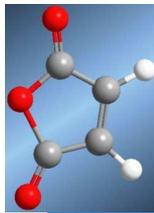




# *Planta de producción sintética de Anhídrido Maleico*

## MEMORIA



**Autor:** José Antonio Vellido Pérez  
**Facultad:** Ciencias (Universidad de Granada)  
**Titulación:** Ingeniería química  
**Fecha:** Septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE GRANADA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO  
PROYECTO FIN DE CARRERA

**PLANTA DE PRODUCCIÓN SINTÉTICA DE  
ANHÍDRIDO MALEICO**

MEMORIA

AUTOR: José Antonio Vellido Pérez

El alumno y proyectista D. José Antonio Vellido Pérez, bajo la autorización de los profesores D. Miguel García Román y D. Emilio Medina Romero, ha redactado el siguiente proyecto, “PLANTA DE PRODUCCIÓN SINTÉTICA DE ANHÍDRIDO MALEICO”, con motivo de la elaboración del Proyecto Fin de Carrera de la titulación de Ingeniería Química en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada.

Septiembre de 2014

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>4</b>
<b>1. MEMORIA JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>7</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	7
1.2. OBJETO DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN.....	8
1.3. ALCANCE .....	9
1.4. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE VIABILIDAD .....	10
<b>2. MEMORIA DESCRIPTIVA .....</b>	<b>11</b>
2.1. PRODUCTO .....	11
2.1.1. Descripción y propiedades del anhídrido maleico.....	11
2.1.1.1. Propiedades físicas.....	13
2.1.1.2. Propiedades químicas.....	14
2.1.1.3. Propiedades biológicas.....	16
2.1.2. Aplicaciones.....	17
2.1.3. Métodos de síntesis.....	20
2.2. LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO .....	23
2.2.1. Características generales .....	23
2.2.2. Características geográficas.....	24
2.2.3. Comunicaciones .....	24
2.3. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA .....	26
2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN .....	27
2.5. EQUIPOS DE PROCESO .....	30
2.6. CORRIENTES DE PROCESO.....	78
2.7. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL .....	84
2.7.1. Introducción.....	84
2.7.2. Objetivos del control en la planta .....	84
2.7.3. Variables controladas y ajustadas .....	85
2.7.4. Instrumentación del sistema de control .....	96
2.8. BOMBAS, VÁLVULAS Y TUBERÍAS.....	106
2.8.1. Bombas .....	106
2.8.1.1. Principios básicos para el diseño.....	106
2.8.1.2. Listado de bombas .....	108
2.8.1.3. Dimensionamiento de las bombas.....	109
2.8.2. Válvulas.....	128
2.8.2.1. Principios básicos para el diseño.....	128
2.8.2.2. Listado de válvulas.....	129
2.8.3. Tuberías.....	138
2.8.3.1. Principios básicos para el diseño.....	138
2.8.3.2. Listado de tuberías .....	138

2.9. RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE .....	145
2.9.1. <i>Caracterización y cuantificación de las exigencias</i> .....	145
2.9.1.1. Calidad del agua.....	145
2.9.1.2. Protección contra retornos.....	146
2.9.1.3. Condiciones mínimas de suministro .....	146
2.9.1.4. Mantenimiento .....	147
2.9.1.5. Señalización .....	148
2.9.1.6. Ahorro de agua.....	148
2.9.2. <i>Diseño</i> .....	148
2.9.2.1. Red de abastecimiento de agua fría.....	148
2.9.2.2. Instalación de agua caliente sanitaria (ACS) .....	152
2.9.2.3. Material .....	154
2.9.2.4. Nomenclatura .....	154
2.9.3. <i>Dimensionamiento</i> .....	155
2.9.3.1. Red de abastecimiento de agua fría.....	157
2.9.3.2. Red de agua caliente sanitaria (ACS).....	161
2.10. RED DE SANEAMIENTO .....	170
2.10.1. <i>Caracterización y cuantificación de las exigencias</i> .....	170
2.10.2. <i>Diseño</i> .....	171
2.10.2.1. Cierres hidráulicos .....	172
2.10.2.2. Redes de pequeña evacuación.....	172
2.10.2.3. Bajantes y canalones .....	173
2.10.2.4. Colectores.....	173
2.10.2.5. Arquetas .....	174
2.10.2.6. Válvulas antirretorno de seguridad .....	175
2.10.2.7. Material .....	175
2.10.2.8. Nomenclatura .....	175
2.10.3. <i>Dimensionamiento</i> .....	176
2.10.3.1. Red de evacuación de aguas residuales.....	176
2.10.3.2. Red de evacuación de aguas pluviales .....	185
2.11. ILUMINACIÓN .....	190
2.11.1. <i>Iluminación natural</i> .....	192
2.11.2. <i>Iluminación artificial</i> .....	194
2.11.3. <i>Iluminación exterior</i> .....	196
2.11.4. <i>Alumbrado de emergencia</i> .....	196
2.12. INSTALACIÓN ELÉCTRICA .....	200
2.12.1. <i>Características de la instalación</i> .....	200
2.12.2. <i>Consumo eléctrico de la instalación</i> .....	201
2.12.2.1. Consumo eléctrico de equipos y bombas .....	202
2.12.2.2. Consumo eléctrico para iluminación interior .....	203
2.12.2.3. Consumo eléctrico para iluminación exterior .....	204
2.12.2.4. Tomas de corriente.....	204
2.12.3. <i>Cuadros de distribución</i> .....	205
2.12.3.1. Protección de la instalación.....	209
2.12.4. <i>Derivaciones individuales</i> .....	209
2.12.6. <i>Centro de transformación</i> .....	223
2.12.6.1. Celda de entrada y protección general .....	224
2.12.6.2. Celda de transformación .....	225
2.12.6.3. Celda de baja tensión y distribución .....	227
2.12.6.4. Señalización y seguridad en el centro de transformación .....	228
2.12.7. <i>Instalación de puesta a tierra</i> .....	229

---

2.13. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS.....	231
2.13.1. <i>Caracterización de la planta en relación con la seguridad contra incendios</i> .....	231
2.13.1.1. Características de la planta por su configuración y ubicación con relación a su entorno..	231
2.13.1.2. Caracterización de la planta por su nivel de riesgo intrínseco .....	232
2.13.2. <i>Requisitos constructivos de la planta</i> .....	238
2.13.2.1. Máxima superficie construida .....	238
2.13.2.2. Materiales utilizados y resistencia al fuego de los elementos constructivos.	239
2.13.2.3. Evacuación de los establecimientos industriales.....	239
2.13.3. <i>Instalaciones de protección contra incendios</i> .....	241
2.13.3.1. Sistemas automáticos de detección de incendios .....	241
2.13.3.2. Sistemas manuales de alarma de incendios.....	242
2.13.3.3. Extintores de incendios .....	242
2.13.3.4. Sistemas de bocas de incendio equipadas .....	245
2.14. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO Y PROGRAMACIÓN DE OBRAS.....	247
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>249</b>

# **1. Memoria justificativa**

## **1.1. Antecedentes**

Como antecedente a la serie de documentos que forman el presente proyecto, se tiene a modo de anteproyecto el estudio de viabilidad realizado previamente y la propuesta de elaboración de este proyecto en el marco de la asignatura de Proyecto Fin de Carrera de la titulación de Ingeniería Química de la Universidad de Granada.

Este documento se realizó siguiendo las indicaciones del impreso incluido como anexo I “Contenido mínimo del PFC” en la *Normativa reguladora para la realización del Proyecto Fin de Carrera en la titulación de Ingeniero Químico de la Universidad de Granada*, revisada y actualizada en Noviembre de 2012 por la Comisión de Proyectos Fin de Carrera.

## 1.2. Objeto del proyecto y justificación

El presente proyecto tiene por objeto la realización de las obras e instalaciones necesarias para la puesta en funcionamiento de una industria de producción sintética de anhídrido maleico, con una producción de 10000 toneladas anuales, mediante un proceso de oxidación catalítica en fase vapor de *n*-butano, a situar en la localidad de Cartagena, provincia de Murcia, por encargo de la compañía REPSOL S. A.

El principal objetivo de la industria petroquímica es la transformación del petróleo crudo y del gas natural en materias primas para una gran cantidad de productos químicos, tanto productos de consumo final como productos intermedios utilizados para la fabricación de otros materiales tales como plásticos, hule sintético, fibras, pinturas, adhesivos, fertilizantes, pesticidas, disolventes y una gran cantidad de artículos de uso diario. Los precursores petroquímicos o compuestos intermedios son las olefinas, el etileno, el propileno, los butilenos y el butadieno, los aromáticos (el benceno, el tolueno, etc.) y el metanol, entre otros. Todos ellos constituyen la base necesaria para la fabricación de dichos productos.

El anhídrido maleico es uno de los compuestos intermedios más importantes de la industria petroquímica. En la actualidad, esta sustancia se sigue produciendo en algunos lugares vía benceno o como subproducto de la síntesis del anhídrido ftálico. No obstante, su fabricación a partir de la oxidación parcial del butano ha venido adquiriendo importancia, llegando a desplazar paulatinamente al benceno como materia prima. Esto se debe principalmente a aspectos de carácter económico y medioambiental.

Su primera aplicación significativa fue la manufactura de diversos productos orgánicos, especialmente resinas alquídicas para recubrir superficies y darles un acabado satisfactorio, utilizándose también en la producción de aditivos para aceites lubricantes. Su alta reactividad, debida a su estructura química, lo hacen especialmente valioso para diversas síntesis orgánicas. Además, es esencial en la fabricación de multitud de productos tales como aceites lubricantes, aditivos, barnices, detergentes, pinturas, ciertos productos farmacéuticos, plásticos, etc.

Puede deducirse entonces que el anhídrido maleico es un producto químico ampliamente demandado en gran parte de las industrias del sector. Sin embargo, lo que le da una mayor importancia y lo hace un recurso sumamente necesario, es ser la materia prima básica tanto de la industria del plástico como de la industria de los polímeros. En este contexto, España no puede quedarse al margen en la búsqueda de tecnologías y alternativas de proceso que aseguren no sólo satisfacer la demanda nacional y sustituir las importaciones, de las que este país está a la cabeza, sino que además resulten atractivas desde el punto de vista económico y medioambiental. Con el presente proyecto pretendemos construir una planta de producción sintética de anhídrido maleico a través de *n*-butano como materia prima, utilizando el proceso de producción más rentable económicamente, según hemos determinado en el estudio de viabilidad previo.

Con la construcción de esta planta industrial, además de la obtención de un producto de alto valor añadido, acrecentaremos la importancia económica de la zona al construir unas instalaciones para la fabricación de un nuevo producto, usando los servicios y las infraestructuras ya existentes y creando puestos de trabajo, beneficiando de esta forma a terceros y a la sociedad en general.

### **1.3. Alcance**

Se considerará dentro del alcance del proyecto:

- El establecimiento de las bases de diseño del proceso así como de los balances de materia y energía necesarios para conocer todas las variables relevantes del mismo.
- La elección, la descripción y el dimensionamiento de todos los equipos del proceso.
- La determinación de las necesidades de servicios auxiliares del proceso (agua de refrigeración, vapor, aire comprimido, combustible) y la descripción de las unidades de suministro de los mismos.
- La descripción y el dimensionamiento de las tuberías de la planta, las pérdidas de carga, las bombas y los accesorios necesarios.
- La descripción de los sistemas de control para que el proceso cumpla todas las especificaciones exigidas y de la instrumentación necesaria para los lazos de control.
- La descripción y el dimensionamiento de las instalaciones de la planta: zonas de producción, de almacenamiento, de personal de la planta, de tráfico, etc.
- La descripción y el dimensionamiento de la red eléctrica de la planta, red de alumbrado, red de saneamiento, red de abastecimiento y red de protección contra incendios.
- La evaluación del impacto ambiental de la actividad, estableciendo cuáles son las medidas que hay que tomar para minimizar o suprimir los impactos negativos sobre el medio ambiente.
- El estudio de higiene y seguridad industrial para reducir al mínimo las enfermedades profesionales y los accidentes laborales en la planta.
- El establecimiento de los planos necesarios para la construcción de la planta.
- La evaluación económica de la planta y la determinación del coste de implantación de la actividad.
- El pliego de condiciones para la construcción de la planta.

No se considerará dentro del alcance del proyecto el diseño y el cálculo de la obra civil necesaria para la construcción de la fábrica, incluyendo en ésta las cimentaciones de los equipos. Todo esto deberá ser diseñado por los profesionales específicos correspondientes.

## 1.4. Conclusiones del estudio de viabilidad

A lo largo de todo el estudio se ha analizado la viabilidad de llevar a cabo la construcción de una Planta de producción sintética de anhídrido maleico.

El anhídrido maleico es un compuesto químico polifuncional de importancia comercial en todo el mundo. Su molécula contiene dos grupos carbonilos ácidos y un doble enlace en las posiciones  $\alpha$  y  $\beta$ . Esto origina que esta molécula tenga una gran reactividad participando en una amplia variedad de reacciones químicas. Este compuesto es una materia prima industrial importante para la manufactura de resinas alquídicas y de poliéster, recubrimientos, aditivos lubricantes, plastificantes, copolímeros y productos químicos agrícolas.

La creciente demanda mundial de anhídrido maleico, debida al aumento de la demanda de las resinas de poliéster insaturado, cada vez más demandadas en la industria de la construcción y de las infraestructuras, y el alto valor añadido de éste hacen pensar que la construcción de una planta de producción de anhídrido maleico generará grandes beneficios económicos y sociales, utilizando *n*-butano como materia prima, uno de los compuestos más importantes que se obtienen a partir del tratamiento del petróleo en las refinerías. La construcción, puesta en marcha y funcionamiento de la planta ha de respetar, entre otras, la legislación vigente en materia de seguridad, salud y medio ambiente.

Se ha visto durante todo el estudio de viabilidad que se pueden plantear múltiples alternativas para la producción de anhídrido maleico. Dentro de todas estas posibilidades nosotros hemos considerado dos que creemos son las más desarrolladas y las que, actualmente, tienen un mayor interés industrial. En ambas se utiliza el *n*-butano como materia prima, radicando la diferencia entre estos procesos en la separación de los productos de reacción: en el primero de ellos la separación se lleva a cabo en medio acuoso mientras que en el segundo se produce en medio no acuoso.

Entre las dos alternativas que se han planteado en este estudio de viabilidad, nosotros desarrollaremos la segunda, la que lleva a cabo la separación en medio no acuoso, dado que los beneficios económicos obtenidos mediante esta alternativa son bastante superiores a los obtenidos mediante el proceso en medio acuoso. Durante este estudio hemos demostrado que la producción de anhídrido maleico a gran escala es viable técnica y económicamente, no habiendo encontrado ninguna dificultad en el estudio de viabilidad que impida la realización de este proyecto.

## 2. Memoria descriptiva

### 2.1. Producto

#### 2.1.1. Descripción y propiedades del anhídrido maleico

El anhídrido maleico (AM), de número CAS 108-31-6 y fórmula química  $C_4H_2O_3$ , también se conoce por otros nombres como 2,5-furanodiona, anhídrido butanodioico, anhídrido toxílico, anhídrido *cis*-butenodioico y ácido maleico anhidro. Su molécula contiene dos grupos carbonilos ácidos y un doble enlace en las posiciones  $\alpha$  y  $\beta$ . En su forma pura, el anhídrido maleico es un sólido cristalino a temperatura ambiente (cristaliza en forma de agujas ortorrómbicas), incoloro o blanco, de olor acre, higroscópico, muy soluble en acetona, éter, hidrocarburos y cloroformo, irritante y muy corrosivo. Cuando se disuelve en agua es un ácido fuerte que reacciona de forma violenta con bases y oxidantes fuertes. Es muy reactivo debido a su carácter insaturado y por ello es uno de los monómeros más importantes para la producción de resinas y materiales plásticos. Esta sustancia se comercializa en forma de sólidos cristalinos con una pureza del 99.50 %.

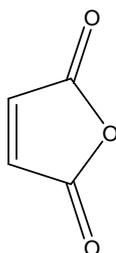


Figura 1. Molécula de anhídrido maleico.

Los últimos estudios llevados a cabo acerca de la estructura cristalina del AM, han venido a confirmar la estructura que ya se había determinado en estudios anteriores mediante diferentes técnicas instrumentales modernas.

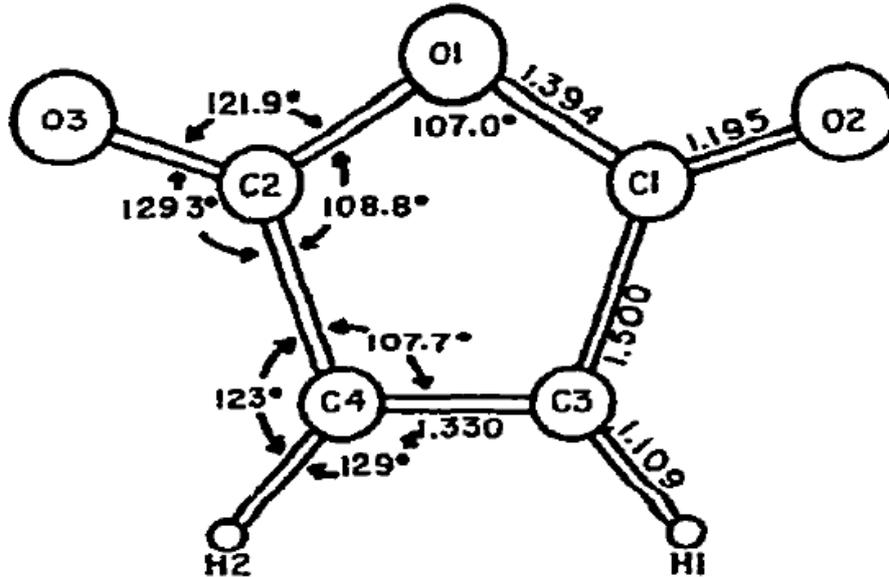


Figura 2. Distancias y ángulos de enlace en el anhídrido maleico. Hilderbrandt (1972)

En estos estudios, Huang et al. (1999), a partir de los datos obtenidos mediante difracción de rayos X de AM monocristalino a 110 K, determinaron que el AM es una molécula prácticamente plana, con el átomo de oxígeno que forma parte del anillo a una distancia de 0.0036 nm del plano que forman los otros cuatro átomos del ciclo, contando con un eje de rotación que divide en dos el doble enlace y pasa a través del átomo de oxígeno del anillo. La figura 3 resume las distancias de enlace en el AM:

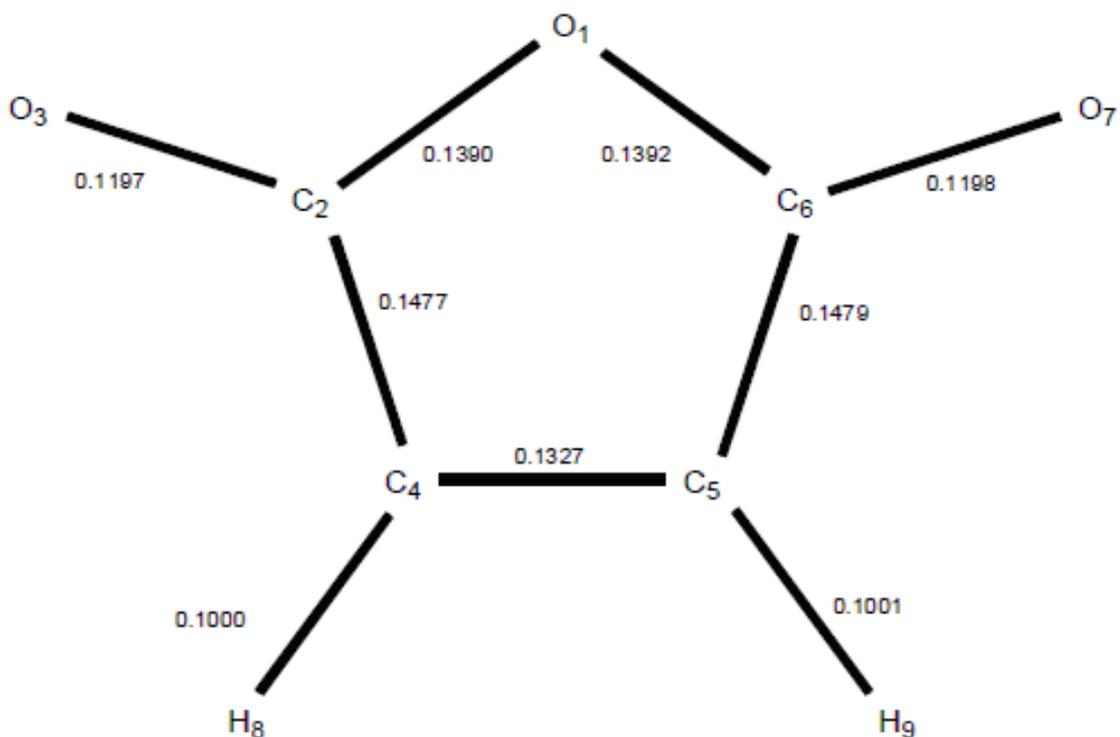


Figura 3. Distancias de enlace en nm en el anhídrido maleico. Felthouse (2001)

**2.1.1.1. Propiedades físicas**

Las propiedades físicas más importantes del AM se muestran en la tabla 1:

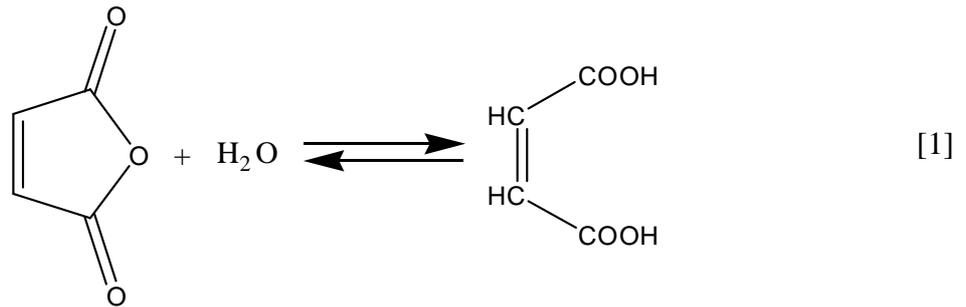
*Tabla 1. Propiedades físicas del anhídrido maleico. Felthouse (2001)*

Punto de fusión, °C		52.85
Punto de ebullición, °C (a 101.3 kPa)		202
Presión de vapor:	°C	mmHg
	44.0	1
	78.7	10
	111.8	40
	135.8	100
	179.5	400
	202	760
Solubilidad en <i>o</i> -xileno, g/L (a 29.7 °C)		163.2
Densidad del vapor (aire = 1)		3.38
Viscosidad:	60 °C	1.6 cP
	90 °C	1.1 cP
	150 °C	0.6 cP
Calor de combustión, kJ/mol		-1389.5
Calor de fusión, kJ/mol		13.55
Calor de vaporización, kJ/mol		54.8
Punto de inflamabilidad, °C (recipiente abierto)		110
Punto de inflamabilidad, °C (recipiente cerrado)		102
Temperatura de autoignición, °C		477
Límite de explosividad inferior, % vol.		1.4-3.4
Límite de explosividad superior, % vol.		7.1

### 2.1.1.2. Propiedades químicas

El AM participa en una gran variedad de reacciones químicas, debido a la presencia en su estructura molecular tanto del doble enlace etilénico como de los dos grupos carbonilo, ambos susceptibles de ser atacados. Dado que la unión C=C se conjuga con dos enlaces C=O, ambos grupos pueden participar en reacciones específicas. A continuación resumimos algunas de las reacciones de mayor importancia a nivel comercial:

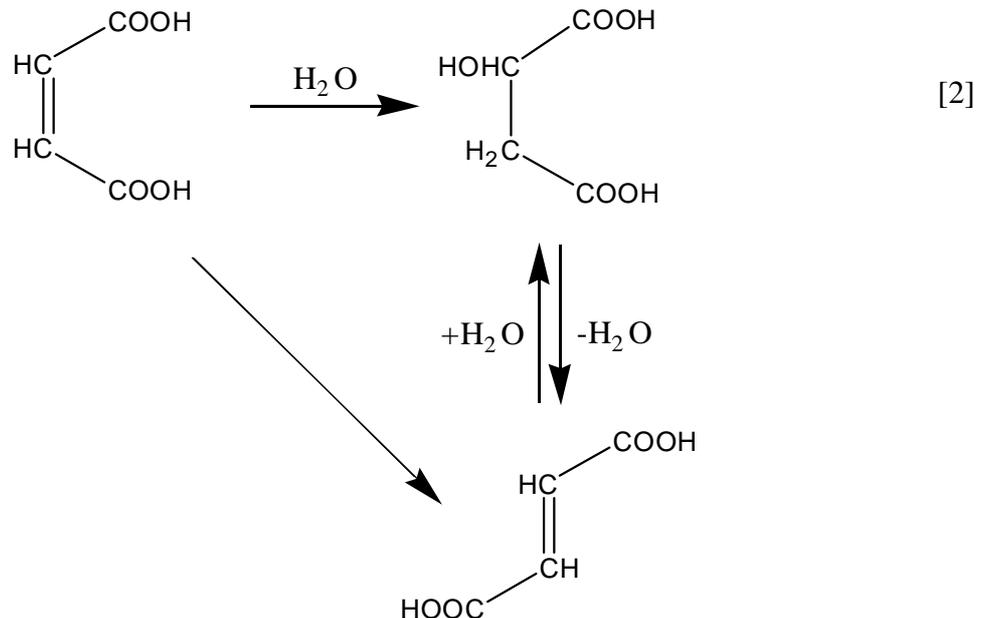
- Reacción de hidratación y deshidratación. Mediante su disolución en agua, el AM se hidroliza fácilmente al ácido correspondiente:



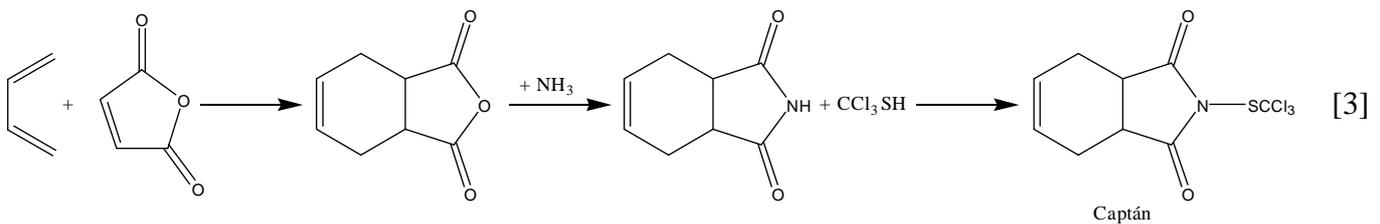
A temperaturas de unos 138 °C aproximadamente la reacción es reversible, y estas reacciones se utilizan en la mayoría de los procesos de fabricación de AM para recuperar este compuesto. Las condiciones de la reacción deben de estar muy controladas para evitar la isomerización del AM a ácido fumárico durante la etapa de deshidratación.

Se puede añadir una molécula de agua a través del doble enlace etilénico tanto del ácido maleico como del ácido fumárico a altas temperaturas, superiores a los 170 °C, para producir D,L-ácido málico.

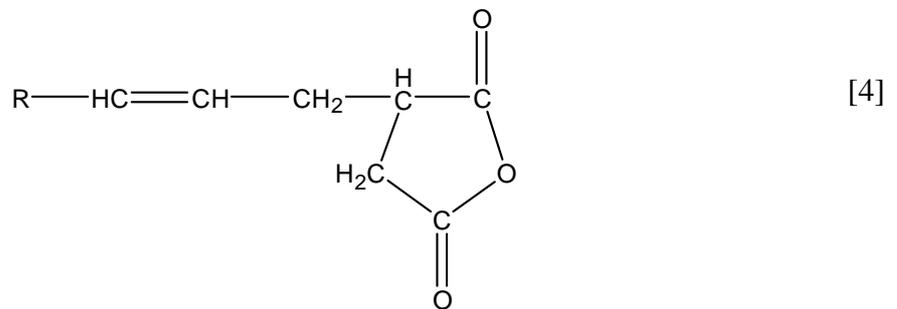
Si se calienta una disolución acuosa de ácido maleico durante varias horas a temperaturas superiores a los 170 °C, se obtiene una mezcla en equilibrio de ácido málico y ácido fumárico, apareciendo solamente trazas de ácido maleico.



- Reacción de isomerización. Normalmente, el ácido fumárico se obtiene por calentamiento de una disolución acuosa de ácido maleico, generalmente en presencia de catalizador. Son tres los tipos de compuestos que habitualmente se utilizan como catalizadores de la reacción: los ácidos inorgánicos, los peróxidos combinados con compuestos bromados y la tiourea.
- Reacción de esterificación. El AM reacciona fácilmente con los alcoholes para formar ésteres. El uso comercial más importante del AM es para la obtención de poliésteres insaturados, mediante la reacción de una mezcla de AM, anhídrido ftálico y un glicol.
- Reacción de Diels-Alder. Un gran número de productos agroquímicos, como el fungicida Captan, por ejemplo, se preparan mediante esta reacción clásica de una diolefina con AM.



- Reacción eno. Las olefinas que poseen un hidrógeno alílico se añaden fácilmente al AM para formar anhídridos alquensuccínicos. Estos compuestos se utilizan como dispersantes de lodos y como inhibidores de la corrosión en aceites para motores.



donde R = 1000 MW poliisobutileno (dispersantes)

R = 150 MW tetrámero de propileno (inhibidor de la corrosión)

Los aditivos finales se producen mediante la reacción del anhídrido alquensuccínico con los alcoholes o las aminas seleccionadas.

- Reacción de descomposición. El AM puede descomponerse violentamente cuando se calienta con metales alcalinos o con aminas terciarias, liberando grandes cantidades de dióxido de carbono. Por ello, se debe tener mucha precaución en las plantas de fabricación de AM para evitar que las corrientes de proceso se puedan contaminar con estos catalizadores de la reacción tan peligrosos.

### **2.1.1.3. Propiedades biológicas**

El AM es un potente irritante local de los tejidos del cuerpo, especialmente de los ojos y del tracto respiratorio superior. La exposición de los ojos a vapores de este compuesto puede causar conjuntivitis dolorosa, visión doble temporal y visión de halos. Su inhalación a niveles bajos puede provocar dolor de cabeza, náuseas y visión borrosa. Una exposición prolongada a este compuesto puede originar un edema pulmonar. Exposiciones prolongadas de la piel a vapores o polvos de esta sustancia puede causar la formación de irritaciones y ampollas dolorosas. A pesar de que el AM es un sólido a temperatura ambiente, éste ejerce una apreciable presión de vapor que nos puede llevar a soportar unos niveles de exposición del personal peligrosamente elevados, si no se tienen en cuenta las medidas de protección y de seguridad adecuadas.

Aunque el riesgo de incendio que existe no es demasiado elevado, el anhídrido puede llegar a incendiarse. En el caso de que esto se produjese, no es recomendable utilizar productos químicos ni agua o espuma para extinguir el incendio. Como ya indicamos en el apartado de propiedades químicas, pueden producirse reacciones violentas cuando el AM entra en contacto con álcalis o metales alcalinotérreos, carbonatos, hidróxidos o aminas. Por tanto, se recomienda que se utilice agua caliente para lavar los equipos que pudieran contener AM, en lugar de utilizar disoluciones alcalinas.

El valor umbral límite, TLV, para este compuesto en el aire, de acuerdo con la ACGIH, es de 0.25 ppm (1 mg/m<sup>3</sup>), siendo el mismo valor que el nivel máximo de exposición permisible (PEL) establecido por la OSHA.

La dosis letal media, LD<sub>50</sub>, para ratas es de 481 mg/kg.

### 2.1.2. Aplicaciones

El AM es una sustancia de importancia comercial a nivel mundial, del cual unas tres mil millones de libras anuales se utilizan en la fabricación de un gran número de productos de valor comercial, incluyendo resinas de poliéster insaturado, productos agroquímicos y aditivos para aceites lubricantes. El AM es una molécula verdaderamente extraordinaria pues posee dos tipos de funciones químicas que la hacen especialmente útil para aplicaciones y síntesis químicas. Si bien el AM por sí mismo tiene pocos, si es que tiene alguno, usos para el consumidor, en sus formas derivadas es extremadamente versátil y se han encontrado multitud de aplicaciones. A modo de resumen, en la tabla 2 mostramos la distribución de uso final del AM para el año 2000:

Tabla 2. Usos del AM en Estados Unidos, año 2000. Felthouse (2001)

<b>Producto</b>	<b>% de la demanda</b>
Resinas de poliéster insaturado	63
Aditivos para aceites lubricantes	11
Copolímeros maleicos	8
Ácidos málico y fumárico	5
Productos agroquímicos	2
Otros	11
<b><i>TOTAL</i></b>	<b>100</b>

Aproximadamente el 63 % de todo el AM que se consumió en 2000 fue para la producción de resinas de poliéster insaturado. En la mayoría de las regiones del mundo, el mayor mercado de AM es para la fabricación de estas resinas. La demanda de resinas de poliéster insaturado se ve influida por la salud de la industria de la construcción y del estado general de la economía. Existen muchas formulaciones de resinas de poliéster insaturado. Una formulación típica de resina de poliéster insaturado consiste en un ácido (o anhídrido) dibásico aromático, anhídrido ftálico por ejemplo; un ácido (o anhídrido) dibásico insaturado, como el anhídrido maleico; y un glicol, como el propilenglicol. Las cadenas de poliéster se entrecruzan entonces a través del doble enlace con agentes reticulantes vinílicos tales como el estireno. Se pueden añadir refuerzos en forma de fibras de vidrio o de otras fibras de refuerzo para proporcionar la resistencia requerida al producto final. La formulación exacta del poliéster insaturado, su agente de entrecruzamiento o reticulante y la fibra de refuerzo se selecciona cuidadosamente para optimizar el rendimiento del producto final.

El ácido fumárico y el ácido málico se obtienen a partir del AM. El principal uso del ácido fumárico es en la fabricación de productos de papel encolado. El ácido fumárico también se utiliza como agente potenciador del sabor y como acidulante alimentario, al igual que el ácido málico. Éste es un acidulante especialmente deseable en algunas bebidas, concretamente en aquellas que se endulzan con el edulcorante

artificial aspartamo, estando su concentración máxima permitida limitada por motivos de seguridad alimentaria.

Los aditivos para aceites lubricantes representan otro mercado importante para los derivados del AM, los anhídridos polialquénil succínicos, compuestos producidos a partir del AM que proporciona una parte esencial de la estructura molecular de aquellos. Esta importancia ha aumentado mucho a causa de las mejoras y requerimientos de la ingeniería mecánica, que busca reducir la contaminación y mejorar la eficiencia de los combustibles. Estos materiales actúan como dispersantes e inhibidores de la corrosión. Una molécula de anhídrido polialquénil succínico particularmente importante en este mercado es el anhídrido poliisobutilen succínico (PIBSA), donde el grupo poliisobutilen tiene un peso molecular de 900 a 1500. También se utilizan otros polialquénos. El anhídrido polialquénil succínico se derivatiza con varias aminas para producir tanto dispersantes como inhibidores de la corrosión. Otro tipo de dispersante es un poliéster producido a partir del anhídrido polialquénil succínico y del pentaeritritol.

El AM se utiliza en multitud de aplicaciones para producir un copolímero vinílico por la copolimerización del AM con otras moléculas que tienen la función vinilo. Los copolímeros típicos y sus usos finales se muestran en la tabla 3:

Tabla 3. Copolímeros del AM con funciones vinilo y sus usos finales. Felthouse (1993)

Copolímero	Usos finales
Copolímero de estireno-AM	Termoplásticos de ingeniería
	Productos químicos para el tratamiento del papel
	Ceras para suelos
	Emulsionantes
	Protectores coloidales
	Protectores solares
Copolímero de metil vinil éter-AM	Dispersantes
	Espesantes
	Dispersantes
	Agentes estabilizantes
	Adhesivos
	Detergentes
	Productos cosméticos
Artículos de tocador	
Copolímero de diisobutileno-AM	Agentes dispersantes
Copolímero de ácido acrílico-AM	Ingredientes de detergentes
Copolímero de 1,3-butadieno-AM	Agentes de encolado
Copolímero de C <sub>18</sub> - $\alpha$ -olefina-AM	Emulsionantes
	Recubrimientos para papel

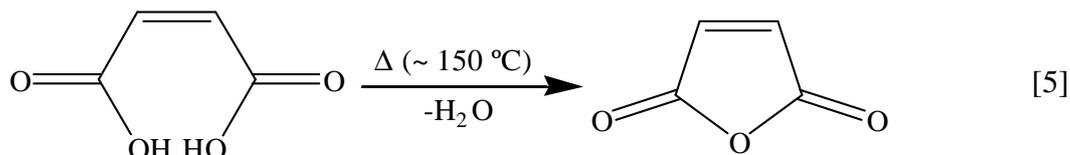
La utilización de AM para la fabricación de productos agroquímicos ha disminuido en las últimas décadas. Malatión y Difolatan ya no se fabrican en Estados Unidos y el volumen de producción de Alar se ha reducido significativamente por motivos medioambientales. La hidrazida maleica, Captán, Endothal y algunos otros derivados maleicos continúan usándose en agricultura para distintas tareas: regulación del crecimiento de las plantas, fungicidas, insecticidas y herbicidas.

Hay otras muchas aplicaciones para las que el AM se utiliza como materia prima. Estas aplicaciones demuestran la versatilidad de esta molécula. El popular edulcorante artificial aspartamo es un dipéptido con un aminoácido (ácido L-aspartico) que se produce a partir del AM como material de partida. En la bibliografía se describen procesos para la producción de ácido poliaspartico, un polímero biodegradable con aplicaciones en detergencia, tratamiento de aguas y como sustituto del ácido poliacrílico. Los anhídridos alquénil succínicos sintetizados a partir de varias  $\alpha$ -olefinas lineales se utilizan en el encolado del papel, en detergentes y en otras muchas aplicaciones. Los ésteres del ácido sulfosuccínico se usan como agentes de superficie. Las resinas alquídicas se utilizan para revestimientos superficiales. El anhídrido cloréndico se usa como compuesto resistente a la llama. El ácido tetrahidroftálico y el anhídrido hexahidroftálico tienen aplicación en la síntesis de resinas especiales. Se ha conseguido realizar películas impermeables para gases mediante el injerto de AM a películas de polipropileno, utilizándose en el envasado de alimentos. El anhídrido polimaleico se utiliza como inhibidor de la corrosión. El AM forma copolímeros con el etilenglicol y con el metil vinil éter que se esterifican parcialmente para usos biomédicos y farmacéuticos.

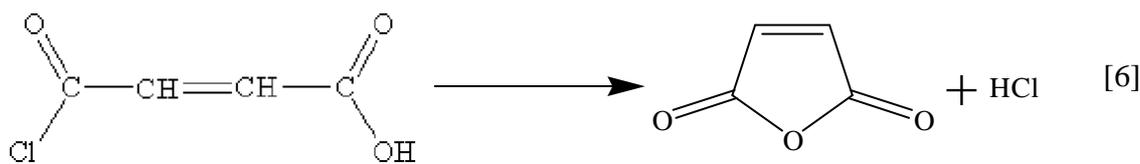
Un desarrollo importante para la utilización del AM es la producción de productos de la familia del 1,4-butanodiol- $\gamma$ -butirolactona-tetrahidrofurano. El Proceso Tecnológico Kvaerner otorga licencia a un proceso para la producción de 1,4-butanodiol a partir del AM. Esta tecnología se puede utilizar para producir una mezcla de productos de las tres moléculas según necesite el fabricante. En el año 1998 existían dos plantas en funcionamiento con la tecnología Kvaerner, con una capacidad combinada de 50 kt/año de 1,4-butanodiol. Para esa fecha, algunas otras plantas que utilizarían la tecnología Kvaerner estaban en construcción o ésta ya se había anunciado. SISAS produce 1,4-butanodiol a partir de AM en sus instalaciones en Feluy, Bélgica. DuPont produce en España tetrahidrofurano a partir de AM. La tecnología de DuPont consiste en oxidar el butano a AM, que se recupera como ácido maleico, y posteriormente es reducido a tetrahidrofurano. BP-Amoco ha anunciado una instalación en Lima para producir 1,4-butanodiol a partir del AM usando una tecnología propia.

### 2.1.3. Métodos de síntesis

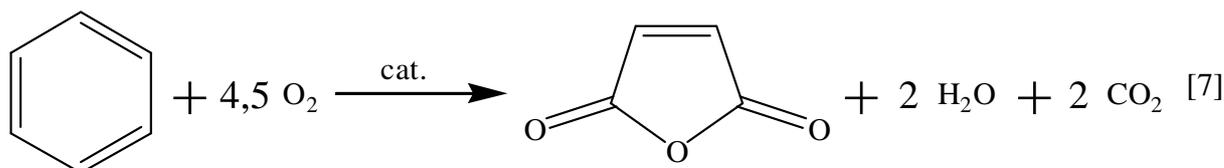
El anhídrido maleico no se encuentra en la naturaleza. T. J. Pelouze fue el que lo produjo por primera vez en 1834 por calentamiento del ácido málico (un compuesto que se encuentra en las manzanas y en otras frutas), produciendo la deshidratación de éste. La deshidratación del ácido no es un método general para la preparación del anhídrido, aunque algunos anhídridos cíclicos pueden prepararse a partir de ácidos dicarboxílicos de esta forma. Uno de los requisitos para el éxito de estas transformaciones es que el cierre del anillo conduzca a un producto cíclico de cinco o seis miembros.



La electronegatividad de los halógenos frente a los haluros de alcanoilo activa la función carboxilo frente al ataque de otros nucleófilos, aunque sean débiles. Siguiendo este mecanismo, el tratamiento de haluros de alcanoilo con ácidos carboxílicos da como resultado la formación de anhídridos carboxílicos.



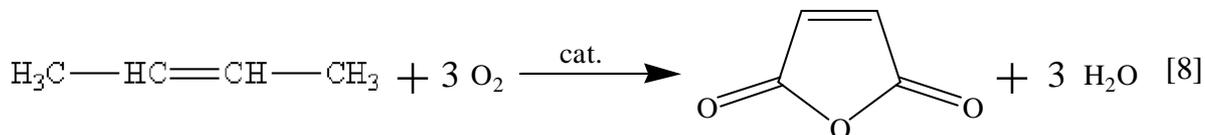
El AM (y sus dos isómeros ácidos) no estuvo disponible comercialmente hasta la década de 1930, cuando la National Aniline and Chemical Company inició un proceso a escala industrial de oxidación catalítica del benceno en fase vapor, cuya reacción es la que mostramos a continuación:



La oxidación se lleva a cabo a temperaturas de entre 350-400 °C y a presión ligeramente superior a la atmosférica, utilizando como catalizador óxidos de vanadio y de molibdeno soportados en óxidos inertes tales como alúmina, sílice o tierra de diatomeas. Dado que la reacción es muy exotérmica, el catalizador sólido se coloca normalmente dentro de un gran número de tubos que son enfriados por la circulación de una mezcla de sales fundidas por el lado de la carcasa del reactor. El tiempo de permanencia es de aproximadamente 0.1 segundos. La alimentación al reactor, en estado gaseoso, está compuesta por un 1.5 % en volumen de benceno en aire. Aproximadamente el 72 % del benceno se convierte a AM, el 26 % se quema en reacciones secundarias generando óxidos de carbono, y el 2 % restante se convierte en subproductos orgánicos sin interés.

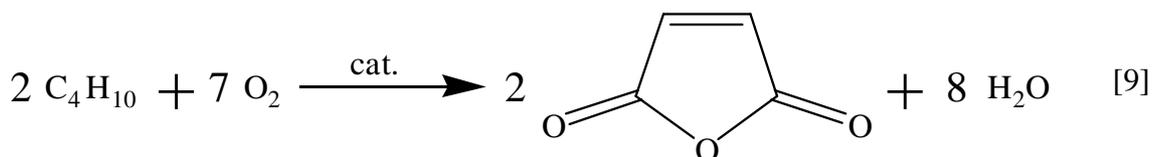
El rápido incremento en el precio del benceno y el reconocimiento de esta sustancia como un compuesto peligroso y cancerígeno, provocó que se intensificase la

búsqueda de otros procesos tecnológicos alternativos para la síntesis de AM a partir de otras materias primas. Esta búsqueda dio su fruto en 1962, año en que Petroit realizó por primera vez la obtención de AM a escala industrial por oxidación de buteno. El buteno procedía, como subproducto, de la deshidrogenación de butano a butadieno. La reacción de oxidación es la siguiente:



La oxidación tiene lugar a 350-450 °C y 2-3 bar, usando como catalizador pentóxido de vanadio sobre soportes inertes como los citados anteriormente y activado por óxidos de fósforo. La selectividad referida al contenido de buteno que es oxidable a AM, en general, alcanza sólo el 45-60 %. Los subproductos principales son CO y CO<sub>2</sub>, produciéndose también de forma frecuente otras sustancias tales como ácidos acético, acrílico, fumárico, crotonico y glioxílico, así como formaldehído. Este proceso tuvo bastante éxito y al poco tiempo Bayer, en 1969, puso en funcionamiento una instalación para AM mediante un proceso propio parecido. Sin embargo, con el tiempo fueron surgiendo otras alternativas mejores que han hecho que este proceso haya caído en desuso, de tal forma que en 1988, a nivel mundial, solamente existían dos plantas operando que utilizasen el buteno como materia prima, una de ellas empleando un reactor de lecho fluidizado.

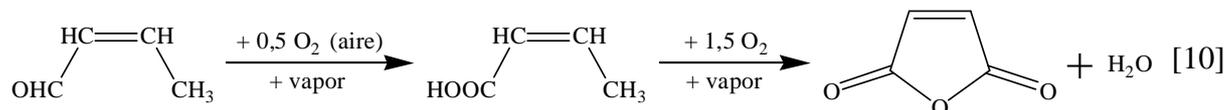
En 1974 la planta de Monsanto de J. F. Queeny realizó la primera producción industrial de AM a partir de butano. Gracias al desarrollo de los catalizadores realizado por empresas como Monsanto, Denka y Halcon que han conseguido obtener catalizadores más activos y selectivos, en la década de 1980 se comenzó el cambio de las plantas de producción de AM, pasando de utilizar benceno como materia prima a usar butano. La reacción química que tiene lugar se muestra a continuación:



La oxidación se produce a 390-430 °C de temperatura y 1.36 atm de presión, usando catalizadores de óxidos de vanadio-fósforo (VPO) en forma de pastillas. El reactor consta de una serie de tubos en cuyo interior se coloca el catalizador, que es enfriado mediante la circulación por el exterior de estos tubos de una mezcla de sales fundidas. En cuanto a la composición de la alimentación, habitualmente se emplea un 1.65 % en volumen de butano en aire. Del butano alimentado, el 53 % se convierte a AM, el 30 % a óxidos de carbono y el 17 % queda sin reaccionar. La corriente de producto obtenida va bastante libre de compuestos orgánicos, aunque se pueden encontrar pequeñas cantidades de ácido acético y ácido acrílico.

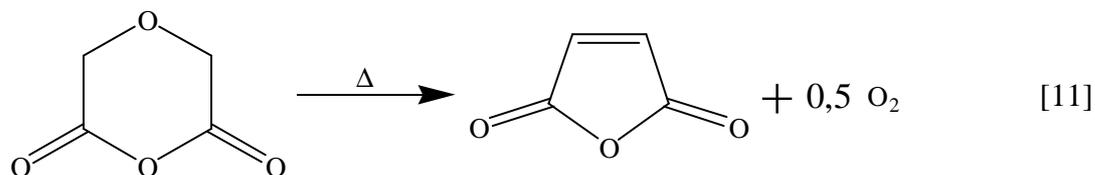
Además debemos mencionar que se produce AM, aunque en cantidades bastante inferiores a las obtenidas mediante los procesos indicados anteriormente, en la fabricación de anhídrido ftálico, proceso en el cuál nuestro compuesto se recupera como un subproducto y se comercializa.

Citaremos también, aunque a modo anecdótico dada su escasa difusión a nivel comercial, que como consecuencia de diversos intentos por encontrar otro método de síntesis mejor del AM a partir de una materia prima distinta del benceno, se encontró un proceso basado en la oxidación catalítica del crotonaldehído con aire. Éste fue utilizado por la empresa I. G. Farbenindustrie durante la Segunda Guerra Mundial en Alemania, elegido posiblemente a causa del importante desarrollo de la actividad petroquímica de esta empresa en ese periodo, aunque posteriormente este proceso no ha tenido ninguna difusión.



Además hemos podido observar que el acetileno fue otro de los compuestos considerados por un amplio número de empresas químicas a la hora de elegir una materia prima para la síntesis del AM, debido a que era una sustancia fácil de obtener. Otros productos tales como furfural, mezclas de olefinas, ciclopentadieno, tolueno, terpenos, etc. se han utilizado como reactivos, aunque la mayoría de ellos sólo han alcanzado el nivel académico, nunca a escala industrial, debido a su inviabilidad económica y/o a su escasa selectividad.

Debemos comentar también alguna otra ruta alternativa para la síntesis de AM como la pirólisis de anhídrido diglicólico, desarrollada por Hurd y Glass, teniendo lugar la siguiente reacción:



A pesar de la existencia de todas estas formas de obtención del AM, el benceno y sobre todo los hidrocarburos de 4 átomos de carbono son las materias primas utilizadas mundialmente para la síntesis industrial de nuestro producto, como ya hemos comentado.

Hoy en día es un producto químico de gran importancia, es el tercer anhídrido más importante de uso comercial después del anhídrido acético y del anhídrido ftálico.

## **2.2. Localización y emplazamiento**

Para la localización de las instalaciones se va a considerar como característica fundamental la proximidad de las materias primas. Dado que se trata de cantidades considerables, es importante reducir las distancias de transporte de las mismas ya que tendrá una repercusión importante en los beneficios económicos que se obtendrán.

La fuente de la principal materia prima del proceso, el *n*-butano, debe ser alguna de las refinerías españolas. Una de las mayores refinerías en España es la refinería de REPSOL situada en Cartagena, con una capacidad de producción de 220000 barriles/día. Por tanto, la comarca de Cartagena podría ser una buena localización de nuestra planta. Además, dicha refinería está conectada mediante un oleoducto y un poliducto con la refinería de Puertollano, también de la compañía REPSOL, por lo que en caso de sufrir algún problema la refinería de Cartagena y no poder abastecernos de materias primas, podríamos obtenerlas de la refinería de Puertollano asegurando, de esta forma, la disponibilidad de materia prima en todo momento.

Además, en la región de Cartagena también se encuentra ubicada la empresa internacional SABIC, cuya planta en España está especializada en la fabricación de polímeros de altas prestaciones, pudiendo constituir ésta un potencial cliente de nuestro producto, AM. De ser así nuestra planta, a parte de estar situada cerca de su fuente principal de materia prima, también estaría situada muy cerca de uno de sus clientes potenciales más importantes, abaratando de esta forma los costes de transporte tanto de materia prima como de producto terminado.

Finalmente, señalar que esta zona está bastante industrializada, con importantes parcelas de terreno a precios razonables, y dotada de toda la infraestructura industrial que podamos necesitar (servicio de agua, instalaciones eléctricas, etc.).

Por tanto, creemos que a la vista de todas las razones expuestas anteriormente, Cartagena es la localización idónea para situar la planta de producción de AM.

### **2.2.1. Características generales**

En la comarca de Cartagena existen diferentes polígonos industriales donde podríamos ubicar nuestra planta de producción: Cabezo Beaza, Los Camachos, Lo Bolarín, La Candelaria y Mazarrón. Siguiendo el criterio de situar nuestras instalaciones lo más cerca posible de la fuente de materias primas, la refinería de REPSOL en Cartagena, situaremos nuestra fábrica en el Valle de Escombreras. De esta forma disminuiremos al máximo los costes de transporte de materia prima.

