de descarga de cebada	96
Figura 87: Descripción gráfica del recorrido de descarga de materiales y carga de producto terminado	97
Figura 88: Vista exterior de la entrada a la planta para peatones	98
Figura 89: Vista interior de la entrada peatonal a la planta (izda) y molinete giratorio (dcha)	98
Figura 90: Garita de seguridad y barreras para el acceso y salida y de la planta	99
Figura 91: Vista en planta del parking interior	100
Figura 92: Vistas detalladas del parking interior	100
Figura 93: Vista frontal del parking interior	101
Figura 94: Vista en planta del parking exterior	101
Figura 95: Vista de perfil del aparcamiento exterior	101
Figura 96: Báscula para el pesaje de camiones	102
Figura 97: Laboratorio y plataforma para toma de muestras	103
Figura 98: Parking de camiones	103
Figura 99: Parking junto a la playa	104
Figura 100: Vista frontal del edificio de descarga y limpieza	105
Figura 101: Vista del edificio de descarga y limpieza y de los silos	105
Figura 102: Vistas del cuartillo eléctrico	106
Figura 103: Depósito auxiliar de agua	106
Figura 104: Depósito de gas natural	107
Figura 105: Vista del conjunto de instalaciones auxiliares	107
Figura 106: Zona para futuras ampliaciones	108
Figura 107: Zonas verdes de la planta	108
Figura 108: Merendero	109
Figura 109: Aparcamiento de bicicletas	109
Figura 110: Zona para fumadores	110
Figura 111: Flujos en la carretera para acceder a la planta	110
Figura 112: Flujo en la carretera al salir de la planta	111
Figura 113: Vistas generales de la nave de producción	112
Figura 114: Vistas laterales de la nave de producción	112
Figura 115: Portón abatible (izda) y puertas de acceso/emergencia (dcha)	113
Figura 116: Ubicación de zonas, salas y equipos en la nave de producción.	113

Figura 117: Vista en planta de la nave de producción.	114
Figura 118: Vista general de la zona de elaboración de mosto	115
Figura 119: Accesos al nivel superior de la zona de elaboración de mosto	115
Figura 120: Ubicación de los accesos al nivel superior	116
Figura 121: Vista en planta de la sala de enfriadores	116
Figura 122: Ubicación de la sala de enfriadores	117
Figura 123: Vista interior de la sala de control	117
Figura 124: Ubicación de la sala de control y escalera de acceso a la primera planta	118
Figura 125: Detalle de las cristaleras de la sala de control	118
Figura 126: Vista en planta de la sala de lúpulo	119
Figura 127: Zonas de la sala de lúpulo	119
Figura 128: Vista interior de las cámaras térmicas	120
Figura 129: Vista general de la sala de levadura	121
Figura 130: Vista general de la sala de fermentadores	122
Figura 131: Vista de la ubicación de dos accesos	122
Figura 132: Vista desde el nivel inferior de la sala de fermentación	122
Figura 133: Vista desde el pasillo central del nivel superior en la sala de fermentación	123
Figura 134: Doble escalera de comunicación entre nivel superior e inferior en la sala de fermentación	123
Figura 135: Vista de los equipos y depósitos de filtración con TD y almacén	123
Figura 136: Vista de los depósitos buffer	124
Figura 137: Vista de la pasarela	124
Figura 138: Vista de la escalera de acceso a la plataforma	125
Figura 139: Vista en planta de la zona de depósitos buffer	125
Figura 140: Vista frontal de la zona de depósitos buffer	125
Figura 141: Rack de tuberías	126
Figura 142: Almacén de productos para sistemas CIP	126
Figura 143: Vista interior del almacén de depósitos IBC	127
Figura 144: Vista general de dos estaciones CIP y almacén de productos	127
Figura 145: Estación CIP	128
Figura 146: Vistas en perspectiva de la nave de envasado	129
Figura 147: Vista de la parte trasera de la nave de envasado	129
Figura 148: Vista en planta del interior de la nave de envasado	130
Figura 149: Vista interior de la nave de envasado	130
Figura 150: Rack de tuberías en el interior de la nave de envasado	131
Figura 151: Vistas generales del interior de la nave de almacenamiento	132
Figura 152: Baño en la nave de envasado	132
Figura 153: Entrada de botellas vacías	133
Figura 154: Botellas vacías montadas en el palé de plástico	133
Figura 155: Robot despaletizador	134

