



Universitat Autònoma
de Barcelona

TRABAJO DE FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO



Autores: Sergio Pérez Delfa
Oriol Ruiz Puig
Víctor González Monge
Nelia García Blasco
Xavier Fernández Olivera
Pol Candela Poch

Tutor: Albert Bartrolí

Cerdanyola del Vallès | Junio 2020



Universitat Autònoma
de Barcelona

TRABAJO DE FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO



CAPÍTULO 1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Capítulo 1. Especificaciones del proyecto

Índice

1.1. Definición del proyecto.....	7
1.1.1. Bases del proyecto	7
1.1.2. Alcance del proyecto	7
1.1.3. Localización de la planta	8
1.1.3.1. Parámetros de edificación, servicios y plano de la parcela.....	10
1.1.3.2. Comunicaciones y accesibilidad de la planta.....	12
1.1.3.3. Características físicas de la zona	18
1.1.4. Abreviaciones.....	20
1.2. Características y propiedades de los compuestos utilizados en la planta..	24
1.2.1. Producto final: Óxido de etileno.....	24
1.2.2. Reactivos.....	26
1.2.2.1. Etileno	26
1.2.2.2. Oxígeno	28
1.2.3. Subproductos	30
1.2.3.1. Dióxido de carbono	30
1.2.3.2. Agua.....	32
1.2.4. Otros compuestos.....	34
1.2.4.1. Nitrógeno (N ₂).....	34
1.2.4.2. Monoetanolamina (MEAmina)	36
1.2.4.3. Catalizador: Plata con soporte de alúmina (Al ₂ O ₃)	39
1.2.5. Obtención de materias primas	41
1.2.6. Obtención de nitrógeno	41
1.3. Descripción del proceso de fabricación.....	44
1.3.1. Diagrama de bloques	44
1.3.2. Descripción detallada del proceso	45
1.4. Constitución de la planta.....	51
1.4.1. Distribución por áreas	51
1.4.2. Descripción cualitativa de la planta	53
1.4.3. Plantilla de trabajadores	57
1.5. Balance de materia	60

1.5.1. Diagrama de proceso.....	61
1.5.2. Presentación balance de materia.....	62
1.5.3. Comprobación balance de materia	66
1.6. Especificaciones y necesidades de servicios	67
1.7. Planificación temporal y montaje de planta.....	71
1.9. Bibliografía y Webgrafía.....	73

1.1. Definición del proyecto

1.1.1. Bases del proyecto

En este primer capítulo se presentan las especificaciones generales relacionadas con el diseño e implementación de la planta de producción de óxido de etileno de la empresa OXESA. Así pues, este documento engloba los parámetros más generales de la planta diseñada.

El objetivo principal del proyecto es el diseño y viabilidad de una planta química de producción de óxido de etileno. Para realizar el proceso se cuenta con las materias primas necesarias que son nitrógeno, oxígeno y etileno. La fabricación de este producto consiste en la oxidación directa del etileno a, entrar en contacto con el oxígeno. Se utiliza un catalizador de plata.

Tanto el oxígeno como el etileno nos llega a la planta a través de tuberías procedentes de un complejo petroquímico cercano. El nitrógeno por otro lado, hay que adquirirlo de un distribuidor y almacenarlo en tanques para poder ser utilizado. El proceso de producción consta de una etapa de reacción seguida de una serie de etapas de separación y purificación del producto que se expondrán más adelante.

Se estudia la viabilidad de construcción y operación de la planta cumpliendo las normativas y legislaciones vigentes. Su diseño pasa por la aplicación de los límites que establece la normativa sectorial y urbanística con especial incidencia en las áreas de medio ambiente y control. Estos factores son claves para el buen funcionamiento de la planta, la minimización del riesgo de accidentes y la reducción al máximo del impacto ambiental que pueda causar. La aplicación de la normativa será referente también a la calidad de producción, personal, diseño de equipos, distribución de la parcela, gestión y documentación.

Las especificaciones de la instalación son las siguientes:

- Capacidad de la instalación: 120.000 Tm/año de óxido de etileno.
- Funcionamiento de la planta: 320 días/año de producción con parada de mantenimiento entre los meses de julio y agosto.
- Presentación del producto: Líquido en bulk en recipientes a presión.

1.1.2. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto engloba todas las unidades tratadas, las características y los requisitos que tiene que cumplir la planta. De esta manera se representa la totalidad del trabajo que se ha realizado para que la planta pueda operar.

A continuación, se enumeran los puntos principales contemplados:

- Diseño y caracterización de unidades de proceso y reacción para la producción y purificación del producto.
- Diseño y caracterización de unidades de almacenamiento de materias primas y estación de carga y descarga.
- Diseño y caracterización de unidades de almacenamiento del producto final.
- Diseño y caracterización del sistema de control e instrumentación del proceso.
- Especificaciones de las unidades de las áreas de servicios.
- Especificaciones de áreas de oficinas, Laboratorios y vestuarios.
- Especificaciones de áreas auxiliares (aparcamiento, control de accesos, contra incendios, depuración de aguas y gases).
- Especificaciones de seguridad e higiene de la planta y del personal.
- Evaluación del posible impacto ambiental y estudio del tratamiento de los residuos generados.
- Evaluación económica.
- Estudio de puesta en marcha de la planta.
- Elaboración de diagramas y planos correspondientes a los puntos anteriores.

1.1.3. Localización de la planta

La accesibilidad a la planta industrial y las comunicaciones por diferentes vías de transporte es un factor importante para elegir la parcela y la situación de esta. Es por eso que se estudiarán las diferentes opciones para el transporte de materias o compuestos que intervienen en el proceso y la accesibilidad de estas a la planta, así como los trabajadores que entren en la planta.

El proyecto se llevará a cabo en el Polígono Industrial “Gasos Nobles”. La parcela se sitúa en La Canonja, población situada en la provincia de Tarragona y cerca de la Costa Dorada ver **Figura 1**. Esta población forma parte de la comarca del Tarragonés. Se trata de un punto estratégico en referencia a comunicaciones e infraestructuras. La población del municipio es de 5880 habitantes en una superficie de 7,32 km². Situado dentro del municipio existe el complejo petroquímico de Tarragona donde se encuentran diversas empresas del sector químico, factor que puede favorecer el transporte de compuestos químicos, el

intercambio de subproductos y la accesibilidad al complejo. Este complejo también incluye parte de poblaciones como Reus, Salou, Constantí, El Morell i la Poble de Mafumet.



Figura 1. Situación de la comarca del Tarragonés en el mapa de Catalunya.

1.1.3.1. Parámetros de edificación, servicios y plano de la parcela.

Los parámetros de edificación del polígono industrial “Gasos Nobles” que se enmarcan dentro de la normativa urbanística del municipio de La Canonja se pueden ver en la **Tabla 1**:

Tabla 1. Parámetros de edificación de la planta.