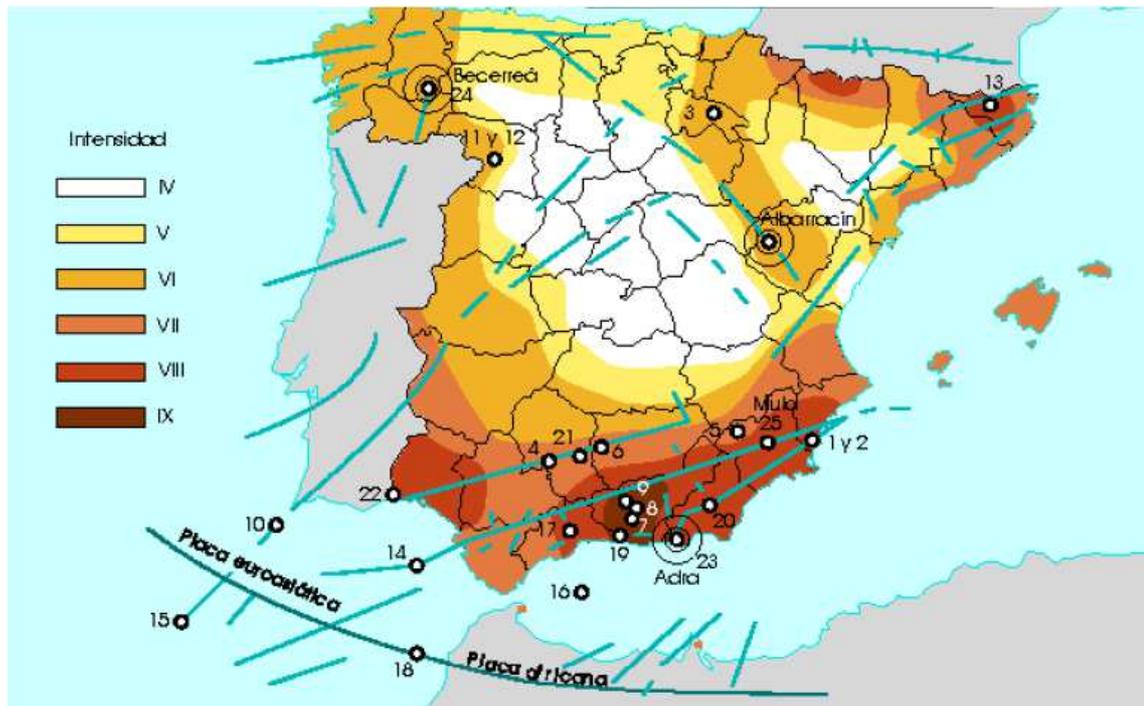
Estudiando las ofertas de suelo industrial en el Valle de Escombreras se ha optado por una parcela rectangular, con una superficie de 40000 m<sup>2</sup>, anexa a la refinería (el emplazamiento se muestra con más detalle en el plano correspondiente). Esta parcela dispone de red de alcantarillado y red de abastecimiento de agua.

### 2.2.2. Características geográficas

La parcela seleccionada es plana, no tiene desnivel.

Respecto a la sismicidad, debemos decir que se encuentra en una zona de intensidad VIII, bastante alta.

Figura 4. Datos sísmicos en España. Instituto Geográfico Nacional (2014)



### 2.2.3. Comunicaciones

Como se verá a continuación, las instalaciones estarán muy bien comunicadas:

#### \* Carreteras:

La planta está muy bien comunicada al encontrarse a poco más de 100 m de la carretera CT-34, la autovía que comunica las autovías A-30 y CT-32, a su entrada en Cartagena, con Escombreras y la Refinería de Cartagena.

Muy cerca de las instalaciones tenemos también la AP-7, la conocida como Autopista del Mediterráneo, el eje que comunica prácticamente de forma ininterrumpida toda la costa mediterránea desde la frontera con Francia hasta Algeciras; y la A-30, la conocida como Autovía de Murcia, que comunica las ciudades de Cartagena, Murcia y Albacete, donde enlaza con la A-31, la Autovía de Alicante, y que comunica Albacete con Madrid.



### **2.3. Capacidad de producción de la planta**

Nuestra planta tendrá una capacidad de producción de 10000 toneladas anuales, esto es, la mitad del AM que se importa en nuestro país. De esta forma podremos producir AM suficiente como para eliminar la mitad de las importaciones de este producto.

La cantidad de AM producido debe ser de 1250 kg/h. De esta forma, la cantidad de AM fabricado diariamente será de 30000 kg/día. La planta estará operando 334 días al año, con los cuales se cubrirá la capacidad de producción anual citada anteriormente, quedando un mes al año en el que la producción de la planta estaría parada. Sería en este mes en el que se llevarían a cabo las tareas de revisión y mantenimiento de los equipos, la limpieza de los mismos, etc. También, de esta forma tenemos en cuenta la posibilidad de tener que realizar paradas forzosas para la solución de incidencias o roturas en la planta, sin que por ello se deje de alcanzar la capacidad de producción anual que hemos fijado.

## 2.4. Descripción del proceso de producción

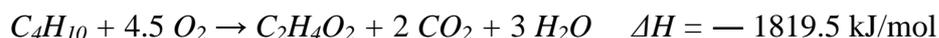
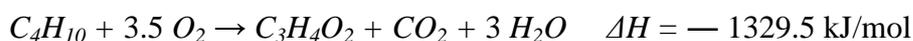
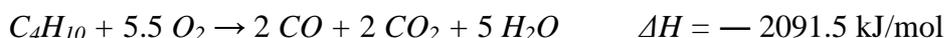
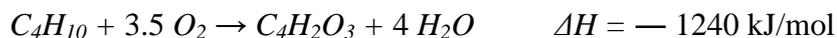
El proceso de producción de AM se puede dividir en tres partes claramente diferenciadas: producción del AM, separación del AM de los subproductos de la reacción y, por último, purificación del producto.

- PRODUCCIÓN

Primeramente tendrán lugar una serie de etapas previas cuyo fin es acondicionar las materias primas principales de la reacción: el butano y el aire.

En cuanto al aire, lo primero que tenemos es la etapa de aspiración, esto es, partimos de una corriente de aire que es captada del medio mediante la soplante COM-201 y comprimida a presiones moderadas. Por otra parte, el butano abandonará el depósito donde se almacena licuado, llegando al tanque T-204 donde se producirá su vaporización por expansión. Al expandirse el butano retirará calor del medio, por lo que este tanque debe de calentarse continuamente mediante la circulación de una corriente de vapor de agua por un serpentín interior, I-201. Posteriormente, el butano ya vaporizado se conduce hasta el intercambiador de calor I-202 donde será recalentado. Tras esto, tanto el aire como el butano se mezclan entre sí en el mezclador M-201 en el que se debe asegurar una buena mezcla, teniendo en cuenta que la concentración de butano en la misma no excederá del 1.75 % molar ya que, por razones de seguridad de la planta, siempre se debe permanecer por debajo del límite inferior de inflamabilidad del butano.

A continuación, la mezcla perfectamente homogénea de aire y butano se introduce, por la parte superior, en el interior de un reactor tubular de lecho fijo, R-201. El reactor está constituido por un gran número de tubos verticales y paralelos en cuyo interior se encuentra fijado el catalizador de la reacción, una mezcla de óxidos de vanadio y fósforo llamada pirofosfato de vanadilo,  $(VO)_2P_2O_7$ , habitualmente conocidos como catalizadores VPO. Es en el interior de estos tubos donde tiene lugar la oxidación catalítica heterogénea en fase vapor del butano con el aire para producir AM, entre otros productos, según las siguientes reacciones:



La elevada naturaleza exotérmica de la reacción del butano para producir AM y de las principales reacciones secundarias que se producen, requiere una considerable eliminación de calor del interior del reactor. Con este fin y para poder regular de forma más eficaz la temperatura en el equipo, por el lado de la carcasa del reactor se hace circular una mezcla eutéctica de sales fundidas, compuesta por un 53 % de nitrato de potasio, un 40 % de nitrito de sodio y un 7 % de nitrato de sodio, que sirve como medio de transporte del calor generado en los tubos. Además el reactor contará con el agitador AG-201 que mantendrá la mezcla de sales en su interior perfectamente agitada. Ésta,

debido a la liberación de calor durante la reacción, deberá ser refrigerada constantemente. Para ello, las sales fundidas continuamente serán llevadas a dos intercambiadores de calor, I-210 e I-211 respectivamente, en los que circularán por el interior de los tubos y se refrigerarán con agua que circulará por la carcasa, produciéndose de esta forma un precalentamiento de la misma hasta su temperatura de saturación. Posteriormente, este agua precalentada se utilizará en otras partes de la planta.

La mezcla de gases producto de la reacción que se obtiene a la salida del reactor contendrá AM, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (vapor), N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> que haya quedado sin reaccionar y pequeñas cantidades de otros compuestos orgánicos que se hayan producido en reacciones secundarias poco importantes, frecuentemente ácido acético y ácido acrílico. Esta corriente gaseosa se conduce por tubería hacia la siguiente parte del proceso, la sección de separación.

- SEPARACIÓN

Esta fase comienza con la llegada de la mezcla gaseosa que abandona el reactor al primer intercambiador de calor, I-203, cuya función es recuperar parte de la energía que poseen estos gases que salen del reactor poniéndolos en contacto con un agua de refrigeración y obteniendo un vapor a alta presión.

Como la corriente gaseosa que abandona el intercambiador todavía se encuentra a una temperatura elevada y, por tanto, aún posee una gran cantidad de energía que podemos reaprovechar, esta corriente es conducida a un nuevo intercambiador de calor, I-204, donde se vuelve a poner en contacto con agua de refrigeración y se obtiene un vapor a baja presión que usaremos en otra parte de la planta.

Posteriormente, la corriente gaseosa se lleva a la columna de absorción AB-201 donde se produce la separación del AM del resto de componentes de la corriente. La absorción se realiza con un disolvente orgánico, ftalato de dibutilo, disolvente que posee unas propiedades específicas para absorber casi completamente y de forma selectiva el AM contenido en la corriente gaseosa del reactor, consiguiendo separar por este procedimiento más del 98 % del AM de la misma. La corriente de disolvente se introduce por la parte superior de la columna en contracorriente con el gas, que entra por la parte inferior. Por la parte superior de la columna de absorción se obtiene una corriente gaseosa formada por CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O (vapor), N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> que haya quedado sin reaccionar y pequeñas cantidades de otros compuestos orgánicos que se hayan producido en reacciones secundarias, que se llevará al incinerador INC-201 previo a su vertido a la atmósfera. Por la parte inferior de la columna se obtiene una corriente relativamente concentrada en AM.

Esta última se conduce a una columna de destilación a vacío D-201 donde se separa el AM y el disolvente. De este equipo salen dos corrientes: la superior está constituida por el AM, normalmente con una pureza del 95 %. Esta corriente superior se lleva a la sección de purificación donde se conseguirá un AM de alta pureza. En cuanto a la corriente inferior, formada fundamentalmente por el disolvente y una pequeña cantidad de ácido fumárico formado por las altas temperaturas, se lleva hasta el intercambiador de calor I-205 donde es refrigerado y su calor reaprovechado en otras partes de la instalación. Seguidamente, la corriente es conducida hasta el filtro F-201 donde se separan los cristales de ácido fumárico formado y el disolvente, siendo este último recuperado y recirculado a la columna de absorción.

- PURIFICACIÓN

Por este procedimiento se obtiene un AM de una elevada pureza, por lo que la sección de purificación es muy simple.

La corriente superior que se obtiene de la etapa de destilación a vacío, constituida aproximadamente por un 95 % de AM, se lleva a una columna de destilación, D-202, donde se consigue la separación de los compuestos ligeros, fundamentalmente agua y compuestos orgánicos como ácido acético o ácido acrílico, que se obtienen por la parte superior de la columna y que se conducen hasta el tanque de almacenamiento de residuos, T-206.

La corriente inferior, con los compuestos más pesados, se conduce hasta la siguiente columna de destilación, D-203, donde se consigue la eliminación de los restos de disolvente que no se consiguieron eliminar en la etapa de destilación a vacío. De esta forma, por la parte superior se obtiene una corriente de AM con un 99.8 % de pureza que se lleva al tanque de almacenamiento de producto terminado, T-205, mientras que por la parte inferior se obtiene el disolvente con una pequeña cantidad de AM no separado. Este disolvente se devuelve a la columna de destilación a vacío para separar la pequeña cantidad de AM que le pueda quedar y obtener un disolvente puro que se reutilizará en la columna de absorción.

## 2.5. Equipos de proceso

- ABSORBEDOR

Es en este equipo donde se ponen en contacto en contracorriente el ftalato de dibutilo y la mezcla de productos, en estado gaseoso, que salió del reactor. El AM de la corriente gaseosa es absorbido por el disolvente, recuperando de esta forma prácticamente la totalidad del AM de la misma. Por la parte superior del equipo se obtendrá una corriente gaseosa exenta de AM, mientras que por la parte inferior se obtiene una corriente líquida de disolvente relativamente rica en este compuesto.

A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 4:

Tabla 4. Características del absorbedor.

Ficha de datos de la unidad	
<b>Equipo:</b>	Absorbedor
<b>Referencia:</b>	AB-201
<b>Tipo:</b>	Columna de relleno
<b>Ubicación:</b>	Sección de separación
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	Armfield
<b>Modelo:</b>	UOP7
<b>Función:</b>	Separar el AM de los gases de reacción
Características de diseño	
<b>Fase gas:</b>	Mezcla de productos de la reacción
<b>Caudal de entrada del gas:</b>	37037 kg/h
<b>Densidad del gas:</b>	1.411 kg/m <sup>3</sup>
<b>Viscosidad del gas:</b>	2.190·10 <sup>-5</sup> N·s/m <sup>2</sup>
<b>Velocidad de inundación del gas:</b>	3.861 kg/(m <sup>2</sup> ·s)
<b>Fase líquida:</b>	Ftalato de dibutilo
<b>Caudal de entrada del líquido:</b>	16275 kg/h

---

<b>Densidad del líquido:</b>	883.305 kg/m <sup>3</sup>
<b>Viscosidad del líquido:</b>	1.859·10 <sup>-3</sup> N·s/m <sup>2</sup>
<b>Características generales</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Diámetro de la columna:</b>	2.40 m
<b>Altura de la columna:</b>	10.50 m
<b>Volumen de la columna:</b>	47.50 m <sup>3</sup>
<b>Número de etapas:</b>	14 etapas
<b>Etapas de alimentación del disolvente:</b>	1
<b>Etapas de alimentación de la corriente a separar:</b>	14
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316
<b>Material de relleno:</b>	Sillas cerámicas INTALLOX
<b>Tamaño del relleno:</b>	38 mm
<b>Condiciones de operación</b>	
<b>Temperatura de trabajo en la parte superior:</b>	69 °C
<b>Temperatura de trabajo en la parte inferior:</b>	119 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	1.5 atm

---

- COLUMNA DE DESTILACIÓN 1

En esta columna se produce la desorción o separación del AM del disolvente, ftalato de dibutilo, mediante una destilación a vacío.

A este equipo llegan dos corrientes, una procede del absorbedor y la otra viene de la columna de destilación 3. Ambas corrientes están constituidas mayoritariamente por el disolvente, ftalato de dibutilo, y por el producto de interés, AM. En ella se llevará a cabo la separación y se obtendrán dos nuevas corrientes, la superior enriquecida en AM y la inferior rica en de ftalato de dibutilo. A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 5:

*Tabla 5. Características de la columna de destilación 1.*

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Columna de destilación a vacío
<b>Referencia:</b>	D-201
<b>Tipo:</b>	Columna de platos
<b>Ubicación:</b>	Sección de separación
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	SEV-PRENDO
<b>Modelo:</b>	EDF
<b>Función:</b>	Separar el AM del ftalato de dibutilo
<b>Características de diseño</b>	
<b>Caudal de entrada de alimentación absorbedor:</b>	17556 kg/h
<b>Caudal de entrada de alimentación columna 3:</b>	68 kg/h
<b>Caudal obtenido por la parte superior:</b>	1336 kg/h
<b>Caudal obtenido por la parte inferior:</b>	16288 kg/h
<b>Densidad del vapor:</b>	0.576 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad del líquido:</b>	843.689 kg/m <sup>3</sup>
<b>Máximo caudal para el vapor:</b>	85.283 kg/s
<b>Velocidad máxima permitida para el vapor:</b>	66.234 m/s

**Características generales**

<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Diámetro de la columna:</b>	1.70 m
<b>Altura de la columna:</b>	3.00 m
<b>Volumen de la columna:</b>	6.81 m <sup>3</sup>
<b>Número de platos teóricos:</b>	6 platos teóricos
<b>Espaciado entre platos:</b>	0.5 m
<b>Etapas de alimentación:</b>	3
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316

**Condiciones de operación**

<b>Relación de reflujo:</b>	0.460
<b>Temperatura de trabajo en la parte superior:</b>	96.3 °C
<b>Temperatura de trabajo en la parte inferior:</b>	254.6 °C
<b>Presión de trabajo en la parte superior:</b>	0.065 atm
<b>Presión de trabajo en la parte inferior:</b>	0.115 atm
<b>Calor eliminado en el condensador:</b>	1.18 · 10 <sup>6</sup> kJ/h
<b>Calor aportado en el calderín:</b>	5.89 · 10 <sup>6</sup> kJ/h

- COLUMNA DE DESTILACIÓN 2

En este equipo se lleva a cabo la separación y eliminación de los compuestos más ligeros que el AM de la corriente que sale de la columna de destilación 1.

A esta columna llega una única corriente procedente de la parte superior de la columna de destilación 1, constituida fundamentalmente por AM y una pequeña cantidad de disolvente y de compuestos orgánicos ligeros que no se han podido separar en la columna anterior. Es aquí donde se produce la separación de esos compuestos ligeros que se eliminan por la parte superior de la columna, mientras que el AM y los restos de disolvente se obtienen por la parte inferior. A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 6:

Tabla 6. Características de la columna de destilación 2.

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Columna de destilación 2
<b>Referencia:</b>	D-202
<b>Tipo:</b>	Columna de platos
<b>Ubicación:</b>	Sección de purificación
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	SEV-PRENDO
<b>Modelo:</b>	EDF
<b>Función:</b>	Separar el AM de los compuestos ligeros
<b>Características de diseño</b>	
<b>Caudal de entrada de alimentación columna 1:</b>	1334 kg/h
<b>Caudal obtenido por la parte superior:</b>	14 kg/h
<b>Caudal obtenido por la parte inferior:</b>	1320 kg/h
<b>Densidad del vapor:</b>	3.447 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad del líquido:</b>	1089.841 kg/m <sup>3</sup>
<b>Máximo caudal para el vapor:</b>	22.233 kg/s
<b>Velocidad máxima permitida para el vapor:</b>	5.865 m/s

**Características generales**

<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Diámetro de la columna:</b>	1.20 m
<b>Altura de la columna:</b>	3.00 m
<b>Volumen de la columna:</b>	3.39 m <sup>3</sup>
<b>Número de platos teóricos:</b>	10 platos teóricos
<b>Espaciado entre platos:</b>	0.3 m
<b>Etapas de alimentación:</b>	9
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316

**Condiciones de operación**

<b>Relación de reflujo:</b>	7.104
<b>Temperatura de trabajo en la parte superior:</b>	114.3 °C
<b>Temperatura de trabajo en la parte inferior:</b>	216.3 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	1.41 atm
<b>Calor eliminado en el condensador:</b>	1.75·10 <sup>5</sup> kJ/h
<b>Calor aportado en el calderín:</b>	5.63·10 <sup>5</sup> kJ/h

- COLUMNA DE DESTILACIÓN 3

En este equipo se lleva a cabo la separación de nuestro producto de interés, el AM, de los restos de disolvente que pueda contener la corriente que sale de la columna de destilación 2, disolvente que se obtiene por la parte inferior de la columna y que se recirculará a la columna de destilación a vacío para separar totalmente el AM que pueda contener y que, posteriormente, será reaprovechado en la columna de absorción. Por otro lado, por la parte superior de esta columna se obtiene un AM de elevada pureza (de un 99.8 %).

A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 7:

*Tabla 7. Características de la columna de destilación 3.*

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Columna de destilación 3
<b>Referencia:</b>	D-203
<b>Tipo:</b>	Columna de platos
<b>Ubicación:</b>	Sección de purificación
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	SEV-PRENDO
<b>Modelo:</b>	EDF
<b>Función:</b>	Separar el AM de los restos de ftalato de dibutilo que hayan quedado
<b>Características de diseño</b>	
<b>Caudal de entrada de alimentación columna 1:</b>	1321 kg/h
<b>Caudal obtenido por la parte superior:</b>	1254 kg/h
<b>Caudal obtenido por la parte inferior:</b>	67 kg/h
<b>Densidad del vapor:</b>	3.414 kg/m <sup>3</sup>
<b>Densidad del líquido:</b>	757.242 kg/m <sup>3</sup>
<b>Máximo caudal para el vapor:</b>	22.017 kg/s
<b>Velocidad máxima permitida para el vapor:</b>	4.109 m/s

**Características generales**

<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Diámetro de la columna:</b>	1.50 m
<b>Altura de la columna:</b>	3.90 m
<b>Volumen de la columna:</b>	6.89 m <sup>3</sup>
<b>Número de platos teóricos:</b>	13 platos teóricos
<b>Espaciado entre platos:</b>	0.3 m
<b>Etapa de alimentación:</b>	6
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316

**Condiciones de operación**

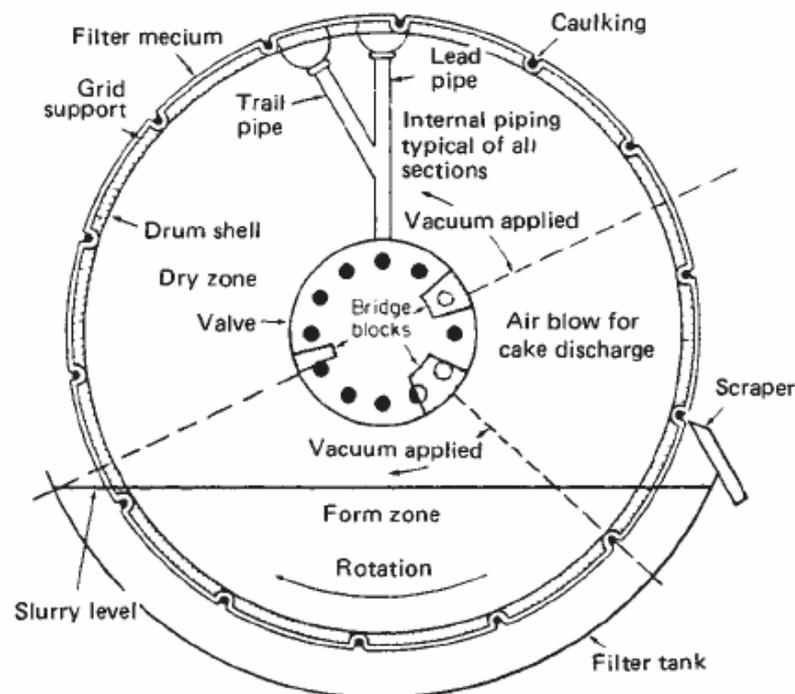
<b>Relación de reflujo:</b>	0.460
<b>Temperatura de trabajo en la parte superior:</b>	211.8 °C
<b>Temperatura de trabajo en la parte inferior:</b>	354.0 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	1.36 atm
<b>Calor eliminado en el condensador:</b>	8.82·10 <sup>5</sup> kJ/h
<b>Calor aportado en el calderín:</b>	1.08·10 <sup>6</sup> kJ/h

- FILTRO

En nuestro proceso se necesita una unidad que consiga separar rápida y eficientemente una corriente compuesta por un líquido, ftalato de dibutilo, y un sólido, los cristales de ácido fumárico que se hayan podido formar en la columna de destilación 1. Para ello, entre los distintos tipos de filtros que existen, se han escogido los de vacío debido, fundamentalmente, a su gran capacidad, su pequeño tamaño, la posibilidad de trabajo en continuo y su bajo coste de operación.

Dentro de los filtros de vacío se utilizarán los de tambor rotatorio, que consisten en un cilindro horizontal perforado recubierto por una tela filtrante. En su interior, el cilindro está dividido en una serie de celdas interconectadas por una válvula y está sumergido parcialmente en una cuba con la suspensión a filtrar. Aplicando vacío a las celdas sumergidas se forma una torta más o menos gruesa dependiendo de la velocidad de rotación del tambor. Posteriormente, la torta se retira por uno de los múltiples métodos que existen, siendo el más común una simple rasqueta, pero existen métodos más complicados según sean las características de la torta formada.

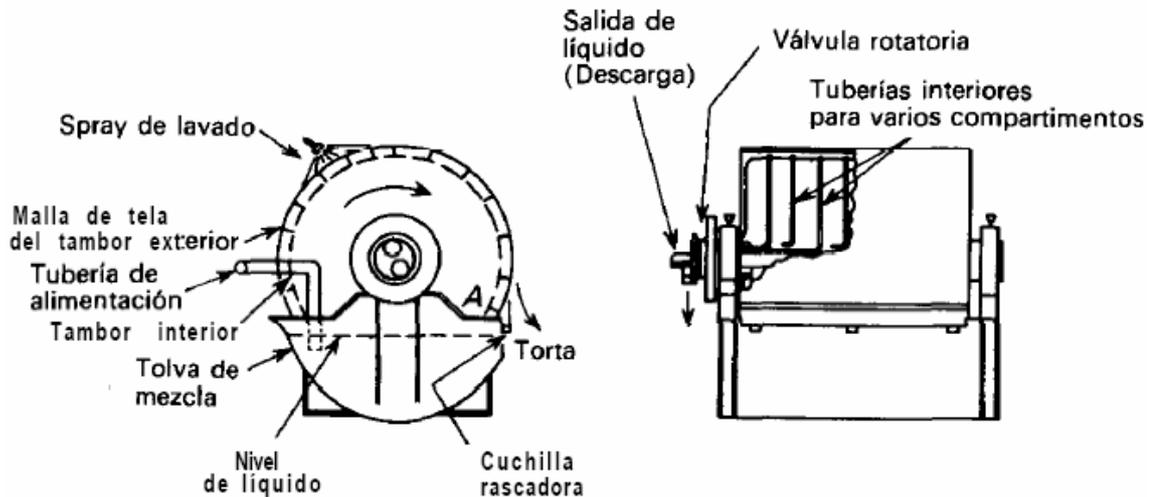
*Figura 6. Esquema de un filtro de tambor rotatorio a vacío, con descarga mediante rasqueta, en el que se muestran las zonas de operación. Perry (2001)*



A la hora de diseñar una unidad de filtrado rotatorio a vacío existen numerosas variables a tener en cuenta: el porcentaje de tambor sumergido, la velocidad de giro del mismo, el sistema de suspensión del líquido a filtrar en la cuba, el tipo de separación tela-torta,... Por ello, a la hora de adquirir un equipo de filtración a vacío, la empresa suministradora ofrece su experiencia en la elección del equipo más apropiado para cada función.

En la planta dispondremos de dos filtros colocados en paralelo, de forma que no tengamos que interrumpir el proceso cada vez que se necesite realizar tareas de limpieza y mantenimiento en alguno de ellos. Así siempre estará uno de estos filtros en funcionamiento.

Figura 7. Filtro rotatorio continuo de vacío. McCabe (2007)



A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 8:

Tabla 8. Características del filtro de tambor rotatorio a vacío.

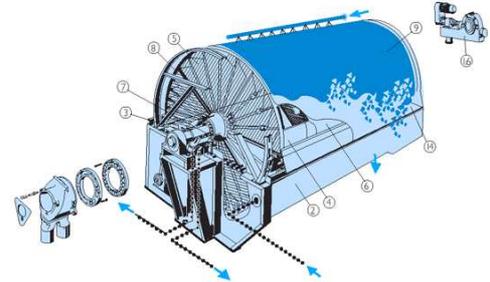
Ficha de datos de la unidad	
<b>Equipo:</b>	Filtro
<b>Referencia:</b>	F-201
<b>Tipo:</b>	Filtro de tambor rotatorio a vacío
<b>Ubicación:</b>	Sección de separación
<b>Nº de equipos:</b>	2
<b>Fabricante:</b>	TEFSA
<b>Modelo:</b>	TSF
<b>Función:</b>	Eliminar los cristales de ácido fumárico de la corriente de disolvente
Características de diseño	
<b>Caudal de alimentación al filtro:</b>	16289 kg/h
<b>Caudal de sólidos en la alimentación:</b>	14 kg/h

<b>Caída de presión en el filtro:</b>	50 mmHg
<b>Fracción del tambor sumergida:</b>	30 %
<b>Velocidad de giro del tambor:</b>	0.1 rpm
<b>Resistencia específica de la torta:</b>	$10^{10}$ m/kg
<b>Resistencia del medio filtrante:</b>	$0 \text{ m}^{-1}$

### Características generales

<b>Disposición del equipo:</b>	Horizontal
<b>Dimensiones del equipo:</b>	3 m x 2 m
<b>Altura del equipo:</b>	2.35 m
<b>Área de filtración:</b>	$18.47 \text{ m}^2$
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316
<b>Potencia del motor:</b>	4.4 kW

Imagen:



### Condiciones de operación

<b>Temperatura de trabajo:</b>	Temperatura ambiente
<b>Presión de trabajo:</b>	3 atm

- INTERCAMBIADOR DE CALOR 1

Este primer intercambiador de calor se utiliza para aumentar la temperatura del *n*-butano y favorecer así su vaporización. Como sistema de calefacción se ha optado por un serpentín interno, ya que éste posee una gran área de transferencia de calor.

El fluido calefactor será vapor de agua a baja presión, procedente de otras partes de la planta. De esta forma conseguimos aprovechar parte de la energía generada en el proceso, haciendo éste más rentable. En la línea de condensado colocamos una trampa de vapor.

El *n*-butano entra al depósito en estado líquido a una temperatura de 20 °C y una presión de 4.5 atm y sale en estado vapor a 47 °C y 3.5 atm. A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 9:

Tabla 9. Características del intercambiador de calor 1.

Ficha de datos de la unidad	
<b>Equipo:</b>	Intercambiador de calor 1
<b>Referencia:</b>	I-201
<b>Tipo:</b>	Serpentín
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	Armstrong
<b>Modelo:</b>	300
<b>Función:</b>	Precalear el <i>n</i> -butano
Características de diseño	
<b>Producto en el interior del serpentín:</b>	Vapor de agua
<b>Producto en el exterior del serpentín:</b>	<i>n</i> -butano
<b>Caudal de alimentación de <i>n</i>-butano:</b>	1263 kg/h
<b>Temperatura de alimentación de <i>n</i>-butano:</b>	20 °C
<b>Presión de alimentación de <i>n</i>-butano:</b>	4.5 atm
<b>Caudal de alimentación de vapor:</b>	251.48 kg/h
<b>Temperatura de alimentación del vapor:</b>	139 °C (saturado)

---

**Presión de alimentación del vapor:** 3.5 atm

---

**Coefficiente global de transmisión del calor:** 680 W/(m<sup>2</sup>·°C)

---

**Factor de seguridad:** 2

**Características generales**

---

**Área del serpentín:** 14.59 m<sup>2</sup>

---

**Diámetro externo del tubo del serpentín:** 0.0254 mm

---

**Longitud del serpentín:** 182.84 m

---

**Diámetro de la espira:** 1.69 m

---

**Longitud de cada espira:** 5.31 m

---

**Número de espiras:** 35 espiras

---

**Separación entre espiras:** 0.05 m

---

**Altura total del serpentín:** 2.59 m

---

**Material de construcción:** Acero A106 Grado A

**Imagen:**



- INTERCAMBIADOR DE CALOR 2

La misión de este segundo intercambiador de calor no es más que recalentar el *n*-butano, en estado gaseoso, hasta la temperatura idónea para su mezcla con el aire previa a la entrada en el reactor principal. Como sistema de calefacción se ha optado por un intercambiador de calor de carcasa y tubos.

El fluido calefactor será vapor de agua a baja presión, procedente de otras partes de la planta. De esta forma conseguimos aprovechar parte de la energía generada en el proceso, haciendo éste más rentable. En la línea de condensado colocamos una trampa de vapor.

El *n*-butano entra al intercambiador de calor a una temperatura de 47 °C y sale a 110 °C, siendo la presión de trabajo de 3.5 atm. A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 10:

Tabla 10. Características del intercambiador de calor 2.

Ficha de datos de la unidad	
<b>Equipo:</b>	Intercambiador de calor 2
<b>Referencia:</b>	I-202
<b>Tipo:</b>	De carcasa y tubos
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	FUNKE
<b>Modelo:</b>	---
<b>Función:</b>	Precalentar el <i>n</i> -butano
Características de diseño	
<b>Producto en el interior de los tubos:</b>	<i>n</i> -butano
<b>Producto en el exterior de los tubos:</b>	Vapor de agua
<b>Caudal de alimentación de <i>n</i>-butano:</b>	1263 kg/h
<b>Temperatura de alimentación de <i>n</i>-butano:</b>	47 °C
<b>Presión de alimentación de <i>n</i>-butano:</b>	3.5 atm
<b>Caudal de alimentación de vapor:</b>	72 kg/h

---

<b>Temperatura de alimentación del vapor:</b>	139 °C (saturado)
<b>Presión de alimentación del vapor:</b>	3.5 atm
<b>Coefficiente global de transmisión del calor:</b>	680 W/(m <sup>2</sup> ·°C)
<b>Factor de seguridad:</b>	2

---

<b>Características generales</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Horizontal
<b>Dimensiones del equipo:</b>	2.75 m x 0.30 m
<b>Altura del equipo:</b>	0.30 m
<b>Área de intercambio de calor:</b>	8.32 m <sup>2</sup>
<b>Espesor de la carcasa:</b>	9.5 mm
<b>Material de construcción de la carcasa:</b>	Acero A285 Grado C
<b>Número de tubos:</b>	53 tubos
<b>Longitud de los tubos:</b>	2.44 m
<b>Diámetro externo de los tubos:</b>	25.4 mm
<b>Espesor de los tubos:</b>	2.41 mm
<b>Diámetro interno de los tubos:</b>	20.57 mm
<b>Paso de tubo:</b>	31.75 mm
<b>Separación de los tubos:</b>	6.35 mm
<b>Material de construcción de los tubos:</b>	Acero A106 Grado A

---

**Imagen:**



- INTERCAMBIADOR DE CALOR 3

La función de este tercer intercambiador de calor no es más que enfriar la mezcla de productos de la reacción que salen del reactor principal, en estado gaseoso, para recuperar parte de la energía que posee esta corriente y obtener así un vapor de agua a alta presión. Como sistema de refrigeración se ha optado por un intercambiador de calor de carcasa y tubos.

El fluido refrigerante será agua saturada a alta presión procedente de otras partes de la planta. De esta forma producimos un vapor saturado a alta presión que se utilizará en otras zonas de la instalación, consiguiendo de esta forma aprovechar parte de la energía generada en el proceso, haciendo éste más rentable.

La mezcla de gases de reacción entra al intercambiador de calor a una temperatura de 410 °C y sale a 260 °C, produciendo un vapor a 20 atm (alta presión). A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 11:

*Tabla 11. Características del intercambiador de calor 3.*

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Intercambiador de calor 3
<b>Referencia:</b>	I-203
<b>Tipo:</b>	De carcasa y tubos
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	FUNKE
<b>Modelo:</b>	---
<b>Función:</b>	Recuperar energía de los gases de reacción
<b>Características de diseño</b>	
<b>Producto en el interior de los tubos:</b>	Productos de la reacción
<b>Producto en el exterior de los tubos:</b>	Agua
<b>Caudal de alimentación de producto:</b>	37037 kg/h
<b>Temperatura de alimentación de producto:</b>	410 °C
<b>Presión de alimentación de producto:</b>	1.65 atm
<b>Caudal de alimentación del agua:</b>	3365 kg/h

<b>Temperatura de alimentación del agua:</b>	213 °C (saturado)
<b>Presión de alimentación del agua:</b>	20 atm
<b>Coefficiente global de transmisión del calor:</b>	250 W/(m <sup>2</sup> ·°C)
<b>Factor de seguridad:</b>	2

### Características generales

<b>Disposición del equipo:</b>	Horizontal
<b>Dimensiones del equipo:</b>	5.50 m x 1.40 m
<b>Altura del equipo:</b>	1.40 m
<b>Área de intercambio de calor:</b>	484.94 m <sup>2</sup>
<b>Espesor de la carcasa:</b>	9.5 mm
<b>Material de construcción de la carcasa:</b>	Acero A285 Grado C
<b>Número de tubos:</b>	1539 tubos
<b>Longitud de los tubos:</b>	4.88 m
<b>Diámetro externo de los tubos:</b>	25.4 mm
<b>Espesor de los tubos:</b>	2.41 mm
<b>Diámetro interno de los tubos:</b>	20.57 mm
<b>Paso de tubo:</b>	31.75 mm
<b>Separación de los tubos:</b>	6.35 mm
<b>Material de construcción de los tubos:</b>	Acero A106 Grado A

**Imagen:**



- INTERCAMBIADOR DE CALOR 4

El objetivo de este cuarto intercambiador de calor no es más que continuar enfriando la mezcla de productos de la reacción que salen del intercambiador de calor 3, en estado gaseoso, para recuperar parte de la energía que posee esta corriente y obtener así un vapor de agua a baja presión. Como sistema de refrigeración se ha optado por un intercambiador de calor de carcasa y tubos.

El fluido refrigerante será agua saturada a baja presión procedente de otras partes de la planta. De esta forma producimos un vapor saturado a baja presión que se utilizará en otras zonas de la instalación, consiguiendo de esta forma aprovechar parte de la energía generada en el proceso, haciendo éste más rentable.

La mezcla de gases de reacción entra al intercambiador de calor a una temperatura de 260 °C y sale a 135 °C, produciendo un vapor a 2 atm (baja presión). A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 12:

*Tabla 12. Características del intercambiador de calor 4.*

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Intercambiador de calor 4
<b>Referencia:</b>	I-204
<b>Tipo:</b>	De carcasa y tubos
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	FUNKE
<b>Modelo:</b>	---
<b>Función:</b>	Recuperar energía de los gases de reacción
<b>Características de diseño</b>	
<b>Producto en el interior de los tubos:</b>	Productos de la reacción
<b>Producto en el exterior de los tubos:</b>	Agua
<b>Caudal de alimentación de producto:</b>	37037 kg/h
<b>Temperatura de alimentación de producto:</b>	260 °C
<b>Presión de alimentación de producto:</b>	1.60 atm
<b>Caudal de alimentación del agua:</b>	2316 kg/h

<b>Temperatura de alimentación del agua:</b>	121 °C (saturado)
<b>Presión de alimentación del agua:</b>	2 atm
<b>Coefficiente global de transmisión del calor:</b>	350 W/(m <sup>2</sup> ·°C)
<b>Factor de seguridad:</b>	2
<b>Características generales</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Horizontal
<b>Dimensiones del equipo:</b>	5.50 m x 1.40 m
<b>Altura del equipo:</b>	1.40 m
<b>Área de intercambio de calor:</b>	535.90 m <sup>2</sup>
<b>Espesor de la carcasa:</b>	9.5 mm
<b>Material de construcción de la carcasa:</b>	Acero A285 Grado C
<b>Número de tubos:</b>	1701 tubos
<b>Longitud de los tubos:</b>	4.88 m
<b>Diámetro externo de los tubos:</b>	25.4 mm
<b>Espesor de los tubos:</b>	2.41 mm
<b>Diámetro interno de los tubos:</b>	20.57 mm
<b>Paso de tubo:</b>	31.75 mm
<b>Separación de los tubos:</b>	6.35 mm
<b>Material de construcción de los tubos:</b>	Acero A106 Grado A

**Imagen:**



- INTERCAMBIADOR DE CALOR 5

La función de este quinto intercambiador de calor no es más que enfriar el disolvente que sale de la columna de destilación a vacío, en estado líquido, para recuperar parte de la energía que posee esta corriente y obtener así un vapor de agua a baja presión. Como sistema de refrigeración se ha optado por un intercambiador de calor de carcasa y tubos.

El fluido refrigerante será agua de la red a temperatura ambiente. De esta forma producimos un vapor saturado a baja presión que se utilizará en otras zonas de la instalación, consiguiendo de esta forma aprovechar parte de la energía generada en el proceso, haciendo éste más rentable.

La mezcla de gases de reacción entra al intercambiador de calor a una temperatura de 230 °C y sale a 30 °C, produciendo un vapor a 1.5 atm (baja presión). A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 13:

Tabla 13. Características del intercambiador de calor 5.

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Intercambiador de calor 5
<b>Referencia:</b>	I-205
<b>Tipo:</b>	De carcasa y tubos
<b>Ubicación:</b>	Sección de separación
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	FUNKE
<b>Modelo:</b>	---
<b>Función:</b>	Recuperar energía del disolvente
<b>Características de diseño</b>	
<b>Producto en el interior de los tubos:</b>	Ftalato de dibutilo
<b>Producto en el exterior de los tubos:</b>	Agua
<b>Caudal de alimentación de producto:</b>	16289 kg/h
<b>Temperatura de alimentación de producto:</b>	230 °C
<b>Presión de alimentación de producto:</b>	3 atm
<b>Caudal de alimentación del agua:</b>	2656 kg/h

<b>Temperatura de alimentación del agua:</b>	20 °C (ambiente)
<b>Presión de alimentación del agua:</b>	1.5 atm
<b>Coefficiente global de transmisión del calor:</b>	300 W/(m <sup>2</sup> ·°C)
<b>Factor de seguridad:</b>	2
<b>Características generales</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Horizontal
<b>Dimensiones del equipo:</b>	6.75 m x 1.75 m
<b>Altura del equipo:</b>	1.75 m
<b>Área de intercambio de calor:</b>	1019.49 m <sup>2</sup>
<b>Espesor de la carcasa:</b>	9.5 mm
<b>Material de construcción de la carcasa:</b>	Acero A285 Grado C
<b>Número de tubos:</b>	2588 tubos
<b>Longitud de los tubos:</b>	6.10 m
<b>Diámetro externo de los tubos:</b>	25.4 mm
<b>Espesor de los tubos:</b>	2.41 mm
<b>Diámetro interno de los tubos:</b>	20.57 mm
<b>Paso de tubo:</b>	31.75 mm
<b>Separación de los tubos:</b>	6.35 mm
<b>Material de construcción de los tubos:</b>	Acero A106 Grado A

**Imagen:**



- INTERCAMBIADOR DE CALOR 10

Este intercambiador de calor cumple una doble misión. En primer lugar nos permite precalentar el agua que llega a la planta a temperatura ambiente, a unos 20 °C, hasta la temperatura de saturación a la presión correspondiente, 20 atm (alta presión). Además, este equipo nos permite enfriar el fluido refrigerante del reactor principal, una mezcla eutéctica de sales fundidas, por lo que este fluido puede estar continuamente recirculándose al reactor. Como sistema de refrigeración se ha optado por un intercambiador de calor de carcasa y tubos.

El fluido refrigerante será agua de la red a temperatura ambiente. De esta forma producimos un líquido saturado a alta presión que se utilizará como medio refrigerante en el intercambiador de calor 3, consiguiendo de esta forma aprovechar parte de la energía generada en el proceso, haciendo éste más rentable.

La mezcla eutéctica de sales fundidas entra al intercambiador de calor a una temperatura de 330 °C y sale a 277.5 °C, produciendo un agua saturada a 20 atm (alta presión). A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 14:

Tabla 14. Características del intercambiador de calor 10.

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Intercambiador de calor 10
<b>Referencia:</b>	I-210
<b>Tipo:</b>	De carcasa y tubos
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	FUNKE
<b>Modelo:</b>	---
<b>Función:</b>	Refrigerar la mezcla de sales fundidas
<b>Características de diseño</b>	
<b>Producto en el interior de los tubos:</b>	Mezcla de sales fundidas
<b>Producto en el exterior de los tubos:</b>	Agua
<b>Caudal de alimentación de sales:</b>	100000 kg/h
<b>Temperatura de alimentación de sales:</b>	330 °C
<b>Presión de alimentación de sales:</b>	31.5 atm

<b>Caudal de alimentación del agua:</b>	10000 kg/h
<b>Temperatura de alimentación del agua:</b>	20 °C (ambiente)
<b>Presión de alimentación del agua:</b>	20 atm
<b>Coefficiente global de transmisión del calor:</b>	900 W/(m <sup>2</sup> ·°C)
<b>Factor de seguridad:</b>	2

### Características generales

<b>Disposición del equipo:</b>	Horizontal
<b>Dimensiones del equipo:</b>	4 m x 0.80 m
<b>Altura del equipo:</b>	0.80 m
<b>Área de intercambio de calor:</b>	116.36 m <sup>2</sup>
<b>Espesor de la carcasa:</b>	9.5 mm
<b>Material de construcción de la carcasa:</b>	Acero A285 Grado C
<b>Número de tubos:</b>	493 tubos
<b>Longitud de los tubos:</b>	3.66 m
<b>Diámetro externo de los tubos:</b>	25.4 mm
<b>Espesor de los tubos:</b>	2.41 mm
<b>Diámetro interno de los tubos:</b>	20.57 mm
<b>Paso de tubo:</b>	31.75 mm
<b>Separación de los tubos:</b>	6.35 mm
<b>Material de construcción de los tubos:</b>	Acero A106 Grado A

**Imagen:**



- INTERCAMBIADOR DE CALOR 11

Este segundo intercambiador de calor también cumple una doble misión. En primer lugar nos permite precalentar el agua que llega a la planta a temperatura ambiente, a unos 20 °C, hasta la temperatura de saturación a la presión correspondiente, 4 atm (baja presión). Además, este equipo nos permite enfriar el fluido refrigerante del reactor principal, una mezcla eutéctica de sales fundidas, por lo que este fluido puede estar continuamente recirculándose al reactor. Como sistema de refrigeración se ha optado por un intercambiador de calor de carcasa y tubos.

El fluido refrigerante será agua de la red a temperatura ambiente. De esta forma producimos un líquido saturado a baja presión que se utilizará como medio refrigerante en el intercambiador de calor 4, consiguiendo de esta forma aprovechar parte de la energía generada en el proceso, haciendo éste más rentable.

La mezcla eutéctica de sales fundidas entra al intercambiador de calor a una temperatura de 277.5 °C y sale a 231 °C, produciendo un agua saturada a 4 atm (baja presión). A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 15:

Tabla 15. Características del intercambiador de calor 11.

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Intercambiador de calor 11
<b>Referencia:</b>	I-211
<b>Tipo:</b>	De carcasa y tubos
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	FUNKE
<b>Modelo:</b>	---
<b>Función:</b>	Refrigerar la mezcla de sales fundidas
<b>Características de diseño</b>	
<b>Producto en el interior de los tubos:</b>	Mezcla de sales fundidas
<b>Producto en el exterior de los tubos:</b>	Agua
<b>Caudal de alimentación de sales:</b>	100000 kg/h
<b>Temperatura de alimentación de sales:</b>	277.5 °C
<b>Presión de alimentación de sales:</b>	30.5 atm

<b>Caudal de alimentación del agua:</b>	13936 kg/h
<b>Temperatura de alimentación del agua:</b>	20 °C (ambiente)
<b>Presión de alimentación del agua:</b>	4 atm
<b>Coefficiente global de transmisión del calor:</b>	900 W/(m <sup>2</sup> ·°C)
<b>Factor de seguridad:</b>	2
<b>Características generales</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Horizontal
<b>Dimensiones del equipo:</b>	4 m x 0.75 m
<b>Altura del equipo:</b>	0.75 m
<b>Área de intercambio de calor:</b>	102.55 m <sup>2</sup>
<b>Espesor de la carcasa:</b>	9.5 mm
<b>Material de construcción de la carcasa:</b>	Acero A285 Grado C
<b>Número de tubos:</b>	434 tubos
<b>Longitud de los tubos:</b>	3.66 m
<b>Diámetro externo de los tubos:</b>	25.4 mm
<b>Espesor de los tubos:</b>	2.41 mm
<b>Diámetro interno de los tubos:</b>	20.57 mm
<b>Paso de tubo:</b>	31.75 mm
<b>Separación de los tubos:</b>	6.35 mm
<b>Material de construcción de los tubos:</b>	Acero A106 Grado A

**Imagen:**



- REACTOR

Es en este equipo donde se va a llevar a cabo la reacción entre el aire y el *n*-butano, en presencia de un catalizador, para producir AM entre otros subproductos. Dado que es el equipo más importante del proceso, a continuación procedemos a su descripción con un mayor grado de detalle.

El reactor es de tipo tubular, con 3125 tubos de 3.66 m de longitud y 20.57 mm de diámetro interno, rellenos de un lecho catalítico de 3.26 m de altura y soportado por un muelle. El área total de paso es de 1.5 m<sup>2</sup>. Cada tubo contiene 2.3 litros de catalizador (1.958 kg) de tipo “Syndane 1222”, con un contenido total de 4.18 m<sup>3</sup> (4230 kg) en el reactor.

Los tubos van sumergidos en un baño de sales fundidas (una mezcla eutéctica de sales fundidas, compuesta por un 53 % de nitrato de potasio, un 40 % de nitrito de sodio y un 7 % de nitrato de sodio), que actúa como medio de transporte del calor generado en la reacción. Las sales son continuamente removidas por un agitador AG-201 para favorecer la homogenización de la temperatura, siendo asimismo refrigeradas mediante dos intercambiadores de calor externos I-210 e I-211, respectivamente. La temperatura máxima en el lecho catalítico no debe exceder los 465 °C, para que el catalizador no se dañe por las altas temperaturas.

El fondo del reactor y la línea de salida están diseñados para dar a los gases un tiempo de residencia mínimo de aproximadamente 0.1 segundos a la temperatura de salida del reactor, antes de su enfriamiento en el intercambiador de calor I-203. De esta forma se evita que prosigan las reacciones incontroladas de oxidación con formación de subproductos no deseados tales como ácido acrílico, ácido acético y otros subproductos que se forman a partir del *n*-butano que ha quedado sin reaccionar. Estos compuestos pueden causar problemas de obstrucción en las tuberías de la planta y problemas de coloración indeseada en el producto final.

A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 16:

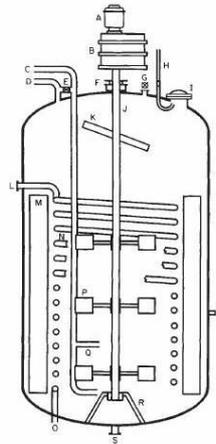
*Tabla 16. Características del reactor.*

Ficha de datos de la unidad	
<b>Equipo:</b>	Reactor
<b>Referencia:</b>	R-201
<b>Tipo:</b>	Reactor tubular de lecho fijo
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	JCT

<b>Modelo:</b>	---
<b>Función:</b>	Llevar a cabo la reacción de producción del AM
<b>Características de diseño</b>	
<b>Producto en el interior de los tubos:</b>	Mezcla homogénea de <i>n</i> -butano y aire
<b>Producto en el exterior de los tubos:</b>	Mezcla eutéctica de sales nítricas fundidas
<b>Caudal de alimentación de producto:</b>	37037 kg/h
<b>Temperatura de alimentación de producto:</b>	120 °C
<b>Presión de alimentación de producto:</b>	2 atm
<b>Caudal de alimentación de sales:</b>	100000 kg/h
<b>Temperatura de alimentación de sales:</b>	231 °C
<b>Presión de alimentación de sales:</b>	33 atm
<b>Coefficiente global de transmisión del calor:</b>	1000 W/(m <sup>2</sup> ·°C)
<b>Tiempo de residencia:</b>	0.1 s
<b>Porosidad del catalizador:</b>	15 %
<b>Características generales</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Diámetro del equipo:</b>	3 m
<b>Altura del equipo:</b>	4 m
<b>Espesor de la carcasa:</b>	9.5 mm
<b>Material de construcción de la carcasa:</b>	Acero A285 Grado C
<b>Volumen libre de reactor:</b>	0.57 m <sup>3</sup>
<b>Volumen real de reactor:</b>	3.8 m <sup>3</sup>
<b>Número de tubos:</b>	3125 tubos
<b>Área de intercambio de calor:</b>	738.78 m <sup>2</sup>
<b>Longitud de los tubos:</b>	3.66 m

<b>Diámetro externo de los tubos:</b>	25.4 mm
<b>Espesor de los tubos:</b>	2.41 mm
<b>Diámetro interno de los tubos:</b>	20.57 mm
<b>Paso de tubo:</b>	50.8 mm
<b>Separación de los tubos:</b>	25.4 mm
<b>Material de construcción de los tubos:</b>	Acero A106 Grado A

**Imagen:**



A continuación se recogen las principales características del sistema de agitación del reactor en la tabla 17:

*Tabla 17. Características del sistema de agitación.*

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Agitador
<b>Referencia:</b>	AG-201
<b>Tipo:</b>	Turbina de paletas planas
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	CRAMIX
<b>Modelo:</b>	VTS4
<b>Función:</b>	Homogenizar la temperatura en el reactor

### Características de diseño

<b>Inmersión de las paletas:</b>	0.3 m
<b>Velocidad de giro:</b>	100 rpm
<b>Velocidad de flujo del medio:</b>	15 cm/s (estimado)
<b>Eficacia del agitador:</b>	83 %
<b>Potencia del agitador:</b>	490 kW
<b>Temperatura de trabajo:</b>	350 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	33 atm

### Características generales

<b>Forma del agitador:</b>	Cilíndrica
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Longitud del agitador:</b>	4 m
<b>Diámetro del rotor:</b>	1.50 m
<b>Diámetro del eje:</b>	0.75 m
<b>Anchura de la paleta de agitación:</b>	0.30 m
<b>Número de paletas:</b>	8 paletas
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316

**Imagen:**



Finalmente, describimos el proceso para realizar la puesta en marcha del equipo.

Una vez que el reactor esté montado, se ha de comprobar que los termopares estén situados en la parte más alta de los tubos (placa tubular superior) y otro en el punto más bajo (placa tubular inferior).

La temperatura no deberá elevarse más de 8 °C/h y durante el calentamiento no se deberán superar las siguientes diferencias de temperaturas:

- 30 °C entre las placas tubulares superior e inferior.
- 75 °C entre la entrada de vapor y la placa tubular inferior.
- 60 °C entre la entrada de vapor y la placa tubular superior.

De esta forma podemos evitar que surjan tensiones en el reactor y, como consecuencia, evitaremos la deformación de las placas o la rotura de las soldaduras de los tubos a las mismas.