Figura 156: Esquema del enfilamiento de las botellas	135
Figura 157: Entrada de las botellas a la máquina de llenado	135
Figura 158: Recorrido de las botellas en la máquina llenadora/taponadora	136
Figura 159: Entrada de las botellas en la estación de llenado	136
Figura 160: Máquina llenadora y taponadora	137
Figura 161: Salida de botellas	137
Figura 162: Esquema máquina etiquetadora	138
Figura 163: Flujo de etiquetas en la máquina etiquetadora	138
Figura 164: Enfilamiento de botellas antes de la entrada a la estación etiquetadora	138
Figura 165: Estación etiquetadora	139
Figura 166: Salida de botellas etiquetadas	139
Figura 167: Detalle de magazín de etiquetas	139
Figura 168: Cambio de dirección en la ruta	140
Figura 169: Entrada al túnel de pasteurización	141
Figura 170: Salida del túnel de pasteurización	141
Figura 171: Túnel de pasteurización	141
Figura 172: Ruta de cajas vacías en el transportador de rodillos	142
Figura 173: Vista superior de la estación de encajonado	142
Figura 174: Salida de cajas llenas de la estación de encajonado	143
Figura 175: Estación de paletizado	143
Figura 176: Vistas en perspectiva de la nave de almacenamiento	144
Figura 177: Vista del lado anexo a la nave de envasado	145
Figura 178: Plano de zonas de la nave de almacenamiento	146
Figura 179: Plano de accesos de la nave de almacenamiento	146
Figura 180: Oficina de logística y zona de descanso	147
Figura 181: Pasillo protegido de acceso a la oficina de logística	147
Figura 182: Vista desde el interior de la puerta de acceso para carretillas	147
Figura 183: Comunicaciones entre la nave de almacenamiento y envasado	148
Figura 184: Estanterías metálicas para el almacenamiento del producto terminado	148
Figura 185: Zona de almacenamiento de materiales de envasado	148
Figura 186: Vista interior de los pasillos de la nave	149
Figura 187: Salida de emergencia, camino peatonal y WC	149
Figura 188: Parking de carretillas	149
Figura 189: Vista general del edificio de descarga y limpieza	150
Figura 190: Vista frontal del edificio de descarga y limpieza	151
Figura 191: Vista lateral del edificio de descarga y limpieza	151
Figura 192: Trolva de descarga	152
Figura 193: Vista interior del edificio principal	152
Figura 194: Vista interior de la planta baja	153
Figura 195: Vista interior de la planta primera	153

Figura 196: Vista interior de la planta segunda	154
Figura 197: Vista interior de la planta sótano	154
Figura 198: Vista interior del edificio principal, secundario y sala de molienda	155
Figura 199: Vista interior de uno de los edificios que conforman el edificio secundario	155
Figura 200: Vista interior del edificio principal	155
Figura 201: Limpieza de silo (izquierda) y trípode para actividades de mantenimiento (derecha)	156
Figura 202: Vista lateral de la galería	156
Figura 203: Acceso a la galería subterránea	157
Figura 204: Descarga de grano a la tolva	157
Figura 205: Vista frontal del edificio de oficinas	158
Figura 206: Vista trasera del edificio de oficinas	158
Figura 207: Vista en perspectiva del edificio de oficinas	158
Figura 208: Vista en perspectiva del edificio de oficinas	158
Figura 209: Vista en planta del interior de la planta baja	159
Figura 210: Vista en planta del interior de la primera planta	159
Figura 211: Zona de espera, recepción y secretaría	161
Figura 212: Sala de conferencias	161
Figura 213: Cuarto de limpieza	162
Figura 214: Cuarto de primeros auxilios	162
Figura 215: Baños planta baja (izquierda) y primera planta (derecha)	162
Figura 216: Baños planta baja	163
Figura 217: Vestuarios (izquierda) y duchas (derecha)	163
Figura 218: Almacén	163
Figura 219: Pasillos de la planta baja	164
Figura 220: Cafetería	164
Figura 221: Ascensor y escalera	164
Figura 222: Despacho de dirección	165
Figura 223: Sala de reuniones	165
Figura 224: Oficina	165
Figura 225: Pasillo de la primera planta	166
Figura 226: Zona de descanso	166
Figura 227: Salidas de emergencia planta baja (izda) y primera planta (dcha)	166
Figura 228: Terraza	167
Figura 229: Escaleras gato de acceso a la cubierta	167
Figura 230: Dimensiones de la parcela	169
Figura 231: Motocompactora (izda) y motoniveladora (dcha). Fabricante Cat	172
Figura 232: Dimensiones de las zapatas	174
Figura 233: Detalle constructivo de arranque del pilar HEB en cimentación	174
Figura 234: Cimentación y estructura metálica de la nave de producción	174