Parámetro	Especificación
Edificabilidad	1,5 m ² techo/ m ² suelo
Ocupación máxima de parcela	75%
Ocupación mínima de parcela	20% de la superficie de ocupación
Retranqueos	5 m a viales y vecinos
Altura máxima	16 m y 3 plantas excepto en producción justificando la necesidad por el proceso
Altura mínima	4 m y 1 planta
Aparcamientos	1 plaza/150 m ² construidos
Distancia entre edificios	1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5 m

Estos parámetros de edificación se aplicarán a la planta en cuestión, que se muestra en la **Figura 2**:

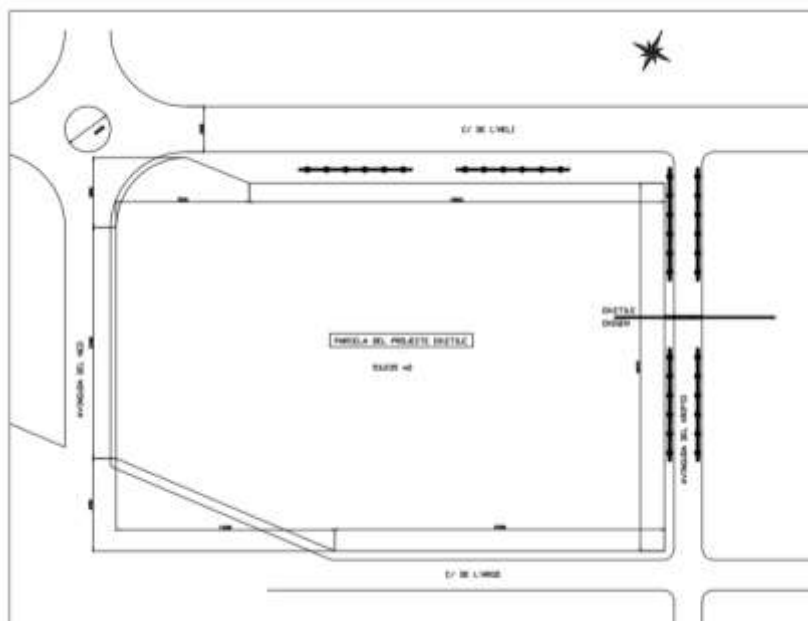


Figura 2. Plano de la parcela destinada a la construcción de la planta.

A continuación, se presentan los servicios de los cuales dispone la planta como se observa en la **Tabla 2**:

Tabla 2. Servicios disponibles en la parcela.

Tipo de servicio	Especificaciones
Energía eléctrica	Conexión des de la línea de 20 kV a pie de parcela.
Gas natural	Conexión a pie de parcela a presión media (1,5 kg/cm ²)
Alcantarillado	Red unitaria en el centro de la calle a una profundidad de 3,5 m (diámetro del colector de 800 mm)
Agua de incendios	La presión máxima es de 4 kg/cm ²
Agua de red	Acometida a pie de parcela a 4 kg/cm ² con un diámetro de 200 mm
Terreno	Resistencia al terreno de 2 kg/cm ² a 1,5 m de profundidad sobre gravas

1.1.3.2. Comunicaciones y accesibilidad de la planta

La planta de producción de OXESA está situada en un punto de comunicación de fácil acceso tanto por vía terrestre como marítima y aérea. Eso supone una gran ventaja respecto a otras industrias ya que la conexión con grandes redes ferroviarias garantiza que el transporte requerido de materias o equipamiento se pueda realizar de manera rápida y sencilla.

El municipio de La Canonja está a unos 9 km del puerto de Tarragona y a 8 km del aeropuerto de Reus como conexiones importantes más cercanas. De esta manera nos aseguramos una red de conexión con el resto del estado y con las capitales europeas principales. El aeropuerto del Prat y el puerto de Barcelona están localizados a unos 100 km por carretera.

A continuación, se detallan las infraestructuras de transportes en La Canonja y alrededores:

- Transporte terrestre

El término municipal de La Canonja tiene conexión directa con la autovía A-7, la autopista AP-7 y la carretera nacional N-340. A poca distancia también tiene un punto de entrada y salida con la autovía T-11 con destino a Tarragona. La Canonja se sitúa al lado de dos núcleos de población grandes como son Tarragona y Reus, lo cual beneficia las conexiones. Reus y Tarragona tienen conexión con las carreteras comarcales C-14 y C-44 y las carreteras nacionales N-420, N-340 y N-240.

La autopista AP-7 en concreto supone una conexión directa con toda la costa del mar Mediterráneo ya que conecta poblaciones des de Francia hasta Murcia y después en otro tramo de Málaga a Algeciras lo que supone conexión directa con muchas otras zonas del territorio nacional.

La Canonja se enmarca dentro de la comarca del Tarragonés y la provincia de Tarragona por lo que el tiempo de trayecto para llegar des del municipio a otros núcleos de población importantes como Barcelona o Lleida es de aproximadamente una hora por carretera. La autopista AP-2 y la autovía A-27 conectan Lleida y Tarragona mientras que la propia AP-7 y la carretera comarcal C-32 conectan Tarragona con Barcelona.(Ver **Figura 3**)



Figura 3. Mapa de las conexiones terrestres por carretera del municipio de La Canonja y alrededores.

Por otro lado, La Canonja cuenta con conexión de autobuses con la línea 3 y 30 que la conectan con Tarragona. Desgraciadamente no hay conexiones ferroviarias posibles directas, pero si las hay en municipios contiguos como Reus y Tarragona. Estas dos poblaciones están conectadas entre si por las líneas R15, R14 y RT1. En Tarragona hay conexión de cercanías con gran parte del estado. (Ver **Figura 4**)

Hay que destacar también la proximidad a las estaciones de mercancías en el “Polígono Industrial Constantí” y de la terminal del puerto de Tarragona, situadas a 10 km aproximadamente.

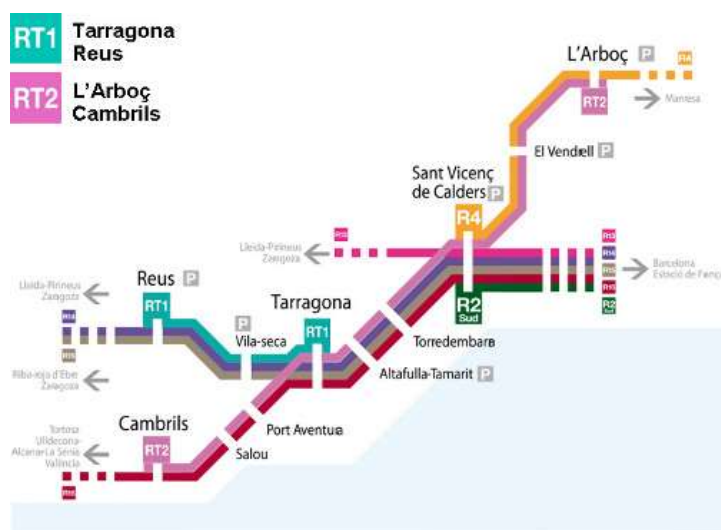


Figura 4. Mapa de las conexiones ferroviarias de Tarragona.

- Transporte marítimo:

El municipio de La Canonja se sitúa muy cerca de los dos puertos más importantes de la comunidad por lo que el transporte de mercancías por vía marítima puede ser utilizado de manera muy efectiva. Los dos puertos son el Puerto de Tarragona a unos 10 km y el Puerto de Barcelona a unos 100 km aproximadamente.

Concretamente el Puerto de Tarragona transporta 33 millones de toneladas al año en mercancías. En turismo, más de 128000 pasajeros pasaron por el puerto [1].

Como podemos observar en la **Figura 5**, un gran porcentaje de las mercancías van destinadas a la industria química y sobre todo petroquímica. En el 2019 el 29,6% correspondería al crudo de petróleo, porcentaje idéntico a los sólidos. También hay una gran cantidad de otros compuestos derivados de la petroquímica (29,8%). Por último, la carga general y las sustancias químicas y otros líquidos tienen una menor contribución al total, las dos con un 5,5%. En el 2014 se inauguró el “Moll de la Química” que convierte a Tarragona en una de las plataformas petroquímicas más importantes del sur de Europa.