Previamente al calentamiento deberá comprobarse:

- Que el sistema de control de caudales y relación de aire y *n*-butano al reactor están en servicio.
- Que el vaporizador está preparado para suministrar *n*-butano recalentado.
- Que los intercambiadores de calor que refrigerarán la mezcla de sales fundidas del reactor están listos para comenzar a operar.
- Que la línea de salida de gases del reactor hacia el absorbedor está totalmente abierta.

En este momento podemos iniciar el calentamiento del reactor mediante el vapor de agua generado en la caldera. Debemos tener en cuenta que, durante el calentamiento, debemos controlar y limitar cuidadosamente la temperatura del vapor para prevenir la sobre oxidación del catalizador.

En un primer momento el reactor se calienta hasta 200 °C sin que la temperatura del vapor exceda de 230 °C. Cuando el reactor alcance los 200 °C uniformemente, se pone en funcionamiento el agitador de sales y cesa el aporte de vapor. Una vez establecida la circulación de sales, se comienza la alimentación de aire y *n*-butano a una concentración máxima del 0.6 % molar para prevenir la oxidación del catalizador durante el calentamiento siguiente. Una vez introducido el *n*-butano, se eleva la temperatura del aire para subir la temperatura de las sales y dar comienzo a la reacción de la mezcla *n*-butano-aire. Durante esta fase la temperatura del aire debe limitarse a un máximo de 350 °C para minimizar los riesgos de una combustión en la entrada del reactor. Según aumenta la reacción la concentración de *n*-butano debe ser incrementada hasta un 0.8 % molar y posteriormente hasta un 1 % molar. Durante este periodo debe vigilarse cuidadosamente la concentración de *n*-butano no reaccionado en los gases de salida del reactor.

Durante este periodo de reacción inicial son eliminados los cloruros del catalizador. La temperatura de las sales es elevada hasta los 400 °C para acelerar el desprendimiento de cloruros. El catalizador se activa durante este periodo y puede ser necesario aumentar la velocidad másica del gas para prevenir que la conversión del butano exceda del 85 %.

A una concentración de *n*-butano del 1 % molar y un nivel de conversión del 75 %, se genera suficiente calor de reacción en el lecho catalítico como para sostener la reacción. En este momento se hacen los preparativos necesarios para cambiar el aire de calentamiento por aire de proceso. Esta transición debe ser realizada gradualmente bajando la temperatura del aire de calentamiento, para tener la seguridad de que la reacción se autosostiene con el aire de proceso más frío.

- SOPLANTE

Este equipo aspira el aire exterior introduciéndolo en el circuito a presión, venciendo fácilmente las pérdidas de carga de la línea. La conexión se realiza como una bomba. La toma de aire debe de situarse en el exterior y lo más alta posible para que el aire sea lo más limpio posible. Se debe colocar un sistema que impida la entrada de agua por la toma.

La soplante es de un solo escalón y de admisión radial simple. El impulsor está estática y dinámicamente equilibrado. Su velocidad crítica está muy por encima de la mayor velocidad admisible de funcionamiento. El motor va montado en ambos extremos sobre cojinetes lubricados por aceite a presión. El circuito de lubricación de la soplante consta de un depósito de aceite equipado con un nivel visual.

**\* Limitaciones en el arranque de la soplante:**

Cuando la válvula de aspiración de la soplante no se encuentra totalmente cerrada, un interruptor de fin de carrera instalado en la misma no permitirá poner en marcha el motor principal. Esta desconexión está señalada por una alarma óptica en el panel local de la soplante.

Cuando la presión del aceite lubricante es inferior a  $1.2 \text{ kg/cm}^2$ , un interruptor con alarma evitará que el motor de la soplante pueda ser puesto en marcha, al tiempo que permanece iluminada la correspondiente alarma óptica en el panel de control.

A continuación se recogen las principales características de este equipo en la tabla 18:

*Tabla 18. Características de la soplante.*

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Soplante
<b>Referencia:</b>	COM-201
<b>Tipo:</b>	Soplante de émbolo rotativo
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	MAPNER
<b>Modelo:</b>	SEM/TR-90
<b>Función:</b>	Captar el aire e introducirlo en el proceso
<b>Características generales</b>	
<b>Dimensiones del equipo:</b>	1.10 m x 0.95 m

---

<b>Altura del equipo:</b>	1.60 m
<b>Peso del equipo:</b>	1850 kg
<b>Potencia de la soplante:</b>	1000 kW
<b>Tensión de alimentación:</b>	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
<b>Velocidad de giro del motor:</b>	1500 rpm
<b>Velocidad de giro del rotor:</b>	1450 rpm
<b>Nivel sonoro:</b>	105 dBA
<b>Sistema de refrigeración:</b>	No requiere

---

**Condiciones de operación**

<b>Caudal:</b>	35774 kg/h
<b>Presión de descarga:</b>	2.2 atm
<b>Incremento de presión máximo:</b>	6 atm
<b>Incremento de temperatura máximo:</b>	192 °C

---

**Imagen:**



- TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Dado que nuestro proceso va a operar en continuo, necesitaremos tener unas reservas de materias primas de forma que permitan este modo de operación. Por ello, las materias primas, *n*-butano y ftalato de dibutilo, se almacenarán en tanques para asegurar el funcionamiento del proceso durante varios días y poder aprovechar las circunstancias de mercado de forma que podamos comprar materia prima antes de que suba su precio o cuando ésta sea más barata.

A la hora de gestionar el agua necesaria para el proceso se encuentran dos posibilidades: la primera es tomar el agua directamente de la red; la segunda es tener una serie de tanques de almacenamiento para la misma.

El no tener depósitos de agua obliga a adaptarse al caudal que sirve la red y arriesgarse a sufrir cortes en el suministro. Ambas cosas son inadmisibles pues el caudal necesario puede ser muy diferente del servido por la red y la no disponibilidad de agua puede resultar catastrófica. Por estos motivos será necesario disponer de depósitos que almacenen el agua de red y que permitan obtener el caudal necesario para la producción evitando las complicaciones de posibles cortes en el suministro de red.

El tener tanques de almacenamiento tiene la desventaja de aumentar el coste de la planta, el de mantenimiento y el de diseño.

Se ha optado por el uso de depósitos de techo fijo. Los líquidos a almacenar van a producir gases y habrá sobrepresión en el interior de los mismos. Este problema lo solucionaremos con válvulas de alivio de la presión en estos tanques. La ventaja de los depósitos de techo fijo sobre los de techo flotante es que son más baratos y no deben soportar la carga del agua de lluvia.

La planta también va a producir una serie de sustancias como subproductos del proceso que tiene lugar. Estas sustancias producidas deberán de ser almacenadas a la espera de su transporte o tratamiento, por lo tanto se requerirá una serie de depósitos para tal fin.

En lugar de usar una serie de depósitos comunes, ha de utilizarse un depósito para cada tipo de sustancia ya que, aquellas que puedan gestionarse como subproductos, deberán de permanecer lo más puras posibles a la espera de otros tratamientos. Esto también es aplicable a los residuos. Es mejor segregar en lo posible todos los residuos para que cada uno obtenga el tratamiento más adecuado a sus características, por lo tanto, cada tipo de residuo tendrá su propio depósito.

Los residuos que va a producir la planta y que no pueden verterse a la red de alcantarillado o tratarse como residuo sólido urbano, serán los siguientes:

- Ácido fumárico, resultado de la filtración de la corriente de disolvente, ftalato de dibutilo.
- Compuestos más ligeros que el AM tales como el ácido acético o el ácido acrílico, separado de éste en la columna de destilación 2.
- Ftalato de dibutilo, purgado del proceso cada cierto tiempo para mantener en todo momento un cierto grado de pureza del disolvente.

Cada una de estas sustancias será almacenada en depósitos a la espera de su transporte, a excepción del ácido fumárico sólido que se almacena en sacos. Como depósito se usará el mismo diseño que los de agua y el resto de materias primas. Todos ellos tendrán la capacidad suficiente para albergar una cantidad suficiente de producto como para tener cierto margen a la hora de su transporte.

El diseño de un tanque está condicionado por tres factores principalmente, las características del producto a almacenar, su volumen y la presión de trabajo.

En nuestro caso los productos a almacenar no se encuentran a altas presiones, aunque sí a altas temperaturas en ocasiones, y no son sustancias demasiado corrosivas frente al acero, por lo que éste será el material que se usará en todos los casos.

Conocido el volumen mínimo necesario y el estado del producto (condiciona la forma del recipiente), podemos calcular sus dimensiones.

A continuación se recogen las principales características de los tanques de almacenamiento en las tablas sucesivas:

Tabla 19. Características del tanque de almacenamiento de *n*-butano.

Ficha de datos de la unidad	
<b>Equipo:</b>	Depósito de <i>n</i> -butano
<b>Referencia:</b>	T-201
<b>Ubicación:</b>	Almacén de materias primas
<b>Nº de equipos:</b>	8
<b>Fabricante:</b>	Tankeros S.L.
<b>Modelo:</b>	0675
<b>Función:</b>	Almacenar el <i>n</i> -butano que se consume en el proceso
Características de diseño	
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Producto almacenado:</b>	<i>n</i> -butano
<b>Temperatura de trabajo:</b>	20 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	5 atm
<b>Densidad del producto almacenado:</b>	578.8 kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal que suministra:</b>	1263 kg/h
<b>Volumen del depósito:</b>	100 m <sup>3</sup>
<b>Volumen máximo utilizado:</b>	92 m <sup>3</sup>
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316
Características generales	
<b>Tipo de cabeza y fondo:</b>	Elipsoidal 2:1
<b>Número de bocas de entrada:</b>	1
<b>Número de bocas de salida:</b>	1
<b>Diámetro interno del cilindro:</b>	4.11 m
<b>Altura total del depósito:</b>	8.23 m

---

<b>Altura del cuerpo cilíndrico:</b>	6.17 m
<b>Altura de la elipse de la cabeza:</b>	1.03 m
<b>Altura de la elipse del fondo:</b>	1.03 m
<b>Tensión admisible del material:</b>	3663 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de seguridad:</b>	2
<b>Tensión máxima admisible del material:</b>	1831.5 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tipo de soldadura:</b>	A tope en doble V y no examinada
<b>Eficiencia de la soldadura:</b>	0.6
<b>Espesor adicional por corrosión:</b>	10.24 mm
<b>Espesor del cuerpo cilíndrico:</b>	11.2 mm
<b>Presión de diseño:</b>	6.166 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Diámetro externo del cuerpo cilíndrico:</b>	413.2 cm
<b>Espesor de la cabeza y del fondo:</b>	21.8 mm

---

Tabla 20. Características del tanque de almacenamiento de agua.

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Depósito de agua
<b>Referencia:</b>	T-202
<b>Ubicación:</b>	Almacén de materias primas
<b>Nº de equipos:</b>	12
<b>Fabricante:</b>	Tankeros S.L.
<b>Modelo:</b>	0675
<b>Función:</b>	Almacenar el agua que se consume en el proceso
<b>Características de diseño</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Producto almacenado:</b>	Agua
<b>Temperatura de trabajo:</b>	20 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	3 atm
<b>Densidad del producto almacenado:</b>	1000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal que suministra:</b>	30000 kg/h
<b>Volumen del depósito:</b>	100 m <sup>3</sup>
<b>Volumen máximo utilizado:</b>	92 m <sup>3</sup>
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316
<b>Características generales</b>	
<b>Tipo de cabeza y fondo:</b>	Elipsoidal 2:1
<b>Número de bocas de entrada:</b>	1
<b>Número de bocas de salida:</b>	1
<b>Diámetro interno del cilindro:</b>	4.11 m
<b>Altura total del depósito:</b>	8.23 m

---

<b>Altura del cuerpo cilíndrico:</b>	6.17 m
<b>Altura de la elipse de la cabeza:</b>	1.03 m
<b>Altura de la elipse del fondo:</b>	1.03 m
<b>Tensión admisible del material:</b>	3663 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de seguridad:</b>	2
<b>Tensión máxima admisible del material:</b>	1831.5 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tipo de soldadura:</b>	A tope en doble V y no examinada
<b>Eficiencia de la soldadura:</b>	0.6
<b>Espesor adicional por corrosión:</b>	10.24 mm
<b>Espesor del cuerpo cilíndrico:</b>	11.8 mm
<b>Presión de diseño:</b>	4.100 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Diámetro externo del cuerpo cilíndrico:</b>	413.3 cm
<b>Espesor de la cabeza y del fondo:</b>	18.0 mm

---

Tabla 21. Características del tanque de almacenamiento de ftalato de dibutilo.

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Depósito de ftalato de dibutilo
<b>Referencia:</b>	T-203
<b>Ubicación:</b>	Almacén de materias primas
<b>Nº de equipos:</b>	2
<b>Fabricante:</b>	Tankeros S.L.
<b>Modelo:</b>	0675
<b>Función:</b>	Almacenar el ftalato de dibutilo que se consume en el proceso
<b>Características de diseño</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Producto almacenado:</b>	Ftalato de dibutilo
<b>Temperatura de trabajo:</b>	20 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	2.5 atm
<b>Densidad del producto almacenado:</b>	1045.6 kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal que suministra:</b>	10 kg/h
<b>Volumen del depósito:</b>	10 m <sup>3</sup>
<b>Volumen máximo utilizado:</b>	9.5 m <sup>3</sup>
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316
<b>Características generales</b>	
<b>Tipo de cabeza y fondo:</b>	Elipsoidal 2:1
<b>Número de bocas de entrada:</b>	1
<b>Número de bocas de salida:</b>	1
<b>Diámetro interno del cilindro:</b>	1.91 m
<b>Altura total del depósito:</b>	3.83 m

---

<b>Altura del cuerpo cilíndrico:</b>	2.87 m
<b>Altura de la elipse de la cabeza:</b>	0.48 m
<b>Altura de la elipse del fondo:</b>	0.48 m
<b>Tensión admisible del material:</b>	3663 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de seguridad:</b>	2
<b>Tensión máxima admisible del material:</b>	1831.5 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tipo de soldadura:</b>	A tope en doble V y no examinada
<b>Eficiencia de la soldadura:</b>	0.6
<b>Espesor adicional por corrosión:</b>	10.24 mm
<b>Espesor del cuerpo cilíndrico:</b>	10.6 mm
<b>Presión de diseño:</b>	3.583 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Diámetro externo del cuerpo cilíndrico:</b>	193.1 cm
<b>Espesor de la cabeza y del fondo:</b>	13.4 mm

---

Tabla 22. Características del vaporizador.

Ficha de datos de la unidad	
<b>Equipo:</b>	Vaporizador
<b>Referencia:</b>	T-204
<b>Ubicación:</b>	Sección de producción
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	Tankeros S.L.
<b>Modelo:</b>	0675
<b>Función:</b>	Vaporizar el <i>n</i> -butano que llega en estado líquido previo a su mezcla con el aire
Características de diseño	
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Producto vaporizado:</b>	<i>n</i> -butano
<b>Temperatura de trabajo:</b>	47 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	4.5 atm
<b>Densidad del producto almacenado:</b>	578.8 kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal que suministra:</b>	1263 kg/h
<b>Volumen del depósito:</b>	12.5 m <sup>3</sup>
<b>Volumen máximo utilizado:</b>	12 m <sup>3</sup>
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316
Características generales	
<b>Tipo de cabeza y fondo:</b>	Elipsoidal 2:1
<b>Número de bocas de entrada:</b>	1
<b>Número de bocas de salida:</b>	1
<b>Diámetro interno del cilindro:</b>	2.06 m
<b>Altura total del depósito:</b>	4.13 m

---

<b>Altura del cuerpo cilíndrico:</b>	3.09 m
<b>Altura de la elipse de la cabeza:</b>	0.52 m
<b>Altura de la elipse del fondo:</b>	0.52 m
<b>Tensión admisible del material:</b>	3663 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de seguridad:</b>	2
<b>Tensión máxima admisible del material:</b>	1831.5 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tipo de soldadura:</b>	A tope en doble V y no examinada
<b>Eficiencia de la soldadura:</b>	0.6
<b>Espesor adicional por corrosión:</b>	10.24 mm
<b>Espesor del cuerpo cilíndrico:</b>	10.5 mm
<b>Presión de diseño:</b>	5.650 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Diámetro externo del cuerpo cilíndrico:</b>	208.1 cm
<b>Espesor de la cabeza y del fondo:</b>	15.6 mm

---

Tabla 23. Características del tanque de almacenamiento de AM.

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Depósito de AM
<b>Referencia:</b>	T-205
<b>Ubicación:</b>	Almacén de producto terminado
<b>Nº de equipos:</b>	6
<b>Fabricante:</b>	Tankeros S.L.
<b>Modelo:</b>	0675
<b>Función:</b>	Almacenar el AM que se produce en el proceso
<b>Características de diseño</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Producto almacenado:</b>	AM
<b>Temperatura de trabajo:</b>	60 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	1.75 atm
<b>Densidad del producto almacenado:</b>	1313.3 kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal que suministra:</b>	1253 kg/h
<b>Volumen del depósito:</b>	200 m <sup>3</sup>
<b>Volumen máximo utilizado:</b>	190 m <sup>3</sup>
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316
<b>Características generales</b>	
<b>Tipo de cabeza y fondo:</b>	Elipsoidal 2:1
<b>Número de bocas de entrada:</b>	1
<b>Número de bocas de salida:</b>	1
<b>Diámetro interno del cilindro:</b>	5.18 m
<b>Altura total del depósito:</b>	10.37 m

---

<b>Altura del cuerpo cilíndrico:</b>	7.77 m
<b>Altura de la elipse de la cabeza:</b>	1.30 m
<b>Altura de la elipse del fondo:</b>	1.30 m
<b>Tensión admisible del material:</b>	3663 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de seguridad:</b>	2
<b>Tensión máxima admisible del material:</b>	1831.5 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tipo de soldadura:</b>	A tope en doble V y no examinada
<b>Eficiencia de la soldadura:</b>	0.6
<b>Espesor adicional por corrosión:</b>	10.24 mm
<b>Espesor del cuerpo cilíndrico:</b>	13.4 mm
<b>Presión de diseño:</b>	2.808 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Diámetro externo del cuerpo cilíndrico:</b>	520.7 cm
<b>Espesor de la cabeza y del fondo:</b>	16.9 mm

---

Tabla 24. Características del tanque de almacenamiento de residuos (compuestos ligeros).

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Depósito de residuos
<b>Referencia:</b>	T-206
<b>Ubicación:</b>	Almacén de residuos
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	Tankeros S.L.
<b>Modelo:</b>	0675
<b>Función:</b>	Almacenar los residuos que se producen en el proceso
<b>Características de diseño</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Producto almacenado:</b>	Compuestos más ligeros que el AM
<b>Temperatura de trabajo:</b>	25 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	1.75 atm
<b>Densidad del producto almacenado:</b>	1017.4 kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal que suministra:</b>	13 kg/h
<b>Volumen del depósito:</b>	20 m <sup>3</sup>
<b>Volumen máximo utilizado:</b>	19 m <sup>3</sup>
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316
<b>Características generales</b>	
<b>Tipo de cabeza y fondo:</b>	Elipsoidal 2:1
<b>Número de bocas de entrada:</b>	1
<b>Número de bocas de salida:</b>	1
<b>Diámetro interno del cilindro:</b>	2.40 m
<b>Altura total del depósito:</b>	4.80 m

---

<b>Altura del cuerpo cilíndrico:</b>	3.60 m
<b>Altura de la elipse de la cabeza:</b>	0.60 m
<b>Altura de la elipse del fondo:</b>	0.60 m
<b>Tensión admisible del material:</b>	3663 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de seguridad:</b>	2
<b>Tensión máxima admisible del material:</b>	1831.5 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tipo de soldadura:</b>	A tope en doble V y no examinada
<b>Eficiencia de la soldadura:</b>	0.6
<b>Espesor adicional por corrosión:</b>	10.24 mm
<b>Espesor del cuerpo cilíndrico:</b>	11.0 mm
<b>Presión de diseño:</b>	2.808 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Diámetro externo del cuerpo cilíndrico:</b>	262 cm
<b>Espesor de la cabeza y del fondo:</b>	13.6 mm

---

Tabla 25. Características del tanque de almacenamiento de residuos (ftalato de dibutilo).

<b>Ficha de datos de la unidad</b>	
<b>Equipo:</b>	Depósito de residuos
<b>Referencia:</b>	T-207
<b>Ubicación:</b>	Almacén de residuos
<b>Nº de equipos:</b>	1
<b>Fabricante:</b>	Tankeros S.L.
<b>Modelo:</b>	0675
<b>Función:</b>	Almacenar los residuos que se producen en el proceso
<b>Características de diseño</b>	
<b>Disposición del equipo:</b>	Vertical
<b>Producto almacenado:</b>	Purga de ftalato de dibutilo
<b>Temperatura de trabajo:</b>	25 °C
<b>Presión de trabajo:</b>	1.75 atm
<b>Densidad del producto almacenado:</b>	1041.6 kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal que suministra:</b>	10 kg/h
<b>Volumen del depósito:</b>	10 m <sup>3</sup>
<b>Volumen máximo utilizado:</b>	9.5 m <sup>3</sup>
<b>Material de construcción:</b>	Acero inoxidable AISI 316
<b>Características generales</b>	
<b>Tipo de cabeza y fondo:</b>	Elipsoidal 2:1
<b>Número de bocas de entrada:</b>	1
<b>Número de bocas de salida:</b>	1
<b>Diámetro interno del cilindro:</b>	1.91 m
<b>Altura total del depósito:</b>	3.83 m

---

<b>Altura del cuerpo cilíndrico:</b>	2.87 m
<b>Altura de la elipse de la cabeza:</b>	0.48 m
<b>Altura de la elipse del fondo:</b>	0.48 m
<b>Tensión admisible del material:</b>	3663 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coefficiente de seguridad:</b>	2
<b>Tensión máxima admisible del material:</b>	1831.5 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Tipo de soldadura:</b>	A tope en doble V y no examinada
<b>Eficiencia de la soldadura:</b>	0.6
<b>Espesor adicional por corrosión:</b>	10.24 mm
<b>Espesor del cuerpo cilíndrico:</b>	10.6 mm
<b>Presión de diseño:</b>	2.808 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Diámetro externo del cuerpo cilíndrico:</b>	193.1 cm
<b>Espesor de la cabeza y del fondo:</b>	12.7 mm

---

## **2.6. Corrientes de proceso**

A continuación, en la tabla 26 mostramos las características más importantes (temperatura, presión, fracción de vapor, caudales individuales de cada componente y caudales globales, tanto másicos como volumétricos) de todas las corrientes de proceso. Todas las corrientes han sido numeradas mediante un número natural. Para ver la localización de cada una de ellas, consultar el diagrama de flujo.

Tabla 26. Características de las corrientes de proceso.

Variable \ Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	20	20	47	110	20	121	120	410	260	135
Presión (atm)	3	5	3.5	3.5	1	2.2	2	1.65	1.6	1.56
Fracción de vapor	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>n</i> -butano (kg/h)	50000	1263	1263	1263	---	---	1263	189	189	189
N <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	27936	27936	27936	27936	27936	27936
O <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	7495	7495	7495	5084	5084	5084
AM (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	1270	1270	1270
CO (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	290	290	290
CO <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	11	11	11	491	491	491
H <sub>2</sub> O (kg/h)	---	---	---	---	333	333	333	1752	1752	1752
Ácido maleico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ácido fumárico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ftalato de dibutilo (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ácido acético (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	11	11	11
Ácido acrílico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	13	13	13
<i>m</i> (kg/h)	50000	1263	1263	1263	35774	35774	37037	37037	37037	37037
<i>Q</i> (m <sup>3</sup> /h)	86	2.18	150	186	30060	18388	20523	43896	35325	27724

Tabla 26. Características de las corrientes de proceso (continuación).

Variable \ Corriente	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperatura (°C)	105	70	143	214	240	111	245	30	35	35
Presión (atm)	1.5	0.065	1.41	1.36	1.36	1.41	0.115	3	1.54	1.54
Fracción de vapor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>n</i> -butano (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
O <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
AM (kg/h)	1262	1251	1251	1250	1	---	---	---	---	---
CO (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CO <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O (kg/h)	11	8	1	1	---	7	---	---	---	---
Ácido maleico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ácido fumárico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	14	14	14	---
Ftalato de dibutilo (kg/h)	16275	67	67	---	67	---	16275	16275	---	16275
Ácido acético (kg/h)	1	1	---	---	---	1	---	---	---	---
Ácido acrílico (kg/h)	7	7	2	2	---	5	---	---	---	---
<i>m</i> (kg/h)	17556	1334	1321	1253	68	13	16289	16289	14	16275
<i>Q</i> (m <sup>3</sup> /h)	17	1.04	1.11	1.14	0.08	0.01	16	16	0.01	16

Tabla 26. Características de las corrientes de proceso (continuación).

Variable \ Corriente	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
Temperatura (°C)	35	35	20	139	139	139	139	330	276.5	231			
Presión (atm)	1.54	1.54	1.5	3.5	3.5	3.5	3.5	31.5	30.5	33			
Fracción de vapor	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0			
<i>n</i> -butano (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	KNO <sub>3</sub> : 53000kg/h	KNO <sub>3</sub> : 53000kg/h	KNO <sub>3</sub> : 53000kg/h			
N <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---						
O <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---						
AM (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---						
CO (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---						
CO <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---						
H <sub>2</sub> O (kg/h)	---	---	---	251	251	72	72				NaNO <sub>2</sub> : 40000kg/h	NaNO <sub>2</sub> : 40000kg/h	NaNO <sub>2</sub> : 40000kg/h
Ácido maleico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---				NaNO <sub>3</sub> : 7000kg/h	NaNO <sub>3</sub> : 7000kg/h	NaNO <sub>3</sub> : 7000kg/h
Ácido fumárico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---						
Ftalato de dibutilo (kg/h)	16265	10	15500	---	---	---	---						
Ácido acético (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---						
Ácido acrílico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---			
<b>m (kg/h)</b>	16265	10	15500	251	251	72	72	100000	100000	100000			
<b>Q (m<sup>3</sup>/h)</b>	16	0.01	15	132	0.26	38	0.08	37	36	36			

Tabla 26. Características de las corrientes de proceso (continuación).

Variable \ Corriente	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Temperatura (°C)	213	213	121	121	20	20	20	20	20	20
Presión (atm)	20	20	2	2	1.5	2	1.5	1.5	4	20
Fracción de vapor	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>n</i> -butano (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
O <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
AM (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CO (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CO <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
H <sub>2</sub> O (kg/h)	3365	3365	2316	2316	50000	26592	2656	23936	13936	10000
Ácido maleico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ácido fumárico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ftalato de dibutilo (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ácido acético (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ácido acrílico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<i>m</i> (kg/h)	3365	3365	2316	2316	50000	26592	2656	23936	13936	10000
<i>Q</i> (m <sup>3</sup> /h)	3.62	341	2.40	2046	50	27	2.67	24	14	10

Tabla 26. Características de las corrientes de proceso (continuación).

Variable \ Corriente	41	42	43	44	46	47	48	49	50	51
Temperatura (°C)	213	213	144	144	35	35	56	112	40	60
Presión (atm)	20	20	4	4	1.54	1.54	1.5	1.5	1.5	1.5
Fracción de vapor	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>n</i> -butano (kg/h)	---	---	---	---	---	---	189	---	---	---
N <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	27936	---	---	---
O <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	5084	---	---	---
AM (kg/h)	---	---	---	---	---	---	8	---	---	99760
CO (kg/h)	---	---	---	---	---	---	290	---	---	---
CO <sub>2</sub> (kg/h)	---	---	---	---	---	---	491	---	---	---
H <sub>2</sub> O (kg/h)	10000	6635	13936	11620	---	---	1741	2656	---	80
Ácido maleico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ácido fumárico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ftalato de dibutilo (kg/h)	---	---	---	---	10	16275	---	---	20500	---
Ácido acético (kg/h)	---	---	---	---	---	---	10	--	---	---
Ácido acrílico (kg/h)	---	---	---	---	---	---	6	---	---	160
<i>m</i> (kg/h)	10000	6635	13936	11620	10	16275	35757	2656	20500	100000
<i>Q</i> (m <sup>3</sup> /h)	11	7.14	15	12	0.01	16	22993	3070	20	76

## **2.7. Instrumentación y control**

Los sistemas de instrumentación y control son claves para una operación fácil y segura de la planta. Las variables en estado estacionario se conocen, pero en realidad estos valores fluctuarán. Es necesario implantar lazos de control para eliminar los efectos negativos que las perturbaciones puedan ejercer sobre el sistema. Gracias a ello se optimiza la producción.

### **2.7.1. Introducción**

Los componentes básicos de todo sistema de control son:

1. El sensor o elemento primario.
2. El transmisor o elemento secundario.
3. El controlador.
4. El elemento final de control, que frecuentemente es una válvula de control aunque no siempre. Otros elementos finales de control comúnmente utilizados son las bombas de velocidad variable, los transportadores y los motores eléctricos.

Cada uno de dichos elementos se puede identificar claramente como un dispositivo físico independiente dentro de cada proceso. Estos son los cuatro componentes básicos de todo sistema de control, aunque los sistemas más complejos se completarán con más elementos. El set point es sinónimo del valor deseado para una variable de control. La perturbación se refiere a un cambio en cualquier variable que cause que la variable de control varíe.

El valor de la variable controlada es medido mediante un sensor. En el sensor se produce un fenómeno mecánico, eléctrico o similar, el cual se relaciona con la variable de proceso que se mide. El sensor está conectado físicamente al transmisor, el cual capta la salida del sensor y la convierte en una señal lo suficientemente intensa como para transmitirla al controlador. El controlador recibe la señal y la compara con el valor deseado o set point y, según el resultado de la comparación, decide qué hacer para mantener el valor de la variable de control en el valor deseado. Si existe diferencia entre el valor medido y el deseado, se genera un error que hace que el controlador envíe otra señal al elemento final de control, para devolver el valor de la variable controlada al set point.

De esta manera se realizan las tres operaciones básicas presentes en todo sistema de control: medición (sensor y transmisor), decisión (controlador) y acción (elemento final de control).

### **2.7.2. Objetivos del control en la planta**

Las principales razones, aunque no por ello las únicas, de que se lleve a cabo el control del proceso en la planta de producción sintética de AM son tres:

1. Evitar lesiones al personal de la planta o daños a los equipos. La seguridad siempre debe estar presente, debe considerarse muy importante.
2. Mantener la calidad del producto (composición, pureza, color, etc.) en un nivel continuo y con un coste mínimo.
3. Mantener la tasa de producción de la planta al mínimo coste.

Por tanto, se puede decir que las razones de la automatización en esta planta de producción de AM son proporcionar un entorno seguro y a la vez mantener la calidad deseada del producto y una alta eficiencia de la planta con reducción de la demanda de trabajo humano.

### 2.7.3. Variables controladas y ajustadas

A continuación vamos a ir haciendo un repaso por los distintos equipos implicados en el proceso e indicando las acciones de control que se llevarán a cabo.

#### 2.7.3.1. Tanque de almacenamiento de *n*-butano, T-201

El *n*-butano llega a la planta cargado en camiones cisterna, con una pureza mínima del 95 % de *n*-butano. Estos camiones se pesarán tanto a la entrada como a la salida de las instalaciones, de forma que podamos conocer perfectamente la cantidad de producto descargado por el mismo como la diferencia entre ambas pesadas. Los camiones llegarán hasta el muelle de descarga del producto donde, a través de una manguera, se conectan a una de las bocas de descarga. Desde ellas y a través de la corriente 1, será conducido a los distintos tanques de almacenamiento de *n*-butano, T-201, de 100 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno de ellos. Esta línea estará dotada de un medidor de presión y un medidor de caudal de tipo placa de orificio, ambos conectados a un indicador en panel de campo, PI-001 y FI-001 respectivamente, para poder tener en todo momento controlados la presión y el caudal que se está descargando del camión. Además, esta línea 1 estará dotada con una válvula antirretorno para evitar la salida del *n*-butano de los tanques de almacenamiento a través de la boca de descarga.

Asimismo, debemos conocer las condiciones de presión y temperatura a la que se encuentra almacenado el *n*-butano. Para ello, cada uno de los depósitos irá equipado con los siguientes elementos:

- Un indicador de la temperatura en el interior del depósito, TI-001.
- Un indicador de la presión en el interior del depósito, PI-002.
- Dado que el *n*-butano se encuentra almacenado a presión, el depósito deberá contar con una válvula de seguridad para alivio de la presión, PSV-003, con descarga a la atmósfera y lanza de vapor en el extremo de descarga.

Además de estos elementos, el tanque de almacenamiento de *n*-butano estará dotado de dos lazos de control que señalamos a continuación:

- El primero de ellos será el que controlará el llenado del depósito. Éste contará con un medidor de nivel máximo de *n*-butano que estará conectado

a un controlador de nivel de tipo on-off, LC-001, de forma que cuando el nivel llegue al máximo establecido cerrará la válvula de control situada a la entrada del tanque, impidiendo de esta forma la llegada de producto.

- El segundo será el que controlará el vaciado del depósito. Éste contará con un medidor de nivel mínimo de *n*-butano que estará conectado a un controlador de nivel de tipo on-off, LC-002, de forma que cuando el nivel llegue al mínimo establecido cerrará la válvula de control situada a la salida del tanque, impidiendo de esta forma la salida de producto.

El *n*-butano será conducido desde estos tanques de almacenamiento de materia prima, T-201, hasta el vaporizador de *n*-butano, T-204, a través de la corriente 2. Esta conducción contará con una bomba, P-201, que será la que aspire e impulse este *n*-butano. En la zona de impulsión de la bomba instalaremos un indicador de presión en panel de campo, PI-004.

### 2.7.3.2. Vaporizador de *n*-butano, T-204

El *n*-butano llega al vaporizador a través de la corriente 2 impulsado por la bomba P-201. En este tramo instalaremos un medidor de caudal de tipo placa de orificio, caudal que será controlado por el controlador-indicador de caudal FIC-002 que actuará sobre una válvula de control mediante la que se regulará la cantidad de *n*-butano que entra al vaporizador. De esta forma se mantendrá un nivel constante en el equipo de aproximadamente un 60 % de su capacidad máxima. Con este nivel, el *n*-butano contenido en el vaporizador es de aproximadamente 7.5 m<sup>3</sup>, equivalente a unos 6 minutos de funcionamiento del reactor, R-201.

El vaporizador de *n*-butano irá equipado con los siguientes elementos:

- Un controlador-indicador del nivel de *n*-butano en el interior del vaporizador, LIC-003, que controlará el nivel en el equipo en cascada con el FIC-002 anterior.
- Dado que el *n*-butano se encuentra a presión, el vaporizador deberá contar con una válvula de seguridad para alivio de la presión, PSV-005, con descarga a la atmósfera y lanza de vapor en el extremo de descarga.
- Un controlador-indicador de la presión de *n*-butano en el interior del vaporizador, PIC-006, que regulará el caudal de vapor que entra al serpentín, I-201.

### 2.7.3.3. Intercambiador de calor 1, I-201

Dado que el *n*-butano al expandirse retirará calor del medio, el vaporizador va equipado con un serpentín interior, I-201, por el que circula vapor de agua a baja presión (3.5 atm) procedente de otras partes de la instalación. Este vapor es el que proporciona el calor necesario para la vaporización del *n*-butano. El caudal de entrada de vapor al serpentín está regulado por un lazo de control, PIC-006, que mencionamos anteriormente y que actúa sobre una válvula de control situada en la línea de entrada de vapor. De esta forma conseguimos mantener una presión constante en el interior del

vaporizador. Además, a la salida del serpentín instalamos una trampa de vapor para eliminar el condensado de la misma.

#### 2.7.3.4. Intercambiador de calor 2, I-202

El *n*-butano ya vaporizado se lleva, mediante la corriente 3, hasta el intercambiador de calor I-202 donde será recalentado hasta una temperatura de 110 °C previamente a su mezcla con el aire a la entrada del reactor. En esta corriente 3 habrá instalado un indicador de temperatura, TI-002, para conocer en todo momento la temperatura a la que sale el *n*-butano del vaporizador.

Una vez llega este *n*-butano al intercambiador de calor se pone en contacto con un vapor de agua a baja presión (3.5 atm), procedente de otras partes de la instalación. A la salida del circuito del fluido calefactor se coloca una trampa de vapor para eliminar el condensado de la misma. Además, el caudal de vapor de calefacción suministrado al intercambiador está regulado por un lazo de control que mide la temperatura del *n*-butano a la salida del equipo y, mediante el controlador-indicador de temperatura TIC-003, se regula la válvula de control situada a la entrada del vapor.

Asimismo, en la corriente 4 que sale de este intercambiador de calor se instalará un medidor de caudal de tipo placa de orificio para medir y controlar el caudal de *n*-butano que llega al mezclador, M-201. Este control se llevará a cabo mediante un lazo de control en cascada que explicaremos más adelante. También se instalará en esta línea un medidor y un indicador de presión, PI-007.

#### 2.7.3.5. Soplante de aire, COM-201

El aire necesario para llevar a cabo la reacción de oxidación del *n*-butano y la obtención de AM es captado del medio y comprimido en la soplante COM-201 a una presión de 2.2 atm. Posteriormente, este aire será mezclado con el *n*-butano, previamente vaporizado y recalentado, en el mezclador M-201.

El caudal de aire necesario para alimentar al reactor se regula mediante la válvula de aspiración HV-001 incorporada a la soplante. La válvula se accionará mediante un controlador manual HC-001.

Es de vital importancia que la concentración de *n*-butano en la mezcla no exceda del 1.75 % molar ya que, por razones de seguridad de la planta, siempre se debe permanecer por debajo del límite inferior de inflamabilidad del butano y, para ello, la precisión en el control de la relación de butano/aire es fundamental.

En la corriente 6, que conecta la soplante con el mezclador, habrá instalado un medidor de caudal de tipo venturi. Este caudal de aire medido junto con el caudal de *n*-butano medido en la corriente 4 (como señalamos anteriormente), llegará a un equipo, FX-005, que calculará la relación molar entre la corriente de *n*-butano y de aire. Esta señal la transmitirá hasta el controlador-indicador FIC-005 que está conectado en cascada con el controlador-indicador FIC-003, al que proporcionará el punto de consigna. Será este FIC-003 el que ejercerá su acción de control sobre la válvula de regulación del caudal de *n*-butano, FV-003, alimentado al mezclador. De esta forma nos aseguramos que la mezcla de ambos reactivos se realice en la proporción adecuada para

que el proceso opere en las condiciones de seguridad requeridas en la planta, disminuyendo de esta forma los riesgos de explosiones y otros accidentes.

### 2.7.3.6. Reactor, R-201

La mezcla precalentada de aire y *n*-butano entra por la parte superior del reactor, R-201, de tipo tubular, con 3125 tubos verticales y paralelos de 3.66 m de longitud y 20.57 mm de diámetro interno, en cuyo interior se encuentra fijado el catalizador de la reacción. Para poder regular de forma más eficaz la temperatura en el equipo, dada la elevada naturaleza exotérmica de la reacción del butano para producir AM y de las principales reacciones secundarias que se producen, por el lado de la carcasa del reactor se hace circular una mezcla eutéctica de sales fundidas que sirve como medio de transporte del calor generado en la misma.

La mezcla de aire y *n*-butano, que es precalentada hasta la temperatura de reacción en la parte superior de los tubos, reacciona al pasar a través del catalizador contenido en los mismos y el calor generado por la reacción, fuertemente exotérmica, es transferido desde los tubos al refrigerante a través de una recirculación de sales mantenida con el agitador AG-201.

El reactor tubular, donde se lleva a cabo la reacción, irá equipado con 4 medidores de temperatura introducidos en el catalizador a diferentes alturas, de forma que sea posible conocer cómo varía esta variable a lo largo del lecho catalítico. La temperatura máxima en el lecho catalítico (en el punto caliente) no debe exceder los 465 °C, para que el catalizador no se dañe por las altas temperaturas. Por tanto, también colocaremos otro medidor de temperatura a la altura del punto caliente (aproximadamente a 600 mm de la superficie). Este medidor de temperatura estará conectado al controlador-indicador de temperatura TIC-008 que regulará el caudal de entrada de las sales que refrigeran el reactor.

A la salida del equipo, en la corriente 8, instalaremos un medidor de presión con indicador en panel de campo, PI-008, y un medidor de temperatura con indicador en la sala de control, TI-009.

### 2.7.3.7. Intercambiador de calor 10, I-210

La mezcla de sales, debido a la liberación de calor durante la reacción, deberá ser refrigerada constantemente. Para ello, las sales fundidas continuamente serán llevadas al intercambiador de calor 10, I-210, donde se consigue disminuir su temperatura desde los 330 °C hasta los 277.5 °C.

Las sales, que están bañando el reactor R-201, son conducidas hasta el intercambiador de calor 10 a través de la corriente 28. Éstas se encuentran a una presión muy elevada, superior a las 30 atm, por lo que la línea 28 contará con una válvula de seguridad para alivio de la presión, PSV-010, con descarga a la atmósfera y lanza de vapor en el extremo de descarga. También habrá instalado en esta corriente un medidor de temperatura conectado a un indicador, TI-012, y un medidor de presión con indicador en panel de campo, PI-011.

Una vez llega esta mezcla de sales al intercambiador de calor se pone en contacto con agua a alta presión (20 atm). El caudal de agua de refrigeración suministrado al intercambiador está regulado por un lazo de control que mide la temperatura de las sales a la salida del equipo y, mediante el controlador-indicador de temperatura TIC-013, se regula la válvula de control situada en la línea de entrada del agua de refrigeración, la corriente 40. Además, esta línea también contará con un medidor de presión conectado a un indicador en panel de campo, PI-013.

#### **2.7.3.8. Intercambiador de calor 11, I-211**

El intercambiador de calor 10 no es suficiente como para refrigerar la mezcla de sales completamente, por lo que es necesario contar con un segundo intercambiador de calor, I-211, para continuar con ese enfriamiento, disminuyendo la temperatura en este caso desde los 277.5 °C hasta los 231 °C. A la entrada de este intercambiador de calor hay instalado un medidor de presión con indicador en panel de campo, PI-012.

En cuanto a las acciones de control que se llevarán a cabo en este equipo son muy parecidas a las realizadas en el intercambiador de calor 10. Una vez llega esta mezcla de sales al equipo se pone en contacto con agua a baja presión (4 atm). El caudal de agua de refrigeración suministrado al intercambiador está regulado por un lazo de control que mide la temperatura de las sales a la salida del equipo y, mediante el controlador-indicador de temperatura TIC-014, se regula la válvula de control situada en la línea de entrada del agua de refrigeración, la corriente 39. Además, esta línea también contará con un medidor de presión conectado a un indicador en panel de campo, PI-014.

La mezcla de sales fundidas que sale del intercambiador de calor 11 es conducida nuevamente hasta el reactor R-201 a través de la corriente 30. Dicha corriente contará con un medidor de presión conectado a un indicador en panel de campo, PI-015, además de un medidor de tipo placa de orificio que medirá el caudal de sales de refrigeración que está entrando al reactor y cuyo valor se mostrará en el indicador FI-006.

Además, las corrientes 42 y 44, constituidas por una fracción del agua saturada a alta y a baja presión respectivamente, que sale de los intercambiadores de calor 10 y 11, estarán dotadas cada una de ellas de un medidor de presión y un medidor de caudal de tipo placa de orificio, ambos conectados a sus respectivos indicadores que muestran la señal en la sala de control del proceso.

#### **2.7.3.9. Intercambiador de calor 3, I-203**

La mezcla gaseosa constituida por los productos de reacción que abandona el reactor llega al intercambiador de calor 3, I-203, con el objetivo de recuperar parte de la energía que poseen estos gases que salen del reactor poniéndolos en contacto con un agua de refrigeración y obteniendo un vapor de agua a alta presión. De esta forma conseguimos disminuir la temperatura de estos gases de reacción desde los 410 °C hasta los 260 °C.

Una vez llegan estos gases de reacción al intercambiador de calor se ponen en contacto con un agua saturada a alta presión (20 atm), procedente del intercambiador de calor 10. A la salida del circuito del fluido refrigerante se coloca una trampa de vapor para eliminar el condensado de la misma. Además, el caudal de agua de refrigeración suministrado al intercambiador está regulado por un lazo de control que mide la temperatura de los gases a la salida del equipo y, mediante el controlador-indicador de temperatura TIC-010, se regula la válvula de control situada a la entrada del agua.

#### **2.7.3.10. Intercambiador de calor 4, I-204**

El intercambiador de calor 3 no es suficiente como para recuperar toda la energía que poseen estos gases que salen del reactor, por lo que es necesario contar con un segundo intercambiador de calor, I-204, para continuar con ese enfriamiento, disminuyendo la temperatura en este caso desde los 260 °C hasta los 135 °C.

En cuanto a las acciones de control que se llevarán a cabo en este equipo son muy parecidas a las realizadas en el intercambiador de calor 3. Una vez llegan estos gases de reacción al intercambiador de calor se ponen en contacto con un agua saturada a baja presión (4 atm), procedente del intercambiador de calor 11. A la salida del circuito del fluido refrigerante se coloca una trampa de vapor para eliminar el condensado de la misma. Además, el caudal de agua de refrigeración suministrado al intercambiador está regulado por un lazo de control que mide la temperatura de los gases a la salida del equipo y, mediante el controlador-indicador de temperatura TIC-011, se regula la válvula de control situada a la entrada del agua.

#### **2.7.3.11. Tanque de almacenamiento de agua, T-202**

El agua de proceso (para la refrigeración del mismo) llega a la planta a través de la corriente 35, una línea de tubería que está conectada directamente a los tanques de almacenamiento de agua, T-202, de 100 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno de ellos. Esta línea estará dotada de un medidor de presión y un medidor de caudal de tipo placa de orificio, ambos conectados a un indicador en panel de campo, PI-018 y FI-009 respectivamente, para poder tener en todo momento controlados la presión y el caudal que se está introduciendo en los depósitos. Además, esta línea 35 estará dotada con una válvula antirretorno para evitar la salida del agua de los tanques de almacenamiento hacia la red.

Dado que el agua se encuentra almacenada a presión, el depósito deberá contar con una válvula de seguridad para alivio de la presión, PSV-019, con descarga a la atmósfera y lanza de vapor en el extremo de descarga.

Asimismo, teniendo en cuenta que este agua se utilizará esencialmente para la refrigeración de nuestro proceso de producción en los distintos intercambiadores de calor, resulta interesante conocer la temperatura a la que se encuentra este agua en el interior del depósito. Por ello, dispondremos de un medidor de temperatura conectado a un indicador en la sala de control, TI-015.

Finalmente, el tanque de almacenamiento de agua de proceso estará dotado de un lazo de control que controlará tanto el llenado como el vaciado del depósito. Éste contará con dos medidores de nivel del agua en el tanque: uno de nivel máximo y el otro

de nivel mínimo. Ambos están conectados a un controlador de nivel de tipo on-off, LC-004, de forma que la válvula se abrirá o cerrará en función del nivel de agua en el interior del depósito, impidiendo de esta forma que éste se quede totalmente vacío o que se llene demasiado.

En la línea 36, la corriente que sale del depósito y lleva el agua a los distintos equipos de proceso en los que es necesaria, hay instalado un medidor de presión con su correspondiente indicador en panel de campo, PI-020.

### **2.7.3.12. Tanque de almacenamiento de disolvente (ftalato de dibutilo), T-203**

El disolvente, ftalato de dibutilo, llega a la planta cargado en camiones cisterna, con una pureza mínima del 99 % de ftalato de dibutilo. Estos camiones se pesarán tanto a la entrada como a la salida de las instalaciones, de forma que podamos conocer perfectamente la cantidad de producto descargado por el mismo como la diferencia entre ambas pesadas. Los camiones llegarán hasta el muelle de descarga del producto donde, a través de una manguera, se conectan a la boca de descarga. Desde ella y a través de la corriente 45, será conducido a los tanques de almacenamiento de disolvente, T-203, de 10 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno de ellos. Esta línea estará dotada de un medidor de presión y un medidor de caudal de tipo placa de orificio, ambos conectados a un indicador en panel de campo, PI-023 y FI-010 respectivamente, para poder tener en todo momento controlados la presión y el caudal que se está descargando del camión. Además, esta línea 45 estará dotada con una válvula antirretorno para evitar la salida del ftalato de dibutilo de los tanques de almacenamiento a través de la boca de descarga.

Ya que el ftalato de dibutilo se encuentra almacenado a presión, el depósito deberá contar con una válvula de seguridad para alivio de la presión, PSV-024, con descarga a la atmósfera y lanza de vapor en el extremo de descarga.

Además, el tanque tendrá un indicador de nivel máximo y mínimo, LI-005, que nos permitirá saber la cantidad de ftalato de dibutilo que queda en el depósito y, por consiguiente, cuándo debemos realizar un nuevo pedido de este producto.

El ftalato de dibutilo es conducido a través de la línea 46 desde estos tanques de almacenamiento, T-203, hasta el absorbedor de AM. En dicha línea hay instalado un medidor de presión con su correspondiente indicador en panel de campo, PI-025.

### **2.7.3.13. Absorbedor de AM, AB-201**

Es en este equipo donde se ponen en contacto el ftalato de dibutilo, que llega por la corriente 47, y la mezcla de productos de la reacción, en estado gaseoso, que proviene de la línea 10. El AM de la corriente gaseosa es absorbido por el disolvente, recuperándose de esta forma prácticamente la totalidad del AM de la corriente. Por la parte superior de la columna de absorción se obtiene una corriente gaseosa formada por los compuestos generados en la reacción de combustión, el aire en exceso y el *n*-butano que haya quedado sin reaccionar, así como pequeñas cantidades de otros compuestos orgánicos que se hayan producido en reacciones secundarias, que se llevarán al incinerador INC-201 previo a su vertido a la atmósfera, a través de la línea 48. En esta conducción instalaremos un medidor de la concentración de AM en dicha corriente que,

conectado con un controlador-indicador de concentración, AIC-001, actuará sobre la corriente 21, de recirculación de ftalato de dibutilo, por medio de una válvula de regulación, AV-001. Ésta controlará la cantidad de ftalato de dibutilo que se introduce en el absorbedor, aumentando esta cantidad si la separación no es la deseada y la concentración de AM en la corriente 48 es demasiado elevada. Por la parte inferior de la columna se obtiene una corriente relativamente concentrada en AM que, a través de la línea 11, se conduce hasta el siguiente equipo: la columna de destilación a vacío.

#### **2.7.3.14. Columna de destilación a vacío, D-201**

En este equipo se lleva a cabo la desorción o separación del AM del disolvente, ftalato de dibutilo, mediante una destilación a vacío. De este equipo se obtienen dos corrientes: la línea 12 o corriente superior, dotada de un medidor de presión conectado a un indicador en panel de campo, PI-021, constituida por el AM, que se lleva a la sección de purificación para conseguir una pureza elevada, y la línea 17 o corriente inferior, compuesta fundamentalmente por el disolvente y una pequeña cantidad de ácido fumárico generado por las altas temperaturas y que se conduce mediante esta corriente 17 hasta el siguiente equipo, el intercambiador de calor 5. Esta columna de destilación a vacío no necesitará ningún sistema de instrumentación y control aparte del propio sistema con que viene equipada la columna.

#### **2.7.3.15. Intercambiador de calor 5, I-205**

En este equipo se enfría el disolvente que sale de la columna de destilación a vacío, en estado líquido, para recuperar parte de la energía que posee esta corriente 17 y obtener así un vapor de agua a baja presión que será reaprovechado en otras partes de la instalación. En la corriente de salida del intercambiador, la corriente 18, que conduce hasta el filtro F-201, habrá un medidor de temperatura conectado con un controlador-indicador de temperatura, TIC-016, que actuará sobre la válvula TV-016, válvula que regula el caudal de agua de refrigeración que llega al equipo. Por otra parte, en la línea de salida del vapor saturado, la corriente 49, se instalará una trampa de vapor para eliminar el condensado de la misma.

#### **2.7.3.16. Filtro, F-201**

A este equipo llega la corriente 18 procedente del intercambiador de calor 5 y en él es donde se separan los cristales de ácido fumárico formados en la columna de destilación a vacío (corriente 19) y el disolvente (línea 20), siendo este último recuperado y recirculado a la columna de absorción, AB-201. En este equipo se va a controlar la caída de presión entre la entrada y la salida del filtro mediante el controlador-indicador de presión PIC-022. Si esta caída de presión aumenta por encima del valor de consigna, lo que se podría deber a una avería u obturación del filtro, el sistema de control cerrará la válvula de entrada, desviándose el caudal hacia el otro filtro que hay instalado en paralelo. De esta forma no se interrumpe el proceso cada vez

que se necesiten realizar tareas de limpieza y mantenimiento en alguno de ellos, siempre estará uno de estos filtros en funcionamiento.

### **2.7.3.17. Tanque de almacenamiento de residuos (ftalato de dibutilo), T-207**

La corriente 20 que se obtiene del filtro, fundamentalmente compuesta por el disolvente, ftalato de dibutilo, y que se devuelve a la columna de absorción AB-201, no es una corriente pura ya que la separación de compuestos nunca es total y, por tanto, se van acumulando las impurezas con el paso del tiempo, lo que provocaría que cada vez la separación fuese menos eficaz. Por este motivo es necesario realizar continuamente una pequeña purga de esta corriente e ir introduciendo disolvente puro. De esta forma, la cantidad de impurezas se mantendrá estable y el proceso funcionará correctamente. Esta corriente de purga, la línea 22, se lleva a un tanque de almacenamiento de residuos a la espera de que una empresa especializada lo retire y se haga cargo de la gestión de este residuo.