Figura 235: Capas constituyentes de la solera	175
Figura 236: Zócalo redondeado	175
Figura 237: Vista frontal de la estructura metálica	178
Figura 238: Vista en planta de la estructura metálica	178
Figura 239: Vista lateral de la estructura metálica	178
Figura 240: Cercha	178
Figura 241: Estructuras metálicas del interior de la nave	179
Figura 242: Esquema de estructuras secundarias	179
Figura 243: Sección de panel sándwich (izda) y detalle de unión oculta con tornillería (dcha)	180
Figura 244: Detalle constructivo de canalón y chapa de coronación	180
Figura 245: Detalle constructivo del canalón en la unión de las dos naves adosadas	180
Figura 246: Detalle de canalones y chapas de coronación	181
Figura 247: Panel tipo sándwich para la cubierta. Fabricante Metalpanel	181
Figura 248: Cubierta con lucernarios y aireadores estáticos	182
Figura 249: Detalle constructivo de aireador estático	182
Figura 250: Tipos de chapa (izda) y esquema de forjado colaborante (dcha)	183
Figura 251: Equivalencia de materiales de aislamiento térmico	184
Figura 252: Capas panel sándwich	185
Figura 253: Cimentación de la nave de envasado	185
Figura 254: Vista frontal de la estructura	186
Figura 255: Vista lateral de la estructura	186
Figura 256: Vista en planta de la estructura	187
Figura 257: Cercha	187
Figura 258: Cerramiento compartido entre nave de envasado y almacén	187
Figura 259: Cubierta de la nave de envasado	188
Figura 260: Cimentación de la nave de almacenamiento	189
Figura 261: Comparativa entre tipos de forjado	189
Figura 262: Vista frontal de la estructura	191
Figura 263: Vista lateral de la estructura	191
Figura 264: Vista en planta de la estructura	192
Figura 265: Detalle de viguetas, jácenas y pilares con ménsula	192
Figura 266: Dimensiones y composición de los paneles de hormigón prefabricado	193
Figura 267: Cubierta de la nave de almacenamiento	193
Figura 268: Muelle de carga general (izda) y muelles del proyecto (dcha)	194
Figura 269: Rampa de hormigón con rampa hidráulica	194
Figura 270: Rampa hidráulica (izda) y muelle de carga (dcha)	194
Figura 271: Esquema de zapata y muro de sótano (izda) y unión entre pilar metálico y muro (dcha)	195
Figura 272: Cimentación con zapatas corridas y muros de sótano	195
Figura 273: Cimentación edificio secundario	195
Figura 274: Estructura del edificio principal	196