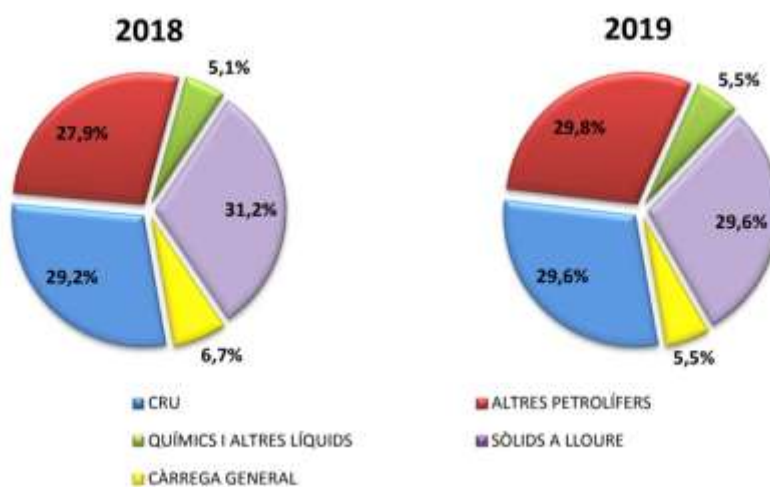


Figura 5. Porcentaje de mercancías en el año 2018 y 2019 en el puerto de Tarragona.

En la **Figura 6** se observa las zonas del mundo que tienen una mayor y menor actividad en el puerto.

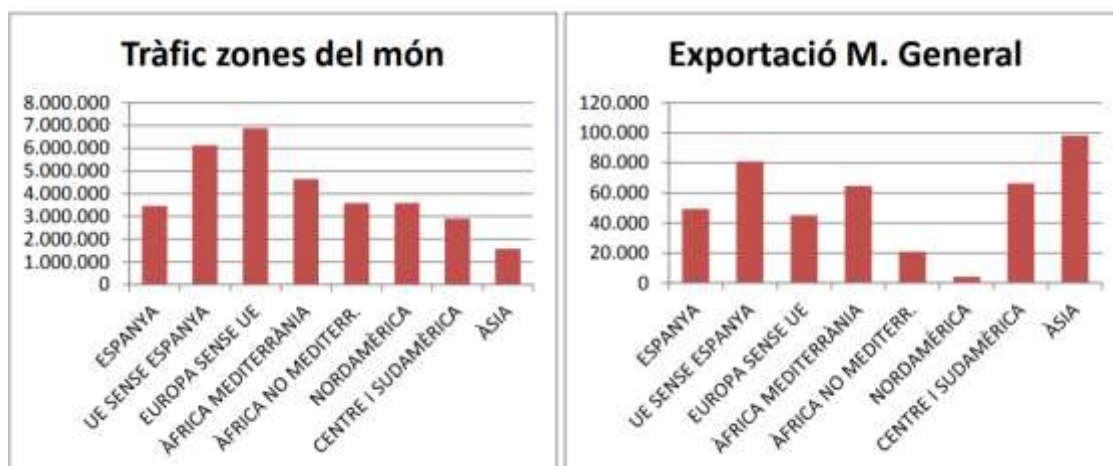


Figura 6. Distribucion por zonas del mundo del trafico de mercancías en el puerto de Tarragona en el 2019.

Por otra parte, en el Puerto de Barcelona en el 2019 hubo un trafico de casi 66 millones de toneladas y mas de 3 millones de pasajeros como se observa en la **Figura 7** [2].

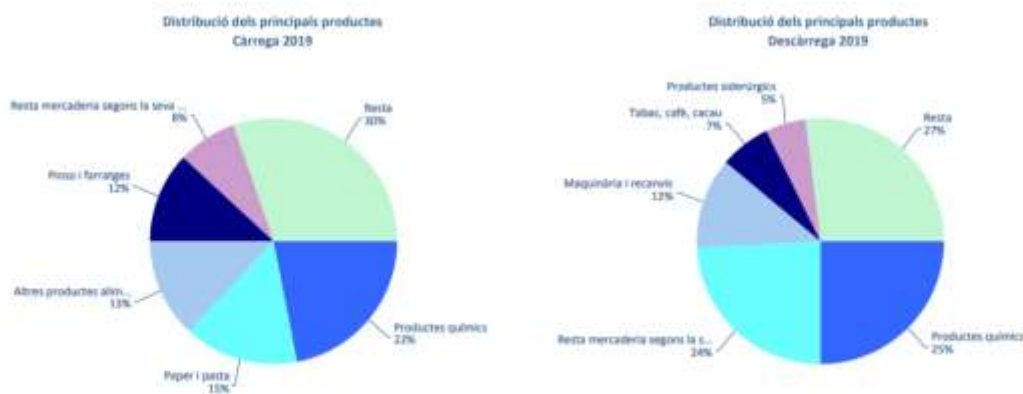


Figura 7. Porcentaje de mercancías desglosado en carga y descarga del puerto de Barcelona. Datos de 2019.

En este caso el 22% de la carga y el 25% de la descarga total corresponde a productos químicos.

En la **Figura 8** se puede ver las zonas del mundo con más actividad en el Puerto de Barcelona que mayoritariamente son las zonas de costa del Mediterráneo.

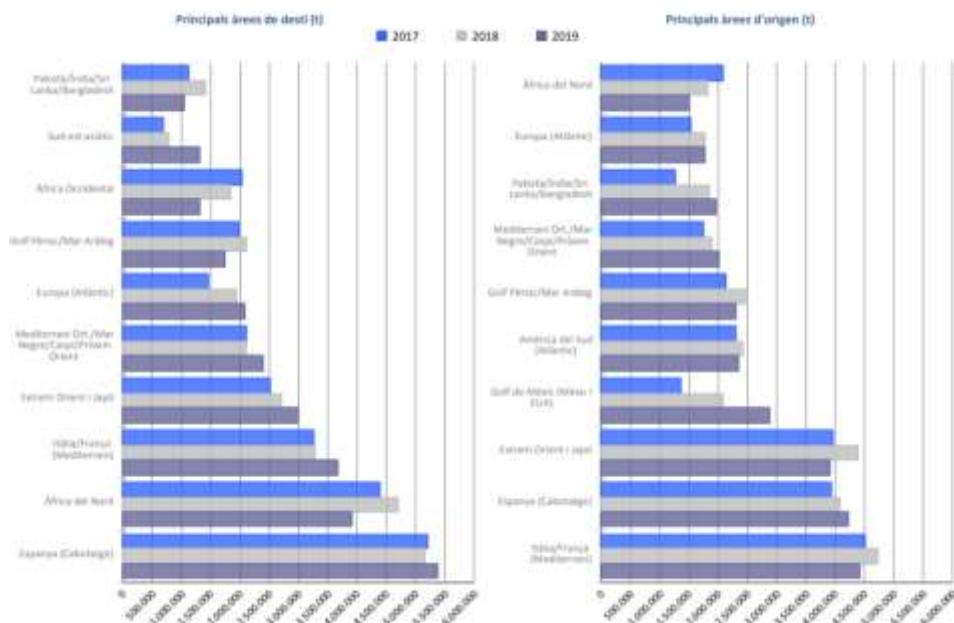


Figura 8. Areas de destino y origen de las mercancías del puerto de Barcelona. Datos de 2017, 2018 y 2019.

- Transporte aéreo:

Este tipo de transporte no es el más utilizado en el tráfico de mercancías debido a su coste y al poco volumen de materias que puede cargar. Aun así, también hay disponibilidad de aeropuertos en la zona. Los dos aeropuertos principales cerca de la planta serían el aeropuerto de Reus y el de Barcelona que se sitúan a 7 y 100 km respectivamente.

El aeropuerto de Reus únicamente transporta pasajeros y no tiene servicios de transporte de mercancías. A continuación, se puede ver en la **Figura 9**, las principales conexiones del aeropuerto de Reus con el resto del continente.