Este tanque de almacenamiento del ftalato de dibutilo residual se encuentra a presión, por lo que el depósito deberá contar con una válvula de seguridad para alivio de la presión, PSV-030, con descarga a la atmósfera y lanza de vapor en el extremo de descarga.

Además, el tanque tendrá un indicador de nivel máximo y mínimo, LI-008, que nos permitirá saber la cantidad de residuos que hay acumulados en el depósito y cuándo debemos de llamar a la empresa gestora del residuo para que venga a retirarlo.

Este residuo, a través de la corriente 23, que estará dotada de un medidor de presión y un medidor de caudal de tipo placa de orificio, ambos conectados a un indicador en panel de campo, PI-031 y FI-013 respectivamente, para poder tener en todo momento controlados la presión y el caudal que se está cargando en el camión, se lleva hasta la boca de carga situada en el muelle de carga de producto terminado y residuos. A través de una manguera, se conectará la boca de carga con el camión cisterna estacionado en el muelle. Este camión se pesará tanto a la entrada como a la salida de las instalaciones de forma que podamos conocer perfectamente la cantidad de producto cargado por el mismo como la diferencia entre ambas pesadas y, por tanto, pagar el precio correspondiente.

### **2.7.3.18. Columna de destilación 2, D-202**

En esta columna se produce la separación y eliminación de los compuestos más ligeros que el AM de la corriente que sale de la columna de destilación a vacío. De este equipo se obtienen dos corrientes: la línea 16 o corriente superior, constituida fundamentalmente por agua y compuestos orgánicos como el ácido acético o el ácido acrílico, todos ellos más ligeros que el AM, que se lleva al tanque de almacenamiento de residuos, T-206, y la línea 13 o corriente inferior, compuesta fundamentalmente por el AM y pequeñas cantidades de disolvente, corriente que se conduce hasta la columna de destilación 3, D-203. Esta columna de destilación 2 no necesitará ningún sistema de instrumentación y control aparte del propio sistema con que viene dotado el equipo.

### **2.7.3.19. Columna de destilación 3, D-203**

En este equipo se produce la separación de nuestro producto de interés, el AM, que se obtiene por la parte superior de la columna y que se lleva al tanque de almacenamiento de AM, T-205, mediante la línea 14, de los restos de disolvente que pueda contener la corriente que sale de la columna de destilación 2, disolvente que se recirculará a la columna de destilación a vacío a través de la corriente 15 para separar totalmente el AM que pueda contener y que, posteriormente, será reaprovechado en la columna de absorción. Esta columna de destilación 3 no necesitará ningún sistema de instrumentación y control aparte del propio sistema con que viene dotado el equipo.

### **2.7.3.20. Tanque de almacenamiento de AM, T-205**

El tanque de almacenamiento de AM se encuentra a presión, por lo que éste deberá contar con una válvula de seguridad para alivio de la presión, PSV-028, con descarga a la atmósfera y lanza de vapor en el extremo de descarga.

Además, el tanque contendrá un lazo que controlará el llenado y el vaciado de los depósitos. Éste contará con un medidor de nivel máximo y mínimo de AM que estará conectado a un controlador de nivel de tipo on-off, LC-007, de forma que cuando el nivel llegue al máximo o al mínimo establecido regulará la apertura de la válvula de control situada a la entrada del tanque.

Este AM producido, a través de la corriente 51, que estará dotada de un medidor de presión y un medidor de caudal de tipo placa de orificio, ambos conectados a un indicador en panel de campo, PI-029 y FI-012 respectivamente, para poder tener en todo momento controlados la presión y el caudal que se está cargando en el camión, se lleva hasta la boca de carga situada en el muelle de carga de producto terminado y residuos. A través de una manguera, se conectará la boca de carga con el camión cisterna estacionado en el muelle. Este camión se pesará tanto a la entrada como a la salida de las instalaciones, de forma que podamos conocer perfectamente la cantidad de producto cargado por el mismo como la diferencia entre ambas pesadas y, por tanto, el precio de éste.

### **2.7.3.21. Tanque de almacenamiento de residuos (compuestos ligeros), T-206**

El tanque de almacenamiento de compuestos más ligeros que el AM se encuentra a presión, por lo que éste deberá contar con una válvula de seguridad para alivio de la presión, PSV-026, con descarga a la atmósfera y lanza de vapor en el extremo de descarga.

Además, el tanque contendrá un indicador de nivel máximo y mínimo, LI-008, que nos permitirá saber la cantidad de residuos que hay acumulados en el tanque y cuándo debemos de llamar a la empresa gestora del residuo para que venga a retirarlo.

Este subproducto, a través de la corriente 50, que estará dotada de un medidor de presión y un medidor de caudal de tipo placa de orificio, ambos conectados a un indicador en panel de campo, PI-027 y FI-011 respectivamente, para poder tener en todo

momento controlados la presión y el caudal que se está cargando en el camión, se lleva hasta la boca de carga situada en el muelle de carga de producto terminado y residuos. A través de una manguera, se conectará la boca de carga con el camión cisterna estacionado en el muelle. Este camión se pesará tanto a la entrada como a la salida de las instalaciones, de forma que podamos conocer perfectamente la cantidad de producto cargado por el mismo como la diferencia entre ambas pesadas y, por tanto, pagar el precio correspondiente.

## **2.7.4. Instrumentación del sistema de control**

Para niveles se usarán controladores PID, que eliminan el offset. También se emplearán estos controladores cuando se mida una concentración o una temperatura, ya que habrá grandes tiempos de retardo. Para caudales se usarán controladores PI.

Todos los lazos de control son por realimentación, es decir, se necesita un error en la variable medida para regular la variable ajustada. Además, los lazos de control para el caudal de *n*-butano que llega al vaporizador y para el caudal de *n*-butano y aire que se mezclan en el mezclador son en cascada.

Todos los sistemas de control diseñados son de tipo SISO (single input-single output).

Los controladores serán digitales. Esto permite mayores velocidades de procesamiento de las señales y un menor coste. Además facilitan el cambio de la ley de control. Pero se necesitarán conversores analógico/digital y digital/analógico para transformar la señal.

Los transmisores neumáticos generan una señal estándar variable linealmente entre 3 y 15 psi. Los transmisores electrónicos generan una señal estándar entre 4 y 20 mA en corriente continua. El “cero vivo” con el que se empieza la señal eléctrica (4 mA) permite detectar una avería por corte de un hilo (cuando la señal se anula).

Se han revisado los lazos de control para que no existan interacciones entre ellos, es decir, que no se mida dos veces la misma variable ajustándose caudales distintos ni que se ajuste dos veces el mismo caudal. También se ha comprobado que los lazos de control no se acoplan entre sí.

El control de la planta será de tipo distribuido. Los lazos de control funcionarán de manera autónoma, siendo supervisados por una unidad central que podría actuar sobre cada uno de ellos en caso de necesidad.

El control de las numerosas variables implicadas en el proceso (temperaturas, presiones, caudales, etc.) requiere la utilización de un importante número de instrumentos para la medida de dichas variables. Las características de esta planta relacionadas con la erosión y la corrosión (trabajo con suspensiones de sólidos, valores de pH,...) limitan la aplicación práctica de estos sistemas, ya que no todos los instrumentos de medida son válidos o fiables en todas las condiciones de trabajo. El equipo elegido debe ser seguro y sencillo, de fácil ajuste y limpieza. A continuación se indican las especificaciones de los elementos utilizados en los lazos de control:

### **2.7.4.1. Sensores transmisores**

Son los dispositivos que miden la variable controlada. Se usarán los siguientes:

Tabla 27. Características del sensor transmisor de presión.

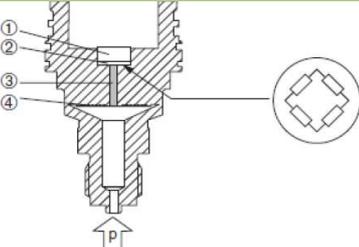
Sensor transmisor de presión		
<b>Nomenclatura</b>	PT	
<b>Indicaciones</b>	Especialmente indicado para la medición de presión absoluta y sobrepresión de gases, vapores o fluidos. Válido para casos en que aparece formación de espuma. Se puede usar en sistemas con agitador, etc.	
<b>Fundamento de la medida</b>	Uso de semiconductores (silicio) y de membrana	
<b>Rango de medida</b>	Desde 400 mbar hasta 700 bar	
<b>Precisión</b>	$\pm 0.075 \%$	
<b>Temperatura de trabajo</b>	Hasta 450 °C	
<b>Rango de temperatura ambiental</b>	-40 °C a 85 °C	
<b>Señal de salida</b>	4-20 mA	
<b>Monitorización</b>	Permanente en pantalla de cristal líquido (LCD)	
<b>Material de construcción</b>	Carcasa	Acero inoxidable AISI 316 L
	Mirilla de inspección	Policarbonato o vidrio
	Atornilladura para cables	Poliamida (PA) con polvo-Ex: CuZn niquelado
	Tapón	Acero inoxidable AISI 316 L
	Junta, atornilladura para cables y tapón	Silicona
	Filtro de ajuste de presión	Silicona
	Junta tórica para obturación de tapa	Silicona
	Placas de características	Impresión láser
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elemento medidor de silicio, soporte.</li> <li>2. Membrana de medición con puente de Wheatstone.</li> <li>3. Canal con fluido de relleno.</li> <li>4. Membrana de proceso.</li> </ol>	

Tabla 28. Características del sensor transmisor de temperatura.

Sensor transmisor de temperatura		
<b>Nomenclatura</b>	TT	
<b>Indicaciones</b>	Termopar tipo J	
<b>Rango de medida</b>	-40 °C a 750 °C	
<b>Precisión</b>	± 0.03 %	
<b>Rango de temperatura ambiental</b>	-40 °C a 130 °C	
<b>Presión máxima del proceso</b>	50 bar a 20 °C 33 bar a 250 °C 24 bar a 400 °C	
<b>Señal de salida</b>	4-20 mA	
<b>Tipo de tecnología</b>	A 2 hilos	
<b>Monitorización</b>	Permanente en pantalla de cristal líquido (LCD)	
<b>Peso</b>	0.5-2.5 kg	
<b>Material de construcción</b>	<b>Partes húmedas</b>	Acero inoxidable AISI 316 L
	<b>Carcasa</b>	Acero inoxidable, aluminio
<b>Imagen</b>		

Tabla 29. Características del sensor transmisor de caudal.

Sensor transmisor de caudal		
<b>Nomenclatura</b>	FT	
<b>Fundamento de la medida</b>	Ultrasonidos	
<b>Indicaciones</b>	Productos acuosos, hidrocarbonados conductores y especialmente no-conductores	
<b>Características</b>	Medidor online No caída de presión Mantenimiento sencillo por la ausencia de partes móviles	
<b>Material de construcción</b>	Acero inoxidable	
<b>Sensibilidad</b>	± 0.03 %	
<b>Velocidad del fluido para la que se obtiene la sensibilidad indicada</b>	-10 a 10 m/s	
<b>Temperatura máxima del proceso</b>	350 °C	
<b>Presión máxima del proceso</b>	40 bar	
<b>Señal de salida</b>	4-20 mA	
<b>Tipo de tecnología</b>	A 2 hilos	
<b>Monitorización</b>	Permanente en pantalla de cristal líquido (LCD)	
<b>Rango de medida</b>	<b>Diámetro nominal</b>	<b>Caudal</b>
	25	0-18 m <sup>3</sup> /h
	40	0-42 m <sup>3</sup> /h
	50	0-66 m <sup>3</sup> /h
	80	0-180 m <sup>3</sup> /h
	100	0-282 m <sup>3</sup> /h
	150	0-600 m <sup>3</sup> /h
<b>Imagen</b>		

Tabla 30. Características del sensor transmisor de nivel.

Sensor transmisor de nivel	
<b>Nomenclatura</b>	LT
<b>Fundamento de la medida</b>	Radar
<b>Indicaciones</b>	Líquidos, suspensiones poco concentradas Especialmente indicado para sustancias que pueden inflamarse
<b>Características</b>	Medición posible aun cuando se forman espumas u oleaje Silenciador para evitar la interferencia de agitadores Disponible conversión a volumen para recipientes cilíndricos
<b>Altura máxima medible</b>	35 m
<b>Tiempo de reacción</b>	1 s
<b>Temperatura de trabajo</b>	-40 °C a 150 °C
<b>Señal de salida</b>	4-20 mA
<b>Tipo de tecnología</b>	A 2 hilos
<b>Monitorización</b>	Permanente en pantalla de cristal líquido (LCD)
<b>Tipo de sonda</b>	Tipo varilla
<b>Espectro de frecuencias empleado</b>	100 MHz-1.5 GHz
<b>Material de construcción</b>	Aluminio con recubrimiento antisalobre, cromatado, lacado. Sonda de acero inoxidable
<b>Peso</b>	4 kg
<b>Distancia mínima entre el extremo de la sonda y el suelo</b>	100 mm
<b>Imagen</b>	

Tabla 31. Características del sensor transmisor de la concentración de AM.

<b>Sensor transmisor de la concentración de AM</b>	
<b>Nomenclatura</b>	AT
<b>Indicaciones</b>	Auto calibrado. Alarma programable.
<b>Señal de salida</b>	4-20 mA
<b>Rango de medidas</b>	$10^{-6}$ -1 M
<b>Rango de pH</b>	2.5-11
<b>Temperatura de operación</b>	0 – 50 °C
<b>Tiempo de respuesta</b>	30 s
<b>Interferencias</b>	Ácidos volátiles, Cl <sup>-</sup> , ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , I <sup>-</sup> ,...

### **2.7.4.2. Válvulas de control**

La válvula de control es el elemento final de control más ampliamente utilizado en la industria química. Actúa como una resistencia variable en la línea de proceso; mediante el cambio de su apertura se modifica la resistencia al flujo y, en consecuencia, el flujo mismo, siendo reguladores del flujo.

Cada una de ellas contiene un dispositivo neumático (motor de la válvula) que mueve el vástago de la válvula mediante la variación de la presión en el diafragma de la misma. El vástago posiciona el obturador en el orificio del cuerpo de la válvula. Al tiempo que la presión aumenta, el obturador se desplaza hacia abajo y disminuye el paso de fluido a través de la válvula. La válvula está también diseñada para aumentar el flujo a su través. El motor está construido para que la posición del vástago sea proporcional a la presión en la parte superior de la válvula. La mayoría de las válvulas comerciales tienen su apertura y cierre total a las presiones de 3 y 15 psig.

El obturador y el asiento pueden dimensionarse según diversas relaciones entre la posición del vástago y el tamaño de la abertura.

- **Construcción de las válvulas de control**

El elemento final de control más común en los procesos químicos es la válvula neumática de control, la cual regula el caudal de los fluidos.

La válvula de control es en esencia una resistencia variable al flujo del fluido, en la cual el flujo puede cambiar por una señal del controlador del proceso. Sus componentes principales son el actuador y la válvula. La válvula se divide en cuerpo y asiento. El cuerpo consiste en una carcasa para montar el actuador y las conexiones de unión entre la válvula y las líneas de aporte y una línea de suministro. El asiento, que se encuentra junto al cuerpo, consiste en el vástago, una válvula de asiento y el obturador. El actuador mueve el vástago y la presión en un diafragma de carga por resorte variable. El vástago mueve el obturador en el asiento con el fin de cambiar la resistencia al flujo a través de la válvula.

Para la mayoría de los actuadores, el movimiento del vástago es proporcional a la presión aplicada en el diafragma. En general, este tipo de actuador puede usarse para hacer funcionar otros que muevan el vástago de las válvulas. A medida que la presión varía alrededor de su rango normal de operación (de 3 a 15 psig) el rango de movimiento del vástago varía de una fracción de pulgada hasta varias pulgadas dependiendo del tamaño del actuador.

Un aumento en la señal de presión sobre el diafragma y la placa de apoyo, provoca la bajada del vástago, lo que hace que disminuya el área transversal para el flujo entre el obturador y el asiento, y así reducir o incluso cortar el flujo. La acción contraria se consigue cuando se diseña el actuador de manera que la presión se aplique a la parte inferior del diafragma, de manera que un aumento de presión se traduce en una subida del vástago. Otra opción es dejar el actuador como está e invertir el obturador en el vástago colocándolo por debajo del asiento.

En las válvulas de un asiento, el obturador debe abrir en contra del salto de presión a través de la válvula. Si la caída de presión es grande, el actuador necesitado debe ser mayor y más caro. Otra manera de resolver este problema es mediante una

válvula de doble asiento, que cuenta con dos obturadores en el vástago cada uno de los cuales con un asiento. La válvula estará diseñada de forma que la caída de presión a través del asiento A tiende a abrir el obturador y la caída a través del asiento B tiende a cerrarlo. Este balance de fuerzas reduce el esfuerzo necesario para abrir la válvula y se necesitará un actuador menor y más barato. La desventaja de este tipo de válvulas es que es difícil que cierre herméticamente, lo cual la hace apropiada para procesos en los que la válvula se usa para reducir el flujo pero nunca debe operar cerca de la posición cerrada.

- **Características de las válvulas**

La relación entre el flujo que pasa a través de la válvula y la posición del vástago (carrera) se denomina curva característica de la válvula, y debe ser convenientemente descrita por medio de un gráfico. Según esta característica, las válvulas se pueden clasificar en tres tipos: sensibilidad negativa, lineal y sensibilidad positiva.

Las curvas características de las válvulas se obtienen experimentalmente para cualquier válvula midiendo el flujo a través de la misma como una función de la carrera bajo condición de una presión aguas arriba y aguas abajo constantes. Se puede afirmar que el propósito de la caracterización del flujo, es obtener en el proceso completo una ganancia relativamente constante para la mayoría de las condiciones de operación del proceso.

Se debe distinguir entre la característica de flujo inherente y la característica de flujo en instalación. La primera se refiere a la característica que se observa cuando existe una caída de presión constante a través de la válvula. La segunda se refiere a la característica que se observa cuando la válvula está en servicio y hay variaciones en la caída de presión, así como otros cambios en el sistema.

El retardo dinámico está causado por el espacio debajo del diafragma de la válvula, por la resistencia al flujo de aire en la parte superior y la inercia del vástago y el obturador. Por otro lado, la histéresis, causada por la fricción entre el vástago y la empaquetadura, es un fenómeno no lineal. La presencia de histéresis puede provocar que la señal de control muestre una oscilación o fluctuación denominada ciclo límite.

Para reducir los efectos de la histéresis y acelerar la respuesta de la válvula, se puede anexionar a la válvula un posicionador que actúa como un controlador de ganancia elevada que recibe una señal de set point del controlador primario y una medida de la posición del vástago en la válvula. En este sentido, se estaría introduciendo una forma de control en cascada. El posicionador, atornillado al actuador de la válvula, tiene un brazo que está unido al vástago para detectar la posición del mismo.

Se usarán las siguientes válvulas de control:

Tabla 32. Características de la válvula de regulación de caudales líquidos.

<b>Válvula de regulación de caudales líquidos</b>		
<b>Nomenclatura</b>	FVC	
<b>Tipo de accionamiento</b>	Neumático	
<b>Características específicas</b>	Válvula de asiento Diseño sanitario según las especificaciones 3 A Sello de vapor donde se requiere esterilización del eje Cuerpo orientable 360°	
<b>Posición normal</b>	Normalmente abierta	
<b>Temperatura de trabajo</b>	-10 °C a 120 °C	
<b>Máxima presión de trabajo</b>	10 bar	
<b>Presión de aire comprimido</b>	6-8 bar	
<b>Tensión suministrada</b>	24 V (CC)	
<b>Rango de intensidades</b>	4 -20 mA	
<b>Material de construcción</b>	Piezas en contacto con el producto	Acero inoxidable AISI 316 L
	Otras piezas de acero inoxidable	Acero inoxidable AISI 304
	Juntas	EPDM

Tabla 33. Características de la válvula reguladora de caudales gaseosos.

Válvula de regulación de caudales gaseosos		
<b>Nomenclatura</b>	FVC	
<b>Tipo de accionamiento</b>	Neumático	
<b>Características específicas</b>	Válvula de asiento	
<b>Posición normal</b>	Normalmente abierta	
<b>Temperatura de trabajo</b>	-28 °C a 232 °C	
<b>Máxima presión de trabajo</b>	31.5 bar	
<b>Presión de aire comprimido</b>	0.2-2.7 bar	
<b>Tensión suministrada</b>	24 V (CC)	
<b>Rango de intensidades</b>	4 -20 mA	
<b>Material de construcción</b>	Piezas en contacto con el producto	Acero inoxidable AISI 316 L
	Otras piezas de acero inoxidable	Acero inoxidable AISI 304
	Diafragma	Neopreno
<b>Imagen</b>		

## **2.8. Bombas, válvulas y tuberías**

Los distintos compuestos que se manejan en la planta han de ser transportados de una unidad a otra, por lo que se requieren ciertos métodos de transporte adecuados para llevar estos compuestos de un sitio a otro con rapidez y con la mínima mano de obra posible. En la planta la inmensa mayoría de los compuestos que se tratan están en fase líquida, aunque también hay algún sólido, por lo que se dispondrá de un sistema de transporte por tuberías para los líquidos mientras que los sólidos se transportarán manualmente, utilizando transpaletas y tolvas neumáticas que facilitarán el proceso y evitando así que los operarios tengan que trabajar con pesos excesivos.

### **2.8.1. Bombas**

#### **2.8.1.1. Principios básicos para el diseño**

Son tres los tipos de bombas que se van a utilizar en las instalaciones de proceso:

- Bombas centrífugas, muy extendidas, cuentan con una gran variedad de aplicaciones. Están especialmente indicadas para el manejo de productos de baja viscosidad, no siendo aptas para líquidos fuertemente aireados. Este tipo de bomba es el que se debe utilizar siempre que la aplicación concreta lo permita, ya que es la más barata en cuanto a compra, operación y mantenimiento, y también la más adaptable a diferentes condiciones de operación. Dan un caudal estable y sirven para desplazar el fluido a grandes distancias, estando disponibles en un gran rango de capacidades y potencias. Se recurrirá a ellas para el bombeo de todo tipo de líquidos de relativamente baja viscosidad y que no requieran un tratamiento particularmente suave.
- Bombas de desplazamiento positivo. Existen diversas clases, como las alternativas (pistón) y las rotativas (lóbulo). Están especialmente indicadas para el bombeo de fluidos de viscosidad elevada. Nosotros usaremos bombas de desplazamiento positivo rotativas para la corriente de sales de refrigeración que enfría el reactor. Dan un flujo pulsante.
- Soplantes. Se utilizan para desplazar corrientes gaseosas. En este caso se van a usar soplantes de desplazamiento positivo.

El cuerpo de las bombas será de hierro EN-GJL-200 (EN 1561:1997 Founding, Grey cast irons) y el rodete de acero inoxidable AISI 316.

Un aspecto importante y previo al cálculo de las bombas es seleccionar adecuadamente el lugar donde se colocará cada bomba, lo que determina el número de ellas que se utilizarán. Los criterios que se pueden seguir para ello se enumeran a continuación:

- A la salida de los tanques de almacenamiento, tanto de materia prima como de producto terminado, se colocará siempre una bomba. También habrá una a la entrada de los tanques de almacenamiento de materias primas y auxiliares.

- A la entrada del intercambiador de calor 3, del absorbedor, de la columna de destilación 2 y del filtro. También tendremos bombas en el circuito de sales de refrigeración del reactor y en las líneas de agua de refrigeración, a la entrada de los intercambiadores de calor 10 y 11. En todos estos equipos se produce una elevada pérdida de carga y, por tanto, será conveniente colocar una bomba.

Además se debe conocer:

- El fluido manipulado.
- La temperatura, la densidad, la viscosidad y la presión de vapor del mismo.
- Las presiones de succión y de descarga.
- La pérdida de carga total.

Una vez establecido lo anterior, para determinar la carga de cada bomba es necesario establecer para cada una de ellas:

- La altura o desnivel existente desde la superficie libre al eje de la bomba o viceversa (según se trate de una línea de aspiración o impulsión respectivamente).
- La presión en el punto inicial o de descarga, según se trate de una línea de aspiración o impulsión respectivamente.
- Las pérdidas de carga por fricción en la tubería.
- Las pérdidas de carga provocadas por los equipos que se hallan en la línea. Dichos valores han de ser conocidos por la experiencia existente al respecto, o deben ser suministrados por el fabricante del equipo en cuestión.

Conocidos los datos anteriores, mediante las ecuaciones correspondientes, se pueden determinar las alturas totales de aspiración e impulsión respectivamente, y con ello calcular la carga de la bomba por diferencia de ambas.

En resumen, para proceder al cálculo de las bombas, se seguirán los siguientes pasos:

1) Calcular para cada bomba la carga de la misma, como diferencia de las alturas totales de aspiración e impulsión.

2) Mediante las curvas características de la bomba o los programas informáticos existentes, elegir el modelo adecuado de la bomba, estableciendo sus especificaciones técnicas (potencia del motor,  $NPSH_r$ , etc.).

3) Comprobar que el  $NPSH_{dis}$  es mayor que el  $NPSH_r$ , para lo cual se necesitará conocer la presión de vapor del fluido en las condiciones de operación. Esto puede ser más crítico cuando la bomba está en aspiración o si se bombean fluidos volátiles (al menos más que el agua). En general bastará comprobar que esta tercera condición se cumple para el caso más desfavorable, que corresponderá a las situaciones mencionadas, y siendo así en éste, lo será obviamente en el resto.

### **2.8.1.2. Listado de bombas**

Se van a designar de la siguiente manera:

B-Sección-Corriente-Tipo de bomba

Las secciones empleadas se simbolizan como PR (sección de producción), SE (sección de separación), PU (sección de purificación), AMP (sección de almacenamiento de materias primas) y APT (sección de almacenamiento de producto terminado y residuos).

Los tipos de bombas empleados se simbolizan como CE (bomba centrífuga), DP (bomba de desplazamiento positivo) y SO (soplante).

De esta manera, una bomba centrífuga que se encuentre en la sección de producción y en la corriente 2 se llamaría:

B-PR-2-CE

En el diagrama de bombas, válvulas y tuberías se van a representar con el siguiente símbolo:



Por simplicidad no se pondrá el nombre completo, sino que se les asignará un número que corresponde con la tabla 34:

Tabla 34. Listado de bombas.

Número en el plano	Nombre	Fluido que bombea	Caudal, m <sup>3</sup> /h
P-001	B-AMP-1-CE	<i>n</i> -butano	86
P-002	B-AMP-2-CE	<i>n</i> -butano	2.18
P-003	B-AMP-35-CE	Agua de la red de abastecimiento	50
P-004	B-AMP-36-CE	Agua almacenada	27
P-005	B-AMP-45-CE	Ftalato de dibutilo	36
P-006	B-AMP-46-CE	Ftalato de dibutilo	0.01
P-007	B-PR-8-SO	Productos de la reacción	43896
P-008	B-PR-28-DP	Mezcla de sales fundidas	37
P-009	B-PR-29-DP	Mezcla de sales fundidas	36
P-010	B-PR-30-DP	Mezcla de sales fundidas	36
P-011	B-PR-39-CE	Agua de refrigeración	14
P-012	B-PR-40-CE	Agua de refrigeración	10
P-013	B-SE-10-SO	Productos de la reacción	28084
P-014	B-SE-12-CE	Mezcla de AM y disolvente	1.04
P-015	B-SE-17-CE	Mezcla de disolvente y ácido fumárico	16
P-016	B-APT-51-CE	AM puro	76
P-017	B-APT-50-CE	Compuestos orgánicos ligeros	20
P-018	B-APT-23-CE	Purga de ftalato de dibutilo	15

En la tabla también se ha indicado el caudal que debe bombear cada bomba.

### 2.8.1.3. Dimensionamiento de las bombas

Se ha calculado la carga que debe suministrar cada bomba. Con este valor se elige en el catálogo la de características más parecidas.

Las bombas empleadas en la instalación serán las siguientes:

Tabla 35. Bomba B-AMP-1-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-AMP-1-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-80/250-E
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	86
$\Delta h$ , m.c.l.	50.00
NPSH disponible, m.c.l.	25.54
NPSH requerida, m.c.l.	3.10
P, kW	17.50
Rendimiento, %	67
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 400/690 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.850x0.408x0.344
Diámetro del rodete, mm	207
Peso, kg	182

Imagen



Tabla 36. Bomba B-AMP-2-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-AMP-2-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-20/160-A
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	2.18
$\Delta h$ , m.c.l.	35.80
NPSH disponible, m.c.l.	29.62
NPSH requerida, m.c.l.	1.00
P, kW	0.75
Rendimiento, %	35
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.375x0.228x0.190
Diámetro del rodete, mm	161.5
Peso, kg	19.7

Imagen



Tabla 37. Bomba B-AMP-35-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-AMP-35-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-50/16-B
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	50
$\Delta h$ , m.c.l.	25.70
NPSH disponible, m.c.l.	20.42
NPSH requerida, m.c.l.	2.30
P, kW	5.05
Rendimiento, %	71
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 400/690 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.525x0.320x0.265
Diámetro del rodete, mm	162
Peso, kg	64

Imagen



Tabla 38. Bomba B-AMP-36-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-AMP-36-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-40/12-A
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	27
$\Delta h$ , m.c.l.	19.20
NPSH disponible, m.c.l.	19.99
NPSH requerida, m.c.l.	1.40
P, kW	1.90
Rendimiento, %	75
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.410x0.240x0.210
Diámetro del rodete, mm	134
Peso, kg	31

Imagen



Tabla 39. Bomba B-AMP-45-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-AMP-45-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-40/12-A
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	36
$\Delta h$ , m.c.l.	15.00
NPSH disponible, m.c.l.	20.07
NPSH requerida, m.c.l.	2.15
P, kW	2.10
Rendimiento, %	72
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.410x0.240x0.210
Diámetro del rodete, mm	134
Peso, kg	31

Imagen



Tabla 40. Bomba B-AMP-46-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-AMP-46-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-1/AE
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	0.01
$\Delta h$ , m.c.l.	22.60
NPSH disponible, m.c.l.	20.01
NPSH requerida, m.c.l.	1.00
P, kW	0.23
Rendimiento, %	10
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.261x0.176x0.170
Diámetro del rodete, mm	130
Peso, kg	8.6

Imagen



Tabla 41. Bomba B-PR-28-DP.

<b>Nombre</b>	<b>B-PR-28-DP</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Desplazamiento positivo
Modelo seleccionado	IRR-25/4E
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	37
$\Delta h$ , m.c.l.	22.79
NPSH disponible, m.c.l.	38.43
P, kW	1.50
Rendimiento, %	67
Velocidad de giro, rpm	1450
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.368x0.205x0.155
Peso, kg	26

Imagen



Tabla 42. Bomba B-PR-29-DP.

<b>Nombre</b>	<b>B-PR-29-DP</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Desplazamiento positivo
Modelo seleccionado	IRR-25/4E
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	36
$\Delta h$ , m.c.l.	22.79
NPSH disponible, m.c.l.	42.41
P, kW	1.50
Rendimiento, %	67
Velocidad de giro, rpm	1450
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.368x0.205x0.155
Peso, kg	26

Imagen



Tabla 43. Bomba B-PR-30-DP.

<b>Nombre</b>	<b>B-PR-30-DP</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Desplazamiento positivo
Modelo seleccionado	IRR-25/4E
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	36
$\Delta h$ , m.c.l.	22.79
NPSH disponible, m.c.l.	50.35
P, kW	1.50
Rendimiento, %	67
Velocidad de giro, rpm	1450
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.368x0.205x0.155
Peso, kg	26

Imagen



Tabla 44. Bomba B-PR-39-CE.

<b>Nombre</b>		<b>B-PR-39-CE</b>
Unidades necesarias		1
Tipo		Centrífuga
Modelo seleccionado		NM-32/20-C
<b>Condiciones de operación</b>		
Caudal, m <sup>3</sup> /h		14
$\Delta h$ , m.c.l.		39.30
NPSH disponible, m.c.l.		20.38
NPSH requerida, m.c.l.		2.40
P, kW		2.80
Rendimiento, %		51.6
Velocidad de giro, rpm		2900
Alimentación eléctrica		Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m		0.475x0.288x0.240
Diámetro del rodete, mm		187
Peso, kg		49

Imagen



Tabla 45. Bomba B-PR-40-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-PR-40-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-32/210-B
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	10
$\Delta h$ , m.c.l.	94.00
NPSH disponible, m.c.l.	20.35
NPSH requerida, m.c.l.	2.25
P, kW	6
Rendimiento, %	43
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 400/690 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.550x0.310x0.258
Diámetro del rodete, mm	200
Peso, kg	76.5

Imagen



Tabla 46. Bomba B-SE-12-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-SE-12-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-2/SE-S
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	1.04
$\Delta h$ , m.c.l.	30.90
NPSH disponible, m.c.l.	0.60
NPSH requerida, m.c.l.	0.45
P, kW	0.45
Rendimiento, %	20
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.305x0.203x0.190
Diámetro del rodete, mm	155
Peso, kg	13.3

Imagen



Tabla 47. Bomba B-SE-17-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-SE-17-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-40/16-A
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	16
$\Delta h$ , m.c.l.	37.00
NPSH disponible, m.c.l.	5.90
NPSH requerida, m.c.l.	1.10
P, kW	2.85
Rendimiento, %	58
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.475x0.260x0.240
Diámetro del rodete, mm	167
Peso, kg	49

Imagen



Tabla 48. Bomba B-APT-51-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-APT-51-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-65/16-A
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	76
$\Delta h$ , m.c.l.	35.90
NPSH disponible, m.c.l.	18.33
NPSH requerida, m.c.l.	5.00
P, kW	10.75
Rendimiento, %	72
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 400/690 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.690x0.345x0.280
Diámetro del rodete, mm	174.5
Peso, kg	121

Imagen



Tabla 49. Bomba B-APT-50-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-APT-50-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-40/16-A
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	20
$\Delta h$ , m.c.l.	36.80
NPSH disponible, m.c.l.	5.49
NPSH requerida, m.c.l.	1.35
P, kW	3.10
Rendimiento, %	62
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.475x0.260x0.240
Diámetro del rodete, mm	167
Peso, kg	49

Imagen



Tabla 50. Bomba B-APT-23-CE.

<b>Nombre</b>	<b>B-APT-23-CE</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Centrífuga
Modelo seleccionado	NM-32/16-A
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	15
$\Delta h$ , m.c.l.	31.50
NPSH disponible, m.c.l.	19.79
NPSH requerida, m.c.l.	5.80
P, kW	2.05
Rendimiento, %	62
Velocidad de giro, rpm	2900
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	0.410x0.260x0.240
Diámetro del rodete, mm	164
Peso, kg	36

Imagen



Se requieren dos soplantes para impulsar los productos de la reacción. Las características de los equipos seleccionados son las siguientes:

Tabla 51. Soplante B-PR-8-SO.

<b>Nombre</b>	<b>B-PR-8-SO</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Soplante de émbolo trilobular
Fabricante	MAPNER
Modelo seleccionado	SEM/TR-90
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	43896
$\Delta P$ , Pa	126656.5
$\Delta h$ , m.c.l.	11948.27
$\Delta T$ , °C	92
Sistema de refrigeración	No requiere
P, kW	100
Nivel sonoro, dBA	89
Velocidad de giro del motor, rpm	1500
Velocidad de giro del rotor, rpm	1450
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	1.6x1.1x0.95
Peso, kg	1850

Imagen



Tabla 52. Soplante B-SE-10-SO.

<b>Nombre</b>	<b>B-SE-10-SO</b>
Unidades necesarias	1
Tipo	Soplante de émbolo trilobular
Fabricante	MAPNER
Modelo seleccionado	SEM/TR-90
<b>Condiciones de operación</b>	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	28084
$\Delta P$ , Pa	115103.75
$\Delta h$ , m.c.l.	6302
$\Delta T$ , °C	58
Sistema de refrigeración	No requiere
P, kW	100
Nivel sonoro, dBA	89
Velocidad de giro del motor, rpm	1500
Velocidad de giro del rotor, rpm	1450
Alimentación eléctrica	Trifásica. 230/400 V, 50 Hz
Dimensiones, m	1.6x1.1x0.95
Peso, kg	1850

Imagen



## **2.8.2. Válvulas**

### **2.8.2.1. Principios básicos para el diseño**

Las válvulas se van a colocar en los siguientes emplazamientos:

- Los necesarios para el control del proceso. Se usarán válvulas de regulación y de corte de flujo.
- Para cada válvula de regulación perteneciente a un lazo de control se instalará una válvula de regulación manual en by-pass. De esta manera se podrá regular el flujo de manera manual en el caso de que se estén realizando labores de mantenimiento en el lazo de control. Normalmente estarán cerradas.
- Delante y detrás de cada válvula de regulación perteneciente a un lazo de control, para desviar el flujo hacia el by-pass en caso necesario. Se usarán válvulas de corte de flujo, que en condiciones normales estarán cerradas.
- Los necesarios para la seguridad del proceso en aquellos equipos que trabajen a presiones elevadas. Se usarán válvulas de seguridad.
- Tras cada bomba, para evitar que el fluido cambie de dirección. Se usarán válvulas antirretorno.
- En las proximidades de la bomba, para aislar el sistema de bombeo si lo requiere el mantenimiento. Se usarán válvulas de corte de flujo. Normalmente estarán abiertas.

Como se ha visto se van a usar cuatro tipos de válvulas:

- De regulación: permiten regular el caudal en función de su porcentaje de apertura. Las más comunes y las que se utilizarán en este caso son las de asiento normal. Las utilizadas para el control estarán abiertas hasta la mitad en condiciones normales, las situadas en el by-pass estarán habitualmente cerradas.
- De corte de flujo: permiten o impiden el paso del fluido. Para líquidos se usarán válvulas de compuerta y para gases de bola.
- Antirretorno: sólo permiten el paso del fluido en una dirección. Protegen a la bomba de la rotación inversa y de los golpes de ariete en el caso de una detención brusca. Se usarán válvulas de bola.
- De seguridad: liberan el fluido cuando la presión interna del equipo que lo contiene supera el límite establecido. Su misión es evitar una explosión, el fallo de un equipo o tubería por un exceso de presión.

El diámetro nominal y el material de construcción coinciden con el de la tubería en la que se instalan.

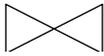
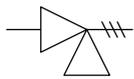
### 2.8.2.2. Listado de válvulas

Las válvulas se van a designar como:

V-Sección-Corriente-Tipo de válvula-XX

Los tipos de válvulas se van a representar con las siguientes letras:

Tabla 53. Nomenclatura y simbología de los distintos tipos de válvulas.

Válvula	Nomenclatura	Símbolo
Regulación-control	RC	
Regulación	RE	
Corte de flujo	CF	
Antirretorno	AR	
Seguridad	SV	

Se va a usar un símbolo distinto para las válvulas de regulación pertenecientes a los lazos de control, de manera que sean más fácilmente diferenciables.

La XX final es un número por si se usa el mismo tipo de válvula en la misma corriente más de una vez.

De esta manera, una válvula de corte de flujo situada en la corriente 2 y en la zona de producción se denominaría como:

V-PR-2-CF-01

Por simplicidad no se pondrá el nombre completo. Se les asignará un número que corresponde con la tabla 54:

Tabla 54. Listado de válvulas.

Número en el plano	Nombre	Función de la válvula
1	V-AMP-1-CF-01	Permitir el paso desde la boca de descarga 1
2	V-AMP-1-CF-02	Permitir el paso desde la boca de descarga 2
3	V-AMP-1-CF-03	Aislar la bomba B-AMP-1-CE
4	V-AMP-1-CF-04	Aislar la bomba B-AMP-1-CE
5	V-AMP-1-AR-01	Proteger la bomba B-AMP-1-CE

---

6	V-AMP-1-CF-05	Permitir el paso a los depósitos T-201
7	V-AMP-1-CF-06	Permitir el paso al depósito 1 de los T-201
8	V-AMP-1-CF-07	Permitir el paso al depósito 2 de los T-201
9	V-AMP-1-CF-08	Permitir el paso al depósito 3 de los T-201
10	V-AMP-1-CF-09	Permitir el paso al depósito 4 de los T-201
11	V-AMP-1-CF-10	Permitir el paso al depósito 5 de los T-201
12	V-AMP-1-CF-11	Permitir el paso al depósito 6 de los T-201
13	V-AMP-1-CF-12	Permitir el paso al depósito 7 de los T-201
14	V-AMP-1-CF-13	Permitir el paso al depósito 8 de los T-201
15	V-AMP-2-CF-01	Permitir la salida del depósito 1 de los T-201
16	V-AMP-2-CF-02	Permitir la salida del depósito 2 de los T-201
17	V-AMP-2-CF-03	Permitir la salida del depósito 3 de los T-201
18	V-AMP-2-CF-04	Permitir la salida del depósito 4 de los T-201
19	V-AMP-2-CF-05	Permitir la salida del depósito 5 de los T-201
20	V-AMP-2-CF-06	Permitir la salida del depósito 6 de los T-201
21	V-AMP-2-CF-07	Permitir la salida del depósito 7 de los T-201
22	V-AMP-2-CF-08	Permitir la salida del depósito 8 de los T-201
23	V-AMP-2-CF-09	Permitir la salida de los depósitos T-201
24	V-AMP-2-CF-10	Aislar la bomba B-AMP-2-CE
25	V-AMP-2-CF-11	Aislar la bomba B-AMP-2-CE
26	V-AMP-2-AR-01	Proteger la bomba B-AMP-2-CE
27	V-PR-2-CF-12	Aislar la válvula V-PR-2-RC-01
28	V-PR-2-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 2
29	V-PR-2-CF-13	Aislar la válvula V-PR-2-RC-01
30	V-PR-2-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-2-RC-01
31	V-PR-4-CF-01	Aislar la válvula V-PR-4-RC-01

---

---

32	V-PR-4-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 4
33	V-PR-4-CF-02	Aislar la válvula V-PR-4-RC-01
34	V-PR-4-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-4-RC-01
35	V-PR-5-CF-01	Aislar la válvula V-PR-5-RC-01
36	V-PR-5-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 5
37	V-PR-5-CF-02	Aislar la válvula V-PR-5-RC-01
38	V-PR-5-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-5-RC-01
39	V-PR-5-CF-03	Aislar la soplante COM-201
40	V-PR-6-CF-01	Aislar la soplante COM-201
41	V-PR-6-AR-01	Proteger la soplante COM-201
42	V-PR-8-CF-01	Aislar la bomba B-PR-8-SO
43	V-PR-8-CF-02	Aislar la bomba B-PR-8-SO
44	V-PR-8-AR-01	Proteger la bomba B-PR-8-SO
45	V-SE-10-CF-01	Aislar la bomba B-SE-10-SO
46	V-SE-10-CF-02	Aislar la bomba B-SE-10-SO
47	V-SE-10-AR-01	Proteger la bomba B-SE-10-SO
48	V-PU-12-CF-01	Aislar la bomba B-PU-12-CE
49	V-PU-12-CF-02	Aislar la bomba B-PU-12-CE
50	V-PU-12-AR-01	Proteger la bomba B-PU-12-CE
51	V-PU-14-CF-01	Permitir el paso a los depósitos T-205
52	V-PU-14-CF-02	Permitir el paso al depósito 1 de los T-205
53	V-PU-14-CF-03	Permitir el paso al depósito 2 de los T-205
54	V-PU-14-CF-04	Permitir el paso al depósito 3 de los T-205
55	V-PU-14-CF-05	Permitir el paso al depósito 4 de los T-205
56	V-PU-14-CF-06	Permitir el paso al depósito 5 de los T-205
57	V-PU-14-CF-07	Permitir el paso al depósito 6 de los T-205

---

---

58	V-PU-16-CF-01	Permitir el paso al depósito T-206
59	V-SE-17-CF-01	Aislar la bomba B-SE-17-CE
60	V-SE-17-CF-02	Aislar la bomba B-SE-17-CE
61	V-SE-17-AR-01	Proteger la bomba B-SE-17-CE
62	V-SE-18-CF-01	Permitir el paso al filtro 1 de los F-201
63	V-SE-20-CF-01	Permitir la salida del filtro 1 de los F-201
64	V-SE-18-CF-02	Permitir el paso el filtro 2 de los F-201
65	V-SE-20-CF-02	Permitir la salida del filtro 2 de los F-201
66	V-SE-21-CF-01	Aislar la válvula V-SE-21-RC-01
67	V-SE-21-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 21
68	V-SE-21-CF-02	Aislar la válvula V-SE-21-RC-01
69	V-SE-21-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-SE-21-RC-01
70	V-PU-22-CF-01	Permitir el paso al depósito T-207
71	V-APT-23-CF-01	Permitir la salida del depósito T-207
72	V-APT-23-CF-02	Aislar la bomba B-APT-23-CE
73	V-APT-23-CF-03	Aislar la bomba B-APT-23-CE
74	V-APT-23-AR-01	Proteger la bomba B-APT-23-CE
75	V-PR-24-CF-01	Aislar la válvula V-PR-24-RC-01
76	V-PR-24-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 24
77	V-PR-24-CF-02	Aislar la válvula V-PR-24-RC-01
78	V-PR-24-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-24-RC-01
79	V-PR-26-CF-01	Aislar la válvula V-PR-26-RC-01
80	V-PR-26-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 26
81	V-PR-26-CF-02	Aislar la válvula V-PR-26-RC-01
82	V-PR-26-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-26-RC-01
83	V-PR-28-CF-01	Aislar la bomba B-PR-28-DP

---

---

84	V-PR-28-CF-02	Aislar la bomba B-PR-28-DP
85	V-PR-28-AR-01	Proteger la bomba B-PR-28-DP
86	V-PR-29-CF-01	Aislar la bomba B-PR-29-DP
87	V-PR-29-CF-02	Aislar la bomba B-PR-29-DP
88	V-PR-29-AR-01	Proteger la bomba B-PR-29-DP
89	V-PR-30-CF-01	Aislar la bomba B-PR-30-DP
90	V-PR-30-CF-02	Aislar la bomba B-PR-30-DP
91	V-PR-30-AR-01	Proteger la bomba B-PR-30-DP
92	V-PR-30-CF-03	Aislar la válvula V-PR-30-RC-01
93	V-PR-30-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 30
94	V-PR-30-CF-01	Aislar la válvula V-PR-30-RC-01
95	V-PR-30-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-30-RC-01
96	V-PR-31-CF-01	Aislar la válvula V-PR-31-RC-01
97	V-PR-31-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 31
98	V-PR-31-CF-02	Aislar la válvula V-PR-31-RC-01
99	V-PR-31-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-30-RC-01
100	V-PR-33-CF-01	Aislar la válvula V-PR-33-RC-01
101	V-PR-33-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 33
102	V-PR-33-CF-02	Aislar la válvula V-PR-33-RC-01
103	V-PR-33-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-33-RC-01
104	V-AMP-35-CF-01	Aislar la bomba B-AMP-35-CE
105	V-AMP-35-CF-02	Aislar la bomba B-AMP-35-CE
106	V-AMP-35-AR-01	Proteger la bomba B-AMP-35-CE
107	V-AMP-35-CF-03	Permitir el paso a los depósitos T-202
108	V-AMP-35-CF-04	Permitir el paso al depósito 1 de los T-202
109	V-AMP-35-CF-05	Permitir el paso al depósito 2 de los T-202

---

---

110	V-AMP-35-CF-06	Permitir el paso al depósito 3 de los T-202
111	V-AMP-35-CF-07	Permitir el paso al depósito 4 de los T-202
112	V-AMP-35-CF-08	Permitir el paso al depósito 5 de los T-202
113	V-AMP-35-CF-09	Permitir el paso al depósito 6 de los T-202
114	V-AMP-35-CF-10	Permitir el paso al depósito 7 de los T-202
115	V-AMP-35-CF-11	Permitir el paso al depósito 8 de los T-202
116	V-AMP-35-CF-12	Permitir el paso al depósito 9 de los T-202
117	V-AMP-35-CF-13	Permitir el paso al depósito 10 de los T-202
118	V-AMP-35-CF-14	Permitir el paso al depósito 11 de los T-202
119	V-AMP-35-CF-15	Permitir el paso al depósito 12 de los T-202
120	V-AMP-36-CF-01	Permitir la salida del depósito 1 de los T-202
121	V-AMP-36-CF-02	Permitir la salida del depósito 2 de los T-202
122	V-AMP-36-CF-03	Permitir la salida del depósito 3 de los T-202
123	V-AMP-36-CF-04	Permitir la salida del depósito 4 de los T-202
124	V-AMP-36-CF-05	Permitir la salida del depósito 5 de los T-202
125	V-AMP-36-CF-06	Permitir la salida del depósito 6 de los T-202
126	V-AMP-36-CF-07	Permitir la salida del depósito 7 de los T-202
127	V-AMP-36-CF-08	Permitir la salida del depósito 8 de los T-202
128	V-AMP-36-CF-09	Permitir la salida del depósito 9 de los T-202
129	V-AMP-36-CF-10	Permitir la salida del depósito 10 de los T-202
130	V-AMP-36-CF-11	Permitir la salida del depósito 11 de los T-202
131	V-AMP-36-CF-12	Permitir la salida del depósito 12 de los T-202
132	V-AMP-36-CF-13	Permitir la salida de los depósitos T-202
133	V-AMP-36-CF-14	Aislar la bomba B-AMP-36-CE
134	V-AMP-36-CF-15	Aislar la bomba B-AMP-36-CE
135	V-AMP-36-AR-01	Proteger la bomba B-AMP-36-CE

---

---

136	V-SE-37-CF-01	Aislar la válvula V-SE-37-RC-01
137	V-SE-37-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 37
138	V-SE-37-CF-02	Aislar la válvula V-SE-37-RC-01
139	V-SE-37-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-SE-37-RC-01
140	V-PR-39-CF-01	Aislar la bomba B-PR-39-CE
141	V-PR-39-CF-02	Aislar la bomba B-PR-39-CE
142	V-PR-39-AR-01	Proteger la bomba B-PR-39-CE
143	V-PR-39-CF-03	Aislar la válvula V-PR-39-RC-01
144	V-PR-39-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 39
145	V-PR-39-CF-04	Aislar la válvula V-PR-39-RC-01
146	V-PR-39-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-39-RC-01
147	V-PR-40-CF-01	Aislar la bomba B-PR-40-CE
148	V-PR-40-CF-02	Aislar la bomba B-PR-40-CE
149	V-PR-40-AR-01	Proteger la bomba B-PR-40-CE
150	V-PR-40-CF-03	Aislar la válvula V-PR-40-RC-01
151	V-PR-40-RC-01	Controlar el caudal de la corriente 40
152	V-PR-40-CF-04	Aislar la válvula V-PR-40-RC-01
153	V-PR-40-RE-01	Actuar en caso de fallo de V-PR-40-RC-01
154	V-AMP-45-CF-01	Aislar la bomba B-AMP-45-CE
155	V-AMP-45-CF-02	Aislar la bomba B-AMP-45-CE
156	V-AMP-45-AR-01	Proteger la bomba B-AMP-45-CE
157	V-AMP-45-CF-03	Permitir el paso a los depósitos T-203
158	V-AMP-45-CF-04	Permitir el paso al depósito 1 de los T-203
159	V-AMP-45-CF-05	Permitir el paso al depósito 2 de los T-203
160	V-AMP-46-CF-01	Permitir la salida del depósito 1 de los T-203
161	V-AMP-46-CF-02	Permitir la salida del depósito 2 de los T-203

---

---

162	V-AMP-46-CF-03	Permitir la salida de los depósitos T-203
163	V-AMP-46-CF-04	Aislar la bomba B-AMP-46-CE
164	V-AMP-46-CF-05	Aislar la bomba B-AMP-46-CE
165	V-AMP-46-AR-01	Proteger la bomba B-AMP-46-CE
166	V-APT-50-CF-01	Permitir la salida del depósito T-206
167	V-APT-50-CF-02	Aislar la bomba B-APT-50-CE
168	V-APT-50-CF-03	Aislar la bomba B-APT-50-CE
169	V-APT-50-AR-01	Proteger la bomba B-APT-50-CE
170	V-APT-51-CF-01	Permitir la salida del depósito 1 de los T-205
171	V-APT-51-CF-02	Permitir la salida del depósito 2 de los T-205
172	V-APT-51-CF-03	Permitir la salida del depósito 3 de los T-205
173	V-APT-51-CF-04	Permitir la salida del depósito 4 de los T-205
174	V-APT-51-CF-05	Permitir la salida del depósito 5 de los T-205
175	V-APT-51-CF-06	Permitir la salida del depósito 6 de los T-205
176	V-APT-51-CF-07	Permitir la salida de los depósitos T-205
177	V-APT-51-CF-08	Aislar la bomba B-APT-50-CE
178	V-APT-51-CF-09	Aislar la bomba B-APT-50-CE
179	V-APT-51-AR-01	Proteger la bomba B-APT-50-CE
180	V-AMP-T201-SV-01	Proteger el depósito 1 de los T-201
181	V-AMP-T201-SV-02	Proteger el depósito 2 de los T-201
182	V-AMP-T201-SV-03	Proteger el depósito 3 de los T-201
183	V-AMP-T201-SV-04	Proteger el depósito 4 de los T-201
184	V-AMP-T201-SV-05	Proteger el depósito 5 de los T-201
185	V-AMP-T201-SV-06	Proteger el depósito 6 de los T-201
186	V-AMP-T201-SV-07	Proteger el depósito 7 de los T-201
187	V-AMP-T201-SV-08	Proteger el depósito 8 de los T-201

---

---

188	V-PR-T204-SV-01	Proteger el vaporizador T-204
189	V-PR-R201-SV-01	Proteger el reactor R-201
190	V-AMP-T202-SV-01	Proteger el depósito 1 de los T-202
191	V-AMP-T202-SV-02	Proteger el depósito 2 de los T-202
192	V-AMP-T202-SV-03	Proteger el depósito 3 de los T-202
193	V-AMP-T202-SV-04	Proteger el depósito 4 de los T-202
194	V-AMP-T202-SV-05	Proteger el depósito 5 de los T-202
195	V-AMP-T202-SV-06	Proteger el depósito 6 de los T-202
196	V-AMP-T202-SV-07	Proteger el depósito 7 de los T-202
197	V-AMP-T202-SV-08	Proteger el depósito 8 de los T-202
198	V-AMP-T202-SV-09	Proteger el depósito 9 de los T-202
199	V-AMP-T202-SV-10	Proteger el depósito 10 de los T-202
200	V-AMP-T202-SV-11	Proteger el depósito 11 de los T-202
201	V-AMP-T202-SV-12	Proteger el depósito 12 de los T-202
202	V-AMP-T203-SV-01	Proteger el depósito 1 de los T-203
203	V-AMP-T203-SV-02	Proteger el depósito 2 de los T-203
204	V-APT-T206-SV-01	Proteger el depósito T-206
205	V-APT-T205-SV-01	Proteger el depósito 1 de los T-205
206	V-APT-T205-SV-02	Proteger el depósito 2 de los T-205
207	V-APT-T205-SV-03	Proteger el depósito 3 de los T-205
208	V-APT-T205-SV-04	Proteger el depósito 4 de los T-205
209	V-APT-T205-SV-05	Proteger el depósito 5 de los T-205
210	V-APT-T205-SV-06	Proteger el depósito 6 de los T-205
211	V-APT-T207-SV-01	Proteger el depósito T-207

---

## 2.8.3. Tuberías

### 2.8.3.1. Principios básicos para el diseño

Las velocidades no serán muy elevadas para no dañar el producto. Las tuberías serán de acero inoxidable AISI B36.19, número de catálogo 5S.