Figura 275: Altura y separación de los pilares	197
Figura 276: Canalón y chapa de coronación	197
Figura 277: Cimentación del edificio de molienda	198
Figura 278: Estructura metálica del edificio de molienda	199
Figura 279: Cimentación del edificio de oficinas	199
Figura 280: Vista isométrica de la estructura	200
Figura 281: Capas del cerramiento	201
Figura 282: Baldosas y borde de acera	202
Figura 283: Categorías de la explanada según el tipo de suelo y sus tratamientos	203
Figura 284: Paquetes y secciones de firme según la explanada y el tráfico pesado	204
Figura 285: Rejilla metálica soldada	205
Figura 286: Plataforma para la toma de muestras	205
Figura 287: Plataforma de los silos (izda) y detalle de rejilla metálica, travesaños y largueros (dcha)	206
Figura 288: Cerramiento exterior de la planta	206
Figura 289: Valla metálica	207
Figura 290: Caldera acuotubular (izquierda) y caldera pirotubular horizontal (derecha)	210
Figura 291: Comparativa de precios de distintas fuentes de energía	211
Figura 292: Evolución de precios de la electricidad a nivel industrial en distintos países europeos. IDAE	211
Figura 293: Evolución de precios en los últimos cinco años de la electricidad, gasóleo C y gas natural	212
Figura 294: Distancias mínimas a cumplir en la sala de calderas.	212
Figura 295: De izquierda a derecha; ventilación natural directa, natural indirecta y forzada.	213
Figura 296: Distancias de emplazamiento de depósitos de gas según el RD 2001/379.	214
Figura 297: Dimensiones en la sala de calderas	217
Figura 298: Vista interior de la sala de calderas	217
Figura 299: Posiciones de las rejillas de ventilación	217
Figura 300: Vista exterior de la sala de calderas	218
Figura 301: Compresor de desplazamiento positivo (izda) y turbocompresor (dcha). Fabricante Kaeser	219
Figura 302: Diferentes configuraciones en la instalación del depósito de aire comprimido	219
Figura 303: Esquema de enfriador para instalación de aire comprimido	220
Figura 304: Esquemas generales de una instalación de aire comprimido. Ingersoll Rand	221
Figura 305: Ventilación de una sala de compresores	222
Figura 306: Vista interior de la sala y equipos de la instalación	223
Figura 307: Vista interior de la sala de compresores	223
Figura 308: Vista en planta (izquierda) y vista general (derecha) de la sala de compresores	224
Figura 309: Esquema general sistemas VRV	225
Figura 310: Relación entre superficie a refrigerar y potencia requerida. Tabla facilitada por IDEA.	227
Figura 311: Celda SM6. Fabricante Scheneider	235
Figura 312: Transformador	236
Figura 313: Grupo electrógeno. Fabricante CUMMINS	237

Figura 314: Esquema de instalación de puesta a tierra. ITC-BT-18	238
Figura 315: Red de puesta a tierra en estructura de hormigón armado (izquierda) y estructura metálica (derecha)	239
Figura 316: Distribución de puesta a tierra	240
Figura 317: Pararrayos PDC. Fabricante Ingesco	241
Figura 318: Distribución de cuadros secundarios	241
Figura 319: CS y circuito de la nave de producción	243
Figura 320: CS y circuito en la nave de envasado	244
Figura 321: CS y circuito en la nave de almacenamiento	244
Figura 322: CS y circuitos de la planta baja del edificio de oficinas	244
Figura 323: CS y circuitos de la primera planta del edificio de oficinas	245
Figura 324: Luminarias utilizadas en el edificio de oficinas	260
Figura 325: Grupo de presión. Fabricante Enginyerbcn	282
Figura 326: Nave de producción con sistemas PCI y recorridos de evacuación (sector 1)	285
Figura 327: PCI en las naves de envasado y almacenamiento (sector 2)	285
Figura 328: Distribución de sprinkles y ubicación del grupo de presión en el sector 2	286
Figura 329: Planta baja del edificio de oficinas con sistemas PCI y recorridos de evacuación (sector 8)	286
Figura 330: Primera planta de las oficinas con sistemas PCI y recorridos de evacuación (sector 8)	287
Figura 331: Plano general con señalizaciones de PCI	287
Figura 332: Unidades de carga para la determinación de diámetros en tuberías de PVC-C. UNE-EN 806-3	290
Figura 333: Red de derivaciones de saneamiento de la planta baja	293
Figura 334: Red de derivaciones de saneamiento de la primera planta	294
Figura 335: Esquema de sistema de generación de agua caliente	299
Figura 336: Depósito auxiliar. Fabricante EnginyerBCN	301
Figura 337: Plano de la red de evacuación de fecales en la planta baja de las oficinas	306
Figura 338: Plano de la red de evacuación de fecales en la primera planta de las oficinas	306
Figura 339: Plano de la red de evacuación de fecales de las naves y colector general	306
Figura 340: Plano general con la ubicación de los imbornales	307
Figura 341: Red de tuberías de evacuación de aguas pluviales	308
Figura 342: Equipo de depuración de las aguas de procesos	309
Figura 343: Red de tuberías de agua de procesos	309