Figura 9. Destinos de vuelos con origen en el aeropuerto de Reus.

El aeropuerto de Barcelona es uno de los principales aeropuertos de carga y descarga del estado. En el año 2019 se ha llegado a la cifra de 177.271.406 vuelos de carga y descarga de mercancías, siendo el tercero con más tráfico del país según las estadísticas de AENA [3]. (Ver **Figura 10**)



Figura 10. Destinos de vuelos con origen en el aeropuerto de Barcelona.

1.1.3.3. Características físicas de la zona

- Climatología

La comarca del Tarragonés pertenece al clima mediterráneo típico del tipo Csa según la clasificación de Köppen. Los inviernos son suaves y los veranos son calorosos. La temperatura media anual supera levemente los 16°C. Las temperaturas siguen un patrón regular ya que las máximas en verano están alrededor de los 30°C y valores inferiores a los 3°C en invierno son inusuales. A continuación, se presenta la **Figura 11** con las temperaturas mensuales de la capital de la comarca, Tarragona.



Figura 11. Evolucion de las temperaturas maximas y minimas en la capital de la comarca del Tarragonés en 2019.

En cuanto a precipitaciones se observa que la estación más seca es en verano y la mayoría de las precipitaciones se producen en las estaciones de primavera y otoño. En la **Figura 12** se puede ver las precipitaciones que se han producido en la capital de la comarca, Tarragona.

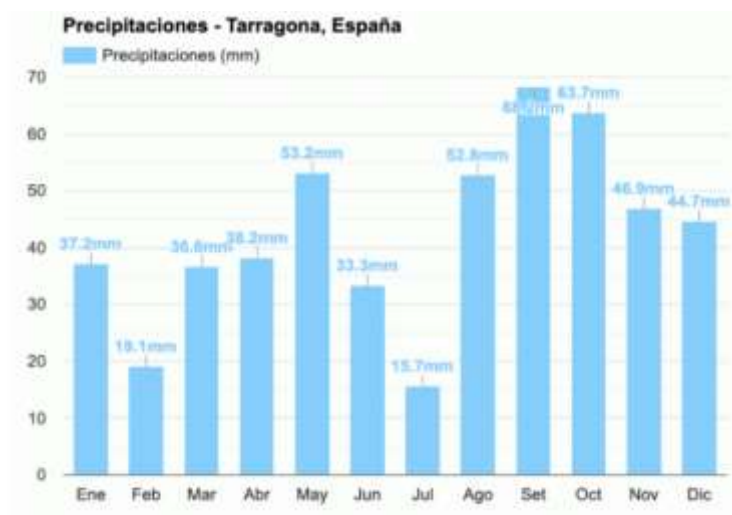


Figura 12. Evolucion de las precipitaciones mensuales en la capital de la comarca del Tarragonés en 2019.

- Sismología

La actividad sísmica de la zona está considerada como moderada en toda Catalunya. Aun así, se han registrado fenómenos potencialmente peligrosos en el registro del Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya. Según la escala MSK (Medveded-Sponheheur-Karnik) Catalunya se encuentra en la zona 1 de riesgo sísmico.

Esta escala se usa para evaluar la fuerza de los movimientos de tierra basándose en los posibles daños que se podrían producir en construcciones. En la **Figura 13** que se adjunta a continuación se puede observar que la zona donde se ubica la planta tiene una intensidad máxima de 6 sobre 12 en la escala MSK.

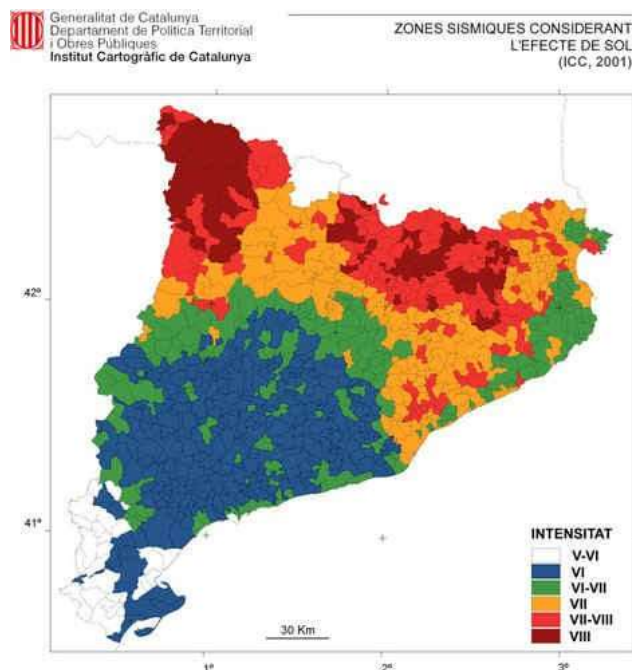


Figura 13. Mapa de intensidad sísmica de la escala MSK en el territorio de Catalunya.

En la gráfica que se adjunta podemos observar que la zona donde se ubica la planta tiene una intensidad máxima de 6 sobre 12 en la escala MSK.

1.1.4. Abreviaciones

En este apartado se especifican las abreviaciones utilizadas a lo largo del proyecto para identificar zonas de planta, equipos y fluidos de proceso. Para determinar cada equipo se ha utilizado la nomenclatura X-YZ. El primer dígito hace referencia a la abreviatura de cada equipo, el segundo dígito a la zona donde se halla ese equipo y, por último, el tercer dígito sirve para diferenciar en el caso de que en una misma zona se encuentren dos equipos iguales.

Primeramente, las diferentes zonas de la planta se indican en la **Tabla 3**. En posteriores apartados de este capítulo se incluirá un plano con la distribución de la planta por áreas.

Tabla 3. Abreviaciones de las diferentes áreas de la planta

Área	Descripción
A-100	Área de acondicionamiento de materias primas
A-200	Área de reacción
A-300	Área de tratamiento de gases
A-400	Área de purificación
A-500	Área de almacenaje de óxido de etileno
A-600	Área de servicios
A-700	Área de tratamiento de aguas residuales
A-800	Área de taller y almacenaje
A-900	Área de carga y descarga
A-1000	Área de laboratorios y control
A-1100	Área de oficinas
A-1200	Aparcamiento
A-1300	Balsa de agua contra incendios
A-1400	Área de dilución de los tanques de óxido de etileno

A continuación, se adjunta la **Tabla 4** con el código de abreviaturas que se ha utilizado para referirse a los equipos de la instalación:

Tabla 4. Abreviaciones de los equipos de la planta.

Equipo	Código “Y”
Tanque	T
Reactor	R
Turbina de vapor	ST
Columna de absorción	A
Tanque Flash	F
Stripper	S
Columna de destilación	L
Condensador	C
Bomba	P
Intercambiador	E
Compresor	K
Bloque regeneración amina	M
Torre de refrigeración	TR
Caldera de vapor	W
Regenerative Thermal Oxidizer	RTO
Caldera de aceite	CA
Generador	GE
Equipo transformador	ET
Compresor de aire	AC
Bomba contra incendio	BC

A continuación, se adjunta la **Tabla 5** con el código de abreviaturas que se ha utilizado para referirse a los componentes utilizados para el funcionamiento de la planta.

Tabla 5. Abreviaciones de los componentes utilizados en la planta.