No son necesarios espesores grandes ya que el proceso de producción no requiere presiones elevadas.

### 2.8.3.2. Listado de tuberías

Para llevar a cabo el diseño de las tuberías que componen las distintas líneas de proceso se dividirán éstas en tramos, cada uno de los cuales estará formado por la porción de línea comprendida entre dos equipos consecutivos. De esta forma los diferentes aspectos a calcular (diámetro óptimo de la conducción, pérdidas de carga, etc.) se evaluarán independientemente para cada uno de estos tramos. La definición y descripción de los diferentes tramos de tubería se realizará sobre el correspondiente diagrama de flujo, usándose para designar cada uno de ellos la siguiente nomenclatura:

Número-Corriente-Sección

Por lo tanto, la primera tubería de la zona de almacenamiento de materia prima que se encuentra en la corriente 1 se denominará:

1-1-AMP

Las siguientes son las tuberías que se emplearán en la instalación:

*Tabla 55. Listado de tuberías.*

Número	Nombre	DN, pulg.	D interno, cm	Espesor, cm	Velocidad, m/s	H, m.c.l.
1	1-1-AMP	10	26,62	0,340	0,43	0,02
2	2-1-AMP	10	26,62	0,340	0,43	0,02
3	3-1-AMP	10	26,62	0,340	0,43	0,02
4	4-1-AMP	5	13,58	0,277	1,65	3,02
5	5-1-AMP	5	13,58	0,277	1,65	0,47
6	6-1-AMP	5	13,58	0,277	1,65	0,47
7	7-1-AMP	5	13,58	0,277	1,65	0,47
8	8-1-AMP	5	13,58	0,277	1,65	0,47

9	9-1-AMP	5	13,58	0,277	1,65	0,47
10	10-1-AMP	5	13,58	0,277	1,65	0,47
11	11-1-AMP	5	13,58	0,277	1,65	0,47
12	12-1-AMP	5	13,58	0,277	1,65	0,47
13	13-2-AMP	1 1/4	3,89	0,165	0,51	0,09
14	14-2-AMP	1 1/4	3,89	0,165	0,51	0,09
15	15-2-AMP	1 1/4	3,89	0,165	0,51	0,09
16	16-2-AMP	1 1/4	3,89	0,165	0,51	0,09
17	17-2-AMP	1 1/4	3,89	0,165	0,51	0,09
18	18-2-AMP	1 1/4	3,89	0,165	0,51	0,09
19	19-2-AMP	1 1/4	3,89	0,165	0,51	0,09
20	20-2-AMP	1 1/4	3,89	0,165	0,51	0,09
21	21-2-AMP	1 1/4	3,89	0,165	0,51	1,03
22	22-2-PR	3/4	2,34	0,165	1,41	5,75
23	23-3-PR	2	5,70	0,165	16,32	84,05
24	24-4-PR	2 1/2	6,88	0,211	13,89	181,08
25	25-5-PR	24	59,85	0,554	29,68	311,19
26	26-6-PR	20	49,84	0,478	26,18	90,86
27	27-7-PR	20	49,84	0,478	29,22	55,84
28	28-8-PR	30	74,93	0,635	27,65	27,60
29	29-8-PR	30	74,93	0,635	27,65	96,63
30	30-9-PR	30	74,93	0,635	22,25	2,31
31	31-10-PR	24	59,85	0,554	27,37	49,38
32	32-10-SE	24	59,85	0,554	27,37	62,97
33	33-11-SE	2 1/2	6,88	0,211	1,27	0,31
34	34-12-SE	1	3,01	0,165	0,41	0,31

35	35-12-PU	3/8	1,38	0,165	1,92	5,61
36	36-13-PU	1/2	1,80	0,165	1,21	1,08
37	37-14-PU	1/2	1,80	0,165	1,24	9,97
38	38-14-APT	1/2	1,80	0,165	1,24	0,88
39	39-14-APT	1/2	1,80	0,165	1,24	0,88
40	40-14-APT	1/2	1,80	0,165	1,24	0,88
41	41-14-APT	1/2	1,80	0,165	1,24	0,88
42	42-14-APT	1/2	1,80	0,165	1,24	0,88
43	43-14-APT	1/2	1,80	0,165	1,24	0,88
44	44-15-PU	1/8	0,78	0,124	0,47	0,65
45	45-16-PU	1/8	0,78	0,124	0,06	0,07
46	46-17-SE	3 1/3	9,74	0,211	0,60	0,02
47	47-17-SE	2	5,70	0,165	1,74	0,80
48	48-18-SE	2	5,70	0,165	1,74	0,46
49	49-18-SE	2	5,70	0,165	1,74	0,82
50	50-18-SE	2	5,70	0,165	1,74	0,82
51	51-20-SE	2	5,70	0,165	1,74	0,71
52	52-20-SE	2	5,70	0,165	1,74	0,71
53	53-20-SE	2	5,70	0,165	1,74	0,80
54	54-21-SE	2	5,70	0,165	1,74	5,66
55	55-22-SE	1/8	0,78	0,124	0,06	0,12
56	56-23-APT	3 1/3	9,74	0,211	0,56	0,12
57	57-23-APT	2	5,70	0,165	1,63	1,92
58	58-24-PR	2 1/2	6,88	0,211	9,86	122,69
59	59-25-PR	1/8	0,78	0,124	1,51	1,87
60	60-26-PR	1 1/4	3,89	0,165	8,90	107,40

61	61-27-PR	1/8	0,78	0,124	0,47	0,21
62	62-28-PR	12	31,59	0,396	0,13	0,00
63	63-28-PR	6	16,27	0,277	0,49	0,08
64	64-29-PR	12	31,59	0,396	0,13	0,00
65	65-29-PR	6	16,27	0,277	0,48	0,07
66	66-30-PR	12	31,59	0,396	0,13	0,00
67	67-30-PR	6	16,27	0,277	0,48	0,44
68	68-31-PR	1	3,01	0,165	1,41	2,64
69	69-32-PR	4	11,01	0,211	9,95	51,66
70	70-33-PR	3/4	2,34	0,165	1,55	3,70
71	71-34-PR	10	26,62	0,340	10,21	24,99
72	72-35-AMP	8	21,35	0,277	0,39	0,00
73	73-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	4,94
74	74-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
75	75-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
76	76-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
77	77-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
78	78-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
79	79-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
80	80-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
81	81-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
82	82-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
83	83-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
84	84-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
85	85-35-AMP	3 1/3	9,74	0,211	1,86	0,60
86	86-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03

87	87-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
88	88-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
89	89-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
90	90-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
91	91-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
92	92-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
93	93-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
94	94-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
95	95-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
96	96-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
97	97-36-AMP	5	13,58	0,277	0,52	0,03
98	98-36-PR	5	13,58	0,277	0,52	0,41
99	99-36-PR	2 1/2	6,88	0,211	2,02	1,25
100	100-37-SE	3/4	2,34	0,165	1,73	12,04
101	101-38-PR	2 1/2	6,88	0,211	1,79	1,10
102	102-39-PR	3 1/3	9,74	0,211	0,52	0,04
103	103-39-PR	2	5,70	0,165	1,52	2,11
104	104-40-PR	3	8,47	0,211	0,49	0,07
105	105-40-PR	1 1/2	4,50	0,165	1,75	3,00
106	106-41-PR	2	5,70	0,165	1,20	0,35
107	107-42-PR	1 1/4	3,89	0,165	1,67	0,60
108	108-43-PR	2	5,70	0,165	1,63	0,64
109	109-44-PR	2	5,70	0,165	1,31	0,29
110	110-45-AMP	6	16,27	0,277	0,48	0,01
111	111-45-AMP	3	8,47	0,211	1,78	1,75
112	112-45-AMP	3	8,47	0,211	1,78	0,53

113	113-45-AMP	3	8,47	0,211	1,78	0,53
114	114-46-AMP	1/8	0,78	0,124	0,06	0,01
115	115-46-AMP	1/8	0,78	0,124	0,06	0,01
116	116-46-AMP	1/8	0,78	0,124	0,06	0,07
117	117-46-SE	1/8	0,78	0,124	0,06	0,01
118	118-47-SE	2	5,70	0,165	1,74	1,61
119	119-48-SE	24	59,85	0,554	22,70	49,87
120	120-49-SE	12	31,59	0,396	10,88	10,37
121	121-50-APT	4	11,01	0,211	0,58	0,06
122	122-50-APT	2 1/2	6,88	0,211	1,49	1,56
123	123-51-APT	8	21,35	0,277	0,59	0,03
124	124-51-APT	8	21,35	0,277	0,59	0,03
125	125-51-APT	8	21,35	0,277	0,59	0,03
126	126-51-APT	8	21,35	0,277	0,59	0,03
127	127-51-APT	8	21,35	0,277	0,59	0,03
128	128-51-APT	8	21,35	0,277	0,59	0,03
129	129-51-APT	8	21,35	0,277	0,59	0,27
130	130-51-APT	5	13,58	0,277	1,46	0,28

En las tablas anteriores se han incluido las pérdidas de carga de cada tramo, considerando la longitud efectiva del mismo y la longitud equivalente de los accesorios:

*Tabla 56. Longitudes equivalentes de los accesorios de las tuberías.*

<b>Válvula de asiento (abierta la mitad)</b>	475·D
<b>Válvula de compuerta (abierta)</b>	8.5·D
<b>Válvula de bola (abierta)</b>	4.8·D
<b>Válvula antirretorno (abierta)</b>	100·D
<b>Trampa de vapor</b>	15·D
<b>Codo 90°</b>	35·D
<b>Entrada T</b>	90·D
<b>Salida T</b>	60·D

La velocidad de flujo en cada tramo de la tubería se ha calculado con el diámetro nominal y el caudal en cada uno, datos que ya se conocen.

Se puede observar que para tramos situados en la misma corriente el diámetro y la velocidad varían, esto se debe a que las velocidades recomendadas varían si la tubería se encuentra en la zona de aspiración, en la de impulsión de una bomba, o si pertenecen a una línea de conducción. Para completar la información referente a los cálculos realizados para el diseño de las tuberías consultar los Anexos de la memoria.

## **2.9. Red de abastecimiento de agua potable**

En este apartado se van a explicar las características de la red de abastecimiento de agua potable en los distintos puntos de la instalación donde ésta se demande. La finalidad de la red de suministro de agua es garantizar que en todos los puntos de la instalación exista el caudal preciso, la presión conveniente y la calidad del agua requerida. De la acometida exterior a la planta, parte la red interior de distribución organizándose en distribuidores, ascendentes y derivaciones.

Para el diseño de la red de abastecimiento de agua potable se va a seguir el Código Técnico de la Edificación, y más concretamente el Documento Básico sobre Salubridad HS 4 referente al suministro de agua.

### **2.9.1. Caracterización y cuantificación de las exigencias**

La red de abastecimiento tendrá una serie de características y exigencias como son:

#### **2.9.1.1. Calidad del agua**

- El agua de la instalación debe cumplir lo establecido en la legislación vigente sobre el agua para consumo humano.
- Las compañías suministradoras facilitarán los datos de caudal y presión que servirán de base para el dimensionado de la instalación.
- Los materiales que se vayan a utilizar en la instalación, en relación con su afectación al agua que suministren, deben ajustarse a los siguientes requisitos:
  - Para las tuberías y accesorios deben emplearse materiales que no produzcan concentraciones de sustancias nocivas que excedan los valores permitidos por el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero.
  - No deben modificar las características organolépticas ni la salubridad del agua suministrada.
  - Deben ser resistentes a la corrosión interior.
  - Deben ser capaces de funcionar eficazmente en las condiciones de servicio previstas.
  - No deben presentar incompatibilidad electroquímica entre sí.
  - Deben ser resistentes a temperaturas de hasta 40 °C, y a las temperaturas exteriores de su entorno inmediato.
  - Deben ser compatibles con el agua suministrada y no deben favorecer la migración de sustancias de los materiales en cantidades que sean un riesgo para la salubridad y limpieza del agua de consumo humano.

- Su envejecimiento, fatiga, durabilidad y las restantes características mecánicas, físicas o químicas, no deben disminuir la vida útil prevista de la instalación.
- Para cumplir las condiciones anteriores pueden utilizarse revestimientos, sistemas de protección o sistemas de tratamiento de agua.
- La instalación de suministro de agua debe tener características adecuadas para evitar el desarrollo de gérmenes patógenos y no favorecer el desarrollo de la biocapa (biofilm).

#### **2.9.1.2. Protección contra retornos**

- Se dispondrán sistemas antirretorno para evitar la inversión del sentido del flujo en los puntos que figuran a continuación, así como en cualquier otro que resulte necesario:
  - Después de los contadores.
  - En la base de las ascendentes.
  - Antes del equipo de tratamiento de agua.
  - En los tubos de alimentación no destinados a usos domésticos.
  - Antes de los aparatos de refrigeración o climatización.
- Las instalaciones de suministro de agua no podrán conectarse directamente a instalaciones de evacuación ni a instalaciones de suministro de agua proveniente de otro origen que la red pública.
- En los aparatos y equipos de la instalación, la llegada de agua se realizará de tal modo que no se produzcan retornos.
- Los dispositivos antirretorno se dispondrán combinados con grifos de vaciado de forma que siempre sea posible vaciar cualquier tramo de la red.

#### **2.9.1.3. Condiciones mínimas de suministro**

- La instalación debe suministrar a los aparatos y equipos del equipamiento higiénico los caudales que figuran en la tabla 57:

Tabla 57. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato. CTE HS 4 (2006)

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm <sup>3</sup> /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm <sup>3</sup> /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con sistema (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

- En los puntos de consumo la presión mínima debe ser:
  - 100 kPa para grifos comunes.
  - 150 kPa para fluxores y calentadores.
- La presión en cualquier punto de consumo no debe superar los 500 kPa.
- La temperatura del ACS en los puntos de consumo debe estar comprendida entre 50 °C y 65 °C, excepto en las instalaciones ubicadas en edificios dedicados a uso exclusivo de vivienda siempre que estas no afecten al ambiente exterior de dichos edificios.

#### 2.9.1.4. Mantenimiento

- Los elementos y equipos de la instalación que lo requieran, tales como el grupo de presión, los sistemas de tratamiento de agua o los contadores, deben instalarse en locales cuyas dimensiones sean suficientes para que pueda llevarse a cabo su mantenimiento adecuadamente.
- Las redes de tuberías deben diseñarse de tal forma que sean accesibles para su mantenimiento y reparación, para lo cual deben estar a la vista, alojadas en huecos registrables o disponer de arquetas o registros.

### **2.9.1.5. Señalización**

- Si se dispone una instalación para suministrar agua que no sea apta para el consumo, las tuberías, los grifos y los demás puntos terminales de esta instalación deben estar adecuadamente señalados para que puedan ser identificados como tales de forma fácil e inequívoca.

### **2.9.1.6. Ahorro de agua**

- Debe disponerse un sistema de contabilización tanto de agua fría como de agua caliente para cada unidad de consumo individualizable.
- En las redes de ACS debe disponerse una red de retorno cuando la longitud de la tubería de ida al punto de consumo más alejado sea igual o mayor que 15 m.
- En las zonas de pública concurrencia de los edificios, los grifos de los lavabos y las cisternas deben estar dotados de dispositivos de ahorro de agua.

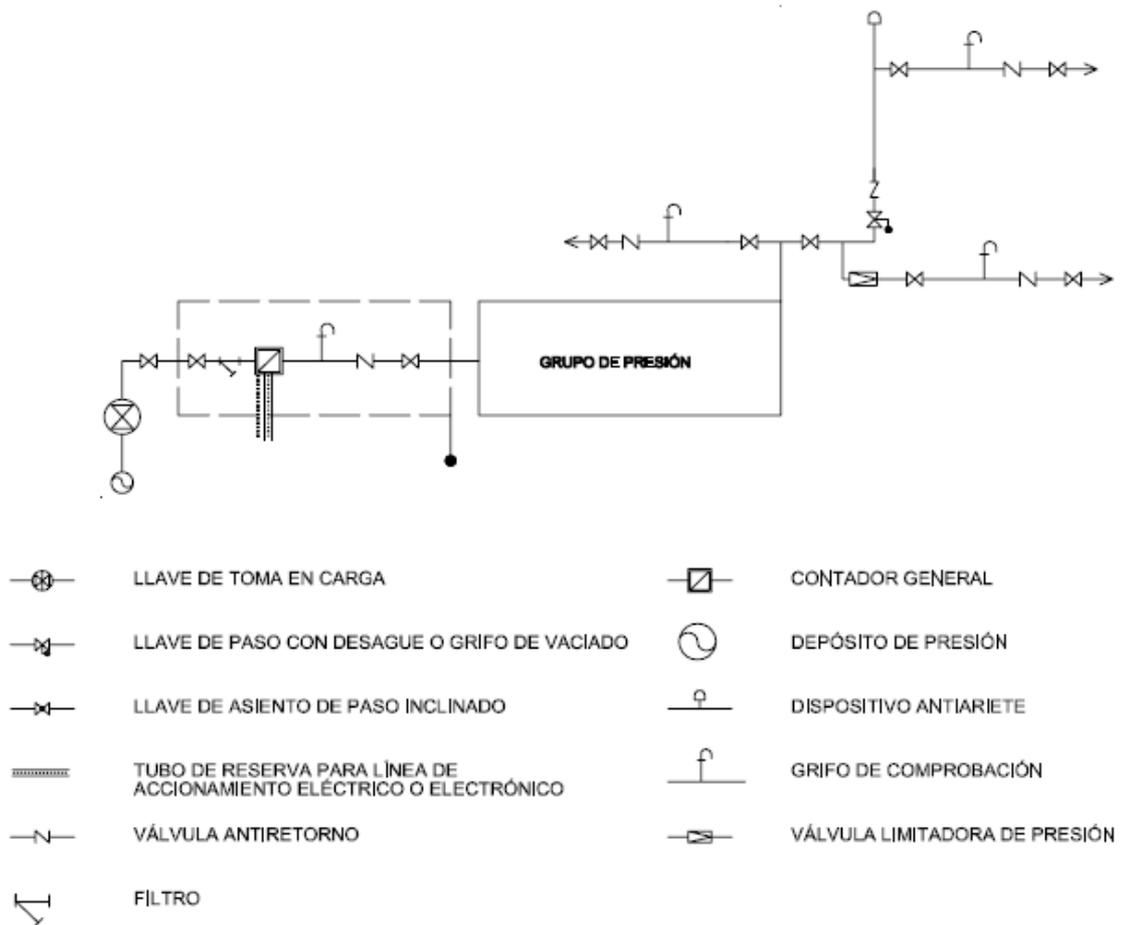
Teniendo en cuenta todas estas exigencias, se procederá al diseño de la red de abastecimiento.

## **2.9.2. Diseño**

### **2.9.2.1. Red de abastecimiento de agua fría**

La instalación de suministro de agua fría se compone de una acometida, una instalación general, las derivaciones y el grupo de presión en caso de necesidad. En este caso, la red tendrá un contador general único para la red de agua potable y otro para la red de agua de proceso. El esquema de la instalación se muestra en la figura 8:

Figura 8. Esquema de red con contador general. CTE HS 4 (2006)

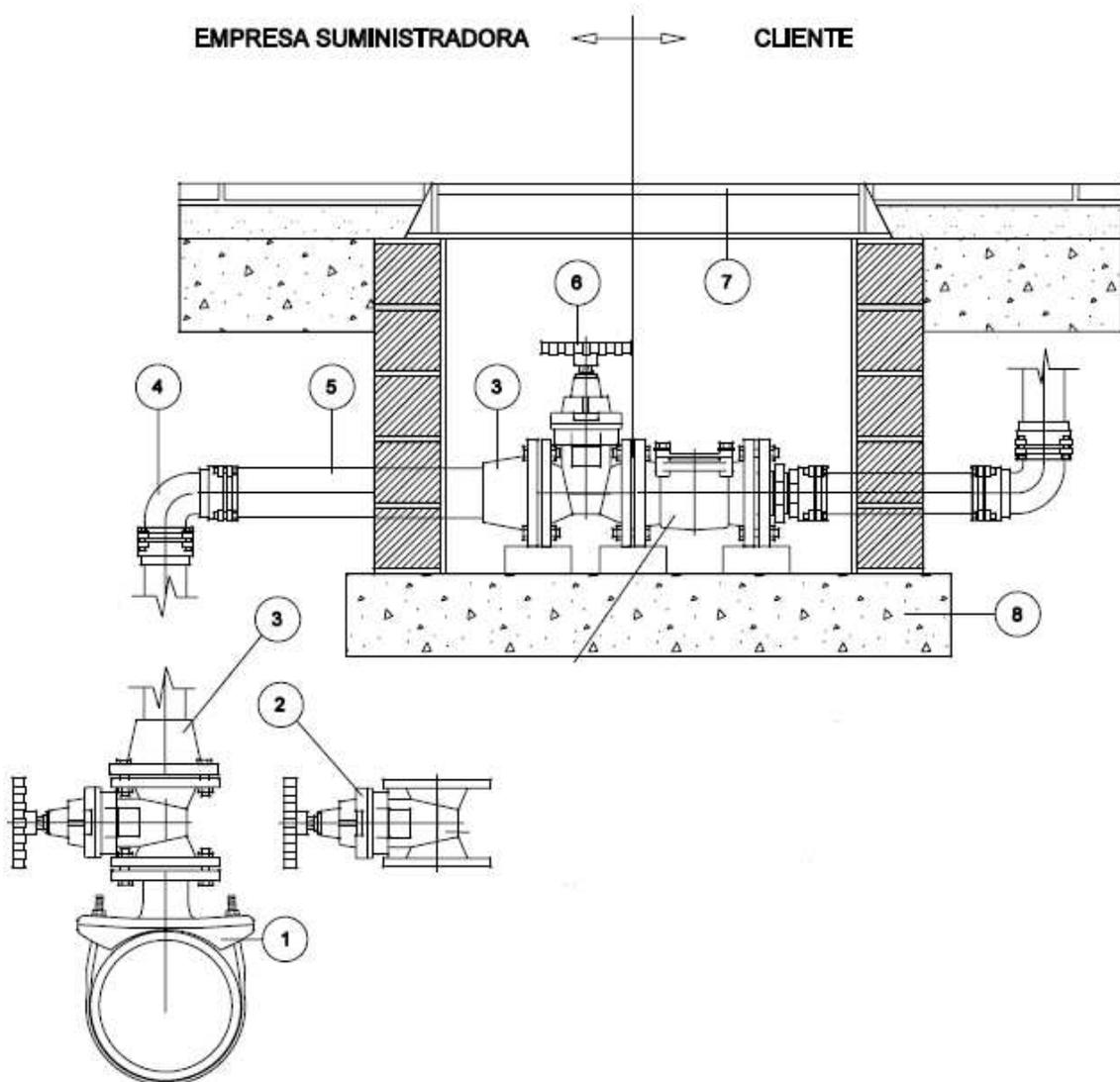


En cada zona de la instalación se debe disponer de:

- **Acometida:**

La figura 9 muestra el esquema de la acometida recomendado por la empresa suministradora, Aquagest Región de Murcia.

Figura 9. Esquema de la acometida según la empresa suministradora.



La acometida debe disponer, como mínimo, de los elementos siguientes:

- Una llave de toma o un collarín de toma en carga (1), sobre la tubería de distribución de la red exterior de suministro que abra el paso a la acometida.
- Un tubo de acometida (5) que enlace la llave de toma (2) con la llave de corte general (6).
- Una llave de corte (6) en el exterior de la propiedad.

- Instalación general:**

La instalación general debe contener los siguientes elementos:

- *Llave de corte general.* La llave de corte general servirá para interrumpir el suministro al edificio, y estará situada dentro de la propiedad, en una zona de uso común, accesible para su manipulación y señalada adecuadamente para permitir su identificación. Si se dispone de arqueta del contador general, se alojará en su interior.

- *Filtro de la instalación general.* El filtro de la instalación general debe retener los residuos del agua que puedan dar lugar a corrosiones en las canalizaciones metálicas. Se instalará a continuación de la llave de corte general. Si se dispone de arqueta del contador general, debe alojarse en su interior. El filtro debe ser de tipo Y con un umbral de filtrado comprendido entre 25 y 50  $\mu\text{m}$ , con malla de acero inoxidable y baño de plata, para evitar la formación de bacterias y autolimpiable. La situación del filtro debe ser tal que permita realizar adecuadamente las operaciones de limpieza y mantenimiento sin necesidad de corte del suministro.

- *Armario o arqueta del contador general.* El armario o arqueta del contador general contendrá, dispuestos en este orden, la llave de corte general, un filtro de la instalación general, el contador, una llave, grifo o racor de prueba, una válvula de retención y una llave de salida. Su instalación debe realizarse en un plano paralelo al del suelo. La llave de salida debe permitir la interrupción del suministro al edificio. La llave de corte general y la de salida servirán para el montaje y desmontaje del contador general.

- *Tubo de alimentación.* El trazado del tubo de alimentación debe realizarse por zonas de uso común. En caso de ir empotrado deben disponerse registros para su inspección y control de fugas, al menos en sus extremos y en los cambios de dirección.

- *Distribuidor principal.* El trazado del distribuidor principal debe realizarse por zonas de uso común. En caso de ir empotrado deben disponerse registros para su inspección y control de fugas, al menos en sus extremos y en los cambios de dirección. Debe adoptarse la solución de distribuidor en anillo en edificios tales como los de uso sanitario, en los que en caso de avería o reforma el suministro interior deba quedar garantizado. Deben disponerse llaves de corte en todas las derivaciones, de tal forma que en caso de avería en cualquier punto no deba interrumpirse todo el suministro.

- *Ascendentes o montantes.* Las ascendentes o montantes deben discurrir por zonas de uso común del mismo. Deben ir alojadas en recintos o huecos, construidos a tal fin. Dichos recintos o huecos, que podrán ser de uso compartido solamente con otras instalaciones de agua del edificio, deben ser registrables y tener las dimensiones suficientes para que puedan realizarse las operaciones de mantenimiento. Las ascendentes deben disponer en su base de una válvula de retención, una llave de corte para las operaciones de mantenimiento, y de una llave de paso con grifo o tapón de vaciado, situadas en zonas de fácil acceso y señaladas de forma conveniente. La válvula de retención se dispondrá en primer lugar, según el sentido de circulación del agua. En su parte superior deben instalarse dispositivos de purga, automáticos o manuales, con un separador o cámara que reduzca la velocidad del agua facilitando la salida del aire y disminuyendo los efectos de los posibles golpes de ariete.

Los dispositivos acoplados a la red de abastecimiento deben estar instalados de manera que se impida el retorno del agua que sale de ella. Por ejemplo, todos los aparatos que se alimentan directamente de la distribución de agua tales como duchas, lavabos, fregaderos y, en general, en todos los tanques de almacenamiento de agua el nivel inferior de llegada del agua debe verter a 20 mm, por lo menos, por encima del borde superior del borde del recipiente.

Las tuberías deben ir por debajo de cualquier canalización o elemento que contenga dispositivos eléctricos o electrónicos, así como de cualquier red de telecomunicaciones, guardando una distancia en paralelo de al menos 30 cm.

Las tuberías de agua de consumo humano se señalarán con los colores verde oscuro o azul.

Los grifos contarán con dispositivos de ahorro de agua. Se usarán grifos con pulsador temporizador.

- **Grupos de presión:**

Se instalarán si la presión en algún punto de consumo es inferior a la permitida.

El grupo de presión debe diseñarse de tal manera que se pueda suministrar a zonas de la planta alimentables con presión de red, sin necesidad de la puesta en marcha del grupo.

Se instala entre el armario del contador general y las tuberías de distribución general. Consta de:

- *Depósito auxiliar de alimentación.* Evita la toma de agua directa por el equipo de bombeo.

- *Equipo de bombeo.* Compuesto, como mínimo, de dos bombas de iguales prestaciones y funcionamiento alterno, montadas en paralelo.

- *Depósitos de presión con membrana.* Conectados a dispositivos suficientes de valoración de los parámetros de presión de la instalación, para su puesta en marcha y parada automáticas.

El grupo de presión se instalará en un local de uso exclusivo que podrá albergar también el sistema de tratamiento de agua. Las dimensiones de dicho local serán suficientes para realizar las operaciones de mantenimiento.

Deben instalarse válvulas limitadoras de presión en el ramal o derivación pertinente para que no se supere la presión de servicio máxima establecida.

Cuando se prevean incrementos significativos en la presión de red deben instalarse válvulas limitadoras de tal forma que no se supere la presión máxima de servicio en los puntos de utilización.

Las bombas no deben conectarse directamente a las tuberías de llegada del agua de suministro, sino que deben alimentarse desde un depósito, excepto cuando vayan equipadas con los dispositivos de protección que impidan que se produzca depresión en la red.

### **2.9.2.2. Instalación de agua caliente sanitaria (ACS)**

En el diseño de la instalación de ACS deben aplicarse condiciones análogas a las de las redes de agua fría.

La instalación de ACS cumplirá con la contribución mínima de energía solar para la producción de ACS, de acuerdo con lo dispuesto en la sección HE-4 del DB-HE del Código Técnico de la Edificación.

Tanto en instalaciones individuales como en instalaciones de producción centralizada, la red de distribución debe estar dotada de una red de retorno cuando la

longitud de la tubería de ida al punto de consumo más alejado sea igual o mayor de 15 m. La red de retorno se compondrá de:

- *Un colector de retorno* en las distribuciones por grupos múltiples de columnas. El colector debe tener canalización con pendiente descendente desde el extremo superior de las columnas de ida hasta la columna de retorno. Cada colector puede recoger todas o varias de las columnas de ida que tengan igual presión.

- *Columnas de retorno.* Desde el extremo superior de las columnas de ida, o desde el colector de retorno, hasta el acumulador o calentador centralizado.

Estas redes de retorno discurrirán paralelamente a las de impulsión.

Se dispondrá una bomba de recirculación doble, de montaje paralelo o “gemelas”, funcionando de forma alterna. En el caso de las instalaciones individuales podrá estar incorporada al equipo de producción.

Para soportar adecuadamente los movimientos de dilatación por efectos térmicos deben tomarse las precauciones siguientes:

- En las *distribuciones principales* deben disponerse las tuberías y sus anclajes de tal modo que dilaten libremente, según lo establecido en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE para las redes de calefacción.

- En los *tramos rectos* se considerará la dilatación lineal del material, previendo dilatadores si fuera necesario, cumpliéndose para cada tipo de tubo las distancias que se especifican en el Reglamento antes citado.

Para el aislamiento de las redes de tuberías de ACS, tanto en impulsión como en retorno, se utilizará una espuma elastómera que se ajusta a lo dispuesto en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE.

En las instalaciones de ACS se regulará y se controlará la temperatura de preparación y la de distribución.

En las instalaciones individuales los sistemas de regulación y de control de la temperatura estarán incorporados a los equipos de producción y preparación. El control sobre la recirculación en sistemas individuales con producción directa será tal que pueda recircularse el agua sin consumo hasta que se alcance la temperatura adecuada.

Las calderas de vapor o de agua caliente con sobrepresión no se empalmarán directamente a la red pública de distribución. Cualquier dispositivo o aparato de alimentación que se utilice partirá de un depósito, para el que se cumplirán las anteriores disposiciones.

El tendido de las tuberías de agua fría debe hacerse de tal modo que no resulten afectadas por los focos de calor y, por consiguiente, deben discurrir siempre separadas de las canalizaciones de ACS a una distancia de 4 cm, como mínimo. Cuando las dos tuberías estén en un mismo plano vertical, la de agua fría debe ir siempre por debajo de la de agua caliente.

Las tuberías deben ir por debajo de cualquier canalización o elemento que contenga dispositivos eléctricos o electrónicos, así como de cualquier red de telecomunicaciones, guardando una distancia en paralelo de al menos 30 cm.

Respecto a las conducciones de gas se guardará al menos una distancia de 3 cm.

### **2.9.2.3. Material**

El material utilizado en las conducciones de abastecimiento de agua potable debe tener las características adecuadas en cuanto a resistencia mecánica, química y microbiológica para cumplir con los requerimientos. Concretamente, debe ajustarse a los siguientes requisitos:

- Para las tuberías y accesorios deben emplearse materiales que no produzcan concentraciones de sustancias nocivas que excedan los valores permitidos por el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero.
- No deben modificar las características organolépticas ni la salubridad del agua suministrada.
- Deben ser resistentes a la corrosión interior.
- Deben ser capaces de funcionar eficazmente en las condiciones de servicio previstas.
- No deben presentar incompatibilidad electroquímica con otro material empleado en la instalación.
- Deben ser resistentes a temperaturas de hasta 40 °C, y a las temperaturas exteriores de su entorno inmediato sin presentar daños ni deterioro.
- Deben ser compatibles con el agua suministrada y no deben favorecer la migración de sustancias de los materiales en cantidades que sean un riesgo para la salubridad y limpieza del agua de consumo humano.
- Su envejecimiento, fatiga, durabilidad y las restantes características mecánicas, físicas o químicas, no deben disminuir la vida útil prevista de la instalación.

El material que utilizaremos para la construcción de la red de abastecimiento de agua potable será acero galvanizado, según se indica en la norma UNE 19047:1996 “Tubos de acero soldados y galvanizados para instalaciones interiores de agua fría y caliente”.

### **2.9.2.4. Nomenclatura**

Se van a nombrar los distintos tramos de la red de la siguiente manera:

Zona de la red-Número

Las distintas zonas de la red se designarán con letras mayúsculas de la siguiente forma:

*Tabla 58. Nomenclatura de la red de abastecimiento de agua potable.*

Red general de distribuidores	G
Almacén de materias primas (agua)	AL2
Almacén de materias primas (disolvente)	AL3
Almacén de producto terminado	AL1
Almacén de residuos	AL4
Sección de producción	PR
Sección de separación	S
Sección de purificación	PU
Edificio de administración y personal	AP
Vestuarios y servicios sanitarios	VS
Edificio de control	CL
Edificio de mantenimiento y taller	MT

### **2.9.3. Dimensionamiento**

Se va a dimensionar la red de abastecimiento de agua potable tal y como se especifica en el apartado anterior.

En primer lugar hay que establecer los puntos de consumo y el caudal de agua demandado en cada uno según lo indicado en la tabla 57. El resultado se muestra en la tabla 59:

Tabla 59. Caudal instantáneo mínimo en los puntos de consumo.

Ubicación	Punto de consumo	Caudal instantáneo mínimo (L/s)
Almacén AL2	Alimentación T-202	18
	Grifo garaje	0.20
Almacén AL3	Grifo garaje	0.20
Almacén AL1	Grifo garaje x 2	0.40
Almacén AL4	Grifo garaje	0.20
Edificio PR	Grifo garaje x 2	0.40
Edificio S	Grifo garaje x 2	0.40
Edificio PU	Grifo garaje x 2	0.40
Edificio AP	Lavabo x 10	1
	Inodoro con cisterna x 10	1
	Urinarios con grifo temporizado x 6	0.9
	Fregadero doméstico	0.20
	Grifo aislado x 2	0.30
Edificio VS	Lavabo x 6	0.60
	Lavamanos	0.05
	Inodoro con cisterna x 8	0.80
	Ducha x 11	2.2
Edificio CL	Fregadero no doméstico x 4	1.2
Edificio MT	Lavabo	0.10
	Inodoro con cisterna	0.10
	Urinarios con grifo temporizado	0.15
	Grifo garaje	0.20

Se ha incluido como punto de consumo la alimentación a los tanques de almacenamiento de agua de refrigeración para el proceso, T-202. En este caso, el caudal viene fijado por el diseño del proceso de producción.

A partir de estos caudales mínimos en los puntos de consumo se dimensionan las tuberías, teniendo en cuenta los diámetros mínimos permitidos por el Reglamento, que podemos ver en las tablas 60 y 61:

Tabla 60. Diámetros mínimos de derivaciones a los aparatos. CTE HS 4 (2006)

Aparato o punto de consumo	Diámetro nominal del ramal de enlace	
	Tubo de acero (")	Tubo de cobre o plástico (mm)
Lavamanos	1/2	12
Lavabo, bidé	1/2	12
Ducha	1/2	12
Bañera <1,40 m	3/4	20
Bañera >1,40 m	3/4	20
Inodoro con cisterna	1/2	12
Inodoro con fluxor	1- 1 1/2	25-40
Urinario con grifo temporizado	1/2	12
Urinario con cisterna	1/2	12
Fregadero doméstico	1/2	12
Fregadero industrial	3/4	20
Lavavajillas doméstico	1/2 (rosca a 3/4)	12
Lavavajillas industrial	3/4	20
Lavadora doméstica	3/4	20
Lavadora industrial	1	25
Vertedero	3/4	20

Tabla 61. Diámetros mínimos de alimentación. CTE HS 4 (2006)

Tramo considerado	Diámetro nominal del tubo de alimentación	
	Acero (")	Cobre o plástico (mm)
Alimentación a cuarto húmedo privado: baño, aseo, cocina.	3/4	20
Alimentación a derivación particular: vivienda, apartamento, local comercial	3/4	20
Columna (montante o descendente)	3/4	20
Distribuidor principal	1	25
< 50 kW	1/2	12
Alimentación equipos de climatización 50 - 250 kW	3/4	20
250 - 500 kW	1	25
> 500 kW	1 1/4	32

### 2.9.3.1. Red de abastecimiento de agua fría

En la tabla 62 se muestran las características principales de cada tramo:

Tabla 62. Tramos de la red de abastecimiento de agua fría.

Ubicación	Tramo	Caudal de cálculo, L/s	DN, pulg.	D externo, cm	L total, m	H, m.c.l.
<b>Edificio AL2</b>	AL2-1/G <sup>1</sup> -1	18,00	5	14,13	306,21	3,12
	AL2-2/G-8	0,20	1/2	2,13	76,71	4,06
<b>Edificio AL3</b>	AL3-1/G-8	0,20	1/2	2,13	19,21	1,02
<b>Edificio AL1</b>	AL1-1/AL1-2	0,20	1/2	2,13	1,44	0,08
	AL1-1/AL1-3	0,20	1/2	2,13	18,75	0,99
<b>Edificio AL4</b>	AL4-1/G-9	0,20	1/2	2,13	28,34	1,50
<b>Edificio PR</b>	PR-1/PR-2	0,20	1/2	2,13	1,44	0,08
	PR-1/PR-3	0,20	1/2	2,13	74,68	3,95
<b>Edificio S</b>	S-1/S-2	0,20	1/2	2,13	1,44	0,08
	S-1/S-3	0,20	1/2	2,13	56,41	2,99
<b>Edificio PU</b>	PU-1/PU-2	0,20	1/2	2,13	1,44	0,08
	PU-1/PU-3	0,20	1/2	2,13	69,23	3,67
<b>Edificio AP</b>	AP-3/AP-19	0,15	3/8	1,71	3,89	0,45
	AP-4/AP-18	0,49	3/4	2,67	12,68	0,97
	AP-5/AP-17	0,19	1/2	2,13	8,56	0,42
	AP-6/AP-16	0,31	1/2	2,13	11,60	1,37
	AP-10/AP-11	0,15	3/8	1,71	4,75	0,54
	AP-10/AP-12	0,49	3/4	2,67	12,68	0,97
	AP-9/AP-13	0,19	1/2	2,13	8,56	0,42
	AP-8/AP-14	0,31	1/2	2,13	11,60	1,37
	AP-7/AP-15	0,20	1/2	2,13	15,16	0,80
	AP-9/AP-10	0,64	1 1/4	4,22	2,28	0,02
	AP-8/AP-9	0,83	1 1/4	4,22	0,75	0,01
	AP-7/AP-8	1,15	1 1/4	4,22	2,04	0,06
	AP-6/AP-7	1,35	2	6,03	5,79	0,04
	AP-5/AP-6	1,66	2	6,03	0,75	0,01
	AP-4/AP-5	1,85	2	6,03	2,28	0,02
	AP-3/AP-4	2,34	2	6,03	2,03	0,03
	AP-1/AP-3	2,49	2	6,03	1,49	0,03
	AP-2/AP-3	0,00	---	---	---	---
	AP-1/AP-2	0,95	1 1/4	4,22	0,65	0,01
<b>Edificio VS</b>	VS-3/VS-7	0,77	1	3,34	21,50	1,08
	VS-4/VS-5	0,73	1	3,34	20,33	0,91
	VS-4/VS-6	0,05	1/8	1,03	11,65	3,06
	VS-4/VS-3	0,78	1	3,34	7,58	0,38
	VS-1/VS-3	0,78	1	3,34	5,35	0,27
	VS-2/VS-3	0,00	---	---	---	---
	VS-1/VS-2	0,73	1	3,34	2,50	0,11

<b>Edificio CL</b>	CL-1/CL-3	0,30	1/2	2,13	8,75	0,97
	CL-2/CL-4	0,30	1/2	2,13	1,44	0,16
	CL-2/CL-5	0,30	1/2	2,13	1,44	0,16
	CL-1/CL-6	0,30	1/2	2,13	8,75	0,97
	CL-1/CL-2	0,60	1	3,34	1,20	0,04
<b>Edificio MT</b>	MT-1/MT-3	0,29	1/2	2,13	15,78	1,59
	MT-1/MT-2	0,20	1/2	2,13	1,44	0,08
<b>Derivación colectiva</b>	AL2-2/G-8	0,20	1/2	2,13	76,71	4,06
	AL3-1/G-8	0,20	1/2	2,13	19,21	1,02
	S-1/G-7	0,40	3/4	2,67	14,66	0,77
	VS-1/G-6	1,50	1 1/2	4,83	16,34	0,39
	AP-1/G-5	3,44	2 1/2	7,30	48,39	0,65
	CL-1/G-4	1,20	1 1/4	4,22	2,03	0,06
	MT-1/G-3	0,49	3/4	2,67	8,06	0,60
	PR-1/G-10	0,40	3/4	2,67	114,15	5,97
	AL1-1/G-10	0,40	3/4	2,67	19,93	1,04
	AL4-1/G-9	0,20	1/2	2,13	28,34	1,94
	PU-1/G-2	0,40	3/4	2,67	37,43	1,96
<b>Distribuidor general</b>	G-8/G-7	0,40	3 1/3	10,16	20,05	0,00
	G-7/G-6	0,80	3 1/3	10,16	31,09	0,01
	G-6/G-5	2,30	3 1/3	10,16	24,38	0,03
	G-5/G-4	5,74	3 1/3	10,16	20,88	0,13
	G-4/G-3	6,94	3 1/3	10,16	20,05	0,18
	G-3/G-2	7,43	3 1/3	10,16	20,04	0,20
	G-10/G-9	0,80	1 1/4	4,22	63,96	0,98
	G-9/G-2	1,00	1 1/4	4,22	7,98	0,18
	G-2/G-1	8,83	3 1/3	10,16	109,40	1,50
	AL2-1/G <sup>1</sup> -1	18,00	5	14,13	306,21	3,12

Para aclarar la situación de cada tramo se puede consultar el plano de abastecimiento.

Los enlaces con cada uno de los puntos de consumo tendrán las siguientes dimensiones:

Tabla 63. Diámetro de los puntos de consumo.

Punto de consumo	DN, pulgadas
Grifo garaje	1/2
Grifo aislado	1/2
Inodoro con cisterna	1/2
Lavabo	1/2
Urinario con grifo temporizado	1/2
Fregadero doméstico	1/2
Ducha	1/2
Lavamanos	1/2
Fregadero no doméstico	1/2

Una vez dimensionados todos los tramos de tuberías hay que comprobar la presión disponible en los puntos de consumo. Esta operación se va a hacer en el punto de consumo más desfavorable de cada edificio. De esta manera, en el caso de necesitarse un grupo de presión, se comprobará si se puede suministrar a algún edificio con la presión de la red en la acometida, sin necesidad de activar el grupo de presión.

Tabla 64. Comprobación de la presión de suministro.

Ubicación	Punto más desfavorable	Pérdida de carga, m.c.l.	Presión final, kPa	Necesidad de grupo de presión	Supera la presión máxima
Almacén AL2	AL2-1	3,12	263,65	No	No
Almacén AL2	AL2-2	7,10	224,60	No	No
Almacén AL3	AL3-1	4,06	254,47	No	No
Almacén AL1	AL1-3	5,70	238,37	No	No
Almacén AL4	AL4-1	4,62	248,97	No	No
Edificio PR	PR-3	13,59	160,98	No	No
Edificio S	S-3	6,79	227,64	No	No
Edificio PU	PU-3	8,12	214,62	No	No
Edificio AP	AP-12	8,85	207,49	No	No
Edificio VS	VS-6	7,14	224,24	No	No
Edificio CL	CL-3	3,90	255,97	No	No

Queda comprobado que no se necesita un grupo de presión en la planta ya que todas las presiones en los puntos más desfavorables de cada edificio están por encima de 100 kPa.

La presión en el punto de consumo con menor pérdida de carga en toda la planta es de 263.65 kPa. De esta manera queda también comprobado que no se van a necesitar reductores de presión, por no superarse en ningún punto de consumo la presión máxima permitida de 500 kPa.

### 2.9.3.2. Red de agua caliente sanitaria (ACS)

Para el dimensionamiento de las redes de impulsión o ida de ACS se seguirá el mismo procedimiento que para el cálculo de la red de abastecimiento de agua fría. Las características de cada tramo se muestran a continuación:

Tabla 65. Tramos de la red de abastecimiento de ACS.

Ubicación	Tramo	Caudal de cálculo, L/s	DN, pulg.	D externo final, cm	L total, m	H, m.c.l.
<b>Edificio AP</b>	AP-3/AP-19	0,10	1/4	1,37	3,46	0,77
	AP-4/AP-18	0,13	1/2	2,13	8,81	0,22
	AP-5/AP-17	0,06	1/2	2,13	4,64	0,03
	AP-6/AP-16	0,13	1/2	2,13	8,81	0,22
	AP-10/AP-11	0,10	1/4	1,37	6,28	1,40
	AP-10/AP-12	0,13	1/2	2,13	8,81	0,22
	AP-9/AP-13	0,06	1/2	2,13	4,64	0,03
	AP-8/AP-14	0,13	1/2	2,13	8,81	0,22
	AP-7/AP-15	0,10	1/4	1,37	14,94	3,32
	AP-9/AP-10	0,23	3/4	2,67	2,28	0,04
	AP-8/AP-9	0,292	3/4	2,67	0,75	0,02
	AP-7/AP-8	0,424	3/4	2,67	2,04	0,12
	AP-6/AP-7	0,524	1 1/4	4,22	5,79	0,04
	AP-5/AP-6	0,656	1 1/4	4,22	0,75	0,01
	AP-4/AP-5	0,72	1 1/4	4,22	2,28	0,03
	AP-3/AP-4	0,85	1 1/4	4,22	2,81	0,05
AP-2/AP-3	0,95	1 1/4	4,22	0,93	0,02	
<b>Edificio VS</b>	VS-3/VS-7	0,48	3/4	2,67	17,29	1,24
	VS-4/VS-5	0,44	3/4	2,67	17,80	1,10
	VS-4/VS-6	0,03	1/8	1,03	11,65	1,23
	VS-4/VS-3	0,47	3/4	2,67	7,58	0,53
	VS-2/VS-3	0,47	3/4	2,67	6,51	0,45

Una vez dimensionados todos los tramos de tuberías de ACS hay que comprobar la presión disponible en los puntos de consumo. Esta operación se va a hacer en el punto de consumo más desfavorable de cada edificio.

Tabla 66. Comprobación de la presión de suministro.

Ubicación	Punto más desfavorable	Pérdida de carga, m.c.l.	Presión final, kPa	Necesidad de grupo de presión	Supera la presión máxima
Edificio AP	AP-11	7,86	217,15	No	No
Edificio VS	VS-6	4,88	246,36	No	No

El punto de consumo de mayor pérdida de carga es el AP-11, en el que la presión de suministro es de 217.15 kPa. Queda comprobado, por tanto, que no se necesitarán grupos de presión para asegurar una presión mínima de suministro, no siendo tampoco necesario el empleo de reductores de presión.

- **Dimensionamiento de la red de retorno de ACS:**

Para seleccionar el diámetro de la tubería de la red de retorno se va a considerar que se recircula el 10 % del agua de alimentación, como mínimo. En función del caudal de recirculación obtenido se seleccionará el diámetro de la tubería de la siguiente tabla:

Tabla 67. Relación entre el diámetro de tubería y el caudal de ACS recirculado. CTE HS 4 (2006)

Diámetro de la tubería (pulgadas)	Caudal recirculado (Vh)
½	140
¾	300
1	600
1 ¼	1.100
1 ½	1.800
2	3.300

El 10 % del caudal de alimentación de ACS equivale a 342 L/h, con lo que el diámetro de la red de retorno será de 1 pulgada.

- **Cálculo del aislamiento térmico:**

La temperatura del ACS en los puntos de consumo debe estar comprendida entre los 50 °C y los 65 °C.

El espesor del aislamiento de las conducciones, tanto en la ida como en el retorno, se dimensionará de acuerdo a lo indicado en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC. Según este reglamento, las conducciones con una temperatura superior a 40 °C deben estar aisladas y las pérdidas globales de las conducciones no superarán el 4 % de la

potencia que transportan. El espesor del aislamiento de las redes de retorno se calculará del mismo modo que el de las redes de impulsión.

Se seguirá el procedimiento simplificado para el cálculo del espesor del aislante. El RITE aporta unas tablas en las que se indica el espesor adecuado en función del diámetro de la tubería y la temperatura para un material aislante y un material de referencia, con una conductividad térmica de 0.04 W/(m·K):

*Tabla 68. Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios. RITE (2007)*

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido ( °C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
D ≤ 35	25	25	30
35 < D ≤ 60	30	30	40
60 < D ≤ 90	30	30	40
90 < D ≤ 140	30	40	50
140 < D	35	40	50

Para las redes de ACS se aumentará en 5 mm el espesor indicado en la tabla 68. El espesor del aislamiento del acumulador será mayor que el indicado en la tabla para diámetros superiores a 140 pulgadas.

Se va a usar una espuma elastómera como material aislante, con una conductividad térmica de 0.035 W/(m·K). En este caso, además de la tabla será necesario utilizar una ecuación que relaciona el espesor adecuado del material de referencia con el de otro material:

$$d = \frac{D}{2} \cdot \left[ \exp \left( \frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \cdot \ln \frac{D + 2 \cdot d_{ref}}{D} \right) - 1 \right]$$

donde:

- d es el espesor mínimo del material empleado, mm
- D es el diámetro interior del material aislante, coincidente con el diámetro exterior de la tubería, mm.
- λ es la conductividad térmica del material empleado, 0.035 W/(m·K)
- λ<sub>ref</sub> es la conductividad térmica de referencia, 0.04 W/(m·K) a 10 °C
- d<sub>ref</sub> es el espesor mínimo de referencia, 30 ó 35 mm según el tramo (se le suma 5 mm al indicado en la tabla por ser una red de ACS)

Aplicando esta ecuación se obtiene la tabla 69:

Tabla 69. Espesores de aislamiento en la red de ACS.