# Índice de tablas

Tabla 1: Comparación entre las instalaciones de transporte neumático	22
Tabla 2: Características de la $\alpha$ -amilasa y $\beta$ -amilasa	26
Tabla 3: Comparación entre técnicas empleadas en el proceso de maceración por infusión.	30
Tabla 4: Gestión de la recepción de materias primas	75
Tabla 5: Volumen de trabajo a pleno rendimiento	76
Tabla 6: Programación de la producción	76
Tabla 7: Gestión del almacenamiento	77
Tabla 8: Parámetros que caracterizan una atmósfera explosiva	79
Tabla 9: Parámetros geológicos	172
Tabla 10: Datos técnicos del perfil HEB 240. Fabricante Arcelormittal	176
Tabla 11: Datos técnicos del perfil IPE 240. Fabricante Arcelormittal	176
Tabla 12: Datos técnicos perfil tubular cuadrado. Fabricante Arcelormittal	177
Tabla 13: Datos técnicos del perfil IPE 160. Fabricante Arcelormittal	177
Tabla 14: Datos técnicos del perfil IPE 160. Fabricante Tubosarg	177
Tabla 15: Ventajas e inconvenientes de un forjado mixto	183
Tabla 16: Dimensiones y características de las jácenas. Fabricante Pretersa	190
Tabla 17: Dimensiones y característica de las vigas delta. Fabricante Pretersa	190
Tabla 18: Dimensiones y características de los pilares. Fabricante Pretersa	191
Tabla 19: Dimensiones y características de las viguetas tubulares. Fabricante Pretersa	191
Tabla 20: Categorías de tráfico según la norma 6.1 IC.	202
Tabla 21: Categoría de explanada según la norma 6.1 IC	202
Tabla 22: Eficiencia de las calderas en función del combustible utilizado	210
Tabla 23: Emisiones de NOx de los distintos tipos de combustibles	211
Tabla 24: Superficies de las distintas salas y zonas del edificio de oficinas	226
Tabla 25: Frigorías / hora y kWh necesarios en cada sala del edificio de oficinas	227
Tabla 26: Calidad del aire interior	229
Tabla 27: Calidad del aire exterior	229
Tabla 28: Calidad del aire de extracción	230
Tabla 29: Volumen de aire de impulsión necesario por persona en función de la calidad del aire interior	230
Tabla 30: Filtración mínima en función de la calidad del aire exterior e interior	230
Tabla 31: Número de renovaciones de aire por hora en función de la actividad del local	231
Tabla 32: Número de renovaciones de aire por hora en función del volumen del local	231
Tabla 33: Parámetros de ventilación en cada una de las salas del edificio de oficinas	232
Tabla 34: Tipos de centros de transformación	235
Tabla 35: Valores orientativos de resistividad en función del terreno. ITC-BT-18	237
Tabla 36: Componentes de la instalación de puesta a tierra	239
Tabla 37: Secciones de los cables	243
Tabla 38: Grados de protección indicados por la primera cifra característica. GUÍA-BT-ANEXO 1	246