Componente	Código
Etileno	Et
Oxígeno	O
Agua	H2O
Dióxido de carbono	CD
Nitrógeno	N
Monoetanolamina	MEA
Catalizador de plata	CAT
Óxido de etileno	EO
Dowtherm A	DWA
Gas natural	GN
Aire comprimido	AIR

1.2. Características y propiedades de los compuestos utilizados en la planta

1.2.1. Producto final: Óxido de etileno

El óxido de etileno, también denominado Oxirano; 1,2-epoxietano; Óxido de dimetilo; dihidroxioxirano; es un gas incoloro, de olor dulce e inflamable a temperaturas y presiones normales. Sus vapores forman mezclas explosivas con el aire y es miscible en agua, alcohol y en la mayoría de los disolventes orgánicos. Es muy reactivo tanto en fase líquida como vapor.

El proceso de obtención mas antiguo consiste en hacer pasar por un equipo de absorción un corriente de etileno y cloro en contacto en contracorriente con una corriente pulverizada de agua. De esta manera se produce una solución de clorohidrina. Posteriormente se calentaba la solución a 100°C con una suspensión de cal y se formaba el óxido. Finalmente se separa el óxido de etileno en una etapa de destilación. Este procedimiento se introdujo en la primera guerra mundial en Alemania por la empresa BASF entre otros. Union Carbide, Co fue la primera empresa en comercializar este proceso en Estados Unidos en 1925. Actualmente esta tecnología no es competitiva económicamente con la oxidación directa del etileno y es por eso que se ha reemplazado [4].

Actualmente el óxido de etileno se produce a partir de la reacción de oxidación del etileno con oxígeno utilizando un catalizador de plata, es una reacción fuertemente exotérmica que se da bajo condiciones de altas presiones y temperatura.

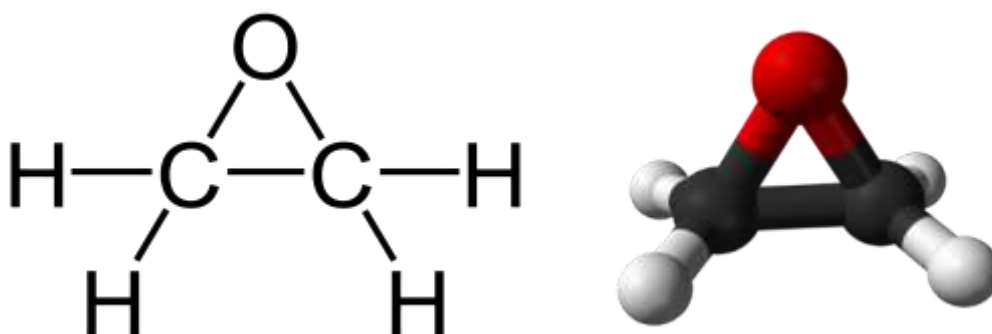


Figura 14. Estructura química del Óxido de Etileno.

El Óxido de Etileno es tóxico, altamente inflamable y explosivo por lo que debe mantenerse alejado de fuente de calor, llamas y chispas. Es un producto que

deriva del petróleo y una vez tratado se utiliza como reactivo para otros compuestos. Principalmente se usa en la fabricación de plásticos y polímeros en general.

También puede ser usado directamente como desinfectante. Su aplicación en el campo de la medicina esta ya contrastado principalmente para esterilizar material o salas de quirófano. Se crea una atmosfera de óxido de etileno que desinfecta el objeto en cuestión, eliminando las bacterias. También hay ciertos pesticidas que pueden contener óxido de etileno para usarlo en el campo de la agricultura. Es un compuesto muy volátil y es por eso que se evapora o se descompone ante de llegar a los alimentos, hecho que dificulta su esterilización.

El contacto directo con el gas de óxido de etileno puede suponer consecuencias graves para la salud humana. Irritación en los ojos, piel, mucosas y diferentes problemas en el sistema nervioso y el cerebro son algunos de sus efectos. También puede producir quemaduras en la piel e irritar las vías respiratorias si se produce una exposición a un gran volumen del compuesto. Estas consecuencias han sido observadas en trabajadores que manipulan el producto y en personas que han sido expuestas fruto de alguna avería o accidente en la planta.

Los productos industriales finales derivados del óxido de etileno son muy variados. El principal producto es la generación de glicol, que se usa como anticongelante. Es una sustancia que se añade a otro compuesto y evita que se congele a diferentes condiciones de temperatura. Los glicoles son una familia de compuestos y es por eso que sus usos son muy variados. Otro uso importante es la producción de polímeros PET, utilizado en envases de bebida mayoritariamente. También puede ser usado para producir detergentes, fibra de poliéster, resinas o cosméticos, entre otros [5]. Seguidamente se muestra la **Figura 15**, un esquema de las posibilidades de producción derivadas del óxido de etileno.

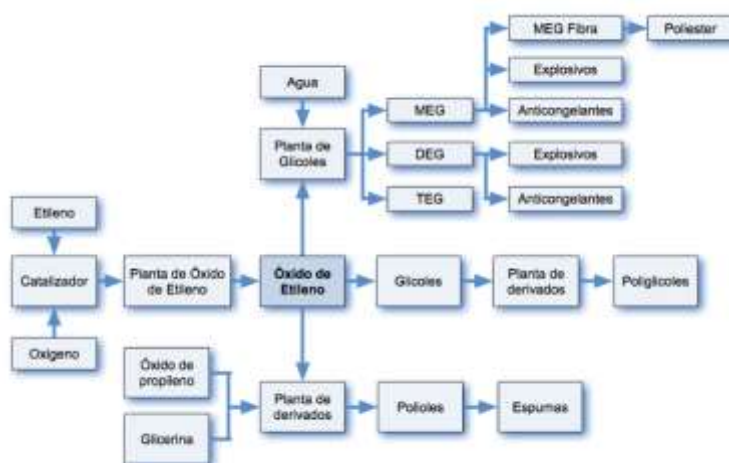


Figura 15. Productos derivados del óxido de etileno [4].

A continuación, se adjunta la **Tabla 6** con las principales propiedades del producto de la planta en cuestión:

Tabla 6. Propiedades físicas y químicas del óxido de etileno [4].

Propiedades	Valor
Peso molecular [g/mol]	44,05
Formula química	C ₂ H ₄ O
Densidad del líquido [kg/m ³]	896
Densidad del vapor relativo al aire (aire = 1)	1,49
Viscosidad Dinámica [mPa·s a -20°C]	0,37
Presión de vapor [mbar a 20°C]	1456
Punto de ebullición [°C]	10,4
Punto de congelación [°C]	-111,7
Punto de ignición [°C]	-18
Límite Inferior de Inflamabilidad	3%
Límite Superior de Inflamabilidad	100%

1.2.2. Reactivos

En este punto se exponen las principales características, propiedades y utilidades de los compuestos químicos que se utilizan en el proceso de reacción como reactivos para producir el producto deseado, en este caso óxido de etileno.

1.2.2.1. Etileno

El Etileno o Eteno es un compuesto químico orgánico compuesto por dos átomos de carbono unidos entre ellos por un doble enlace. Es uno de los productos químicos más importantes de la industria química, aunque se puede hallar de forma natural en las plantas.

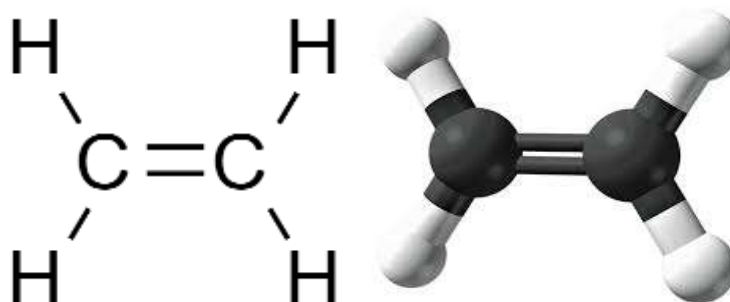


Figura 16. Estructura química del Etileno.