Tramo	D interno aislante, mm	$d_{ref}$ , mm	Espesor aislante, mm
AP-3/AP-19	13,72	30	23,01
AP-4/AP-18	21,34	30	23,74
AP-5/AP-17	21,34	30	23,74
AP-6/AP-16	21,34	30	23,74
AP-10/AP-11	13,72	30	23,01
AP-10/AP-12	21,34	30	23,74
AP-9/AP-13	21,34	30	23,74
AP-8/AP-14	21,34	30	23,74
AP-7/AP-15	13,72	30	23,01
AP-9/AP-10	26,67	30	24,06
AP-8/AP-9	26,67	30	24,06
AP-7/AP-8	26,67	30	24,06
AP-6/AP-7	42,16	35	28,54
AP-5/AP-6	42,16	35	28,54
AP-4/AP-5	42,16	35	28,54
AP-3/AP-4	42,16	35	28,54
AP-2/AP-3	42,16	35	28,54
VS-3/VS-7	26,67	30	24,06
VS-4/VS-5	26,67	30	24,06
VS-4/VS-6	10,29	30	22,50
VS-4/VS-3	26,67	30	24,06
VS-2/VS-3	26,67	30	24,06
Retorno	28,70	30	24,17

El acumulador de calor tendrá un espesor de 50 mm.

- **Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria:**

Según el Código Técnico de la Edificación, y más concretamente el Documento Básico sobre Ahorro Energético HE 4 referente a la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria, esta sección es aplicable a los edificios de nueva construcción en los que exista una demanda de ACS.

El objetivo básico del sistema solar es suministrar al usuario una instalación solar que:

- Optimice el ahorro energético global de la instalación en combinación con el resto de equipos térmicos del edificio.
- Garantice una durabilidad y calidad suficientes.
- Garantice un uso seguro de la instalación.

La contribución solar mínima anual es la fracción entre los valores anuales de la energía solar aportada exigida y la demanda energética anual, obtenidos a partir de los valores mensuales. Esta contribución solar mínima anual depende de cada zona climática y de los diferentes niveles de demanda de agua caliente sanitaria (ACS) a una temperatura de referencia de 60 °C.

Para valorar las demandas se tomarán los valores unitarios que aparecen en la tabla 70 (demanda de referencia a 60 °C).

*Tabla 70. Demanda de referencia a 60 °C. CTE HE 4 (2006)*

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

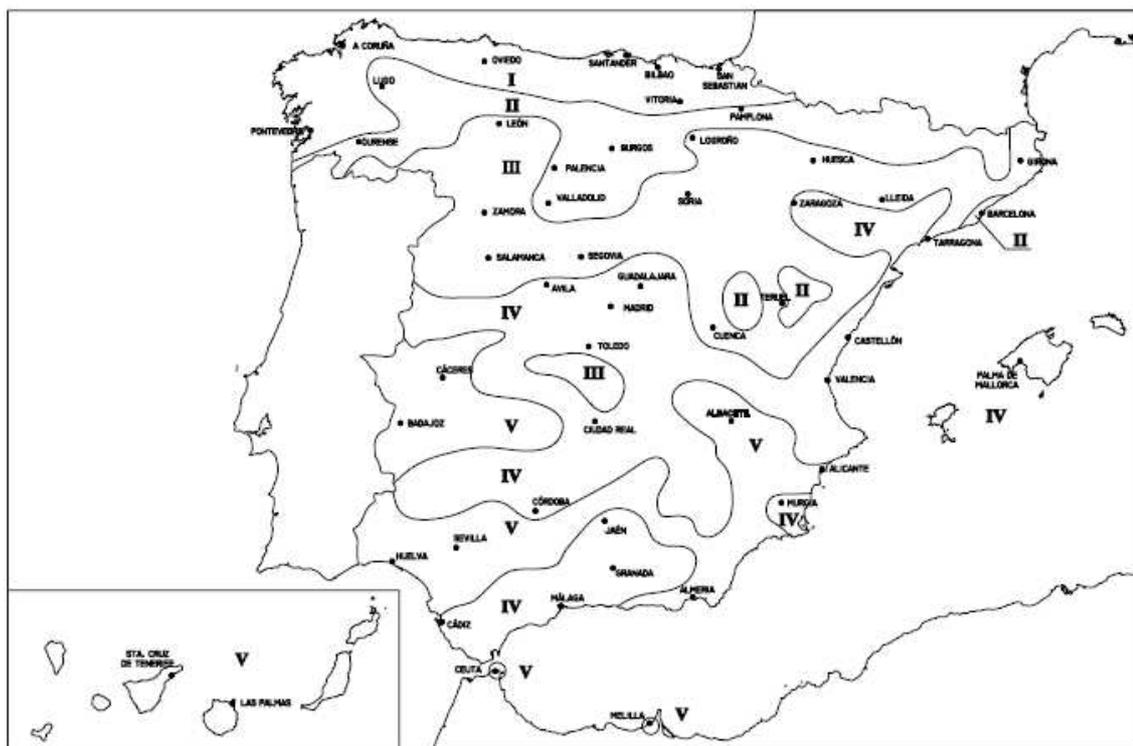
Aplicando esta tabla se obtiene la demanda diaria de ACS:

Tabla 71. Consumo diario de ACS.

Punto de consumo	Criterio de demanda	Consumo diario ACS	Número	Subtotal, L/día
Personal administrativo	Administrativos	3 L/persona	11	33
Comedor	Cafeterías	1 L/almuerzo	53 almuerzos/día	53
Duchas	Vestuarios/Duchas colectivas	15 L/servicio	51 servicios/día	765
<b>TOTAL</b>				<b>851</b>

En la figura 10 se marcan los límites de zonas climáticas homogéneas a efectos de la exigencia. Las zonas se han definido teniendo en cuenta la Radiación Solar Global media diaria anual sobre superficie horizontal:

Figura 10. Zonas climáticas. CTE HE 4 (2006)



Cartagena se encuentra en la zona climática IV.

Conocido el consumo diario de ACS y la zona climática, ya se puede conocer la contribución solar mínima anual mediante la tabla 72:

Tabla 72. Contribución solar mínima en %. CTE HE 4 (2006)

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50-5.000	30	30	50	60	70
5.000-6.000	30	30	55	65	70
6.000-7.000	30	35	61	70	70
7.000-8.000	30	45	63	70	70
8.000-9.000	30	52	65	70	70
9.000-10.000	30	55	70	70	70
10.000-12.500	30	65	70	70	70
12.500-15.000	30	70	70	70	70
15.000-17.500	35	70	70	70	70
17.500-20.000	45	70	70	70	70
> 20.000	52	70	70	70	70

Teniendo en cuenta que el acumulador tendrá como fuente energética de apoyo el gas natural, la contribución solar mínima debe ser del 60 %.

- **Condiciones generales de la instalación solar térmica:**

Una instalación solar térmica está constituida por un conjunto de componentes encargados de realizar las funciones de captar la radiación solar, transformarla directamente en energía térmica cediéndola a un fluido de trabajo y, por último, almacenar dicha energía térmica de forma eficiente, bien en el mismo fluido de trabajo de los captadores, o bien transferirla a otro, para poder utilizarla después en los puntos de consumo. Dicho sistema se complementa con una producción de energía térmica por sistema convencional auxiliar que puede o no estar integrada dentro de la misma instalación.

Los sistemas que conforman la instalación solar térmica para agua caliente son los siguientes:

- Un sistema de captación formado por los captadores solares, encargado de transformar la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se calienta el fluido de trabajo que circula por ellos.
- Un sistema de acumulación constituido por uno o varios depósitos que almacenan el agua caliente hasta que se precisa su uso.
- Un circuito hidráulico constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de establecer el movimiento del fluido caliente hasta el sistema de acumulación.
- Un sistema de intercambio que realiza la transferencia de energía térmica captada desde el circuito de captadores, o circuito primario, al agua caliente que se consume.
- Un sistema de regulación y control que se encarga por un lado de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía solar térmica posible y, por otro, actúa como protección frente a la acción de múltiples factores como sobrecalentamientos del sistema, riesgos de congelaciones, etc.

- Adicionalmente, se dispone de un equipo de energía convencional auxiliar que se utiliza para complementar la contribución solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o demanda superior a la prevista. En este caso, como fuente adicional de calor se utilizará gas natural.

Se consideran sistemas solares prefabricados a los que se producen bajo condiciones que se presumen uniformes y son ofrecidos a la venta como equipos completos y listos para instalar, bajo un solo nombre comercial. Pueden ser compactos o partidos y, por otro lado, constituir un sistema integrado o bien un conjunto y configuración uniforme de componentes.

Teniendo en cuenta la demanda de ACS, la situación de la planta solar, la temperatura de utilización del ACS, la fuente energética de apoyo, el modelo de captador solar y su orientación, utilizando el programa de cálculo facilitado en [www.konstruir.com](http://www.konstruir.com), se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 73. Características de la instalación solar térmica.

<b>Datos de partida</b>											
<b>Número de personas previsto</b>									58		
<b>Consumo de ACS diario por persona</b>									14.67 L		
<b>Temperatura de utilización del ACS</b>									60 °C		
<b>Ubicación</b>									Cartagena		
<b>Latitud de cálculo</b>									37°		
<b>Zona climática</b>									IV		
<b>Porcentajes de utilización a lo largo del año</b>											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Demanda de energía kWh</b>											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1068	946	1006	934	945	894	903	924	914	965	974	1068
<b>Demanda energética anual total</b>									10000 kWh		
<b>Datos del captador</b>											
<b>Número de captadores</b>									3		
<b>Área útil por captador</b>									2.2 m <sup>2</sup>		
<b>Volumen del acumulador</b>									420 L		
<b>Inclinación</b>									35 °		
<b>Pérdidas por sombra</b>									1 %		

Producción energética kWh											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
354	438	609	630	768	765	879	843	750	621	432	363
<b>Producción anual total</b>								7452 kWh			
Porcentaje de la demanda energética aportada por los captadores											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
33.1	46.3	60.5	67.4	81.2	85.5	97.3	91.2	82.0	64.3	44.3	33.9
<b>Porcentaje anual</b>								74.52 %			

Se cumplen todas las restricciones impuestas por el reglamento, a saber:

- La contribución solar mínima a lo largo del año debe ser, como mínimo, del 60 %.
- La contribución solar no debe sobrepasar el 110 % en ningún mes ni el 100 % durante tres meses consecutivos.
- Las pérdidas por sombras son menores al 10 %.

Por lo tanto, el diseño del sistema de captación de energía solar es adecuado.

- **Acumulador de calor:**

El caudal de ACS demandado puede llegar hasta los 0.95 L/s en el edificio de administración y personal y hasta los 0.47 L/s en el edificio de vestuarios y servicios sanitarios. Para calentar este agua hasta los 60 °C se precisan 158.84 kW y 78.58 kW respectivamente.

Si, como se ha calculado anteriormente, en el peor de los casos la instalación solar térmica aporta un 33.1 % del calor necesario, habría que generar 106.26 kW y 52.57 kW respectivamente en el acumulador de calor mediante una fuente de energía de apoyo, en este caso gas natural.

Con este valor de potencia, según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, el calentador debe ser de dos marchas o modulante.

## **2.10. Red de saneamiento**

En este apartado se va a describir y diseñar la red de saneamiento, cuyo objetivo es conducir las aguas residuales (fecales e industriales) y pluviales hasta la red de alcantarillado público.

El diseño de la red de saneamiento se hará de acuerdo con el Código Técnico de la Edificación, y más concretamente con el Documento Básico sobre Salubridad HS 5 referente a la evacuación de aguas.

En este caso se va a diseñar una red separativa, es decir, las aguas residuales y las pluviales se evacuan por distintos conductos, de forma que no existe punto alguno de contacto directo entre ambos sistemas de evacuación.

Antes de continuar, es necesario aclarar los siguientes términos:

- **Aguas residuales:** Son aguas vertidas a la red de saneamiento, que pueden ser domésticas, procedentes del consumo humano; industriales, procedentes de instalaciones industriales; comerciales o de servicios, que acarrear elementos o sustancias líquidas o sólidas distintas en calidad o cantidad a las que tenían en su abastecimiento de origen; freáticas e incluso potables.
- **Aguas pluviales:** Son aguas superficiales de escorrentía producidas a continuación de cualquier precipitación natural y como resultado de la misma.

### **2.10.1. Caracterización y cuantificación de las exigencias**

La red de saneamiento tendrá una serie de características y exigencias como son:

- Deben disponerse cierres hidráulicos en la instalación que impidan el paso del aire contenido en ella a los locales ocupados sin afectar al flujo de residuos.
- Las tuberías de la red de saneamiento deben tener el trazado más sencillo posible, con unas distancias y pendientes que faciliten la evacuación de los residuos y ser autolimpiables. Debe evitarse la retención de aguas en su interior.
- Los diámetros de las tuberías deben ser los apropiados para transportar los caudales previsibles en condiciones seguras.
- Las redes de tuberías deben diseñarse de tal forma que sean accesibles para su mantenimiento y reparación, para lo cual deben disponerse a la vista o alojadas en huecos o patinillos registrables. En caso contrario deben contar con arquetas o registros.
- Se dispondrán sistemas de ventilación adecuados que permitan el funcionamiento de los cierres hidráulicos y la evacuación de gases mefíticos.
- La instalación no debe utilizarse para la evacuación de otro tipo de residuos que no sean aguas residuales o pluviales.

Teniendo en cuenta todas estas exigencias se procederá a su diseño.

## 2.10.2. Diseño

Al existir dos redes de alcantarillado público, una de aguas pluviales y otra de aguas residuales, la red de saneamiento será separativa. Cada red de canalizaciones se conectará de forma independiente con el alcantarillado correspondiente.

La red de saneamiento se compone básicamente de los siguientes elementos:

- **Derivaciones individuales:** son las tuberías que unen los aparatos sanitarios con los ramales de desagüe.
- **Ramales de desagüe:** son las tuberías que unen las derivaciones individuales con los botes sifónicos y los sumideros con las arquetas.
- **Cierres hidráulicos:** son dispositivos cuya finalidad es evitar que el aire del interior de la red de saneamiento pase a los locales ocupados. Los cierres hidráulicos pueden ser de varios tipos:
  - *Sifones individuales:* son propios de cada aparato. Deben usarse para el desagüe de fregaderos, lavaderos, lavadoras y lavavajillas.
  - *Botes sifónicos:* que pueden servir a varios aparatos. Los cierres hidráulicos no se deben instalar en serie, de manera que si se instala un bote sifónico que sirva a varios aparatos, éstos no deben estar además provistos de un sifón individual.
  - *Sumideros sifónicos:* son aparatos destinados a recoger las aguas procedentes de la limpieza de la fábrica y de las máquinas. Puede llevar incorporado un dispositivo sifónico para evitar la difusión de gases.
  - *Arquetas sifónicas:* situadas en los encuentros de los conductos enterrados de aguas pluviales y residuales.
- **Redes de pequeña evacuación:** son la parte de la red de evacuación que conduce los residuos desde los cierres hidráulicos, excepto los inodoros, hasta las bajantes o colectores.
- **Bajantes y canalones:** canalizaciones que conducen verticalmente las aguas pluviales desde los sumideros sifónicos en cubierta y los canalones y las aguas residuales desde las redes de pequeña evacuación e inodoros, hasta la arqueta a pie o colector suspendido.
- **Colectores:** recogen el agua de las diferentes arquetas para conducirla hasta la arqueta general, punto de conexión con la red pública de alcantarillado. Deben desaguar preferentemente por gravedad.
- **Arquetas:** depósitos cuadrangulares utilizados para conectar diferentes conductos de la red de saneamiento y para operaciones de limpieza de dicha red.
- **Pozos de registro:** tienen la misma misión que las arquetas y se sitúan en tramos especialmente problemáticos por su longitud, caudal o configuración.

Se deben tener en cuenta una serie de criterios a la hora del diseño de la red de saneamiento:

### **2.10.2.1. Cierres hidráulicos**

Los cierres hidráulicos deben tener las siguientes características:

- Deben ser autolimpiables, de tal forma que el agua que los atraviese arrastre los sólidos en suspensión.
- Sus superficies interiores no deben retener materias sólidas.
- No deben tener partes móviles que impidan su correcto funcionamiento.
- Deben tener un registro de limpieza fácilmente accesible y manipulable.
- La altura mínima de cierre hidráulico debe ser 50 mm, para usos continuos y 70 mm para usos discontinuos. En cualquier caso, la altura máxima será de 100 mm. La corona debe estar a una distancia igual o menor que 60 cm por debajo de la válvula de desagüe del aparato. El diámetro del sifón debe ser igual o mayor que el diámetro de la válvula de desagüe e igual o menor que el del ramal de desagüe. En caso de que exista una diferencia de diámetros, el tamaño debe aumentar en el sentido del flujo.
- Debe instalarse lo más cerca posible de la válvula de desagüe del aparato, para limitar la longitud de tubo sucio sin protección hacia el ambiente.
- No deben instalarse en serie, por lo que cuando se instale un bote sifónico para un grupo de aparatos sanitarios, éstos no deben estar dotados de sifón individual.
- Si se dispone de un único cierre hidráulico para servicio de varios aparatos, debe reducirse al máximo la distancia de éstos al cierre.
- Un bote sifónico no debe dar servicio a aparatos sanitarios no dispuestos en el cuarto húmedo en dónde esté instalado.
- El desagüe de fregaderos, lavaderos y aparatos de bombeo (lavadoras y lavavajillas) debe hacerse con sifón individual.

### **2.10.2.2. Redes de pequeña evacuación**

Las redes de pequeña evacuación deben diseñarse conforme a los siguientes criterios:

- El trazado de la red debe ser lo más sencillo posible para conseguir una circulación natural por gravedad, evitando los cambios bruscos de dirección y utilizando las piezas especiales adecuadas.
- Deben conectarse a las bajantes; cuando por condicionantes del diseño esto no fuera posible, se permite su conexión al manguetón del inodoro.
- La distancia del bote sifónico a la bajante no debe ser mayor de 2.00 m.

- Las derivaciones que acometan al bote sifónico deben tener una longitud igual o menor que 2.50 m, con una pendiente comprendida entre el 2 % y el 4 %.
- En los aparatos dotados de sifón individual deben tener las características siguientes:
  - En los fregaderos, los lavaderos, los lavabos y los bidés la distancia a la bajante debe ser de 4.00 m como máximo, con pendientes comprendidas entre un 2.5 % y un 5 %.
  - En las bañeras y las duchas la pendiente debe ser menor o igual al 10 %.
  - El desagüe de los inodoros a las bajantes debe realizarse directamente o por medio de un manguetón de acometida de longitud igual o menor a 1.00 m, siempre que no sea posible dar al tubo la pendiente necesaria.
- Debe disponerse un rebosadero en los lavabos, bidés, bañeras y fregaderos.
- No deben disponerse desagües enfrentados acometiendo a una tubería común.
- Las uniones de los desagües a las bajantes deben tener la mayor inclinación posible, que en cualquier caso no debe ser menor de 45°.
- Cuando se utilice el sistema de sifones individuales, los ramales de desagüe de los aparatos sanitarios deben unirse a un tubo de derivación, que desemboque en la bajante o si esto no fuera posible, en el manguetón del inodoro, y que tenga la cabecera registrable con tapón roscado.
- Deben evitarse en estas redes los desagües bombeados.

### **2.10.2.3. Bajantes y canalones**

- Las bajantes deben realizarse sin desviaciones ni retranqueos y con diámetro uniforme en toda su altura excepto, en el caso de bajantes de residuales, cuando existan obstáculos insalvables en su recorrido y cuando la presencia de inodoros exija un diámetro concreto desde los tramos superiores que no es superado en el resto de la bajante.
- El diámetro no debe disminuir en el sentido de la corriente.
- Podrá disponerse un aumento de diámetro cuando acometan a la bajante caudales de magnitud mucho mayor que los del tramo situado aguas arriba.

### **2.10.2.4. Colectores**

Se utilizarán colectores enterrados que se construirán de la siguiente manera:

- Los tubos deben disponerse en zanjas de dimensiones adecuadas, tal y como se establece en el apartado 5.4.3. del Código Técnico de la Edificación, situados por debajo de la red de abastecimiento de agua potable.

- Deben tener una pendiente del 2 % como mínimo.
- La acometida de las bajantes y los manguetones a esta red se hará con interposición de una arqueta de pie de bajante, que no debe ser sifónica.
- Se dispondrán registros de tal manera que los tramos entre los contiguos no superen los 15 m.

#### **2.10.2.5. Arquetas**

- En redes enterradas la unión entre las redes vertical y horizontal y en ésta, entre sus encuentros y derivaciones, debe realizarse con arquetas dispuestas sobre cimiento de hormigón, con tapa practicable. Sólo puede acometer un colector por cada cara de la arqueta, de tal forma que el ángulo formado por el colector y la salida sea mayor que 90°.
- Deben tener las siguientes características:
  - La arqueta a pie de bajante debe utilizarse para registro al pie de las bajantes cuando la conducción a partir de dicho punto vaya a quedar enterrada; no debe ser de tipo sifónico.
  - En las arquetas de paso deben acometer como máximo tres colectores.
  - Las arquetas de registro deben disponer de tapa accesible y practicable.
  - La arqueta de trasdós debe disponerse en caso de llegada al pozo general del edificio de más de un colector.
  - El separador de grasas debe disponerse cuando se prevea que las aguas residuales del edificio puedan transportar una cantidad excesiva de grasa o de líquidos combustibles que podría dificultar el buen funcionamiento de los sistemas de depuración, o crear un riesgo en el sistema de bombeo y elevación.

Puede utilizarse como arqueta sifónica. Debe estar provista de una abertura de ventilación, próxima al lado de descarga, y de una tapa de registro totalmente accesible para las preceptivas limpiezas periódicas. Puede tener más de un tabique separador. Si algún aparato descargara de forma directa en el separador, debe estar provisto del correspondiente cierre hidráulico. Debe disponerse preferiblemente al final de la red horizontal, previo al pozo de resalto y a la acometida.

Salvo en casos justificados, al separador de grasas sólo deben verter las aguas afectadas de forma directa por los mencionados residuos (grasas, aceites, etc.).

- Al final de la instalación y antes de la acometida debe disponerse el pozo general del edificio.
- Cuando la diferencia entre la cota del extremo final de la instalación y la del punto de acometida sea mayor que 1 m, debe disponerse un pozo de resalto como elemento de conexión de la red interior de evacuación y de la red exterior de alcantarillado o los sistemas de depuración.

- Los registros para limpieza de colectores deben situarse en cada encuentro y cambio de dirección e intercalados en tramos rectos.

Las dimensiones de las arquetas vienen dadas en función del diámetro del colector de descarga.

#### **2.10.2.6. Válvulas antirretorno de seguridad**

Deben instalarse válvulas antirretorno de seguridad para prevenir las posibles inundaciones cuando la red exterior de alcantarillado se sobrecargue, dispuestas en lugares de fácil acceso para su registro y mantenimiento.

#### **2.10.2.7. Material**

El material que utilizaremos para la construcción de la red de saneamiento será PVC, según se indica en la norma UNE-EN 1456-1:2002 “Sistemas de canalización en materiales plásticos para saneamiento enterrado o aéreo con presión. Poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U). Parte 1: Especificaciones para tubos, accesorios y el sistema”.

#### **2.10.2.8. Nomenclatura**

Se van a nombrar los distintos tramos de la red de la siguiente manera:

Tipo de red-Número del tramo

El tipo de red se designará mediante letras. Será una ‘r’ si el tramo pertenece a la red de aguas residuales o una ‘p’ si pertenece a la red de aguas pluviales. En cualquier caso, si el tramo se encuentra dentro de un edificio se nombrará con las letras correspondientes al mismo en minúscula:

Tabla 74. Nomenclatura de la red de saneamiento.

Red de aguas residuales	r
Red de aguas pluviales	p
Almacén de materias primas (agua)	al2
Almacén de materias primas (disolvente)	al3
Almacén de producto terminado	al1
Almacén de residuos	al4
Sección de producción	pr
Sección de separación	s
Sección de purificación	pu
Edificio de administración y personal	ap
Vestuarios y servicios sanitarios	vs
Edificio de control	cl
Edificio de mantenimiento y taller	mt

### 2.10.3. Dimensionamiento

Debe aplicarse un procedimiento de dimensionado para un sistema separativo, es decir, debe dimensionarse la red de aguas residuales por un lado y la red de aguas pluviales por otro, de forma separada e independiente.

Debe utilizarse el método de adjudicación del número de unidades de desagüe (UD) a cada aparato sanitario en función de que el uso sea público o privado.

#### 2.10.3.1. Red de evacuación de aguas residuales

Como ya se ha dicho, esta red recogerá las aguas procedentes del consumo humano y los residuos líquidos generados en la industria.

Antes de poder verter los residuos industriales a la red pública de alcantarillado, es necesario comprobar que no se superan los valores máximos permitidos de cualquiera de los parámetros indicados en el anexo III, “Valores máximos instantáneos de los parámetros de contaminación”, del Decreto nº 16/1999, de 22 de abril, sobre Vertidos de Aguas Residuales Industriales al Alcantarillado de la Región de Murcia.

En el proceso se generan cuatro corrientes de residuos:

- **Agua de calefacción** que se utiliza en los intercambiadores de calor 1 y 2. De estos equipos se obtiene un agua a 139 °C, superior al máximo permitido de 40 °C. Se negociará con la empresa municipal de saneamiento el pago de un canon de vertido. De esta manera no será necesario diseñar un proceso para enfriar este agua hasta la temperatura requerida.
- **Corriente de purga del agua de refrigeración** que se usa en el intercambiador de calor 10. De este equipo se obtiene un agua a 213 °C, una temperatura muy superior al máximo permitido de 40 °C. Se negociará junto con el anterior en el canon de vertido.
- **Corriente de purga del agua de refrigeración** que se utiliza en el intercambiador de calor 11. De este equipo se obtiene un agua a 121 °C, una temperatura bastante superior al máximo permitido de 40 °C. Se negociará junto con los anteriores en el canon de vertido.
- **Agua de refrigeración** que se usa en el intercambiador de calor 5. De este equipo se obtiene un agua a 112 °C, una temperatura bastante superior al máximo permitido de 40 °C. Se negociará junto con los anteriores en el canon de vertido.

Para dimensionar la red es necesario conocer la pendiente y las unidades de desagüe (UD) de cada tramo. Las pendientes se fijarán en función de los parámetros de diseño explicados anteriormente, mientras que las unidades de desagüe para cada aparato sanitario se muestran en la tabla 75, extraída del Documento Básico sobre Salubridad HS 5:

Tabla 75. Unidades de desagüe correspondientes a los distintos aparatos sanitarios.  
CTE HS 5 (2006)

Tipo de aparato sanitario	Unidades de desagüe UD		Diámetro mínimo sifón y derivación individual (mm)	
	Uso privado	Uso público	Uso privado	Uso público
Lavabo	1	2	32	40
Bidé	2	3	32	40
Ducha	2	3	40	50
Bañera (con o sin ducha)	3	4	40	50
Inodoro	Con cisterna	4	5	100
	Con fluxómetro	8	10	100
Urinario	Pedestal	-	4	50
	Suspendido	-	2	40
	En batería	-	3,5	-
Fregadero	De cocina	3	6	40
	De laboratorio, restaurante, etc.	-	2	-
Lavadero	3	-	40	-
Vertedero	-	8	-	100
Fuente para beber	-	0,5	-	25
Sumidero sifónico	1	3	40	50
Lavavajillas	3	6	40	50
Lavadora	3	6	40	50
Cuarto de baño (lavabo, inodoro, bañera y bidé)	Inodoro con cisterna	7	-	100
	Inodoro con fluxómetro	8	-	100
Cuarto de aseo (lavabo, inodoro y ducha)	Inodoro con cisterna	6	-	100
	Inodoro con fluxómetro	8	-	100

Para los desagües de tipo continuo, tales como los de los equipos de intercambio de calor citados anteriormente, debe tomarse 1 UD para 0.03 L/s de caudal estimado.

En función de estos parámetros y utilizando la tabla 76 y la tabla 77 del Documento Básico sobre Salubridad HS 5, se determina el diámetro de cada conducción.

*Tabla 76. Diámetros de ramales colectores entre aparatos sanitarios y bajante. CTE HS 5 (2006)*

Máximo número de UD			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 77. Diámetro de los colectores horizontales en función del número máximo de UD y la pendiente adoptada. CTE HS 5 (2006)*

Máximo número de UD			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

Las unidades de desagüe de los ramales que acometen a una arqueta o bote sifónico se sumarán para calcular las UD's correspondientes del tramo que sale de la misma.

A la hora de elegir los diámetros de los tramos se ha tenido siempre en cuenta que el diámetro de un tramo no puede ser menor que el de otro situado aguas arriba.

A continuación se detallan las características de los tramos de la red de saneamiento de aguas residuales:

Tabla 78. Tramos de la red de saneamiento de aguas residuales.

Edificio AL2							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
al2-9/al2-8	-0,07	-0,20	6,31	0,13	2,00%	1	32
al2-10/al2-8	-0,07	-0,20	4,81	0,13	2,62%	1	40
al2-11/al2-7	-0,07	-0,29	4,81	0,22	4,52%	1	40
al2-12/al2-4	-0,07	-0,57	4,81	0,50	10,41%	1	40
al2-13/al2-3	-0,07	-0,66	4,81	0,59	12,30%	1	40
al2-14/al2-2	-0,07	-0,75	4,81	0,68	14,19%	1	40
al2-8/al2-7	-0,20	-0,29	4,55	0,09	2,00%	2	50
al2-7/al2-6	-0,29	-0,38	4,55	0,09	2,00%	3	50
al2-6/al2-5	-0,38	-0,47	4,81	0,10	2,00%	3	50
al2-5/al2-4	-0,47	-0,57	4,81	0,10	2,00%	3	50
al2-4/al2-3	-0,57	-0,66	4,55	0,09	2,00%	4	50
al2-3/al2-2	-0,66	-0,75	4,55	0,09	2,00%	5	50
al2-2/al2-1	-0,75	-0,79	1,64	0,03	2,00%	6	50
al2-1/r-6	-0,79	-1,06	13,50	0,27	2,00%	6	50

Edificio AL3							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
al3-2/al3-1	-0,07	-0,12	1,40	0,05	3,46%	1	32
al3-3/al3-1	-0,07	-0,12	2,42	0,05	2,00%	1	40
al3-1/r-6	-0,12	-1,06	9,58	0,94	9,78%	2	50

Edificio AL1							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
al1-5/al1-4	-0,07	-0,19	5,81	0,12	2,00%	1	40
al1-6/al1-3	-0,07	-0,30	5,81	0,23	3,91%	1	40
al1-7/al1-2	-0,07	-0,42	5,83	0,35	5,98%	1	40
al1-4/al1-3	-0,19	-0,30	5,55	0,11	2,00%	1	50
al1-3/al1-2	-0,30	-0,42	6,06	0,12	2,00%	2	50
al1-2/al1-1	-0,42	-0,47	2,70	0,05	2,00%	3	50
al1-1/r-7	-0,47	-2,69	14,86	2,22	14,93%	3	50

Edificio AL4							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
al4-3/al4-2	-0,07	-0,14	3,65	0,07	2,00%	1	32
al4-4/al4-1	-0,07	-0,17	3,65	0,10	2,83%	1	40
al4-2/al4-1	-0,14	-0,17	1,52	0,03	2,00%	1	50
al4-1/r-4	-0,17	-1,22	9,28	1,05	11,27%	2	50

Edificio PR							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
pr-7/pr-2	-0,07	-1,04	3,05	0,97	31,80%	1	32
pr-8/pr-2	-0,07	-1,04	7,38	0,97	13,14%	1	40
pr-9/pr-3	-0,07	-0,91	7,96	0,84	10,50%	1	40
pr-10/pr-4	-0,07	-0,77	7,94	0,70	8,76%	1	40
pr-11/pr-4	-0,07	-0,77	8,79	0,70	7,91%	1	40
pr-12/pr-13	-0,07	-0,22	7,44	0,15	2,00%	1	32
pr-13/pr-5	-0,22	-0,49	8,17	0,27	3,27%	2	40
pr-15/pr-14	-0,07	-0,19	6,11	0,12	2,00%	1	40
pr-14/pr-5	-0,19	-0,49	5,48	0,29	5,35%	3	40
pr-16/pr-6	-0,07	-0,34	9,39	0,27	2,83%	1	40
pr-18/pr-17	-0,07	-0,19	6,11	0,12	2,00%	1	40
pr-17/pr-6	-0,19	-0,34	7,17	0,14	2,00%	5	40
pr-6/pr-5	-0,34	-0,49	7,50	0,15	2,00%	6	50
pr-5/pr-4	-0,49	-0,77	14,00	0,28	2,00%	11	50
pr-4/pr-3	-0,77	-0,91	7,00	0,14	2,00%	13	50
pr-3/pr-2	-0,91	-1,04	6,71	0,13	2,00%	14	50
pr-2/pr-1	-1,04	-1,10	3,05	0,06	2,00%	16	50

Edificio S							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
s-7/s-6	-0,07	-0,34	13,59	0,27	2,00%	1	32
s-8/s-6	-0,07	-0,34	6,91	0,27	3,93%	1	40
s-9/s-6	-0,07	-0,34	9,21	0,27	2,95%	1	40
s-10/s-5	-0,07	-0,37	15,00	0,30	2,00%	1	32
s-11/s-5	-0,07	-0,37	2,63	0,30	11,41%	1	40
s-5/s-4	-0,37	-0,49	6,00	0,12	2,00%	2	50
s-12/s-4	-0,07	-0,49	9,01	0,42	4,66%	1	40
s-13/s-3	-0,07	-0,68	6,64	0,61	9,14%	1	40
s-14/s-3	-0,07	-0,68	9,01	0,61	6,73%	1	40
s-15/s-2	-0,07	-0,81	7,01	0,74	10,50%	1	40
s-16/s-2	-0,07	-0,81	9,28	0,74	7,93%	1	40
s-6/s-4	-0,34	-0,49	6,09	0,15	2,43%	3	50
s-4/s-3	-0,49	-0,68	9,33	0,19	2,00%	6	50
s-3/s-2	-0,68	-0,81	6,46	0,13	2,00%	8	50
s-2/s-1	-0,81	-1,00	9,70	0,19	2,00%	10	50
s-1/r-4	-1,00	-1,22	10,84	0,22	2,02%	10	50

Edificio PU							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
pu-8/pu-6	-0,07	-0,32	12,10	0,25	2,09%	1	40
pu-7/pu-6	-0,07	-0,32	12,64	0,25	2,00%	1	32
pu-9/pu-6	-0,07	-0,32	7,04	0,25	3,59%	1	40
pu-10/pu-5	-0,07	-0,53	9,12	0,46	5,05%	1	40
pu-11/pu-5	-0,07	-0,53	5,44	0,46	8,47%	1	40
pu-12/pu-4	-0,07	-0,64	9,20	0,57	6,20%	1	40
pu-13/pu-4	-0,07	-0,64	5,58	0,57	10,23%	1	40
pu-14/pu-3	-0,07	-0,86	11,59	0,79	6,79%	1	40
pu-15/pu-3	-0,07	-0,86	3,51	0,79	22,41%	1	32
pu-16/pu-2	-0,07	-0,97	6,60	0,90	13,65%	1	40
pu-6/pu-5	-0,32	-0,53	10,39	0,21	2,00%	3	50
pu-5/pu-4	-0,53	-0,64	5,50	0,11	2,00%	5	50
pu-4/pu-3	-0,64	-0,86	10,80	0,22	2,00%	7	50
pu-3/pu-2	-0,86	-0,97	5,72	0,11	2,00%	9	50
pu-2/pu-1	-0,97	-1,11	7,06	0,14	2,00%	10	50
pu-1/r-4	-1,11	-1,22	5,33	0,11	2,00%	10	50

Edificio AP							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
Desagüe lavabos	0,00	-0,07	0,63	0,07	11,11%	1	32
Desagüe urinarios	0,00	-0,07	0,70	0,07	10,00%	4	50
ap-27/ap-28	2,93	2,89	0,67	0,04	5,49%	4	100
ap-29/ap-28	2,93	2,89	0,92	0,04	4,00%	4	100
ap-28/ap-30	2,89	2,76	3,40	0,14	4,00%	8	100
ap-31/ap-30	2,93	2,76	0,79	0,17	21,87%	12	63
ap-32/ap-30	2,93	2,76	0,43	0,17	40,19%	2	40
ap-30/ap-12	2,76	2,71	1,09	0,04	4,00%	22	100
ap-33/ap-11	2,93	2,69	2,27	0,24	10,41%	1	32
ap-34/ap-35	2,93	2,89	0,58	0,04	6,97%	4	100
ap-36/ap-35	2,93	2,89	1,01	0,04	4,00%	4	100
ap-35/ap-37	2,89	2,75	3,50	0,14	4,00%	8	100
ap-38/ap-37	2,93	2,75	0,38	0,18	47,47%	2	40
ap-37/ap-10	2,75	2,67	0,99	0,08	8,12%	10	100
ap-39/ap-10	2,93	2,67	0,61	0,26	42,75%	1	32
ap-40/ap-9	2,93	2,65	1,45	0,28	19,12%	4	100
ap-41/ap-8	2,93	2,57	6,78	0,36	5,28%	2	40
ap-12/ap-11	2,71	2,69	1,00	0,02	2,00%	22	100
ap-11/ap-10	2,69	2,67	1,22	0,02	2,00%	23	100
ap-10/ap-9	2,67	2,65	0,82	0,02	2,00%	34	100
ap-9/ap-8	2,65	2,57	4,05	0,08	2,00%	38	100
ap-13/ap-14	-0,07	-0,11	0,67	0,04	5,49%	4	100
ap-15/ap-14	-0,07	-0,11	0,92	0,04	4,00%	4	100
ap-14/ap-16	-0,11	-0,24	3,40	0,14	4,00%	8	100
ap-17/ap-16	-0,07	-0,24	0,79	0,17	21,87%	12	63
ap-18/ap-16	-0,07	-0,24	0,43	0,17	40,19%	2	40
ap-16/ap-7	-0,24	-0,29	1,09	0,04	4,00%	22	100
ap-19/ap-6	-0,07	-0,31	2,27	0,24	10,41%	1	32
ap-20/ap-21	-0,07	-0,11	0,58	0,04	6,97%	4	100
ap-22/ap-21	-0,07	-0,11	1,01	0,04	4,00%	4	100
ap-21/ap-23	-0,11	-0,25	3,50	0,14	4,00%	8	100
ap-24/ap-23	-0,07	-0,25	0,38	0,18	47,47%	2	40
ap-23/ap-5	-0,25	-0,33	0,99	0,08	8,12%	10	100
ap-25/ap-5	-0,07	-0,33	0,61	0,26	42,75%	1	32
ap-26/ap-4	-0,07	-0,35	1,45	0,28	19,12%	4	100
ap-7/ap-6	-0,29	-0,31	1,00	0,02	2,00%	22	100
ap-6/ap-5	-0,31	-0,33	1,22	0,02	2,00%	23	100
ap-5/ap-4	-0,33	-0,35	0,82	0,02	2,00%	34	100
ap-4/ap-3	-0,35	-0,43	4,00	0,08	2,00%	38	100
ap-8/ap-3	2,57	-0,43	0,00	3,00	---	40	100

ap-3/ap-2	-0,43	-0,52	4,48	0,09	2,00%	78	100
ap-2/ap-1	-0,52	-0,69	8,69	0,17	2,00%	78	100
ap-1/r-2	-0,69	-4,19	44,84	3,50	7,81%	78	100

Edificio VS							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
Desagüe lavabos	0,00	-0,07	0,97	0,07	7,22%	1	32
Desagüe duchas	0,00	-0,07	2,52	0,07	2,78%	2	40
vs-6/vs-7	-0,07	-0,12	1,34	0,05	4,00%	4	100
vs-7/vs-10	-0,12	-0,14	0,52	0,02	4,00%	8	100
vs-8/vs-9	-0,07	-0,12	1,34	0,05	4,00%	4	100
vs-9/vs-10	-0,12	-0,14	0,27	0,02	7,70%	8	100
vs-10/vs-11	-0,14	-0,34	5,00	0,20	4,00%	16	100
vs-12/vs-11	-0,07	-0,34	0,72	0,27	38,11%	10	63
vs-13/vs-11	-0,07	-0,34	1,24	0,27	22,13%	3	40
vs-11/vs-5	-0,34	-0,49	3,57	0,14	4,00%	29	100
vs-14/vs-4	-0,07	-0,53	8,48	0,46	5,38%	1	32
vs-15/vs-16	-0,07	-0,11	1,09	0,04	4,00%	4	100
vs-16/vs-17	-0,11	-0,15	0,99	0,04	4,00%	8	100
vs-17/vs-18	-0,15	-0,19	0,99	0,04	4,00%	12	100
vs-18/vs-19	-0,19	-0,22	0,75	0,03	4,00%	16	100
vs-19/vs-20	-0,22	-0,35	3,09	0,12	4,00%	16	100
vs-21/vs-20	-0,07	-0,35	1,23	0,28	22,47%	3	40
vs-23/vs-20	-0,07	-0,35	2,44	0,28	11,33%	12	63
vs-20/vs-22	-0,35	-0,41	1,50	0,06	4,00%	31	100
vs-22/vs-2	-0,41	-0,63	3,88	0,22	5,78%	31	100
vs-5/vs-4	-0,49	-0,53	1,97	0,04	2,00%	29	100
vs-4/vs-3	-0,53	-0,59	3,19	0,06	2,00%	30	100
vs-3/vs-2	-0,59	-0,63	2,02	0,04	2,00%	30	100
vs-2/vs-1	-0,63	-0,73	5,00	0,10	2,00%	61	100
vs-1/r-5	-0,73	-1,66	10,55	0,92	8,76%	61	100

Edificio CL							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
Desagüe fregaderos	0,00	-0,07	2,24	0,07	3,13%	2	40
cl-3/cl-2	-0,07	-0,12	2,58	0,05	2,00%	4	50
cl-4/cl-2	-0,07	-0,12	2,22	0,05	2,32%	4	50
cl-2/cl-1	-0,12	-0,14	1,08	0,02	2,00%	8	50

Edificio MT							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
mt-6/mt-5	-0,07	-0,12	1,23	0,05	4,00%	4	100
mt-7/mt-4	-0,07	-0,16	0,92	0,09	9,70%	1	32
mt-8/mt-3	-0,07	-0,21	0,92	0,14	15,13%	4	50
mt-5/mt-4	-0,12	-0,16	1,00	0,04	4,00%	4	100
mt-4/mt-3	-0,16	-0,21	1,25	0,05	4,00%	5	100
mt-9/mt-2	-0,07	-0,32	5,13	0,25	4,94%	1	40
mt-3/mt-2	-0,21	-0,32	5,71	0,11	2,00%	9	100
mt-2/mt-1	-0,32	-0,44	5,60	0,11	2,00%	11	100

Red general de colectores horizontales							
Tramo	Altura inicial, m	Altura final, m	L horizontal, m	L vertical, m	Pendiente, %	UD	Diámetro, mm
r-6/r-5	-1,06	-1,66	30,00	0,60	2,00%	8	50
r-5/cl-1	-1,66	-2,24	29,29	0,59	2,00%	69	100
cl-1/mt-1	-2,24	-2,52	14,00	0,28	2,00%	77	100
mt-1/r-3	-2,52	-3,59	15,00	1,07	7,13%	88	100
r-4/r-3	-1,22	-3,59	12,00	2,37	19,76%	22	63
pr-1/r-7	-1,10	-2,69	79,48	1,59	2,00%	16	50
r-7/r-3	-2,69	-3,59	45,00	0,90	2,00%	19	50
r-3/r-2	-3,59	-4,19	30,00	0,60	2,00%	129	100
r-2/r-1	-4,19	-4,41	10,97	0,22	2,00%	207	110

Los cierres hidráulicos utilizados serán los siguientes:

- Sifones individuales en los desagües de los inodoros, los grifos aislados, los fregaderos del laboratorio y las aguas residuales industriales.
- Botes sifónicos para los desagües de las duchas y los lavabos.
- Sumideros sifónicos para recoger el agua que caiga al suelo de los edificios de proceso. Se instalará uno por cada 150 m<sup>2</sup>.

Tendrán el mismo diámetro que la derivación en la que se encuentren.

Las arquetas se dimensionan en función del diámetro del tramo de colector que sale de ellas, utilizando la tabla 79:

Tabla 79. Dimensiones de las arquetas. CTE HS 5 (2006)

L x A [cm]	Diámetro del colector de salida [mm]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
	40 x 40	50 x 50	60 x 60	60 x 70	70 x 70	70 x 80	80 x 80	80 x 90	90 x 90

Todas las arquetas de la red de saneamiento de aguas residuales tendrán unas dimensiones de 40x40 cm.

### 2.10.3.2. Red de evacuación de aguas pluviales

Inicialmente se debe determinar la intensidad pluviométrica  $i$  en la tabla 80 en función de la isoyeta y de la zona pluviométrica correspondientes a la localidad determinadas mediante el mapa de la figura 11:

Figura 11. Mapa de isoyetas y zonas pluviométricas. CTE HS 5 (2006)

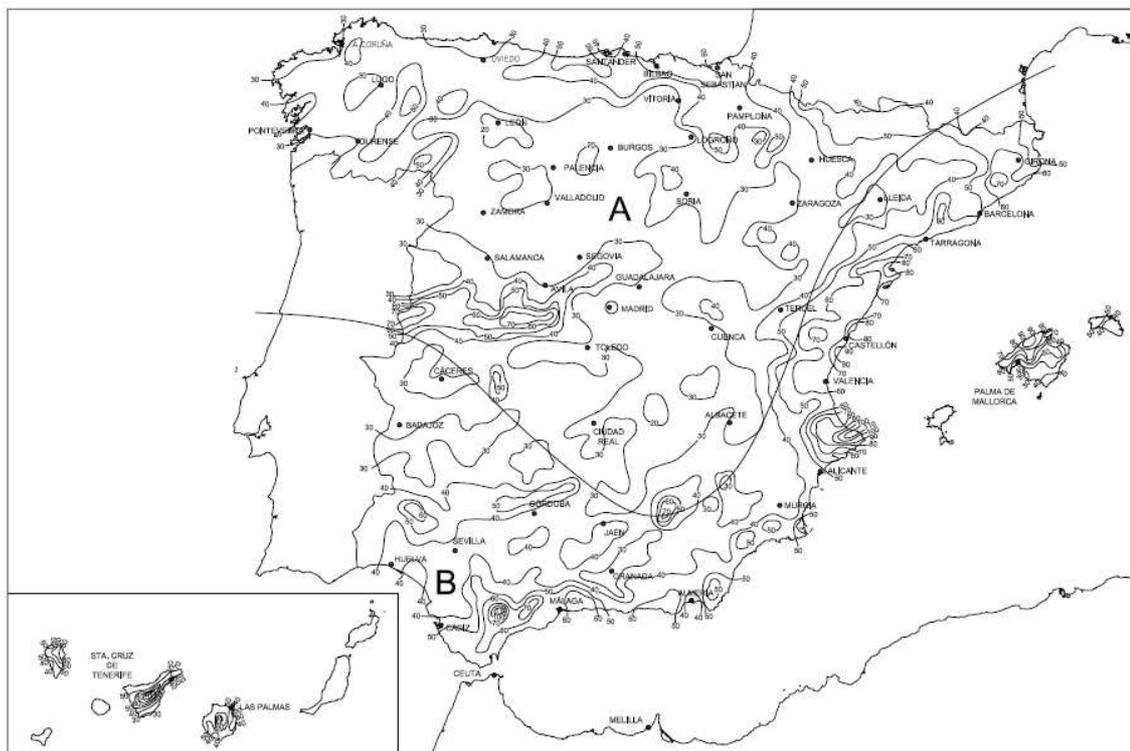


Tabla 80. Intensidad pluviométrica  $i$  (mm/h). CTE HS 5 (2006)

Isoyeta	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Zona A	30	65	90	125	155	180	210	240	275	300	330	365
Zona B	30	50	70	90	110	135	150	170	195	220	240	265

La intensidad pluviométrica de Cartagena es de 110 mm/h.

El diámetro nominal del canalón de evacuación de aguas pluviales de sección semicircular para una intensidad pluviométrica de 100 mm/h se obtiene en la tabla 81, proporcionada por el Documento Básico sobre Salubridad HS 5, en función de su pendiente y de la superficie a la que sirve.

Tabla 81. Diámetro del canalón para un régimen pluviométrico de 100 mm/h. CTE HS 5 (2006)

Máxima superficie 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

Para un régimen con intensidad pluviométrica diferente de 100 mm/h, como el caso que nos ocupa, debe aplicarse un factor  $f$  de corrección a la superficie servida tal que:

$$f = \frac{i}{100} = \frac{110}{100} = 1.10$$

siendo  $i$  la intensidad pluviométrica que se quiere considerar, 110 mm/h en este caso.

Una vez se conoce el factor de corrección  $f$  que se debe aplicar a las áreas servidas, ya se puede dimensionar la red de saneamiento de aguas pluviales.

Se comienza con los canalones y las bajantes. A los lados de cada edificio se dispondrá un canalón, con una pendiente del 4 %, conectarán en su extremo con una bajante que conduce el agua de lluvia hasta el colector. Al final de cada bajante se colocará una arqueta. El diámetro correspondiente a la superficie, en proyección horizontal, servida por cada bajante de aguas pluviales se obtiene en la tabla 82:

Tabla 82. Diámetro de las bajantes de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h. CTE HS 5 (2006)

Superficie en proyección horizontal servida (m <sup>2</sup> )	Diámetro nominal de la bajante (mm)
65	50
113	63
177	75
318	90
580	110
805	125
1.544	160
2.700	200

A continuación se muestran las características de bajantes y canalones:

Tabla 83. Dimensiones de bajantes y canalones.

Edificio	Canalones			Bajantes	
	Superficie servida, m <sup>2</sup>	Superficie corregida, m <sup>2</sup>	Pendiente, %	Diámetro, mm	Diámetro, mm
Distribución eléctrica	93,75	103,13	4	125	63
Sala de calderas	105,00	115,50	4	125	75
Sección de producción	1089,57	1198,52	4	250	160
Sección de separación	1243,87	1368,25	4	250	160
Sección de purificación	838,25	922,08	4	250	160
Vestuarios, control y mantenimiento	240,50	264,55	4	200	90
Administración y personal	189,48	208,42	4	150	90

Por otro lado, en cuanto a la superficie de la planta sin edificar, excepto las zonas de circulación, estará recubierta por una capa de gravilla totalmente permeable al agua, por lo que no será necesario instalar imbornales que recojan el agua pluvial. No obstante, hemos optado por instalar cuatro rejillas, una en cada lado de la instalación, de 1 m de ancho por 100 m de largo y 0.5 m de profundidad. Estas rejillas, con la pendiente correspondiente del terreno del 1 %, se encargarán de recoger el agua en caso de lluvias algo más fuertes que el terreno no sea capaz de asimilar.

Por último se dimensionan los colectores de aguas pluviales utilizando la tabla 84, en función de su pendiente y de la superficie a la que sirven:

*Tabla 84. Diámetro de los colectores de aguas pluviales para un régimen pluviométrico de 100 mm/h. CTE HS 5 (2006)*

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

La superficie servida por cada tramo de colector es la suma de las superficies de todos los tramos situados aguas arriba que acometen al mismo. A continuación se detallan las características de esta red de colectores:

Tabla 85. Dimensiones de los colectores de aguas pluviales.