Tabla 39: Grados de protección indicados por la segunda cifra característica	247
Tabla 40: Descripción de la protección proporcionada por las letras adicionales. GUÍA-BT-ANEXO 1	247
Tabla 41: Iluminancia media en los locales de la planta	248
Tabla 42: Tipos de lámparas mas usadas en función de la actividad desarrollada en el local	249
Tabla 43: Comparación de los sistemas de iluminación	249
Tabla 44: Cálculo de la altura de suspensión de las luminarias	250
Tabla 45: Factores de reflexión	251
Tabla 46: Cálculo del factor de utilización	251
Tabla 47: Factor de mantenimiento	252
Tabla 48: Distancia entre luminarias	253
Tabla 49: Cálculo lumínico zona 1 de la nave de producción	254
Tabla 50: Cálculo lumínico zona 2 de la nave de producción	255
Tabla 51: Cálculo lumínico zona 3 de la nave de producción	256
Tabla 52: Cálculo lumínico zona 4 de la nave de producción	257
Tabla 53: Cálculo lumínico de la nave de envasado	258
Tabla 54: Cálculo lumínico de la nave de almacenamiento	259
Tabla 55: Características comunes de las salas del edificio de oficinas	260
Tabla 56: Cálculo lumínico del edificio de oficinas	261
Tabla 57: Cálculo lumínico del edificio principal de limpieza	262
Tabla 58: Cálculo lumínico del edificio secundario de limpieza	263
Tabla 59: Cálculo lumínico del laboratorio	264
Tabla 60: Tablas de cálculo del factor de utilización	265
Tabla 61: Caracterización de los edificios industriales	267
Tabla 62: Configuración de los sectores incendio de la planta	267
Tabla 63: Densidad de carga de fuego admisible en función del nivel de riesgo intrínseco	269
Tabla 64: Análisis completo de los sectores de incendio 1-5	270
Tabla 65: Análisis completo de los sectores de incendio 6-9	271
Tabla 66: Máxima superficie construida admisible de cada sector de incendio. RD 2267/2004	272
Tabla 67: Estabilidad al fuego de naves ligeras con estructura sobre rasante	273
Tabla 68: Estabilidad al fuego de los elementos estructurales portantes	273
Tabla 69: Estabilidad al fuego de los elementos estructurales portantes de la planta	274
Tabla 70: Resistencia al fuego de los elementos constructivos de cerramiento	274
Tabla 71: Ocupación de cada uno de los sectores	275
Tabla 72: Longitud máxima del recorrido de evacuación en función del número de salidas de emergencia	276
Tabla 73: Alturas de evacuación de los sectores de la planta	276
Tabla 74: Hidrantes exteriores en función de la configuración, superficie y riesgo de las zonas. RD 2267/2004	279
Tabla 75: Necesidad de agua para hidrantes exteriores. RD 2267/2004	280
Tabla 76: Dotación de extintores portátiles	280

Tabla 77: Extintores utilizados en los sectores de incendio de la planta	281
Tabla 78: Componentes de PCI en edificios según el DB SI	283
Tabla 79: Resistencia al fuego de las estructuras en función de la altura en edificios	283
Tabla 80: Resistencia al fuego de las estructuras de hormigón armado	284
Tabla 81: Resistencia al fuego de los muros y tabiques de ladrillo cerámico	284
Tabla 82: Consumo de agua sanitaria en el edificio de oficinas	291
Tabla 83: Consumo de agua caliente sanitaria en el edificio de oficinas	292
Tabla 84: Características del distribuidor principal	292
Tabla 85: Tuberías de derivaciones de la planta completa	292
Tabla 86: Red de tuberías de los depósitos auxiliares	293
Tabla 87: Derivaciones de agua sanitaria en el edificio de oficinas	294
Tabla 88: Distribuidores de agua sanitaria en el edificio de oficinas	295
Tabla 89: Características de las tuberías de agua sanitaria de cada dispositivo de consumo	295
Tabla 90: Pérdidas de carga en los puntos de consumo	296
Tabla 91: Derivaciones de agua caliente sanitaria en el edificio de oficinas	297
Tabla 92: Distribuidores de agua sanitaria en el edificio de oficinas	297
Tabla 93: Características de las tuberías de agua caliente sanitaria de cada dispositivo de consumo	298
Tabla 94: Pérdida de carga en los puntos de consumo de agua caliente sanitaria	298
Tabla 95: UD y diámetro mínimo correspondiente a los distintos equipos sanitarios	302
Tabla 96: Diámetro de los ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajantes	303
Tabla 97: Diámetro de bajantes según el número de alturas del edificio y valor de UD	303
Tabla 98: Diámetro de los colectores en función del valor máximo UD y la pendiente	304
Tabla 99: Red de evacuación de aguas fecales en la planta baja de las oficinas	304
Tabla 100: Red de evacuación de aguas fecales en la primera planta de las oficinas	305
Tabla 101: Red de evacuación de aguas fecales en la nave de envasado	305
Tabla 102: Red de evacuación de aguas fecales en la nave de almacenamiento	305
Tabla 103: Dimensiones de los canalones para una intensidad pluviométrica de 100 mm/h	307
Tabla 104: Dimensiones de los colectores de aguas pluviales para una intensidad pluviométrica de 100 mm/h	308