Se trata de un gas incoloro de olor levemente dulce e inflamable a condiciones normales de temperatura y presión. Sus vapores forman mezclas explosivas con el aire y es miscible en agua, alcohol y en la mayoría de los disolventes orgánicos. A partir del reformado catalítico de naftas la industria petroquímica obtiene etileno. También se puede obtener a partir del gas natural. A continuación, se adjunta la **Tabla 7** con las propiedades físicas y químicas más importantes del compuesto.

Tabla 7. Propiedades físicas y químicas del Etileno [6].

Propiedades	Valor
Peso molecular [g/mol]	28,05
Formula química	C ₂ H ₄
Densidad del líquido [kg/m ³]	1,18
Densidad del vapor relativo al aire (aire = 1)	0,975
Punto de ebullición [°C]	-103
Punto de fusión [°C]	-169
Temperatura de autoignición [°C]	440
Límite Inferior de Inflamabilidad	2,4%
Límite Superior de Inflamabilidad	32,6%

El Etileno es tóxico, inflamable y puede provocar asfixia. Reacciona explosivamente con cloro bajo luz solar o UV. No debe mezclarse tampoco con agentes oxidantes, halógenos, ácidos, cloruro de aluminio o halocarburos. Su descomposición térmica o combustión generan CO₂, CO y H₂O, puede polimerizar peligrosamente a temperaturas y presiones elevadas.

Como se ha mencionado anteriormente, es uno de los productos químicos más importantes de la industria química siendo el compuesto orgánico más utilizado del mundo. El 60% de su producción se destina a la obtención de polietileno, un polímero usado para la fabricación de plásticos y polímeros. Mediante reacciones de polimerización se obtiene el polietileno y se obtienen otros hidrocarburos clorados que sirven de intermedio para la formación de cloruro de vinilo o polivinilo entre otros.

También se utiliza combinándose con hidrocarburos saturados o no saturados para producir películas de caucho que tiene múltiples aplicaciones en diferentes campos de la industria como el sector automovilístico y el de la construcción. Su alta resistencia a las oscilaciones térmicas, su flexibilidad y su capacidad impermeabilizante son factores que hacen que estos productos tengan un alto interés en este tipo de sectores.

1.2.2.2. Oxígeno

Es un elemento químico no metálico que se presenta normalmente en fase gas y que es muy abundante en nuestra atmosfera ya que constituye más del 20% del volumen total actualmente. Está representado en la tabla periódica de los elementos, pero la molécula diatómica es la forma más usual en la que se presenta en la **Figura 17**.

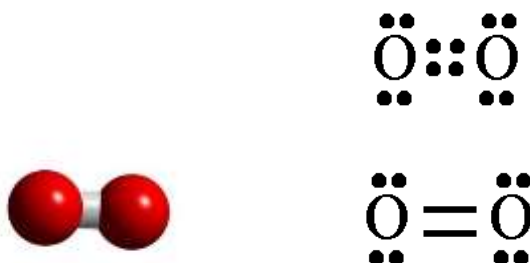


Figura 17. Estructura química del oxígeno.

Es una sustancia muy reactiva capaz de formar compuestos con la mayoría de los elementos conocidos, exceptuando los gases nobles. Se trata de una sustancia inflamable y que al contactar con metales forma óxidos que son compuestos corrosivos. En condiciones normales se manifiesta como un gas incoloro, inodoro e insípido. Es sumamente combustible y es más soluble en agua que el resto de gases que aparecen en la atmosfera como el nitrógeno.

A nivel biológico es evidente que es fundamental para entender la vida tal y como la conocemos. En primer lugar, porque forma parte de azúcares y proteínas y después, constituye las moléculas esenciales del metabolismo para obtener energía.

Sus utilidades se extienden a diferentes campos de aplicación. Por ejemplo, se utiliza con fines médicos como gas respirable en el mantenimiento de pacientes en estado crítico o con problemas respiratorios o cardiovasculares. Se utiliza también en misiones espaciales o submarinos para que los tripulantes de la expedición puedan respirar. Su gran poder combustible se usa para generar energía mediante reacciones de combustión e incluso se utiliza en el tratamiento de aguas residuales para purificar el agua (O_3).

Por último, también tiene diferentes aplicaciones en la industria. Gran parte de la producción de oxígeno se destina a la fabricación de materiales creados a partir de aleaciones como el acero. Seguidamente, el oxígeno se usa para realizar el producto que se fabrica en esta planta, el óxido de etileno, que como ya se ha expuesto tiene diferentes utilidades y productos derivados.

La producción de oxígeno para usos Industriales se realiza mediante dos métodos: el filtrado de zeolita o la electrolisis del agua. El filtrado consiste en inyectar una corriente de aire a través de unos tamices que retienen el nitrógeno obteniendo así una corriente con alta pureza de oxígeno. La electrolisis consiste en la descomposición de la molécula del agua utilizando electricidad.

De los posibles riesgos de la utilización de oxígeno, uno de ellos es su alto grado de combustibilidad. El manejo de altas concentraciones de oxígeno en ciertos lugares puede derivar en un incendio o un estallido ya que es una molécula propensa a una rápida combustión. Por otro lado, puede llegar a ser un agente tóxico si en fase gas se encuentra a presión (50 kPa) y se ingiere o se entra en contacto con él. Los submarinistas de profundidad por ejemplo se someten a ese tipo de presiones. Puede llegar a generar daños oculares, espasmos e incluso daños neurológicos [7].

A continuación, se adjunta la **Tabla 8** con las propiedades físicas y químicas más importantes del compuesto.

Tabla 8. Propiedades físicas y químicas del oxígeno [8] [9].

Propiedades	Valor
Peso molecular [g/mol]	32
Formula química	O ₂
Densidad [kg/m ³]	1,429
Densidad del vapor relativo al aire (aire = 1)	1,1
Presión de vapor [mbar a 20°C]	1456
Punto de ebullición [°C]	-183
Punto de fusión [°C]	-218,4
Solubilidad en agua [mg/L]	39

1.2.3. Subproductos

1.2.3.1. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un gas inodoro e incoloro, ligeramente ácido y no inflamable en condiciones normales de temperatura (20-25°C). Su estructura molecular es un átomo de carbono unido a dos átomos de oxígeno formando un doble enlace con cada uno de ellos. A presión constante el dióxido de carbono es soluble en agua, pero si la presión desciende intentará escapar de la fase líquida.



Figura 18. Estructura química del dióxido de carbono

Es un compuesto muy importante para la vida en la Tierra ya que está presente en muchos compuestos orgánicos como el gas natural o el petróleo o en el aire

que exhalan los organismos aerobios. Se encuentra en abundancia en el planeta tanto en el aire como disuelto en el agua. Su importancia biológica es vital para que las plantas lo usen para llevar a cabo la fotosíntesis e incluso múltiples bacterias lo usan como materia prima para los procesos de obtención de energía. El CO₂ se genera como subproducto de procesos naturales como la respiración, la descomposición de la materia orgánica, reacciones de combustión o en la fermentación de azúcares.

Se han encontrados diversos usos a lo largo de los años en diferentes sectores. En la industria de los alimentos se añade a bebidas para añadir efervescencia (bebidas gaseosas). Está presente en los compuestos presentes en los medios de prevención de incendios como los extintores ya que no es combustible. Por último, se usa frecuentemente en la industria para realizar procesos de refrigeración.

El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero, al igual que otros compuestos. Aunque ya se ha explicado anteriormente que se encuentra de manera natural en la atmosfera un exceso de este puede provocar lo que se denomina efecto invernadero. Esto significa que contribuye a aumentar la temperatura de la Tierra ya que absorbe en exceso el calor de la radiación solar y lo retiene cerca de la superficie terrestre. Así pues, un incremento del gas en la atmosfera tiene relación directa con el aumento paulatino de la temperatura en la Tierra.