Colectores							Arquetas	
Tramo	Superficie servida, m <sup>2</sup>	Diámetro nominal, mm	Altura inicial, m	Altura final, m	Longitud horizontal, m	Longitud vertical, m	Pendiente, %	Dimensiones, cm
p-23/p-8	2467,63	315	0,00	-0,18	18,12	0,18	1,00%	70x80
p-22/p-8	115,50	90	0,00	-0,18	14,00	0,18	1,29%	40x40
p-8/p-7	2583,13	315	-0,18	-1,06	87,50	0,88	1,00%	70x80
p-21/p-7	1368,25	200	0,00	-1,06	11,28	1,06	9,36%	60x60
p-7/p-6	3951,38	315	-1,06	-1,21	15,00	0,15	1,00%	70x80
p-19/p-6	264,55	110	0,00	-1,21	1,30	1,21	92,78%	50x50
p-20/p-6	1233,82	200	0,00	-1,21	13,37	1,21	9,02%	60x60
p-6/p-5	5449,75	315	-1,21	-1,54	33,71	0,34	1,00%	70x80
p-13/p-12	1198,52	250	0,00	-0,41	40,78	0,41	1,00%	60x70
p-14/p-12	2120,60	200	0,00	-0,41	8,04	0,41	5,07%	60x60
p-12/p-11	3319,12	315	-0,41	-0,62	20,95	0,21	1,00%	70x80
p-15/p-11	3701,45	250	0,00	-0,62	26,00	0,62	2,37%	60x70
p-11/p-10	7020,56	315	-0,62	-0,77	15,00	0,15	1,00%	70x80
p-16/p-10	922,08	160	0,00	-0,77	7,85	0,77	9,77%	60x60
p-10/p-9	7942,64	315	-0,77	-1,22	45,00	0,45	1,00%	70x80
p-17/p-9	1368,25	200	0,00	-1,22	12,44	1,22	9,79%	60x60
p-18/p-9	264,55	110	0,00	-1,22	11,55	1,22	10,54%	50x50
p-9/p-5	9575,44	315	-1,22	-1,54	15,00	0,33	2,17%	70x80
p-5/p-4	15025,19	315	-1,54	-1,69	15,00	0,15	1,00%	70x80

p-24/p-4	4935,26	315	0,00	-1,69	5,26	1,69	32,19%	70x80
p-4/p-2	19960,45	315	-1,69	-1,84	15,00	0,15	1,00%	70x80
p-25/p-2	103,13	90	0,00	-1,84	20,57	1,84	8,96%	40x40
p-27/p-3	208,42	110	0,00	-0,26	26,16	0,26	1,00%	50x50
p-26/p-3	208,42	90	0,00	-0,26	4,66	0,26	5,61%	40x40
p-3/p-2	416,85	110	-0,26	-1,84	20,45	1,58	7,73%	50x50
p-2/p-1	20480,42	315	-1,84	-1,97	12,41	0,12	1,00%	70x80

## 2.11. Iluminación

La iluminación de los ambientes interiores tiene por objeto satisfacer las siguientes necesidades:

- Contribuir a crear un ambiente de trabajo seguro.
- Ayudar a realizar tareas visuales.
- Crear un ambiente visual apropiado.

La creación de un ambiente de trabajo seguro tiene que estar en el primer lugar de la lista de prioridades y, en general, se aumenta la seguridad haciendo que los peligros sean claramente visibles. El orden de prioridad de las otras dos necesidades dependerá en gran medida del uso dado al ambiente interior. La realización de la tarea puede mejorarse haciendo que sea más fácil ver todos sus detalles, mientras que se crean ambientes visuales apropiados variando el énfasis de iluminación dado a los objetos y superficies existentes dentro del ambiente interior.

Para la elaboración de este apartado de la memoria se va a seguir lo indicado en las siguientes referencias:

- Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Capítulo 46: Iluminación. Juan Guasch Farrás.

- PHILIPS: [www.philips.es](http://www.philips.es)

- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-28, "Instalaciones en locales de pública concurrencia".

A continuación se van a definir una serie de términos empleados frecuentemente en el campo de la iluminación:

- **Luminaria:** fuente artificial de luz.
- **Flujo luminoso:** energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Unidad: lumen (lm).
- **Nivel de iluminación:** nivel de iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo luminoso de un lumen. Unidad: lux = lm/m<sup>2</sup>.

Cada actividad requiere un nivel específico de iluminación en el área donde se realiza. En general, cuanto mayor sea la dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación. En varias publicaciones se ofrecen directrices de niveles mínimos de iluminación asociados a diferentes tareas. En concreto, una de las más conocidas y utilizadas son las normas europeas CENTC 169, que se basan más en la experiencia que en el conocimiento científico. Al elegir un cierto nivel de iluminación para un puesto de trabajo determinado, deberán estudiarse los siguientes puntos:

- La naturaleza del trabajo.
- La reflectancia del objeto y de su entorno inmediato.

- Las diferencias con la luz natural y la necesidad de iluminación diurna.
- La edad del trabajador.

A continuación, en la tabla 86 se indican los niveles mínimos de iluminación necesarios en cada espacio, teniendo en cuenta la actividad realizada en cada uno:

*Tabla 86. Niveles de iluminación mínimos en función de las tareas realizadas.*

<b>Zona</b>	<b>Nivel de iluminación (lux)</b>	<b>Criterio de selección</b>
Almacén de materias primas (agua)	150	Zonas no pensadas para el trabajo continuo
Sección de producción	750	Tareas con requisitos visuales normales
Sección de separación	750	Tareas con requisitos visuales normales
Sección de purificación	750	Tareas con requisitos visuales normales
Recepción	300	Tareas con requisitos visuales limitados
Salón de usos múltiples	300	Tareas con requisitos visuales limitados
Oficinas	750	Tareas con requisitos visuales normales
Aseos	300	Tareas con requisitos visuales limitados
Sala de limpieza	150	Zonas no pensadas para el trabajo continuo
Comedor	300	Tareas con requisitos visuales limitados
Pasillos	300	Tareas con requisitos visuales limitados
Vestuarios	300	Tareas con requisitos visuales limitados
Servicios sanitarios	750	Tareas con requisitos visuales normales
Sala de control	750	Tareas con requisitos visuales normales

---

Laboratorios	2000	Tareas con requisitos visuales especiales
Edificio de distribución eléctrica	150	Zonas no pensadas para el trabajo continuo
Sala de calderas	150	Zonas no pensadas para el trabajo continuo
Taller	750	Tareas con requisitos visuales normales
Almacén del taller	300	Tareas con requisitos visuales limitados
Acceso a la fábrica y alrededores de los edificios	50	Zonas abiertas al acceso público con alrededores oscuros

---

### **2.11.1. Iluminación natural**

Se va a intentar que la iluminación necesaria durante el día proceda exclusivamente de la luz solar, ya que es una fuente gratuita y proporciona la luz a la que mejor se adapta el ojo humano.

Se calculará la superficie de ventanas necesaria para conseguir el nivel de iluminación mínimo en cada espacio. En el caso de no ser suficiente la iluminación natural, se calculará la que hay que aportar por fuentes artificiales despejando de la misma ecuación la iluminación (lux) y considerando la diferencia de superficies de ventanales necesaria e instalada.

A continuación, en la tabla 87 se muestran los resultados obtenidos:

Tabla 87. Iluminación natural.

Zona	Iluminación deseada, lux	Superficie a iluminar, m <sup>2</sup>	Superficie ventanales necesaria, m <sup>2</sup>	Superficie ventanales instalada, m <sup>2</sup>	Iluminación por fuentes artificiales, lux
Almacén de materias primas (agua)	150	795	35,8	36,0	---
Sección de producción	750	2179	490,3	144,0	530
Sección de separación	750	1689	380,0	108,0	537
Sección de purificación	750	1677	377,3	180,0	392
Recepción	300	43	3,9	6,0	---
Salón de usos múltiples	300	64	5,8	7,2	---
Oficinas	750	163	36,7	33,6	63
Aseos	300	65	5,9	4,8	54
Sala de limpieza	150	17	0,8	2,4	---
Comedor	300	215	19,4	9,6	151
Pasillos	300	190	17,1	24,0	---
Vestuarios	300	127	11,4	4,8	174
Servicios sanitarios	750	44	9,9	2,4	568
Sala de control	750	50	11,3	1,2	670
Laboratorios	2000	75	45,0	4,8	1787
Edificio de distribución eléctrica	150	94	4,2	4,8	---
Sala de calderas	150	105	4,7	3,6	36
Taller	750	145	32,6	7,2	584
Almacén del taller	300	41	3,7	2,4	105

Las ventanas en el edificio de administración y personal tendrán unas dimensiones de 1 m x 1.2 m, mientras que en el resto de edificios serán de 2 m x 3 m.

### **2.11.2. Iluminación artificial**

No es posible proporcionar una iluminancia constante para una tarea utilizando sólo la luz natural. Además, debido a su gran variabilidad, es probable que se produzcan brillos deslumbrantes que entorpecen la realización de la tarea. La utilidad de la luz natural para iluminar tareas es sólo parcial, por lo que la iluminación artificial, sobre la que puede ejercerse un mayor control, tiene un papel importante que desempeñar.

En función de las necesidades de iluminación en cada zona y de las características de cada una, se calcula el número de luminarias necesarias. La altura del plano de trabajo en cada zona dependerá de la actividad. La altura de las luminarias sobre el plano de trabajo será  $\frac{3}{4}$  de la distancia entre el mismo y el techo. La separación entre las luminarias no debe ser mayor de 1.5 veces su altura sobre el plano de trabajo.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 88:

Tabla 88. Iluminación artificial.

Zona	Nivel de iluminación, lux	Flujo luminoso, lumen	Tipo de luminaria	Potencia, W	Flujo luminoso por luminaria, lumen	Número de puntos de luz
Almacén de materias primas (agua)	150	372656,25	Lámpara de sodio de alta presión	400	56500	7
Sección de producción	750	4085625,00	Lámpara de sodio de alta presión	600	90000	46
Sección de separación	750	3442255,43	Lámpara de sodio de alta presión	600	90000	39
Sección de purificación	750	3417798,91	Lámpara de sodio de alta presión	600	90000	38
Recepción	300	32250,00	Lámpara fluorescente	58	5200	7
Salón de usos múltiples	300	52173,91	Lámpara fluorescente	58	5200	11
Oficinas	750	272879,46	Lámpara fluorescente	58	5200	53
Aseos	300	52989,13	Lámpara fluorescente	58	5200	11
Sala de limpieza	150	9659,09	Lámpara fluorescente	58	5200	2
Comedor	300	134375,00	Lámpara fluorescente	58	5200	26
Pasillos	300	118750,00	Lámpara fluorescente	58	5200	23
Vestuarios	300	75595,24	Lámpara fluorescente	58	5200	15
Servicios sanitarios	750	103125,00	Lámpara fluorescente	58	5200	20
Sala de control	750	117187,50	Lámpara fluorescente	58	5200	23
Laboratorios	2000	407608,70	Lámpara de sodio de alta presión	400	56500	8
Edificio de distribución eléctrica	150	29375,00	Lámpara fluorescente	58	5200	6
Sala de calderas	150	32812,50	Lámpara fluorescente	58	5200	7
Taller	750	339843,75	Lámpara de sodio de alta presión	400	56500	7
Almacén del taller	300	69886,36	Lámpara de sodio de alta presión	400	56500	2

El sistema de iluminación empleado será “general uniforme”. En este sistema las fuentes de luz se distribuyen uniformemente sin tener en cuenta la ubicación de los puestos de trabajo. El nivel medio de iluminación será igual o mayor al mínimo necesario en cada zona.

### 2.11.3. Iluminación exterior

Se iluminarán con, al menos, 50 lux los alrededores de los edificios de proceso y de administración y personal (5 metros), así como las zonas de almacenamiento de materia prima y producto terminado, el acceso a la fábrica, los aparcamientos y las zonas de circulación.

Se usarán lámparas de sodio de alta presión como luminarias. El número necesario de las mismas se muestra en la tabla 89:

Tabla 89. Iluminación exterior.

Zona	Superficie, m <sup>2</sup>	Potencia, W	Flujo luminoso por luminaria, lumen	Número de puntos de luz
Almacén de materias primas ( <i>n</i> -butano)	976	150	17500	6
Almacén de producto terminado (AM)	364	150	17500	3
Edificio de proceso	1941	150	17500	12
Edificio de administración y personal	496	150	17500	3
Acceso a la fábrica	628	400	56500	4
Aparcamientos	2604	150	17500	5
Zonas de circulación	6233	150	17500	38

### 2.11.4. Alumbrado de emergencia

Las instalaciones destinadas a alumbrado de emergencia tienen por objeto asegurar, en caso de fallo de la alimentación al alumbrado normal, la iluminación en los locales y accesos hasta las salidas. Se distinguen dos tipos:

- **Alumbrado de evacuación:** es la parte del alumbrado de seguridad previsto para garantizar el reconocimiento y la utilización de los medios o rutas de evacuación cuando los locales estén o puedan estar ocupados. En rutas de evacuación, el alumbrado de evacuación debe proporcionar, a nivel del suelo y en el eje de los pasos principales, una iluminancia horizontal mínima de 1 lux. En los puntos en los que estén situados los equipos de las instalaciones de protección contra incendios que exijan utilización manual y en los cuadros de distribución del alumbrado, la iluminancia mínima será de 5 lux. El alumbrado de evacuación deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo durante una hora, proporcionando la iluminancia prevista.
- **Alumbrado ambiente o antipánico:** es la parte del alumbrado de seguridad previsto para evitar todo riesgo de pánico y proporcionar una iluminación

ambiente adecuada que permita a los ocupantes identificar y acceder a las rutas de evacuación e identificar los obstáculos. El alumbrado ambiente o antipánico debe proporcionar una iluminancia horizontal mínima de 0.5 lux en todo el espacio considerado, desde el suelo hasta una altura de 1 m. El alumbrado ambiente o antipánico deberá poder funcionar, cuando se produzca el fallo de la alimentación normal, como mínimo durante una hora, proporcionando la iluminancia prevista.

En función de las dimensiones de cada zona y del nivel de iluminación requerido, se calculan las luminarias necesarias en cada una:

Tabla 90. Alumbrado de emergencia.

Zona	Nivel de iluminación, lux	Flujo luminoso, lumen	Tipo de luminaria	Potencia, W	Flujo luminoso por luminaria, lumen	Número de puntos de luz
Almacén de materias primas (agua)	5	12421,88	Lámpara fluorescente	36	3350	4
Sección de producción	5	27237,50	Lámpara fluorescente	36	3350	9
Sección de separación	5	22948,37	Lámpara fluorescente	36	3350	7
Sección de purificación	0,5	2278,53	Lámpara fluorescente	36	3350	1
Recepción	0,5	53,75	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Salón de usos múltiples	0,5	86,96	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Oficinas	0,5	181,92	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Aseos	0,5	88,32	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Sala de limpieza	0,5	32,20	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Comedor	0,5	223,96	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Pasillos	5	1979,17	Lámpara fluorescente	18	1350	2
Vestuarios	0,5	125,99	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Servicios sanitarios	0,5	68,75	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Sala de control	0,5	78,13	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Laboratorios	0,5	101,90	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Edificio de distribución eléctrica	0,5	97,92	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Sala de calderas	0,5	109,38	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Taller	0,5	226,56	Lámpara fluorescente	18	1350	1
Almacén del taller	0,5	116,48	Lámpara fluorescente	18	1350	1

Por otra parte, en el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el “Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales”, se especifican las exigencias de la instalación de los sistemas de alumbrado de emergencia:

- Será fija, estará provista de fuente propia de energía y entrará automáticamente en funcionamiento al producirse un fallo del 70 % de su tensión nominal de servicio.
- Mantendrá las condiciones de servicio durante una hora, como mínimo, desde el momento en que se produzca el fallo.
- Proporcionará una iluminancia de 1 lux, como mínimo, en el nivel del suelo en los recorridos de evacuación. En este caso, esta condición se cumple ampliamente.
- La iluminancia será, como mínimo, de 5 lux en los locales o espacios donde estén instalados cuadros, centros de control o mandos de las instalaciones técnicas de servicios o de los procesos que se desarrollan en el establecimiento industrial, así como en los locales o espacios donde estén instalados los equipos centrales o los cuadros de control de los sistemas de protección contra incendios.
- La uniformidad de la iluminación proporcionada en los distintos puntos de cada zona será tal que el cociente entre la iluminancia máxima y la mínima sea menor que 40.
- Los niveles de iluminación establecidos deben obtenerse considerando nulo el factor de reflexión de paredes y techos y contemplando un factor de mantenimiento que comprenda la reducción del rendimiento luminoso debido al envejecimiento de las lámparas y a la suciedad de las luminarias.

## 2.12. Instalación eléctrica

La finalidad de la red de suministro de energía eléctrica es garantizar la disponibilidad de ésta en cada uno de los puntos de consumo en las condiciones establecidas, asegurando a su vez la protección de la instalación y de las personas. Toda la red de distribución de energía eléctrica deberá cumplir con el Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT.

Esta red parte desde el cuadro general de baja tensión (situado en el edificio de distribución eléctrica), hacia los cuadros secundarios de distribución situados en cada uno de los edificios y naves de la planta, y de éstos a cada uno de los puntos de consumo. Anterior al cuadro general de baja tensión se encuentran el transformador de potencia y los demás equipos de protección y maniobra característicos. El transformador de potencia realiza una variación en la tensión de suministro hasta la tensión trifásica normalizada de consumo (400 V).

### 2.12.1. Características de la instalación

Se van a definir una serie de características de la instalación en función de las cuales se tomarán decisiones para el diseño de la red eléctrica:

- **Actividad:** los edificios industriales se dedicarán a la fabricación del producto, anhídrido maleico. La instalación contará también con edificios de oficinas y almacenes.
- **Topografía de las instalaciones:** son las características arquitectónicas de los edificios. En este caso se construirá una instalación con varios edificios de una sola planta, a excepción del edificio de administración y personal que contará con dos plantas.
- **Latitud de disposición:** esta característica se refiere a las limitaciones de distribución de los equipos eléctricos en la planta.

En la nave de producción será de categoría *baja* ya que la disposición de los equipos está impuesta en su totalidad.

En el resto de edificios será de categoría *media* ya que la posición de los puntos de consumo de electricidad estará impuesta parcialmente.

- **Fiabilidad del servicio:** es el requerimiento sobre la red de alimentación para que asegure el suministro con las condiciones establecidas.

En este caso la fiabilidad basta con que sea la estándar ya que no se precisan medidas extraordinarias para asegurar el suministro eléctrico.

- **Mantenibilidad:** esta característica se refiere al impacto que suponen las actividades de mantenimiento sobre el proceso de producción.

En este caso será estándar ya que las operaciones de mantenimiento se pueden llevar a cabo con el proceso en marcha pero el rendimiento se verá afectado.

- **Demanda de potencia:** la potencia nominal instalada en todo el recinto es de 1857 kW. Esta no será la potencia de diseño ya que hay que tener en cuenta las mayoraciones necesarias.
- **Distribución de las cargas:** hace referencia a la uniformidad de la distribución de las cargas por la instalación.

En la nave de proceso las cargas estarán localizadas, mientras que en el resto de edificios la distribución será uniforme.

La disposición de los consumidores será centralizada, con conexiones directas entre el cuadro de distribución general de baja tensión y los puntos de consumo o cuadros de distribución secundarios.

Todas las tensiones de alimentación son de 230-400 V y la frecuencia 50 Hz.

### **2.12.2. Consumo eléctrico de la instalación**

Se van a detallar los puntos de consumo eléctrico de la instalación. Las potencias indicadas en este apartado aún no han sido mayoradas.

**2.12.2.1. Consumo eléctrico de equipos y bombas**

Tabla 91. Consumo eléctrico de equipos y bombas.

<b>Equipo</b>	<b>Número de equipos</b>	<b>Potencia, kW</b>	<b>Tensión de alimentación, V</b>	<b>Tipo de alimentación</b>
B-AMP-1-CE	1	17.50	230-400	Trifásica
B-AMP-2-CE	1	0.75	230-400	Trifásica
Compresor de aire	1	100	230-400	Trifásica
Agitador del reactor	1	49	230-400	Trifásica
B-PR-8-SO	1	100	230-400	Trifásica
B-PR-28-DP	1	1.50	230-400	Trifásica
B-PR-29-DP	1	1.50	230-400	Trifásica
B-PR-30-DP	1	1.50	230-400	Trifásica
B-PR-39-CE	1	2.80	230-400	Trifásica
B-PR-40-CE	1	6.00	230-400	Trifásica
B-AMP-35-CE	1	5.05	230-400	Trifásica
B-AMP-36-CE	1	1.90	230-400	Trifásica
B-AMP-45-CE	1	2.10	230-400	Trifásica
B-AMP-46-CE	1	0.23	230-400	Trifásica
B-SE-10-SO	1	100	230-400	Trifásica
B-SE-12-CE	1	0.45	230-400	Trifásica
B-SE-17-CE	1	2.85	230-400	Trifásica
B-APT-51-CE	1	10.75	230-400	Trifásica
B-APT-50-CE	1	3.10	230-400	Trifásica
B-APT-23-CE	1	2.05	230-400	Trifásica

El rendimiento de los equipos, motores y bombas ya se ha tenido en cuenta a la hora de indicar su potencia.

Tal y como exige el reglamento, los motores con potencia superior a 0.75 kW estarán provistos de un reóstato de arranque para limitar la intensidad absorbida en el arranque.

### 2.12.2.2. Consumo eléctrico para iluminación interior

Tabla 92. Consumo eléctrico para iluminación interior.

Zona	Tipo de luminaria	Número de puntos de luz	Potencia, W
Almacén de materias primas (agua)	Lámpara de sodio de alta presión	7	400
Sección de producción	Lámpara de sodio de alta presión	46	600
Sección de separación	Lámpara de sodio de alta presión	39	600
Sección de purificación	Lámpara de sodio de alta presión	38	600
Recepción	Lámpara fluorescente	7	58
Salón de usos múltiples	Lámpara fluorescente	11	58
Oficinas	Lámpara fluorescente	53	58
Aseos	Lámpara fluorescente	11	58
Sala de limpieza	Lámpara fluorescente	2	58
Comedor	Lámpara fluorescente	26	58
Pasillos	Lámpara fluorescente	23	58
Vestuarios	Lámpara fluorescente	15	58
Servicios sanitarios	Lámpara fluorescente	20	58
Sala de control	Lámpara fluorescente	23	58
Laboratorios	Lámpara de sodio de alta presión	8	400
Edificio de distribución eléctrica	Lámpara fluorescente	6	58
Sala de calderas	Lámpara fluorescente	7	58
Taller	Lámpara de sodio de alta presión	7	400
Almacén del taller	Lámpara de sodio de alta presión	2	400

**2.12.2.3. Consumo eléctrico para iluminación exterior**

Tabla 93. Consumo eléctrico para iluminación exterior.

Zona	Tipo de luminaria	Número de puntos de luz	Potencia, W
Almacén de materias primas ( <i>n</i> -butano)	Lámpara de sodio de alta presión	6	150
Almacén de producto terminado (AM)	Lámpara de sodio de alta presión	3	150
Edificio de proceso	Lámpara de sodio de alta presión	12	150
Edificio de administración y personal	Lámpara de sodio de alta presión	3	150
Acceso a la fábrica	Lámpara de sodio de alta presión	4	400
Aparcamientos	Lámpara de sodio de alta presión	5	150
Zonas de circulación	Lámpara de sodio de alta presión	38	150

**2.12.2.4. Tomas de corriente**

Se instalarán una serie de enchufes para usos diversos en determinados lugares de la instalación. A continuación se indica su situación, número y alimentación:

Tabla 94. Tomas de corriente.

Zona	Número de enchufes	Tipo de alimentación
Almacén de materias primas (agua)	3	Monofásica
Sección de producción	2	Trifásica
Sección de separación	2	Trifásica
Sección de purificación	2	Trifásica
Recepción	2	Monofásica
Salón de usos múltiples	4	Monofásica
Oficinas	10	Monofásica
Aseos	8	Monofásica
Sala de limpieza	2	Monofásica
Comedor	3	Monofásica
Pasillos	4	Monofásica
Vestuarios	8	Monofásica
Servicios sanitarios	2	Monofásica
Sala de control	4	Monofásica
Laboratorios	8	Monofásica
Edificio de distribución eléctrica	1	Monofásica
Sala de calderas	1	Monofásica
Taller	8	Monofásica
Almacén del taller	1	Monofásica

### 2.12.3. Cuadros de distribución

Desde ellos parten las líneas que suministran electricidad a los distintos puntos de consumo de la instalación. Están conectados con el cuadro de distribución general, que se encuentra en el centro de transformación.

Para las derivaciones del cuadro de distribución general hacia los distintos cuadros de distribución se ha calculado la intensidad que circula, la sección del cable necesaria y la pérdida de tensión con la sección escogida. Los resultados se muestran en la tabla 95. El método de cálculo se muestra claramente en el correspondiente Anexo de cálculos. Los tramos que conduzcan corriente trifásica dispondrán de un neutro con la misma sección que las fases.

Estas derivaciones se van a diseñar considerando que la máxima caída de tensión sea un 2 % de la tensión nominal con la que se alimentan, de esta manera quedará margen de caída de tensión hasta los puntos de consumo para cumplir con el reglamento.

Tabla 95. Derivaciones desde el cuadro de distribución general.

Cuadro de distribución	Tipo de alimentación	Tensión nominal, V	Intensidad, A	Módulo de la intensidad, A	Factor de potencia	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	Caída de tensión real, V	Longitud, m
C1	Trifásica	400	$32.93 \cdot \vec{i} + 24.70 \cdot \vec{j}$	41.16	0.80	17.38	25	5.56	136.5
C2	Trifásica	400	$12.54 \cdot \vec{i} + 9.40 \cdot \vec{j}$	15.67	0.80	9.69	10	7.75	200
C3	Monofásica	230	$45.91 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	45.91	1.00	76.99	95	3.73	216
C4	Trifásica	400	$4.20 \cdot \vec{i} + 3.15 \cdot \vec{j}$	5.25	0.80	2.53	6	3.37	155.5
C5	Trifásica	400	$505.25 \cdot \vec{i} + 354.94 \cdot \vec{j}$	617.46	0.82	246.65	300	4.93	126
C6	Monofásica	230	$216.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	216.00	1.00	188.66	240	3.62	112.5
C7	Trifásica	400	$218.38 \cdot \vec{i} + 139.78 \cdot \vec{j}$	259.28	0.84	65.68	70	7.51	78
C8	Monofásica	230	$183.13 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	183.13	1.00	172.04	185	4.28	121
C9	Trifásica	400	$32.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	32.00	1.00	7.92	10	6.33	64
C10	Monofásica	230	$178.43 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	178.43	1.00	78.27	95	3.79	56.5
C11	Trifásica	400	$19.40 \cdot \vec{i} + 14.55 \cdot \vec{j}$	24.24	0.80	6.34	10	5.07	84.5
C12	Trifásica	400	$9.29 \cdot \vec{i} + 6.97 \cdot \vec{j}$	11.61	0.80	1.44	6	1.92	40

C13	Monofásica	230	$327.89 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	327.89	1.00	165.47	185	4.11	65
C14	Monofásica	230	$95.89 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	95.89	1.00	89.34	95	4.33	120
C15	Monofásica	230	$131.48 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	131.48	1.00	90.34	95	4.37	88.5
C16	Monofásica	230	$100.17 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	100.17	1.00	63.77	70	4.19	82
C17	Monofásica	230	$10.72 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	10.72	1.00	0.17	6	0.16	2
C18	Monofásica	230	$11.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	11.18	1.00	16.7	25	3.07	192.5
C19	Monofásica	230	$87.65 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	87.65	1.00	82.34	95	3.99	121

### **2.12.3.1. Protección de la instalación**

Desde la acometida de alta tensión hasta todos los puntos de consumo, los elementos de protección de la red eléctrica deben proteger la propia instalación y la seguridad de las personas.

Aparte de los elementos de protección que forman parte del centro de transformación, tenemos los siguientes elementos de protección:

- **Interruptor magnetotérmico.** Es un interruptor automático para la protección contra sobrecargas. En motores se empleará un interruptor regulable en intensidad (guardamotor).
- **Interruptor diferencial.** Es un interruptor automático para la protección contra contactos indirectos.

Los interruptores magnetotérmicos y diferenciales se elegirán de entre los estándares comerciales según la intensidad que circule por ellos y la protección requerida.

Como medida de protección en cada cuadro de distribución se situará un disyuntor diferencial para proteger contra contactos indirectos, y en cada derivación que salga de éstos un interruptor magnetotérmico que protegerá estas líneas contra sobrecargas.

Los interruptores diferenciales tendrán una sensibilidad de 30 mA. Los interruptores magnetotérmicos tendrán un poder de corte de 10 kA. La intensidad nominal se seleccionará en función de la que circule por la derivación que proteja cada uno.

### **2.12.4. Derivaciones individuales**

Son los tramos de la red eléctrica que parten desde los cuadros de distribución hasta los puntos de consumo. Se harán los mismos cálculos que en las derivaciones hacia los cuadros de distribución.

Para esta parte de la instalación se emplearán cables de cobre multiconductores (bipolares o tetrapolares, en función de que el suministro sea en monofásica o en trifásica) aislados en tubos en montaje superficial con aislamiento de polietileno reticulado.

A continuación se indican las características de cada una de estas derivaciones, incluyéndose la sección que tendrá cada una. Para poder situar cada derivación se debe consultar el plano de electricidad y el esquema unifilar.

Para las derivaciones individuales que parten de un mismo punto y suministran electricidad a un mismo número de cargas sólo se ha calculado el espesor de una de ellas, siempre seleccionando la de mayor caída de tensión en caso de existir.

◆ **Derivaciones que parten desde C1:**

Este cuadro de distribución alimenta a las bombas del almacén de materias primas (*n*-butano).

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 96:

*Tabla 96. Derivaciones que parten desde C1.*

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	ΔU total, V
C1-A	B-AMP-1-CE	<b>21.88</b>	$31.57 \cdot \vec{i} + 23.68 \cdot \vec{j}$	0.98	10	7.57
C1-B	B-AMP-2-CE	<b>0.94</b>	$1.35 \cdot \vec{i} + 1.01 \cdot \vec{j}$	0.06	1.5	6.43

◆ **Derivaciones que parten desde C2:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por las bombas del almacén de materias primas (agua).

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 97:

*Tabla 97. Derivaciones que parten desde C2.*

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	ΔU total, V
C2-A	B-AMP-35-CE	<b>6.31</b>	$9.11 \cdot \vec{i} + 6.83 \cdot \vec{j}$	0.16	1.5	9.69
C2-B	B-AMP-36-CE	<b>2.38</b>	$3.43 \cdot \vec{i} + 2.57 \cdot \vec{j}$	0.08	1.5	8.72

◆ **Derivaciones que parten desde C3:**

Este cuadro distribuye la electricidad necesaria para la iluminación y las tomas de corriente del almacén de materias primas (agua).

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 98:

Tabla 98. Derivaciones que parten desde C3.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C3-C	7 lámparas de sodio, 400 W	<b>5.04</b>	$21.91 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	5.83	6	10.16
C3-D	3 tomas de corriente	---	$24.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	4.50	6	12.15

◆ **Derivaciones que parten desde C4:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por las bombas del almacén de materias primas (ftalato de dibutilo).

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 99:

Tabla 99. Derivaciones que parten desde C4.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C4-A	B-AMP-45-CE	<b>2.63</b>	$3.79 \cdot \vec{i} + 2.84 \cdot \vec{j}$	0.09	1.5	4.75
C4-B	B-AMP-46-CE	<b>0.29</b>	$0.41 \cdot \vec{i} + 0.31 \cdot \vec{j}$	0.01	1.5	3.53

◆ **Derivaciones que parten desde C5:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por los equipos, las bombas y las tomas de fuerza de la sección de producción.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 100:

Tabla 100. Derivaciones que parten desde C5.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C5-A	Compresor de aire	<b>125.00</b>	$180.42 \cdot \vec{i} + 135.32 \cdot \vec{j}$	5.39	150	5.69
C5-B	B-PR-40-CE	<b>7.50</b>	$14.87 \cdot \vec{i} + 11.15 \cdot \vec{j}$	1.26	2.5	15.52
	B-PR-39-CE	2.80				
	B-PR-28-DP	1.50				
C5-C	B-PR-29-DP	1.50	$7.04 \cdot \vec{i} + 5.28 \cdot \vec{j}$	0.53	1.5	12.43
	B-PR-30-DP	<b>1.88</b>				
C5-D	Agitador del reactor	<b>61.25</b>	$88.41 \cdot \vec{i} + 66.31 \cdot \vec{j}$	3.84	50	6.55
C5-E	B-PR-8-SO	<b>125.00</b>	$180.42 \cdot \vec{i} + 135.32 \cdot \vec{j}$	7.91	150	6.04
C5-F	2 tomas de corriente	---	$32.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.94	6	15.27

◆ **Derivaciones que parten desde C6:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación de la sección de producción.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 101:

Tabla 101. Derivaciones que parten desde C6.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C6-G	11 lámparas de sodio, 600 W	<b>11.88</b>	$51.65 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	15.72	25	7.85
C6-H	11 lámparas de sodio, 600 W	<b>11.88</b>	$51.65 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	17.83	25	8.42
C6-I	11 lámparas de sodio, 600 W	<b>11.88</b>	$51.65 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	19.94	25	8.99
C6-J	7 lámparas de sodio, 600 W	<b>7.56</b>	$32.87 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	14.03	25	7.40
C6-K	2 lámparas de sodio, 600 W	<b>2.16</b>	$28.17 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	6.23	25	5.30
	2 lámparas de sodio, 600 W	<b>2.16</b>				
	2 lámparas de sodio, 600 W	<b>2.16</b>				

◆ **Derivaciones que parten desde C7:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por las bombas y las tomas de fuerza de la sección de separación.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 102:

Tabla 102. Derivaciones que parten desde C7.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C7-A	2 tomas de corriente	---	$32.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.07	6	13.89
C7-B	B-SE-10-SO	<b>125.00</b>	$180.42 \cdot \vec{i} + 135.32 \cdot \vec{j}$	6.10	150	8.26
C7-C	B-SE-17-CE	<b>3.56</b>	$5.14 \cdot \vec{i} + 3.86 \cdot \vec{j}$	0.16	1.5	9.44
C7-D	B-SE-12-CE	<b>0.56</b>	$0.81 \cdot \vec{i} + 0.61 \cdot \vec{j}$	0.01	1.5	7.60

◆ **Derivaciones que parten desde C8:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación de la sección de separación.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 103:

*Tabla 103. Derivaciones que parten desde C8.*

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C8-E	11 lámparas de sodio, 600 W	<b>11.88</b>	$51.65 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	21.22	25	9.43
C8-F	11 lámparas de sodio, 600 W	<b>11.88</b>	$51.65 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	18.91	25	8.87
C8-G	9 lámparas de sodio, 600 W	<b>9.72</b>	$42.26 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	11.59	25	7.10
C8-H	8 lámparas de sodio, 600 W	<b>8.64</b>	$37.57 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	7.74	25	6.16

◆ **Derivaciones que parten desde C9:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por las tomas de fuerza de la sección de purificación.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 104:

*Tabla 104. Derivaciones que parten desde C9.*

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C9-A	2 tomas de corriente	---	$32.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.39	6	14.17

◆ **Derivaciones que parten desde C10:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación de la sección de purificación.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 105:

Tabla 105. Derivaciones que parten desde C10.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C10-B	13 lámparas de sodio, 600 W	<b>14.04</b>	$61.04 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	23.16	25	9.87
C10-C	12 lámparas de sodio, 600 W	<b>12.96</b>	$56.35 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	17.79	25	8.46
C10-D	13 lámparas de sodio, 600 W	<b>14.04</b>	$61.04 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	18.04	25	8.52

◆ **Derivaciones que parten desde C11:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la bomba del almacén de producto terminado (anhídrido maleico).

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 106:

Tabla 106. Derivaciones que parten desde C11.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C11-A	B-APT-51-CE	<b>13.44</b>	$19.40 \cdot \vec{i} + 14.55 \cdot \vec{j}$	0.29	4	6.60

◆ **Derivaciones que parten desde C12:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por las bombas del almacén de residuos.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 107:

Tabla 107. Derivaciones que parten desde C12.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C12-A	B-APT-50-CE	<b>3.88</b>	$5.59 \cdot \vec{i} + 4.19 \cdot \vec{j}$	0.11	1.5	3.69
C12-B	B-APT-23-CE	<b>2.56</b>	$3.70 \cdot \vec{i} + 2.77 \cdot \vec{j}$	0.07	1.5	3.09

◆ **Derivaciones que parten desde C13:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación, tanto interior como exterior, y por las tomas de corriente del edificio de administración y personal.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 108:

Tabla 108. Derivaciones que parten desde C13.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C13-A	7 alumbrados y 2 enchufes	4.41	$19.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.96	2.5	4.69
A-B	7 tubos fluoresc. 58 W	0.73	$3.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.08	1.5	4.98
A-C	2 tomas de corriente	---	$16.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.40	2.5	6.33
C13-D	11 alumbrados y 4 enchufes	8.51	$36.99 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	4.29	10	4.75
D-E	11 tubos fluoresc. 58 W	1.15	$4.99 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.28	1.5	5.81
D-F	3 tomas de corriente	---	$24.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.16	4	7.70
C13-G	38 alumbrados y 7 enchufes	16.85	$73.25 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.47	25	4.14
G-H	38 tubos fluoresc. 58 W	3.97	$17.25 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.88	2.5	8.80
G-I	5 tomas de corriente	---	$40.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.72	10	7.08
C13-J	26 alumbrados y 3 enchufes	8.23	$35.80 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	3.39	6	4.96
J-K	14 tubos fluoresc. 58 W	1.46	$6.35 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.50	1.5	8.88
J-L	3 tomas de corriente	---	$24.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.62	4	8.16
C13-M	14 alumbrados y 2 enchufes	5.14	$22.35 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.74	4	5.14
M-N	7 alumbrados y 1 enchufe	2.57	$11.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.35	2.5	6.55
N-O	7 tubos fluoresc. 58 W	0.73	$3.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.11	1.5	6.83

N-P	1 toma de corriente	---	$8.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.16	1.5	7.45
M-Q	7 alumbrados y 1 enchufe	2.57	$11.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	3.15	4	6.32
Q-R	7 tubos fluoresc. 58 W	0.73	$3.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.10	1.5	6.60
Q-S	1 toma de corriente	---	$8.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.16	1.5	7.22
C13-T	24 alumbrados y 4 enchufes	9.87	$42.89 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	5.36	10	4.91
T-U	12 alumbrados y 2 enchufes	4.93	$21.45 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.53	4	5.49
T-V	12 tubos fluoresc. 58 W	1.25	$5.45 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.48	1.5	6.66
T-W	2 tomas de corriente	---	$16.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.74	2.5	7.90
U-X	12 tubos fluoresc. 58 W	1.25	$5.45 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.54	1.5	7.23
U-Y	2 tomas de corriente	---	$16.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.79	2.5	8.47
C13-Z	14 alumbrados y 10 enchufes	19.86	$86.35 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	10.59	35	4.56
Z-a	7 alumbrados y 5 enchufes	9.93	$43.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	3.08	10	5.03
Z-b	7 tubos fluoresc. 58 W	0.73	$3.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.35	1.5	5.91
Z-c	5 tomas de corriente	---	$40.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.67	10	7.34
a-d	7 tubos fluoresc. 58 W	0.73	$3.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.38	1.5	6.37
a-e	5 tomas de corriente	---	$40.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.79	10	7.80
C13-f	3 lámparas de sodio, 150 W	0.81	$3.52 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.47	1.5	6.08

◆ **Derivaciones que parten desde C14:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación y las tomas de corriente de los vestuarios y servicios sanitarios.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 109:

Tabla 109. Derivaciones que parten desde C14.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	ΔU total, V
C14-A	12 alumbrados y 8 enchufes	15.97	$69.45 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	3.04	25	4.51
A-B	6 alumbrados y 4 enchufes	7.99	$34.72 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.22	6	4.82
B-C	6 tubos fluoresc. 58 W	0.63	$2.72 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.09	1.5	5.16
B-D	4 tomas de corriente	---	$32.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.93	6	6.38
A-E	6 alumbrados y 4 enchufes	7.99	$34.72 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	8.24	10	5.75
E-F	6 tubos fluoresc. 58 W	0.63	$2.72 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.14	1.5	6.17
E-G	4 tomas de corriente	---	$32.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.06	6	7.37
C14-H	20 alumbrados y 2 enchufes	5.77	$25.08 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	4.43	6	5.44
H-I	20 tubos fluoresc. 58 W	2.09	$9.08 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.52	1.5	7.14
H-J	2 tomas de corriente	---	$16.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.79	2.5	8.44
C14-K	3 tubos fluoresc. 58 W	0.31	$1.36 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.06	1.5	4.58

◆ **Derivaciones que parten desde C15:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación y las tomas de corriente del edificio de control.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 110:

Tabla 110. Derivaciones que parten desde C15.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C15-A	12 alumbrados y 2 enchufes	4.93	$21.45 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.25	4	4.46
A-B	12 tubos fluoresc. 58 W	1.25	$5.45 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.17	1.5	5.12
A-C	2 tomas de corriente	---	$16.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.27	2.5	5.61
C15-D	11 alumbrados y 2 enchufes	4.83	$20.99 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	3.07	4	5.52
D-E	11 tubos fluoresc. 58 W	1.15	$4.99 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.13	1.5	5.94
D-F	2 tomas de corriente	---	$16.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.61	2.5	7.83
C15-G	8 alumbrados y 8 enchufes	20.48	$89.04 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	11.55	35	4.87
G-H	8 lámparas de sodio, 400 W	5.76	$25.04 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.91	4	7.49
G-I	8 tomas de corriente	---	$64.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.61	16	6.51

◆ **Derivaciones que parten desde C16:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación y las tomas de corriente del edificio de mantenimiento y taller.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 111:

Tabla 111. Derivaciones que parten desde C16.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C16-A	4 tomas de corriente	---	$32.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.09	6	7.94
C16-B	3 lámparas de sodio, 400 W	<b>2.16</b>	$9.39 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.58	1.5	6.57
C16-C	4 lámparas de sodio, 400 W	<b>2.88</b>	$12.52 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.04	1.5	8.44
C16-D	4 tomas de corriente	---	$32.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	2.09	6	7.94
C16-E	2 alumbrados y 1 enchufe	<b>3.28</b>	$14.26 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.71	2.5	6.25
E-F	2 lámparas de sodio, 400 W	<b>1.44</b>	$6.26 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.32	1.5	7.12
E-G	1 toma de corriente	---	$8.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.06	1.5	6.61

◆ **Derivaciones que parten desde C17:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación y las tomas de corriente del edificio de distribución eléctrica.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 112:

Tabla 112. Derivaciones que parten desde C17.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C17-A	6 tubos fluoresc., 58 W	<b>0.63</b>	$2.72 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.09	1.5	0.74
C17-B	1 toma de corriente	---	$8.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.04	1.5	0.58

◆ **Derivaciones que parten desde C18:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación y las tomas de corriente de la sala de calderas.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 113:

Tabla 113. Derivaciones que parten desde C18.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
C18-A	7 tubos fluoresc., 58 W	<b>0.73</b>	$3.18 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.16	1.5	3.85
C18-B	1 toma de corriente	---	$8.00 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	0.01	1.5	3.18

◆ **Derivaciones que parten desde C19:**

Este cuadro distribuye la electricidad consumida por la iluminación exterior del almacén de materias primas (*n*-butano), del almacén de producto terminado (anhídrido maleico), del edificio de proceso, del acceso a la fábrica, de los aparcamientos y de las zonas de circulación de la planta.

Los datos considerados para el cálculo de las secciones y los resultados para este grupo de derivaciones individuales aparecen en la tabla 114:

Tabla 114. Derivaciones que parten desde C19.

Tramo	Cargas	Potencia, kW	Intensidad total, A	Sección calculada, mm <sup>2</sup>	Sección escogida, mm <sup>2</sup>	$\Delta U$ total, V
	2 lámparas de sodio, 150 W	<b>0.54</b>				
C19-A	2 lámparas de sodio, 150 W	<b>0.54</b>	$7.04 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	5.23	6	9.53
	2 lámparas de sodio, 150 W	<b>0.54</b>				
C19-B	3 lámparas de sodio, 150 W	<b>0.81</b>	$3.52 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	3.29	4	9.22
C19-C	12 lámparas de sodio, 150 W	<b>3.24</b>	$14.09 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	25.49	35	8.62
C19-D	4 lámparas de sodio, 400 W	<b>2.88</b>	$12.52 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	1.01	1.5	8.28
C19-E	5 lámparas de sodio, 150 W	<b>1.35</b>	$5.87 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	6.37	10	8.04
C19-F	19 lámparas de sodio, 150 W	<b>5.13</b>	$22.30 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	43.53	50	9.53
C19-G	19 lámparas de sodio, 150 W	<b>5.13</b>	$22.30 \cdot \vec{i} + 0 \cdot \vec{j}$	41.61	50	9.28

### 2.12.6. Centro de transformación

El centro de transformación es el conjunto de aparatos eléctricos necesarios para la transformación y conversión de la energía eléctrica en otra de menor tensión para el funcionamiento correcto de los receptores.

La MIE RAT 01 lo define como la instalación provista de uno o varios transformadores reductores de alta tensión a baja tensión con la aparatura y obra complementaria precisa.

De acuerdo con esta definición, en el centro de transformación se ha de tener en cuenta no sólo los transformadores sino también la distinta aparatura, tanto de baja como de alta tensión, y las instalaciones y obras auxiliares necesarias para su correcto funcionamiento y la seguridad de personas y bienes.

En la puesta en servicio, funcionamiento o desconexión del centro de transformación, intervienen un determinado tipo de elementos electrotécnicos, denominados aparatura eléctrica. Esta aparatura incluye tanto los elementos de

seguridad como de maniobra y protección. Estos elementos que componen el centro de transformación son:

### **2.12.6.1. Celda de entrada y protección general**

La acometida será aérea. Se alimentará el centro de transformación a través de una línea de Media Tensión de 20 kV de tensión nominal y 50 Hz de frecuencia. En ella se instalará la siguiente aparamenta:

- **Seccionador**

Es un aparato mecánico de conexión, que por razones de seguridad, en posición abierta asegura una distancia de seccionamiento que satisface unas condiciones especificadas. Forma parte de la aparamenta de seguridad.

Su función principal es hacer visible la apertura de los circuitos, por ello, sus contactos han de ser perfectamente visibles, por cuestiones de seguridad.

Un seccionador sólo es capaz de abrir o cerrar un circuito cuando la intensidad que lo recorre es muy pequeña (prácticamente nula).

Asimismo, un seccionador debe ser capaz de soportar las corrientes que se presentan en condiciones normales e incluso, durante un tiempo especificado, las corrientes que se presentan en condiciones anormales (sobrecargas y cortocircuitos).

Se utilizan también seccionadores de puesta a tierra de las líneas como medida de protección, cuando están desconectadas.

Por ser un elemento de protección y seguridad, debe tener poder aislante suficiente y, por ello, suele montarse sobre aisladores de apoyo adecuados a la tensión de servicio.

Se encuentran fuera del edificio del centro de transformación. Serán tripolares, de cuchillas y motorizados. Admitirán una tensión de hasta 25 kV y una intensidad de 400 A.

- **Autoválvula**

Es el elemento que protege contra sobretensiones de tipo atmosférico o de otro tipo (por ejemplo, maniobras de interrupción). Es una resistencia variable con la tensión. Debe estar unida a tierra.

Su funcionamiento es el siguiente: cuando al centro de transformación llega una tensión igual o inferior a la nominal, se comporta como un circuito abierto (por tanto, a través de la autoválvula no pasa corriente), pero cuando llega una tensión más elevada de la nominal, la autoválvula se hace conductora y permite el paso de la corriente a través de ella hacia tierra, lo que impide la entrada de sobretensiones hacia el elemento protegido.

La sobretensión hace disminuir el valor de la resistencia, de manera que, cuando la tensión sobrepasa un valor umbral, la autoválvula pasa al estado de conducción estableciendo un contacto directo con tierra.

Las autoválvulas deben montarse lo más cerca posible del sistema o aparato a proteger y la toma de tierra debe tener una resistencia reducida.

También deben tener la característica de volver a su posición inicial (circuito abierto) una vez que la tensión de la línea protegida vuelva a la normalidad.

Se colocará justo después del seccionador para proteger toda la instalación. Se usará una por fase y estarán conectadas a tierra. Sus características son las siguientes:

- ◆ Tensión nominal: 25 kV
- ◆ Tensión máxima de cebado: 90 kV

- **Interruptor automático o disyuntor**

Según MIE RAT, es un aparato capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en condiciones normales, así como de establecer, soportar durante un tiempo e interrumpir corrientes de cortocircuito.

Se utiliza para maniobra y protección. Generalmente, se diseñan para realizar pocas maniobras, por lo que no admite un número elevado de actuaciones.

El interruptor automático está constituido fundamentalmente por las siguientes partes:

1. Contactos.
2. Cámara de extinción del arco. En los interruptores automáticos de baja tensión el arco se suele establecer en el aire, pero en los de intensidad nominal elevada, se establece en hexafluoruro de azufre o en el vacío. En media tensión la maniobra casi nunca se realiza en aire, utilizándose el vacío, hexafluoruro de azufre, aceite y aire comprimido.
3. Mecanismo de apertura y cierre de contactos. De forma manual y automática.
4. Disparadores. Dispositivos que, unidos al aparato de maniobra, permiten la apertura o el cierre de los contactos liberando el mecanismo de retención.

Tendrá un poder de corte de 8 kA y admitirá hasta 25 kV.

#### **2.12.6.2. Celda de transformación**

En ella se encuentra el transformador de potencia, el elemento principal del centro de transformación (con protecciones propias). El transformador de potencia es el encargado de variar la tensión de suministro hasta la tensión de consumo (400 V). Principalmente consta de un circuito magnético y de un circuito eléctrico.

Para seleccionar el equipo adecuado se debe conocer la potencia consumida en toda la fábrica. En la tabla 115 se muestran las potencias consumidas por las cargas conectadas a cada cuadro de distribución:

Tabla 115. Potencias consumidas en la instalación.

<b>Cuadro de distribución</b>	<b>Potencia consumida, kW</b>
C1	22.81
C2	8.69
C3	10.56
C4	2.91
C5	339.23
C6	49.68
C7	141.93
C8	42.12
C9	12.80
C10	41.04
C11	13.44
C12	6.44
C13	73.68
C14	22.05
C15	30.24
C16	23.04
C17	2.47
C18	2.57
C19	20.16
<b>TOTAL</b>	<b>865.85</b>

Por tanto, se seleccionará un transformador con una potencia de 1000 kVA.

Asimismo, sumando las intensidades que parten de cada derivación se obtiene la intensidad que atravesará el transformador de baja tensión, que es de  $2222.45 \cdot \vec{i} + 553.48 \cdot \vec{j}$  A, el módulo es de 2290.33 A y el factor de potencia 0.97.

### **2.12.6.3. Celda de baja tensión y distribución**

Está conectada con el transformador de potencia. Desde ella se distribuye la electricidad en baja tensión a la instalación. Consta de:

- **Interruptor**

Es un aparato mecánico de conexión capaz de establecer, soportar e interrumpir corrientes en las condiciones normales del circuito, comprendidas circunstancialmente las condiciones especificadas de sobrecarga en servicio, así como soportar, durante un tiempo determinado, corrientes en condiciones anormales especificadas, tales como las de cortocircuito (norma UNE 20104/90). Protegen contra sobreintensidades. Se instalará después del transformador. Sus características son las siguientes:

- ◆ Tensión nominal: 400 V
- ◆ Intensidad nominal: 1800 A
- ◆ Intensidad de sobrecarga: 8 kA

- **Equipos de medida**

Son los encargados de realizar la medida de la energía consumida. En los centros de transformación de cliente es obligatorio la existencia de una celda de medida, cerrada, precintada y con acceso solamente para el personal de la compañía distribuidora.

En esta celda van colocados dos o tres transformadores de medida de intensidad y dos o tres transformadores de medida de tensión, según el sistema de medida utilizado.

Los transformadores de medida aíslan los equipos de medida del circuito de media tensión y suministran en su secundario tensiones e intensidades proporcionales a las del circuito de media tensión.

Los contadores de medida de energía activa y reactiva, interruptor horario, etc., se colocan fuera de la celda de medida, en armarios normalizados, cerrados y precintados, con cristales para la observación de las indicaciones.

- **Fusible**

Es un elemento de protección contra sobreintensidades. El fusible es un dispositivo de corte automático del circuito eléctrico en el que se halle intercalado, cuando la corriente que lo atraviesa excede de la intensidad nominal. El corte se consigue por fusión del alambre fusible que se calienta cuando pasa la corriente y se funde, interrumpiendo el circuito.

Los fusibles deben soportar la sobrecarga máxima establecida. Si se produce un cortocircuito deben fundir rápidamente y tener un límite térmico menor que el de la línea que protege. Deben tener fuerte capacidad de ruptura en tiempo brevísimo.

El fusible está constituido por las siguientes partes:

1. Base portafusible. Parte fija que conecta con la instalación y contiene los soportes del cartucho fusible.
2. Cartucho fusible. Es el elemento recambiable del fusible. Está formado por:
  - Contactos
  - Cartucho aislante (porcelana o vidrio)
  - Material extintor
  - Elemento fusible (cobre o plata)

Se coloca detrás del interruptor. Su intensidad nominal será de 1800 A.

#### • **Cuadro de distribución general de baja tensión**

La salida del secundario del transformador se conecta al cuadro de distribución general de baja tensión, que se suele instalar en armarios prefabricados. De este cuadro parten todas las derivaciones hacia los cuadros de distribución situados en los distintos edificios de la planta.

Está dividido en varias partes:

1. Unidad funcional de control. Contiene los aparatos de medida necesarios.
2. Unidad funcional de seccionamiento. Contiene un interruptor-seccionador o un interruptor automático tetrapolar.
3. Unidad funcional de embarrado. Contiene las barras generales y la conexión de cada una de las salidas.
4. Unidad funcional de protección. Contiene interruptores-seccionadores tetrapolares con fusibles para protección de las salidas.