# Bibliografía

- [1] Kunze, W. (2006), Tecnología para Cerveceros y Malteros. (C. R. Bauer), Berlín: VLB Berlin. (Libro original publicado en 1961)
- [2] Boto, J.A., & Boto, M., (2017), *La cerveza. Ciencia, tecnología, ingeniería, producción, valoración: lo que se debe conocer para la elaboración de cerveza a escala industrial, artesanal o en casa*, León, España, Área de publicaciones de la Universidad de León.
- [3] Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2016). “Informe socioeconómico del sector de la cerveza en España” en *Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado*. Edición 1ª. <<https://cerveceros.org/uploads/CE-informe-economico-2017-FINAL.pdf>> [Consulta: 15 de enero de 2018]
- [4] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2005). “Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cervecero” en *PRTR España*. < <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>> [Consulta: 20 de enero de 2018]
- [5] Ministerio de Medio Ambiente & Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2005). “Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios” en *Guías técnicas de ahorro y eficiencia energética en climatización*. < <http://ww.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/reglamento-de-instalaciones-termica-de-los-0>> [Consulta: 15 de diciembre de 2017]
- [6] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias. RD 138/2011. Madrid, 2011
- [7] Ministerio de Medio Ambiente & Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2005). “Guía técnica de Baja Tensión anexo 1”
- [8] Ministerio de Medio Ambiente & Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2005). Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión. ITC BT 18
- [9] Ministerio de ciencia y tecnología, (2005). “Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cervecero” en *PRTR España*. < <http://www.prtr-es.es/documentos/documentos-mejores-tecnicas-disponibles>> [Consulta: 20 de enero de 2018]
- [10] Siguan, J. (Ed.) (1995). Neufert: Arte de proyectar en arquitectura. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili S.A
- [11] AENOR. Normativa de climatización y sala de máquinas. UNE 100020. Madrid, 2005
- [12] AENOR. Normativa de salas de máquinas y equipos autónomos de generación de calor o frío o para cogeneración, que utilizan combustibles gaseosos. UNE 60601. Madrid, 2006
- [13] AENOR. Abastecimiento de agua. Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios. UNE149201. Madrid, 2005
- [14] AENOR. Especificaciones para instalaciones de conducción de agua para consumo humano dentro de los edificios. UNE-EN 806-3. Madrid, 2005
- [15] Ministerio de fomento. Secciones de firme. Norma 6.1 IC. Madrid, 2003
- [16] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. RD 2267/2004. Madrid, 2004
- [17] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias. RD 2060/2008. Madrid, 2008
- [18] Ministerio de Vivienda. Código Técnico de la Edificación. RD 314/2006. Madrid, 2006
- [19] Ministerio de Vivienda. Documento Básico HS Salubridad. Código Técnico de la Edificación. Madrid, 2006
- [20] Ministerio de Vivienda. Documento Básico SI Seguridad en caso de incendio. Código Técnico de la Edificación. Madrid, 2006
- [21] Ministerio de Vivienda. Documento Básico HE Ahorro de Energía. Código Técnico de la

Edificación. Madrid, 2006

- [22] Soluciones de gran eficiencia para instalaciones de mediana y gran potencia. Viessmann:  
<https://www.viessmann.es>
- [23] Kunzel: <http://www.kunzel.de/cms/en/home/>
- [24] Braukon: <https://braukon.de/es/>
- [25] Gea: <https://www.gea.com/es/index.jsp>
- [26] Philips: [http://www.lighting.philips.es/prof/luminarias-de-interior#pfpath=0-CINDOOR\\_GR](http://www.lighting.philips.es/prof/luminarias-de-interior#pfpath=0-CINDOOR_GR)
- [27] Simon: <http://www.simonlighting.es/es/index.php>
- [28] Catálogo Siccis
- [29] Catálogo Kaeser
- [30] Catálogo IngersollRand
- [31] Información facilitada por los empleados de Heineken en las visitas privadas a la fábrica