Por último, el dióxido de carbono es esencial en múltiples procesos biológicos como la respiración celular, el control del pH en sangre entre muchos otros. Pero también se ha demostrado que una concentración excesiva de dióxido de carbono en el cuerpo puede generar efectos negativos en la salud humana. Los principales peligros para la salud son los siguientes:

- Congelación: el manejo de este material en estado sólido puede provocar graves daños en el tejido de la piel
- Asfixia: si se encuentra en un área cerrada sin ventilación puede hacer disminuir la concentración de oxígeno hasta un nivel peligroso para la salud.
- Daños renales: si la concentración de dióxido de carbono aumenta o disminuye fuera de los rangos de estabilidad provoca una alteración del equilibrio químico y el pH. Esta situación puede ser potencialmente perjudicial.

A continuación, se adjunta la **Tabla 9** con las propiedades físicas y químicas más importantes del compuesto.

Tabla 9. Propiedades físicas y químicas del dióxido de carbono [10].

Propiedades	Valor
Peso molecular [g/mol]	44
Formula química	CO ₂
Densidad [kg/m ³]	1,98
Densidad del vapor relativo al aire (aire = 1)	1,5
Presión de vapor [kPa a 20°C]	5720
Punto de ebullición [°C]	-57
Punto de fusión [°C]	-79
Solubilidad en agua [mg/L]	1450
Viscosidad Dinámica [cP a -78°C]	0,07

1.2.3.2. Agua

El agua es un compuesto formado por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno. Esta unión se produce mediante unos enlaces covalentes que hacen que la molécula sea muy estable. Una de sus características principales es que es una molécula dipolar ya que posee una región electronegativa (oxígeno) y una región electropositiva (hidrógenos). Eso hace que muchas moléculas de una tipología parecida se puedan unir con facilidad. Es una sustancia líquida a temperatura normal (20-25°C), incolora, inodora e insípida.

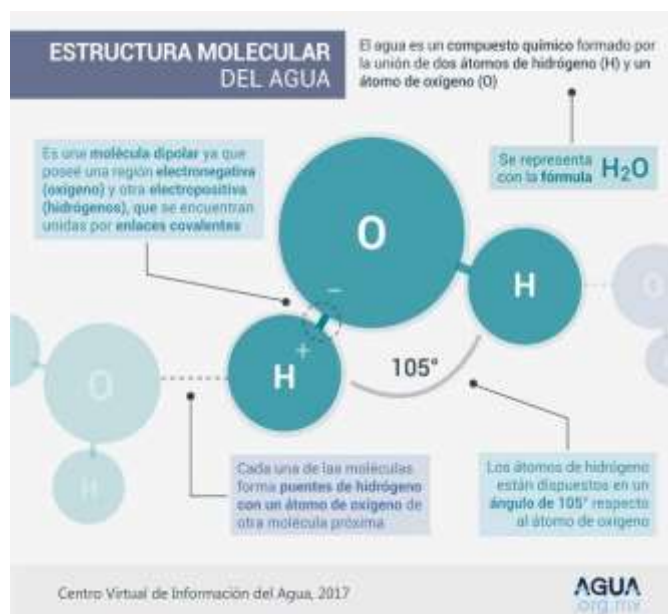


Figura 19. Estructura química del agua [11].

El agua es un compuesto abundante ya que el 70% de la superficie del planeta está cubierta por agua. La gran mayoría de esta agua es salada y el porcentaje de agua dulce es muy pequeño. El agua dulce se encuentra en forma de glaciares, nieve y hielo en un 70% y en aguas subterráneas de difícil acceso en un 30% aproximadamente. Así pues, menos del 1% del agua dulce es accesible para el ser humano de manera directa. [11]

El uso del agua extraída por el hombre se destina mayoritariamente al sector agrícola (69%), después al sector industrial (19%) y finalmente al sector municipal (12%). [11]

Especialmente la agricultura de riego es el sector de mayor extracción y consumo de agua. Las necesidades de los diferentes cultivos para su crecimiento hacen que se consuma mucha agua para producir alimentos.

Por otro lado, el agua juega un papel muy importante en el sector industrial. Se utiliza principalmente para procesos de refrigeración por ejemplo en plantas petroleras o en otras instalaciones donde se genere una gran cantidad de calor. También puede ser usada en procesos de reacciones químicas o en operaciones de separación como por ejemplo en la planta que se ha diseñado. El agua interviene en los procesos de absorción como absorbente de ciertas especies químicas. Sin salir del ámbito industrial, cada vez es más importante la generación de energía producida y su recuperación. La generación de vapor de agua producido en procesos químicos como los intercambiadores de calor se utiliza para producir energía mecánica y después transformarse en forma de electricidad, por ejemplo, con una turbina.

El agua es un potencial portador de microorganismos que producen una contaminación en el agua. Si se ingiere agua contaminada por microorganismos puede producir efectos negativos en la salud humana. Por ejemplo, la bacteria *Legionella* puede producir una enfermedad de pulmón y en las vías respiratorias. Es por eso que los parámetros físicos y químicos para el uso y producción de agua potable son muy estrictos.

A continuación, se adjunta la **Tabla 10** con las propiedades físicas y químicas más importantes del compuesto.

Tabla 10. Propiedades físicas y químicas del agua [12]

Propiedades	Valor
Peso molecular [g/mol]	18
Formula química	H ₂ O
Densidad del líquido [kg/m³]	997
Densidad del vapor relativo al aire (aire = 1)	1,49
Viscosidad Dinámica [mPa·s a 20°C]	0,95
Presión de vapor [mbar a 20°C]	1456
Punto de ebullición [°C]	100
Punto de congelación [°C]	0
Punto de ignición [°C]	-18

1.2.4. Otros compuestos

1.2.4.1. Nitrógeno (N₂)

El nitrógeno se trata de un compuesto no metálico que se encuentra en fase gas y es incoloro, inodoro e insípido. Es considerado un compuesto inerte generalmente. Está constituido por dos átomos de nitrógeno unidos entre sí por un enlace triple. Constituye aproximadamente el 80% del aire atmosférico, así que es muy abundante en la naturaleza. Esta composición proviene de la suma entre la producción de nitrógeno por acción bacteriana, eléctrica (relámpagos), química (industrial) y por descomposición de materia orgánica.



Figura 20. Estructura química del nitrógeno.

A nivel biológico se ha demostrado que forma el 3% de la composición elemental del cuerpo humano. Es un componente esencial en la estructura de los ácidos nucleicos y aminoácidos. También interviene directamente en la nutrición de las plantas. Ciertas bacterias fijan y transforman el nitrógeno en nitratos para que las plantas lo puedan absorber. En forma de proteína forma parte de fibras animales. El conjunto de procesos biológicos y abióticos que permiten el suministro de N_2 a los seres vivos se conoce como el ciclo del nitrógeno.

La obtención del nitrógeno se puede realizar haciendo pasar aire por un metal por ejemplo cobre o hierro a alta temperatura. De esta manera el oxígeno se separa del aire produciendo un corriente de nitrógeno mezclado con gases inertes. Si se requiere nitrógeno puro se obtiene mediante destilación fraccionada del aire gracias a los diferentes puntos de ebullición del nitrógeno con el resto de compuestos, sobre todo el oxígeno.