#### **2.12.6.4. Señalización y seguridad en el centro de transformación**

Las normas fundamentales respecto a la señalización y la seguridad son:

1. Las puertas de acceso del CT, las pantallas y puertas de protección de las celdas no prefabricadas, llevarán un cartel con la señal de riesgo eléctrico.
2. Dentro del centro de transformación se colocará un cartel con las instrucciones de los primeros auxilios en un lugar bien visible.
3. Si son maniobrados con pértiga, se dispondrá de un material adecuado como suelo o banqueta aislante y pértiga de salvamento.
4. Instrucciones de maniobra, bien en cada aparato o en un cartel general bien visible.
5. Par de guantes aislantes de 30 kV; par de guantes aislantes de 2.5 kV.
6. Placa con las Cinco Reglas de Oro; artículo 62 de la Orden Ministerial de 16 de marzo de 1971 del Ministerio de Trabajo.
7. Elementos de repuesto de pequeño material: fusibles, verificador óptico de ausencia de tensión, etc.

### 2.12.7. Instalación de puesta a tierra

La puesta a tierra es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo, mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos enterrados en el suelo. Con esto se pretende que no aparezcan diferencias de potencial peligrosas y permitir el paso a tierra de las corrientes de defecto o las de descarga de origen atmosférico. Existen dos tipos:

1. **Puesta a tierra de protección.** Es la conexión directa a tierra de las partes conductoras de los elementos de una instalación no sometidos inicialmente a tensión eléctrica, pero que pudieran ser puestos en tensión por averías o contactos accidentales, con el fin de proteger a las personas contra tensiones peligrosas.
2. **Puesta a tierra de servicio.** Es la conexión que tiene por objeto unir a tierra temporalmente parte de las instalaciones que están normalmente bajo tensión, o permanentemente ciertos puntos de los circuitos eléctricos en servicio.

Se conectarán a tierra los siguientes puntos:

- Las tomas de corriente, y las masas metálicas correspondientes en aseos y baños (red equipotencial).
- Las bombas y, en general, todo elemento metálico importante.
- Las estructuras metálicas, así como las armaduras de los muros y soportes de hormigón.

Las secciones de los conductores de puesta a tierra se indican en la siguiente tabla:

Tabla 116. Relación entre los conductores de fase y los de puesta a tierra.

Sección de los conductores de fase de la instalación $S$ ( $\text{mm}^2$ )	Sección mínima de los conductores de protección $S_p$ ( $\text{mm}^2$ )
$S \leq 16$ $16 < S \leq 35$ $S > 35$	$S_p = S$ $S_p = 16$ $S_p = S/2$

También se debe tener en cuenta que el valor de resistencia de puesta a tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V en locales o emplazamientos conductores.
- 50 V en los demás casos.

Los electrodos utilizados serán de cobre, de 1 metro de longitud, y cumplirán con la norma UNE 21.022. Se enterrarán a una profundidad de 50 cm. La resistencia de un electrodo depende de sus dimensiones, de su forma y de la resistividad del terreno. También varía con la profundidad a la que se entierren. En este caso se elegirán como electrodos picas verticales.

Según lo establecido por la normativa vigente, la separación entre las picas ha de ser, como mínimo, igual a la longitud enterrada de las mismas, aconsejándose un mínimo de 4 m. Además se verificará que las masas puestas a tierra, así como los conductores de protección asociados a estas masas, no estén unidos a la toma de tierra de las masas del centro de transformación, para evitar que durante la evacuación de un defecto a tierra en el centro de transformación, el resto de la instalación pueda ser sometido a tensiones de contacto peligrosas.

## 2.13. Protección contra incendios

En este apartado se describen las medidas que se tomarán para minimizar los riesgos y daños que pueda originar un incendio en la instalación.

Se va a tener en cuenta la siguiente normativa:

- Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- Documento Básico sobre Seguridad en caso de incendio SI del Código Técnico de la Edificación.

### 2.13.1. Caracterización de la planta en relación con la seguridad contra incendios

Según el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, los establecimientos industriales se caracterizarán por:

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

A continuación se desarrolla cada una de estas caracterizaciones:

#### 2.13.1.1. Características de la planta por su configuración y ubicación con relación a su entorno

Atendiendo a este criterio los distintos edificios y zonas de la instalación se clasifican como:

- **Tipo A**, la nave de proceso con todos los edificios que alberga. El establecimiento industrial ocupa parcialmente un edificio que tiene, además, otros establecimientos, ya sean estos de uso industrial ya de otros usos.
- **Tipo C**, la nave de proceso, la zona de almacenamiento de *n*-butano, el edificio de administración y personal y el edificio de distribución eléctrica. El establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio.

### 2.13.1.2. Caracterización de la planta por su nivel de riesgo intrínseco

Los establecimientos industriales, en general, estarán constituidos por una o varias configuraciones de los tipos A, B, C, D y E. Cada una de estas configuraciones constituirá una o varias zonas (sectores o áreas de incendio) del establecimiento industrial.

- Para los tipos A, B y C se considera “sector de incendio” el espacio del edificio cerrado por elementos resistentes al fuego durante el tiempo que se establezca en cada caso.
- Para los tipos D y E se considera que la superficie que ocupan constituye un “área de incendio” abierta, definida solamente por su perímetro.

El nivel de riesgo intrínseco de cada sector o área de incendio se evaluará mediante la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de dicho sector o área del incendio. Se puede evaluar la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector de incendio aplicando las siguientes expresiones:

- a) Para actividades de producción, transformación, reparación o cualquier otra distinta al almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{si} \cdot S_i \cdot C_i}{A} \cdot R_a$$

donde:

- $Q_s$  es la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m<sup>2</sup> o Mcal/m<sup>2</sup>.
- $q_{si}$  es la densidad de carga de fuego de cada zona con proceso diferente según los distintos procesos que se realizan en el sector de incendio (i), en MJ/m<sup>2</sup> o Mcal/m<sup>2</sup>. Su valor puede obtenerse de la tabla 1.2. del Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- $S_i$  es la superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego,  $q_{si}$ , diferente, en m<sup>2</sup>.
- $C_i$  es el coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio. Su valor puede obtenerse de la tabla 117.
- $A$  es la superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m<sup>2</sup>.
- $R_a$  es el coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc. Cuando existen varias actividades en el mismo sector, se tomará como factor de riesgo de activación el inherente a la actividad de mayor riesgo de activación, siempre que dicha actividad ocupe al menos el 10 por ciento de la superficie del sector o área de incendio. Su valor se encuentra tabulado para distintas actividades en el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Tabla 117. Grado de peligrosidad de los combustibles.

VALORES DEL COEFICIENTE DE PELIGROSIDAD POR COMBUSTIBILIDAD, C <sub>i</sub>		
ALTA	MEDIA	BAJA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1</li> <li>- Líquidos clasificados como subclase B<sub>1</sub>, en la ITC MIE-APQ1.</li> <li>- Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100 °C.</li> <li>- Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente.</li> <li>- Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Líquidos clasificados como subclase B<sub>2</sub> en la ITC MIE-APQ1.</li> <li>- Líquidos clasificados como clase C en la ITC MIE-APQ1.</li> <li>- Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 °C y 200 °C.</li> <li>- Sólidos que emiten gases inflamables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Líquidos clasificados como clase D en la ITC MIE-APQ1.</li> <li>- Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200 °C.</li> </ul>
C <sub>i</sub> = 1,60	C <sub>i</sub> = 1,30	C <sub>i</sub> = 1,00

b) Para actividades de almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{vi} \cdot C_i \cdot h_i \cdot s_i}{A} \cdot R_a$$

donde:

- Q<sub>s</sub> es la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m<sup>2</sup> o Mcal/m<sup>2</sup>.
- q<sub>vi</sub> es la carga de fuego, aportada por cada m<sup>3</sup> de cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio, en MJ/m<sup>3</sup> o Mcal/m<sup>3</sup>. Su valor puede obtenerse de la tabla 1.2. del Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- C<sub>i</sub> es el coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio. Su valor puede obtenerse de la tabla 117.
- h<sub>i</sub> es la altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles, (i), en m.
- s<sub>i</sub> es la superficie ocupada en planta por cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio, en m<sup>2</sup>.
- A es la superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m<sup>2</sup>.
- R<sub>a</sub> es el coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el

sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc. Cuando existen varias actividades en el mismo sector, se tomará como factor de riesgo de activación el inherente a la actividad de mayor riesgo de activación, siempre que dicha actividad ocupe al menos el 10 por ciento de la superficie del sector o área de incendio. Su valor se encuentra tabulado para distintas actividades en el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

En las siguientes tablas se muestran los cálculos de la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de cada sector o área de incendio:

Tabla 118. Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de cada sector de incendio.

<b>Edificio de administración y personal</b>						
Sector	$q_{si}$ , MJ/m <sup>2</sup>	$C_i$	$S_i$ , m <sup>2</sup>	$R_a$	A, m <sup>2</sup>	$Q_s$ , MJ/m <sup>2</sup>
Recepción	200	1,00	43	1,5	379	1081,4
Salón de usos múltiples	500	1,60	64	1,5		
Oficinas	500	1,60	163	1,5		
Aseos	200	1,00	65	1,5		
Sala de limpieza	250	1,30	17	1,5		
Comedor	300	1,00	215	1,0		

<b>Vestuarios y servicios sanitarios</b>						
Sector	$q_{si}$ , MJ/m <sup>2</sup>	$C_i$	$S_i$ , m <sup>2</sup>	$R_a$	A, m <sup>2</sup>	$Q_s$ , MJ/m <sup>2</sup>
Vestuarios	200	1,00	127	1,5	172	336,6
Servicios sanitarios	300	1,00	44	1,0		

<b>Edificio de control</b>						
Sector	$q_{si}$ , MJ/m <sup>2</sup>	$C_i$	$S_i$ , m <sup>2</sup>	$R_a$	A, m <sup>2</sup>	$Q_s$ , MJ/m <sup>2</sup>
Sala de control	400	1,60	50	1,5	125	1104,0
Laboratorios	500	1,60	75	1,5		

<b>Edificio de mantenimiento y taller</b>						
Sector	$q_{si}$ , MJ/m <sup>2</sup>	$C_i$	$S_i$ , m <sup>2</sup>	$R_a$	A, m <sup>2</sup>	$Q_s$ , MJ/m <sup>2</sup>
Taller	600	1,30	145	1,0	186	2062,6
Almacén del taller	1200	1,60	41	2,0		

<b>Edificio de distribución eléctrica</b>						
Sector	$q_{si}$ , MJ/m <sup>2</sup>	$C_i$	$S_i$ , m <sup>2</sup>	$R_a$	A, m <sup>2</sup>	$Q_s$ , MJ/m <sup>2</sup>
Edificio de distribución eléctrica	300	1,00	94	1,0	94	300,0

<b>Sala de calderas</b>						
<b>Sector</b>	<b>q<sub>si</sub>, MJ/m<sup>2</sup></b>	<b>C<sub>i</sub></b>	<b>S<sub>i</sub>, m<sup>2</sup></b>	<b>R<sub>a</sub></b>	<b>A, m<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>s</sub>, MJ/m<sup>2</sup></b>
Sala de calderas	200	1,60	105	1,0	105	320,0

En la sección de producción, separación y purificación sólo se puede diferenciar una actividad según el reglamento aplicado. En ellos, la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, será de 4000 MJ/m<sup>2</sup>.

Tabla 119. Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de cada área de

<b>Almacén de n-butano</b>							
<b>Sector</b>	<b>q<sub>vi</sub>, MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>C<sub>i</sub></b>	<b>h<sub>i</sub>, m</b>	<b>s<sub>i</sub>, m<sup>2</sup></b>	<b>R<sub>a</sub></b>	<b>A, m<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>s</sub>, MJ/m<sup>2</sup></b>
Tanques de almacenamiento de n-butano	43700	1,60	8,23	106,1	2,0	976,5	125047,3

<b>Almacén de ftalato de dibutilo</b>							
<b>Sector</b>	<b>q<sub>vi</sub>, MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>C<sub>i</sub></b>	<b>h<sub>i</sub>, m</b>	<b>s<sub>i</sub>, m<sup>2</sup></b>	<b>R<sub>a</sub></b>	<b>A, m<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>s</sub>, MJ/m<sup>2</sup></b>
Tanques de almacenamiento de ftalato de dibutilo	43700	1,00	3,83	5,7	2,0	57	33474,2

<b>Almacén de anhídrido maleico</b>							
<b>Sector</b>	<b>q<sub>vi</sub>, MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>C<sub>i</sub></b>	<b>h<sub>i</sub>, m</b>	<b>s<sub>i</sub>, m<sup>2</sup></b>	<b>R<sub>a</sub></b>	<b>A, m<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>s</sub>, MJ/m<sup>2</sup></b>
Tanques de almacenamiento de anhídrido maleico	25200	1,00	10,37	126,4	2,0	364	181491,0

<b>Almacén de residuos</b>							
<b>Sector</b>	<b>q<sub>vi</sub>, MJ/m<sup>3</sup></b>	<b>C<sub>i</sub></b>	<b>h<sub>i</sub>, m</b>	<b>s<sub>i</sub>, m<sup>2</sup></b>	<b>R<sub>a</sub></b>	<b>A, m<sup>2</sup></b>	<b>Q<sub>s</sub>, MJ/m<sup>2</sup></b>
Tanque de almacenamiento de compuestos orgánicos ligeros	800	1,00	4,80	4,5	1,5	85	1478,2
Tanque de almacenamiento de ftalato de dibutilo	800	1,00	3,83	2,9	1,5		
Ácido fumárico almacenado	800	1,00	2	36	1,5		

El nivel de riesgo intrínseco de un edificio o un conjunto de sectores y/o áreas de incendio de un establecimiento industrial, a los efectos de la aplicación de este reglamento, se evaluará calculando la siguiente expresión, que determina la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, Q<sub>e</sub>, de dicho edificio industrial:

$$Q_e = \frac{\sum_1^i Q_{si} \cdot A_i}{\sum_1^i A_i}$$

donde:

- $Q_e$  es la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del edificio industrial, en  $\text{MJ}/\text{m}^2$  o  $\text{Mcal}/\text{m}^2$ .
- $Q_{si}$  es la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de cada uno de los sectores o áreas de incendio, (i), que componen el edificio industrial, en  $\text{MJ}/\text{m}^2$  o  $\text{Mcal}/\text{m}^2$ .
- $A_i$  es la superficie construida de cada uno de los sectores o áreas de incendio, (i), que componen el edificio industrial, en  $\text{m}^2$ .

Sustituyendo en esta última ecuación tenemos que:

$$Q_e = 13690.2 \text{ MJ}/\text{m}^2$$

A los efectos de este reglamento, el nivel de riesgo intrínseco de un establecimiento industrial, cuando desarrolla su actividad en más de un edificio, ubicados en un mismo recinto, se evaluará calculando la siguiente expresión, que determina la carga de fuego, ponderada y corregida,  $Q_E$ , de dicho establecimiento industrial:

$$Q_E = \frac{\sum_1^i Q_{ei} \cdot A_{ei}}{\sum_1^i A_{ei}}$$

donde:

- $Q_E$  es la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del establecimiento industrial, en  $\text{MJ}/\text{m}^2$  o  $\text{Mcal}/\text{m}^2$ .
- $Q_{ei}$  es la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de cada uno de los edificios industriales, (i), que componen el establecimiento industrial, en  $\text{MJ}/\text{m}^2$  o  $\text{Mcal}/\text{m}^2$ .
- $A_{ei}$  es la superficie construida de cada uno de los edificios industriales, (i), que componen el establecimiento industrial, en  $\text{m}^2$ .

Sustituyendo en esta última ecuación tenemos que:

$$Q_E = 5335.9 \text{ MJ}/\text{m}^2$$

Una vez evaluada la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de un sector o área de incendio,  $Q_s$ , o de un establecimiento industrial,  $Q_E$ , el nivel de riesgo intrínseco del sector o área de incendio o del establecimiento industrial se deduce de la tabla 120:

Tabla 120. Niveles de riesgo intrínseco.

Nivel de riesgo intrínseco	Densidad de carga de fuego ponderada y corregida		
	Mcal/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	
BAJO	1	$Q_S \leq 100$	$Q_S \leq 425$
	2	$100 < Q_S \leq 200$	$425 < Q_S \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_S \leq 300$	$850 < Q_S \leq 1275$
	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	$3200 < Q_S$	$13600 < Q_S$

Los resultados se muestran a continuación en la tabla 121:

Tabla 121. Niveles de riesgo intrínseco.

Sector o área de incendio	Densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, MJ/m <sup>2</sup>	Nivel de riesgo intrínseco
Edificio de administración y personal	1081.4	3 (Medio)
Vestuarios y servicios sanitarios	336.6	1 (Bajo)
Edificio de control	1104.0	3 (Medio)
Edificio de mantenimiento y taller	2062.6	5 (Medio)
Edificio de distribución eléctrica	300.0	1 (Bajo)
Sala de calderas	320.0	1 (Bajo)
Sección de producción	4000.0	6 (Alto)
Sección de separación	4000.0	6 (Alto)
Sección de purificación	4000.0	6 (Alto)
Almacén de <i>n</i> -butano	125047.3	8 (Alto)
Almacén de ftalato de dibutilo	33474.2	8 (Alto)
Almacén de anhídrido maleico	181491.0	8 (Alto)
Almacén de residuos	1478.2	4 (Medio)
<b>Establecimiento industrial</b>	<b>5335.9</b>	<b>6 (Alto)</b>

### 2.13.2. Requisitos constructivos de la planta

El establecimiento industrial debe cumplir con unos requisitos constructivos en función de su configuración, ubicación y nivel de riesgo intrínseco señalado anteriormente.

#### 2.13.2.1. Máxima superficie construida

La máxima superficie construida admisible de cada sector de incendio será la que se indica en la tabla 122:

Tabla 122. Máxima superficie construida admisible de cada sector de incendio.

Riesgo intrínseco del sector de incendio	Configuración del establecimiento		
	TIPO A (m <sup>2</sup> )	TIPO B (m <sup>2</sup> )	TIPO C (m <sup>2</sup> )
BAJO	(1)-(2)-(3)	(2) (3) (5)	(3) (4)
1	2000	6000	SIN LÍMITE
2	1000	4000	6000
MEDIO	(2)-(3)	(2) (3)	(3) (4)
3	500	3500	5000
4	400	3000	4000
5	300	2500	3500
ALTO	NO ADMITIDO	(3)	(3)(4)
6		2000	3000
7		1500	2500
8		NO ADMITIDO	2000

Teniendo en cuenta que el riesgo intrínseco del establecimiento es de 6, que su configuración es de tipo C y que la superficie construida es de 8088.5 m<sup>2</sup> se observa que no se cumple el reglamento aplicado.

### 2.13.2.2. Materiales utilizados y resistencia al fuego de los elementos constructivos

Las exigencias de comportamiento al fuego de los productos de construcción se definen determinando la clase que deben alcanzar, según la norma UNE-EN 13501-1 para aquellos materiales para los que exista norma armonizada y ya esté en vigor el marcado “CE”.

Las exigencias de comportamiento al fuego y la normativa de aplicación sobre los elementos constructivos quedan indicadas en el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. No se describirá más detalladamente este punto ya que pertenece al campo de la obra civil, quedando fuera del propósito de este proyecto.

### 2.13.2.3. Evacuación de los establecimientos industriales

El sistema de evacuación del personal se va a diseñar teniendo en cuenta el Código Técnico de la Edificación además del Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Para la aplicación de las exigencias relativas a la evacuación de los establecimientos industriales, se determinará su ocupación,  $P$ , deducida de la siguiente expresión:

$$P = 1.10 \cdot p, \text{ cuando } p < 100$$

donde  $p$  representa el número de personas que ocupa el sector de incendio, de acuerdo con la documentación laboral que legalice el funcionamiento de la actividad.

Los valores obtenidos para  $P$  según la anterior expresión, se redondearán al entero inmediatamente superior.

Tabla 123. Ocupación “ $P$ ” en cada sector o área de incendio.

Sector o área de incendio	Número de trabajadores	Ocupación, $P$
Edificio de administración y personal	10	11
Vestuarios y servicios sanitarios	1	2
Edificio de control	5	6
Edificio de mantenimiento y taller	3	4
Sección de producción	9	10
Sección de separación	6	7
Sección de purificación	2	3
Almacén de $n$ -butano	1	2

- **Número de salidas y longitud de los recorridos de evacuación**

Todos los sectores de incendio definidos en este apartado cuentan con una salida en cada uno, excepto los sectores relacionados con el proceso de producción, esto es, la sección de producción, la de separación y la de purificación, que cuentan con dos salidas. Según el Código Técnico de la Edificación, es suficiente con una única salida cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- La ocupación no exceda de 100 personas.
- La longitud de los recorridos de evacuación hasta una salida de planta no exceda de 25 m o de 50 m si se trata de una planta que tiene una salida directa al espacio exterior seguro y la ocupación no exceda de 25 personas.
- La altura de evacuación descendente de la planta considerada no exceda de 28 m.

- **Dimensionado de los medios de evacuación**

- a) **Anchura de puertas y pasos:**

Se usará la siguiente ecuación:

$$A \geq \frac{P}{200} \geq 0.80 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta el grado de ocupación de cada sector de incendio se observa que para todos ellos basta con que la anchura de las puertas y los pasos sea de 0.8 m.

Al no estar prevista una ocupación superior a 50 personas no hay más exigencias que deban cumplir las puertas situadas en el recorrido de evacuación.

- b) **Anchura de pasillos y rampas:**

Se usará la siguiente ecuación:

$$A \geq \frac{P}{200} \geq 1.00 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta el grado de ocupación de cada sector de incendio se observa que para todos ellos basta con que la anchura de los pasillos y las rampas sea de 1 m para cumplir con el reglamento.

- c) **Dimensiones de las ventanas:**

Para facilitar el acceso de los servicios de extinción de incendios, sus dimensiones horizontal y vertical deben ser de, al menos, 0.80 m y 1.20 m respectivamente. La distancia máxima entre los ejes verticales de dos huecos consecutivos no debe exceder de 25 m, medida sobre la fachada.

- **Señalización de los medios de evacuación**

Se utilizarán las señales de evacuación definidas en la norma UNE 23034:1988, conforme a los siguientes criterios:

- Las salidas del recinto, planta o edificio tendrán una señal con el rótulo “SALIDA”.
- La señal con el rótulo “Salida de emergencia” debe utilizarse en toda salida prevista para uso exclusivo en caso de emergencia.
- Deben disponerse señales indicativas de dirección de los recorridos, visibles desde todo origen de evacuación desde el que no se perciban directamente las salidas o sus señales indicativas.
- En los puntos de los recorridos de evacuación en los que existan alternativas que puedan inducir a error, también se dispondrán las señales antes citadas, de forma que quede claramente indicada la alternativa correcta.
- En dichos recorridos, junto a las puertas que no sean salida y que puedan inducir a error en la evacuación debe disponerse la señal con el rótulo “Sin salida” en lugar fácilmente visible pero en ningún caso sobre las hojas de las puertas.
- Las señales se dispondrán de forma coherente con la asignación de ocupantes que se pretenda hacer a cada salida, conforme a lo establecido en el capítulo 4 de la sección correspondiente del Código Técnico de la Edificación.

Las señales deben ser visibles incluso en caso de fallo en el suministro al alumbrado normal. Cuando sean fotoluminiscentes deben cumplir lo establecido en las normas UNE 23035-1:2003, UNE 23035-2:2003 y UNE 23035-4:2003 y su mantenimiento se realizará conforme a lo establecido en la norma UNE 23035-3:2003.

Será necesaria la instalación de un sistema de alumbrado de emergencia, el cual ya se ha descrito en el apartado de iluminación de la Memoria.

### **2.13.3. Instalaciones de protección contra incendios**

A continuación se detallan todos los elementos que compondrán la instalación de protección contra incendios:

#### **2.13.3.1. Sistemas automáticos de detección de incendios**

Se instalarán sistemas automáticos de detección de incendios en los siguientes sectores de incendio del establecimiento industrial:

- Sección de producción
- Sección de separación
- Sección de purificación
- Almacén de *n*-butano
- Almacén de ftalato de dibutilo
- Almacén de anhídrido maleico

- Almacén de residuos

### **2.13.3.2. Sistemas manuales de alarma de incendios**

Están constituidos por un conjunto de pulsadores que permitirán provocar voluntariamente y transmitir una señal a la sala de control, de tal forma que sea fácilmente identificable la zona en que ha sido activado el pulsador. Se instalarán en los siguientes sectores de incendio del establecimiento industrial:

- Edificio de administración y personal
- Vestuarios y servicios sanitarios
- Edificio de control
- Edificio de mantenimiento y taller
- Edificio de distribución eléctrica
- Sala de calderas

Los pulsadores se situarán junto a las salidas de emergencia, de manera que la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta ellos sea de 50 m.

No será necesaria la instalación de un sistema de comunicación acústica de la alarma.

### **2.13.3.3. Extintores de incendios**

Se instalarán extintores de incendio portátiles en todos los sectores de incendio del establecimiento industrial.

El emplazamiento de los extintores portátiles de incendio permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles. Estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio, a ser posible próximos a las salidas de evacuación, y su distribución será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor, no supere los 15 m. Se instalarán sobre soportes fijados a parámetros verticales, de modo que la parte superior del extintor quede, como máximo, a 1.70 m sobre el suelo.

El agente extintor utilizado será seleccionado de acuerdo con la tabla I-1 del apéndice 1 del Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, aprobado por el Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, y que reproducimos a continuación como tabla 124:

Tabla 124. Agentes extintores y su adecuación a las distintas clases de fuego.

TABLA I-1

**Agentes extintores y su adecuación a las distintas clases de fuego**

Agente extintor	Clase de fuego (UNE 23.010)			
	A (Sólidos)	B (Líquidos)	C (Gases)	D (Metales especiales)
Agua pulverizada .....	(2)xxx	x		
Agua a chorro .....	(2)xx			
Polvo BC (convencional) .....		xxx	xx	
Polvo ABC (polivalente) .....	xx	xx	xx	
Polvo específico metales .....				xx
Espuma física .....	(2)xx	xx		
Anhídrido carbónico ...	(1)x	x		
Hidrocarburos halogenados .....	(1)x	xx		

Siendo:

xxx Muy adecuado.  
 xx Adecuado.  
 x Aceptable.

Notas:

(1) En fuegos poco profundos (profundidad inferior a 5 mm) puede asignarse xx.

(2) En presencia de tensión eléctrica no son aceptables como agentes extintores el agua a chorro ni la espuma; el resto de los agentes extintores podrán utilizarse en aquellos extintores que superen el ensayo dieléctrico normalizado en UNE 23.110.

En todos los sectores de incendio del establecimiento industrial hay combustibles de clase A (sólidos). Al existir tensión eléctrica en las zonas donde se desarrollaría el incendio, el agente extintor seleccionado será polvo ABC (polivalente).

Dado que la clase de fuego de todos los sectores de incendio es A, se determinará la dotación de extintores del sector de incendio de acuerdo con la tabla 125:

Tabla 125. Determinación de la dotación de extintores portátiles en sectores de incendio con carga de fuego aportada por combustibles de clase A.

GRADO DE RIESGO INTRÍNSECO DEL SECTOR DE INCENDIO	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> , o fracción, en exceso)
MEDIO	21 A	Hasta 400 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> , o fracción, en exceso)
ALTO	34 A	Hasta 300 m <sup>2</sup> (un extintor más por cada 200 m <sup>2</sup> , o fracción, en exceso)

El número y la eficacia mínima de los extintores se recoge en la tabla 126:

Tabla 126. Extintores necesarios en cada sector de incendio de la planta.

Sector o área de incendio	Nivel de riesgo intrínseco	Superficie, m <sup>2</sup>	Eficacia mínima del extintor	Número de extintores
Edificio de administración y personal	3 (Medio)	379	21 A	1
Vestuarios y servicios sanitarios	1 (Bajo)	172	21 A	1
Edificio de control	3 (Medio)	125	21 A	1
Edificio de mantenimiento y taller	5 (Medio)	186	21 A	1
Edificio de distribución eléctrica	1 (Bajo)	94	21 A	1
Sala de calderas	1 (Bajo)	105	21 A	1
Sección de producción	6 (Alto)	2179	34 A	11
Sección de separación	6 (Alto)	1689	34 A	8
Sección de purificación	6 (Alto)	1677	34 A	8
Almacén de <i>n</i> -butano	8 (Alto)	976.5	34 A	5
Almacén de ftalato de dibutilo	8 (Alto)	57	34 A	1
Almacén de anhídrido maleico	8 (Alto)	364	34 A	2
Almacén de residuos	4 (Medio)	85	21 A	1

#### 2.13.3.4. Sistemas de bocas de incendio equipadas

Están compuestos por una fuente de abastecimiento de agua, una red de tuberías para la alimentación del agua y las bocas de incendio equipadas (BIEs) necesarias.

Las BIEs deberán montarse sobre un soporte rígido de forma que la altura de su centro quede, como máximo, a 1.5 m sobre el nivel del suelo. Su número y distribución en un sector de incendio será tal que la totalidad de la superficie del sector de incendio en que estén instaladas quede cubierta por una BIE, considerando como radio de acción de ésta la longitud de su manguera más 5 metros.

A pesar de no ser obligatorio su uso en todos los sectores, se van a instalar en todos los sectores de incendio del establecimiento industrial.

Además de los requisitos establecidos en el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, para su disposición y características se cumplirán las siguientes condiciones hidráulicas:

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

Las características de las BIEs instaladas son las siguientes:

Tabla 127. Características de las BIEs instaladas.

Sector o área de incendio	Nivel de riesgo intrínseco	Tipo de BIE, mm	Longitud, m	Número de BIEs
Edificio de administración y personal	3 (Medio)	45	25	1
Vestuarios y servicios sanitarios	1 (Bajo)	25	20	1
Edificio de control	3 (Medio)	45	20	1
Edificio de mantenimiento y taller	5 (Medio)	45	20	1
Edificio de distribución eléctrica	1 (Bajo)	25	20	1
Sala de calderas	1 (Bajo)	25	20	1
Sección de producción	6 (Alto)	45	75	1
Sección de separación	6 (Alto)	45	75	1
Sección de purificación	6 (Alto)	45	75	1
Almacén de <i>n</i> -butano	8 (Alto)	45	50	1
Almacén de ftalato de dibutilo	8 (Alto)	45	10	1
Almacén de anhídrido maleico	8 (Alto)	45	25	1
Almacén de residuos	4 (Medio)	45	10	1

Se deberá comprobar que la presión en la boquilla no sea inferior a dos bares ni superior a cinco bares, y, si fuera necesario, se dispondrán dispositivos reductores de presión.

Además de todos los sistemas mencionados anteriormente, en la nave de proceso se instalará un sistema de rociadores automáticos de agua, puesto que el edificio es de tipo A, su nivel de riesgo intrínseco es alto y su superficie total construida es superior a los 500 m<sup>2</sup>.

No serán necesarios otros sistemas de extinción de incendios tales como sistemas de columna seca, sistemas de agua pulverizada, sistemas de espuma física, sistemas de extinción por polvo o sistemas de extinción por agentes extintores gaseosos debido a la sencillez de las operaciones industriales que se llevan a cabo en los distintos sectores de incendio de la planta.

## **2.14. Planificación del proyecto y programación de obras**

Frecuentemente los proyectos de ingeniería requieren la realización de un gran número de actividades que a su vez, están correlacionadas entre sí de diversas maneras. Debido a la gran complejidad de estos proyectos, es habitual que este “sin fin de tareas” esté agrupado en bloques (grupos de actividades), procedimiento que facilita el control y seguimiento del proyecto como un todo.

La construcción y puesta en marcha de la planta ha de ser dividida en una serie de trabajos individuales conectados entre sí mediante los recursos y el tiempo.

Para gastar el mínimo de recursos y tiempo y obtener una planificación óptima se recurre a técnicas de programación lineal. Estas técnicas descomponen los trabajos en trabajos unitarios y revelan las relaciones existentes entre ellos para luego poder planificar adecuadamente el orden de los trabajos a realizar.

Los métodos de programación lineal más conocidos son el diagrama de Gantt y el diagrama PERT. Estos métodos permitirán obtener la holgura o tiempo que se puede retrasar una actividad y el camino crítico, aquel formado por las actividades sin holgura que, si se prolongan, retrasan la conclusión del proyecto.

El diagrama dibujado puede resultar muy complejo debido al gran número de tareas en el que se pueden dividir los trabajos. Por ello, se han agrupado ciertas tareas en una sola, se han omitido tareas menores con un tiempo inferior al obtenido y se han añadido los tiempos de espera al tiempo total de realización, todo ello para facilitar la interpretación de los diagramas dibujados.

A continuación se muestra una tabla con las actividades de la obra y los datos obtenidos a partir de los diagramas realizados. Seguidamente se encuentran los gráficos de planificación elaborados.

Tabla 128. Lista de tareas.

	Nombre de tarea	Duración	Duración optimista	Duración esperada	Duración pesimista	Predecesoras	Demora de comienzo	Demora de fin	Demora permisible	Tareas críticas	
1	Revisión de documentos	1 día	1 día	1 día	1 día		0 días	0 días	0 días	Si	
2	Destroce del terreno	5 días	4 días	5 días	6 días		1	1 día	1 día	1 día	No
3	Limpieza y tala de árboles	6 días	4 días	6 días	10 días		1	0 días	0 días	0 días	Si
4	Acopio de materiales para la red de saneamiento	12 días	7 días	10 días	25 días		1	54 días	54 días	10 días	No
5	Acopio de materiales para la cimentación	10 días	4 días	11 días	12 días		1	21 días	21 días	21 días	No
6	Replanteo del terreno	10 días	8 días	9 días	16 días		3,2	0 días	0 días	0 días	Si
7	Instalación de la grúa	10 días	8 días	10 días	12 días		3,2	15 días	15 días	15 días	No
8	Excavación de zanjas para la red de saneamiento	6 días	4 días	6 días	8 días		6	44 días	44 días	0 días	No
9	Excavación del terreno para la cimentación	15 días	14 días	15 días	16 días		6	0 días	0 días	0 días	Si
10	Construcción de la red de saneamiento	20 días	10 días	22 días	22 días		8,4	44 días	44 días	39 días	No
11	Construcción de la cimentación de la planta	50 días	46 días	48 días	62 días		9,57	0 días	0 días	0 días	Si
12	Acopio de materiales para la estructura	15 días	13 días	15 días	17 días		11,4;5;10	5 días	5 días	0 días	No
13	Construcción de la solera	20 días	14 días	21 días	22 días		5,11	0 días	0 días	0 días	Si
14	Construcción de la estructura de la planta	100 días	80 días	95 días	140 días		13;12	0 días	0 días	0 días	Si
15	Acopio de materiales para la cubierta	10 días	9 días	10 días	11 días		12	95 días	95 días	95 días	No
16	Acopio de materiales para los cerramientos	15 días	14 días	15 días	16 días		12	140 días	140 días	140 días	No
17	Construcción de la cubierta de la planta	50 días	40 días	51 días	56 días		14;15	0 días	0 días	0 días	Si
18	Construcción de los cerramientos de la planta	140 días	110 días	145 días	150 días		14;15;16;17	0 días	0 días	0 días	Si
19	Acopio de materiales para la carpintería de madera	15 días	12 días	14 días	22 días		17;18	221,34 días	221,34 días	0 días	No
20	Instalación de la carpintería exterior	15 días	8 días	16 días	18 días		18;19;17	221,34 días	221,34 días	0 días	No
21	Construcción de la tabiquería de la planta	71 días	56 días	70 días	87 días		18	0 días	0 días	0 días	Si
22	Enfosado de los tabiques y cerramientos	30 días	20 días	31 días	36 días		20	221,34 días	221,34 días	221,34 días	No
23	Rozas	5 días	4 días	5 días	6 días		21	0 días	0 días	0 días	Si
24	Instalación de fontanería	20 días	18 días	18 días	32 días		23	16 días	16 días	16 días	No
25	Instalación de electricidad	36 días	26 días	28 días	42 días		23	0 días	0 días	0 días	Si
26	Instalación de protección contra incendios	12 días	10 días	12 días	15 días		23	193,34 días	193,34 días	193,34 días	No
27	Cercos	10 días	4 días	11 días	12 días		21	6 días	6 días	0 días	No
28	Instalación de las bajantes	25 días	20 días	25 días	30 días		27	6 días	6 días	6 días	No
29	Yesos	15 días	10 días	14 días	24 días		24;25;28	0 días	0 días	0 días	Si
30	Azulejos	30 días	24 días	29 días	40 días		24;25;28	139,34 días	139,34 días	139,34 días	No
31	Solería	20 días	16 días	18 días	32 días		29	0 días	0 días	0 días	Si
32	Instalación de la carpintería interior	20 días	15 días	20 días	25 días		27	180,34 días	180,34 días	180,34 días	No
33	Acopio de materiales para la carpintería de aluminio	8 días	5 días	8 días	12 días		19	249,34 días	249,34 días	0 días	No
34	Acopio de materiales para la cerrajería	7 días	5 días	7 días	9 días		19	251,34 días	251,34 días	0 días	No
35	Instalación de cancelas, rejas y ventanas fijas	5 días	3 días	5 días	7 días		34	251,34 días	251,34 días	2 días	No
36	Instalación de las ventanas y persianas	6 días	5 días	6 días	7 días		33	249,34 días	249,34 días	0 días	No
37	Instalación de la vidriería	3 días	2 días	3 días	4 días		36;35	249,34 días	249,34 días	249,34 días	No
38	Instalación de la iluminación de la planta	12 días	10 días	12 días	15 días		25	157,34 días	157,34 días	157,34 días	No
39	Pedido de componentes y petición de proyectos	1 día	1 día	1 día	1 día		31	0 días	0 días	0 días	Si
40	Pedido de unidades	1 día	1 día	1 día	1 día		31	0,67 días	0,67 días	0 días	No
41	Plazo de entrega de los tanques de almacenamiento de n-butano, T-201	17,67 días	10 días	18 días	24 días		40	0,67 días	0,67 días	0 días	No
42	Plazo de entrega del vaporizador de n-butano, T-204, y del intercambiador de calor 1, I-201	8,83 días	6 días	8 días	15 días		39	13,51 días	13,51 días	0 días	No
43	Plazo de entrega del intercambiador de calor 2, I-202	6,33 días	6 días	6 días	12 días		40	22,84 días	22,84 días	0 días	No
44	Plazo de entrega de la soplante de aire, COM-201	7 días	4 días	7 días	10 días		40	13,34 días	13,34 días	0 días	No
45	Plazo de entrega de los componentes de la línea de aire	7 días	4 días	7 días	10 días		40	15,34 días	15,34 días	2 días	No
46	Plazo de entrega de las bombas de proceso	7 días	4 días	7 días	10 días		39	16,34 días	16,34 días	10,67 días	No
47	Plazo de entrega de las tuberías y sus accesorios	17,67 días	10 días	18 días	24 días		40	5,67 días	5,67 días	0 días	No
48	Plazo de entrega de los componentes de las estructuras metálicas	17,67 días	10 días	18 días	24 días		40	20,67 días	20,67 días	12,67 días	No
49	Plazo de entrega del reactor, R-201	17,67 días	10 días	18 días	24 días		39	0 días	0 días	0 días	Si
50	Plazo de entrega del intercambiador de calor 10, I-210	8,83 días	6 días	8 días	15 días		40	19,34 días	19,34 días	0 días	No
51	Plazo de entrega del intercambiador de calor 11, I-211	8,83 días	6 días	8 días	15 días		40	19,34 días	19,34 días	0 días	No
52	Plazo de entrega del intercambiador de calor 3, I-203	8,83 días	6 días	8 días	15 días		40	19,34 días	19,34 días	0 días	No
53	Plazo de entrega del intercambiador de calor 4, I-204	8,83 días	6 días	8 días	15 días		40	19,34 días	19,34 días	0 días	No
54	Plazo de entrega de los tanques de almacenamiento de agua, T-202	17,67 días	10 días	18 días	24 días		40	0,67 días	0,67 días	0 días	No
55	Plazo de entrega de los tanques de almacenamiento de disolvente (ftalato de dibutilo), T-203	17,67 días	10 días	18 días	24 días		40	21,34 días	21,34 días	0 días	No
56	Plazo de entrega del absorbedor de AM, AB-201	17,67 días	10 días	18 días	24 días		39	1,67 días	1,67 días	0 días	No
57	Plazo de entrega de la columna de destilación a vacío, D-201	17,67 días	10 días	18 días	24 días		39	0,67 días	0,67 días	0 días	No
58	Plazo de entrega del intercambiador de calor 5, I-205	8,83 días	6 días	8 días	15 días		40	19,34 días	19,34 días	0 días	No
59	Plazo de entrega de los filtros, F-201	17,67 días	10 días	18 días	24 días		40	4,67 días	4,67 días	0 días	No
60	Plazo de entrega del tanque de almacenamiento de residuos (ftalato de dibutilo), T-207	6,33 días	6 días	6 días	12 días		40	23,01 días	23,01 días	0 días	No
61	Plazo de entrega de la columna de destilación 2, D-202	17,67 días	10 días	18 días	24 días		39	4,67 días	4,67 días	0 días	No
62	Plazo de entrega de la columna de destilación 3, D-203	17,67 días	10 días	18 días	24 días		39	5,67 días	5,67 días	0 días	No
63	Plazo de entrega de los tanques de almacenamiento de AM, T-205	17,67 días	10 días	18 días	24 días		40	6,67 días	6,67 días	0 días	No
64	Plazo de entrega del tanque de almacenamiento de residuos (compuestos ligeros), T-206	6,33 días	6 días	6 días	12 días		40	23,01 días	23,01 días	0 días	No
65	Plazo de entrega de la caldera	7,17 días	5 días	7 días	10 días		39	22,17 días	22,17 días	0 días	No
66	Plazo de entrega de accesorios diversos	7 días	4 días	7 días	10 días		39	16,34 días	16,34 días	10,67 días	No
67	Montaje de los tanques de almacenamiento de n-butano, T-201	12 días	9 días	12 días	15 días		41	0,67 días	0,67 días	0,67 días	No
68	Montaje del vaporizador de n-butano, T-204, y del intercambiador de calor 1, I-201	8 días	4 días	8 días	12 días		42	13,51 días	13,51 días	13,51 días	No
69	Montaje de la red de tuberías	7 días	5 días	7 días	9 días		46;47;66	5,67 días	5,67 días	5,67 días	No
70	Montaje de las estructuras metálicas	4 días	2 días	4 días	6 días		48;74	8 días	8 días	8 días	No
71	Montaje del intercambiador de calor 2, I-202	1,17 días	1 día	1 día	2 días		43	22,84 días	22,84 días	22,84 días	No
72	Montaje de la soplante de aire, COM-201	2 días	1 día	2 días	3 días		44	13,34 días	13,34 días	0 días	No
73	Montaje de la línea de aire	8 días	4 días	8 días	12 días		45;72	13,34 días	13,34 días	13,34 días	No
74	Montaje del reactor, R-201	12,67 días	10 días	12 días	16 días		49	0 días	0 días	0 días	Si
75	Montaje del intercambiador de calor 10, I-210	2,17 días	2 días	2 días	3 días		50	19,34 días	19,34 días	19,34 días	No
76	Montaje del intercambiador de calor 11, I-211	2,17 días	2 días	2 días	3 días		51	19,34 días	19,34 días	19,34 días	No
77	Montaje del intercambiador de calor 3, I-203	2,17 días	2 días	2 días	3 días		52	19,34 días	19,34 días	19,34 días	No
78	Montaje del intercambiador de calor 4, I-204	2,17 días	2 días	2 días	3 días		53	19,34 días	19,34 días	19,34 días	No
79	Montaje de los tanques de almacenamiento de agua, T-202	12 días	9 días	12 días	15 días		54	0,67 días	0,67 días	0,67 días	No
80	Montaje de los tanques de almacenamiento de disolvente (ftalato de dibutilo), T-203	2 días	1 día	2 días	3 días		55	21,34 días	21,34 días	21,34 días	No
81	Montaje del absorbedor de AM, AB-201	11 días	7 días	11 días	15 días		56	1,67 días	1,67 días	1,67 días	No
82	Montaje de la columna de destilación a vacío, D-201	12 días	9 días	12 días	15 días		57	0,67 días	0,67 días	0,67 días	No
83	Montaje del intercambiador de calor 5, I-205	2,17 días	2 días	2 días	3 días		58	19,34 días	19,34 días	19,34 días	No
84	Montaje de los filtros, F-201	8 días	4 días	8 días	12 días		59	4,67 días	4,67 días	4,67 días	No
85	Montaje del tanque de almacenamiento de residuos (ftalato de dibutilo), T-207	1 día	1 día	1 día	1 día		60	23,01 días	23,01 días	23,01 días	No
86	Montaje de la columna de destilación 2, D-202	8 días	4 días	8 días	12 días		61	4,67 días	4,67 días	4,67 días	No
87	Montaje de la columna de destilación 3, D-203	7 días	5 días	7 días	9 días		62	5,67 días	5,67 días	5,67 días	No
88	Montaje de los tanques de almacenamiento de AM, T-205	6 días	4 días	6 días	8 días		63	6,67 días	6,67 días	6,67 días	No
89	Montaje del tanque de almacenamiento de residuos (compuestos ligeros), T-206	1 día	1 día	1 día	1 día		64	23,01 días	23,01 días	23,01 días	No
90	Montaje de la caldera	1 día	1 día	1 día	1 día		65	22,17 días	22,17 días	22,17 días	No
91	Conexión de unidades a la red de tuberías	12 días	9 días	12 días	15 días	67;68;69;71;73;74;75;76;77;78;79;80;81;82;83;84;85;86;87;88;89;90	0 días	0 días	0 días	0 días	Si
92	Conexión de unidades a la red eléctrica	1 día	1 día	1 día	1 día	70;72;74;90;91	0 días	0 días	0 días	0 días	Si
93	Montaje de la instrumentación y los lazos de control del proceso	25 días	20 días	25 días	30 días	92;67;68;69;71;72;73;74;75;76;77;78;79;80;81;82;83;84;85;86;87;88;89;90;91	0 días	0 días	0 días	0 días	Si
94	Pintura de la planta	50 días	38 días	49 días	66 días		93	0 días	0 días	0 días	Si
95	Barnices	10 días	6 días	10 días	14 días		94	0 días	0 días	0 días	Si
96	Montaje del mobiliario de la planta	5 días	3 días	5 días	7 días		95	0 días	0 días	0 días	Si
97	Construcción de las aceras en la planta	12 días	10 días	12 días	15 días		93	39 días	39 días	0 días	No
98	Asfaltado de la planta	8 días	7 días	8 días	9 días		97	39 días	39 días	0 días	No
99	Siembra de jardines y zonas verdes	5 días	4 días	5 días	7 días		98	39 días	39 días	0 días	No
100	Entrega de la planta	1 día	1 día	1 día	1 día		99	39 días	39 días	39 días	No

# BIBLIOGRAFÍA

- BRANAN, C. R. (2000). *Soluciones prácticas para el ingeniero químico: Manual de soluciones rápidas y exactas para los problemas cotidianos en la ingeniería de procesos*. 2ª ed. McGraw-Hill Interamericana, Méjico [etc.].
- BRANAN, C. R. (2005). *Rules of thumb for chemical engineers: A manual of quick, accurate solutions to everyday process engineering problems*. 4ª ed. Gulf Professional, Amsterdam.
- COOLEY, S. D.; POWERS, J. D. (1988). "Maleic Acid and Anhydride" in *John J. Mckett Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. Vol. 29. Marcel Dekker, New York.
- COULSON, J. M.; RICHARDSON, J. F.; BACKHURST, J. R.; HARKER, J. H. (1999). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering*. Vol. 1. 6ª ed. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- COUPER, J. R.; PENNEY, W. R.; FAIR, J. R.; WALAS, S. M. (2010). *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. 2ª ed. Butterworth-Heinemann, Amsterdam.
- CRANE. DIVISIÓN DE INGENIERÍA (1987). *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. 1ª ed. McGraw-Hill, Méjico.
- DARBY, R. (2001). *Chemical Engineering Fluid Mechanics*. 2ª ed. Marcel Dekker, Nueva York.
- DICKENSON, T. C. (1999). *Valves, Piping and Pipelines Handbook*. 3ª ed. Elsevier, Oxford.
- FELTHOUSE, T. R.; BURNETT, J. C.; MITCHELL, S. F.; MUMMEY, M. J. (1993). "Maleic Acid, Fumaric Acid and Maleic Anhydride" in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 4ª ed., vol. 15, pp. 893-928.
- FELTHOUSE, T. R.; BURNETT, J. C.; HORRELL, B.; MUMMEY, M. J.; KUO, Y.-J. (2001). "Maleic Anhydride, Maleic Acid and Fumaric Acid" in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. 5ª ed. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- FERROGUÍA (2012). *La vía a la dársena de Cartagena seguirá sin trenes de mercancías* [sitio web]. [Consulta: 19 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://www.ferroguia.es/leer.php?id=280>
- FLETT, L. H.; GARDNER, W. H. (1952). *Maleic Anhydride Derivatives: Reactions of the Double Bond*. 1ª ed. John Wiley & Sons, New York.

- FOGLER, H. S. (2001). *Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas*. 3ª ed. Pearson Educación, Méjico.
- FRANZINI, J. B.; FINNEMORE, E. J. (1999). *Mecánica de Fluidos con Aplicaciones en Ingeniería*. 9ª ed. McGraw-Hill Interamericana de España, Madrid.
- GUASCH FARRÁS, J. (2001). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Capítulo 46: Iluminación.
- HENLEY, E. J.; SEADER, J. D. (1998). *Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química*. 2ª ed. Reverté, Barcelona.
- HILDERBRANDT, R. L.; PEIXOTO, E. M. A. (1972). Structure of Maleic Anhydride Determined by Gas-Phase Electron Diffraction. *Journal of Molecular Structure*. Journal, vol. 12, pp. 31-37.
- HIMMELBLAU, D. M. (1997). *Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química*. 6ª ed. Prentice Hall International, Méjico.
- HUANG, L.; MASSA, L.; KARLE, J. (1999). Quantum Crystallography Applied to Crystalline Maleic Anhydride. *International Journal of Quantum Chemistry*. Journal, vol. 73, pp. 439-450.
- INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. 4ª ed. Prentice Hall, Méjico.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (2014). *Servicio de Información Sísmica. Mapas de sismicidad* [sitio web]. [Consulta: 19 de marzo de 2014]. Disponible en: <http://www.ign.es/ign/layoutIn/sismoListadoMapasSismicos.do>
- KING, R. P. (2002). *Introduction to practical fluid flow*. 1ª ed. Butterworth Heinemann, Oxford.
- LEVENSPIEL, O. (2004). *Ingeniería de las reacciones químicas*. 3ª ed. Limusa Wiley, Méjico.
- LOHBECK, K.; HAFERKORN, H.; FUHRMANN, W.; FEDTKE, N. (2012). "Maleic and Fumaric Acids" in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, vol. 22, pp. 145-155.
- MARSH, R. E.; UBELL, E.; WILCOX, H. E. (1962). The Crystal Structure of Maleic Anhydride. *Acta Crystallographica*. Journal, vol. 15, pp. 35-41.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOTT, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7ª ed. McGraw-Hill Interamericana, Méjico.
- MCNAUGHTON, K. J.; EL CUERPO DE REDACTORES DE CHEMICAL ENGINEERING (1987). *Bombas: selección, uso y mantenimiento*. 8ª ed. McGraw-Hill Interamericana, Méjico [etc.].
- MOTT, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. 4ª ed. Prentice Hall Hispanoamericana, Méjico.
- PERRY, R. H.; GREEN, D. W.; MALONEY, J. O. (2001). *Perry: Manual del ingeniero químico*. 4ª ed. McGraw-Hill, Madrid.
- RAY, M. S.; JOHNSTON, D. W. (1989). *Chemical engineering design project: a case study approach*. 1ª ed. Gordon and Breach.

- RASE, H. F.; BARROW, M. H. (1988). *Ingeniería de proyecto para plantas de proceso*. 1ª ed. Compañía Editorial Continental, Méjico.
- REAL DECRETO 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- REAL DECRETO 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.
- REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Documento Básico sobre Salubridad HS 4 referente al suministro de agua. Documento Básico sobre Salubridad HS 5 referente a la evacuación de aguas. Documento Básico sobre Seguridad en caso de incendio SI.
- REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- RICHARDSON, J. F.; HARKER, J. H.; BACKHURST, J. R.; (2002). *Coulson & Richardson's Chemical Engineering*. Vol. 2. 5ª ed. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- SANDERS, R. E. (2005). *Chemical process safety: learning from case histories*. 3ª ed. Elsevier Butterworth-Heinemann, Amsterdam; Boston.
- SINNOTT, R. K.; TOWLER, G. P. (2012). *Diseño en ingeniería química*. 1ª ed. Reverté, Barcelona.
- SMITH, C. A.; CORRIPIO, A. B. (2001). *Control automático de procesos: teoría y práctica*. 1ª ed. Limusa Wiley, Méjico.
- SPEIGHT, J. G. (2002). *Chemical and process design handbook*. 1ª ed. McGraw-Hill, Nueva York.
- STIEFVATER, O. L. (1978). The Complete Structure of Maleic Anhydride by DRM Microwave Spectroscopy. *Z. Naturforsch.* Journal, vol. 33a, pp. 1480-1489.
- WALAS, S. M. (1990). *Chemical process equipment: selection and design*. 19ª ed. Butterworth-Heinemann, Boston.
- WEISSERMEL, K.; ARPE, H.-J. (1981). *Química Orgánica Industrial: Productos de partida e intermedios más importantes*. 1ª ed. Reverté, Barcelona.