Las aplicaciones de este compuesto son mayoritariamente como agente refrigerante en procesos Industriales. En el caso de la planta que se ha diseñado, se utiliza nitrógeno para poder mezclar el etileno y el óxido de etileno con oxígeno sin que se produzca una ignición ya que ese tipo de mezclas por separado son inflamables. Al ser una especie química inerte se puede introducir mezclado con los reactivos y pasar por las diferentes etapas del proceso sin influir en el resultado final. También puede ser usado en tanques de almacenaje mezclado con el producto de interés. De esta manera se sube la presión del tanque, se consigue que el producto no se volatilice y no reacciona. El nitrógeno líquido tiene un uso muy extendido en el campo de la criogenia. Tiene un punto de ebullición muy bajo y precisamente por este factor es viable separarlo de otros compuestos por destilación, como anteriormente se ha mencionado. Para manipular nitrógeno líquido hay que adoptar ciertas medidas de seguridad ya que puede producir quemaduras importantes debido a su baja temperatura. Por otro lado, también se utiliza el nitrógeno como reactivo para producir amoníaco. El amoníaco tiene diferentes aplicaciones como por ejemplo en la fabricación de fertilizantes, ácido nítrico, urea, hidracina, aminas y explosivos. También se

utiliza para producir óxido nitroso que su uso radica en la medicina como anestésico en cirugía.

El nitrógeno es un compuesto emitido de manera amplia por las industrias. Eso produce un incremento de nitratos y nitritos en el suelo y en el agua como producto de las reacciones que se producen en el ciclo del nitrógeno. Estos compuestos son conocidos por causar diferentes dolencias en el organismo. Los efectos más comunes serían [13]:

- Disminución de la capacidad de transporte de oxígeno en sangre por reacciones con la hemoglobina.
- Disminución del funcionamiento de la glándula tiroidea.
- Bajo almacenamiento de vitamina A
- Producción de nitrosaminas, compuesto que comúnmente causa cáncer.

A continuación, se adjunta la **Tabla 11** con las propiedades físicas y químicas más importantes del compuesto.

Tabla 11. Propiedades físicas y químicas del nitrógeno [14].

Propiedades	Valor
Peso molecular [g/mol]	28,01
Formula química	N ₂
Densidad del líquido [Kg/m ³]	808,6
Densidad del vapor relativo al aire (aire = 1)	1,18
Punto de fusión [°C]	-210
Punto de ebullición [°C]	-195,8
Presión crítica (kPa)	3399

1.2.4.2. Monoetanolamina (MEAmina)

La MEAmina es un líquido incoloro con ligero olor amoniacal. Se trata de un compuesto químico orgánico que contiene un grupo hidroxilo y un grupo amino en su estructura química. Es tóxico, inflamable y corrosivo. Pertenece al grupo de las aminas que son compuestos derivados del amoníaco. Las aminas se clasifican en función de las uniones al nitrógeno en aminas primarias, secundarias y terciarias. En este caso se trata de una amina primaria.

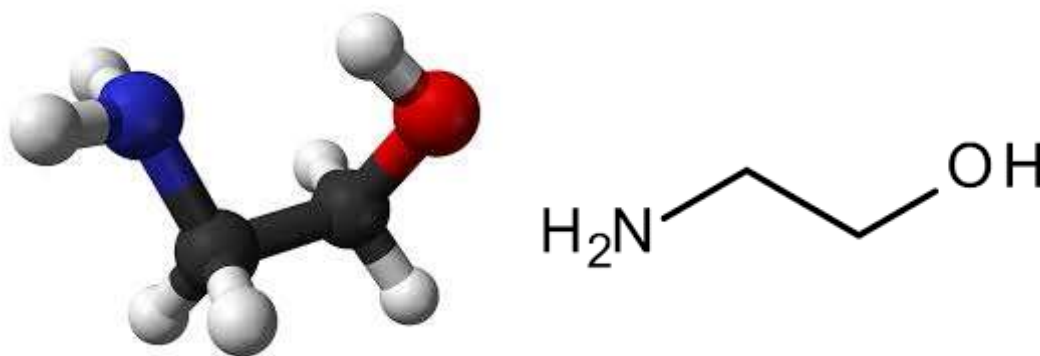


Figura 21. Estructura química de la monoetanolamina.

Las aminas primarias son compuestos polares, por lo tanto, son solubles en agua ya que son capaces de formar puentes de hidrogeno. En aminas con un mayor peso molecular debido a la cantidad de átomos de carbono su solubilidad disminuye. Es por eso que las aminas terciarias y aromáticas tienen una menor solubilidad en agua. Las aminas se comportan como bases en reacciones de intercambio de electrones.

Sus usos se engloban dentro del campo de la industria farmacéutica, cosmética y en diferentes aplicaciones a escala industrial. En farmacia actúa como ajustador del pH de soluciones ácidas. También se produce oleato de MEAmina que es un medicamento recetado para tratar enfermedades del sistema circulatorio. En cosmética se utiliza también para ajustar la acidez, pero mayoritariamente se usa como surfactantes subiendo la viscosidad e incrementando la espuma, estabilización y emulsión de productos utilizados para tratar la piel o el cabello. Por ejemplo, champús, jabones, geles, desodorantes, etc.

Por último, en industria se utiliza en la fabricación de detergentes para lavandería, lavavajillas, desengrasantes y desinfectantes. Los jabones de amina también se usan para el fregado de lana y seda debido a su bajo índice de alcalinidad. En el caso de nuestra planta se utiliza este compuesto para el tratamiento de gases, en concreto del CO₂. El proceso consiste en la absorción química del gas en cuestión mediante unas soluciones acuosas que contienen aminas. Estas soluciones contienen entre el 20 y el 50% generalmente en peso de amina en agua [15].

A continuación, se adjunta la **Tabla 12** con las propiedades físicas y químicas más importantes del compuesto.

Tabla 12. Propiedades físicas y químicas del nitrógeno [16].

Propiedades	Valor
Peso molecular [g/mol]	61,08
Formula química	C ₂ H ₇ NO
Densidad del líquido [Kg/m ³]	1011,5
Punto de fusión [°C]	4
Punto de ebullición [°C]	166,8
Punto de inflamación [°C]	91
Punto de autoinflamación [°C]	424
Viscosidad absoluta a 20°C (cP)	28,86
Límite inferior de inflamabilidad (%)	3,4
Solubilidad (% en 100 mL)	100%

1.2.4.3. Catalizador: Plata con soporte de alúmina (Al_2O_3)

Hasta la fecha de hoy, el metal más favorable para el proceso de la oxidación del óxido de etileno ha sido la plata. Recientemente se han realizado avances en catalizadores de plata con soporte de alúmina (7-21 % en peso de plata). Se utiliza alúmina al 99% como mínimo con unas características determinadas. Por ejemplo, se utiliza una estructura porosa con un diámetro de poro de entre 0,5 y 50 nm y un área superficial específica de menos de 2 m²/g de catalizador. Se ha observado que una superficie mayor a la especificada produce selectividades inferiores.

Para impregnar el soporte del catalizador con plata se utiliza complejos de sales de plata con grupos amino. De esta manera se obtienen finamente distribuidas partículas de plata con un diámetro entre 0,1 y 1 nm.

Por otro lado, los inhibidores de reacción como el 1,2-dicloroetano o el cloruro de vinilo recubren la superficie del catalizador. De esta manera suprimen la reacción de combustión total del etileno a dióxido de carbono y agua.

En la siguiente **Tabla 13** se muestran las diferentes características del catalizador utilizadas en la simulación del proceso y en el diseño del sistema de reacción.

Tabla 13. Características del catalizador.

Característica	Valores típicos
Densidad (kg/m ³)	800 - 2600
Diámetro equivalente (mm)	2 - 5,5
Forma	Cilíndrica
Tipo de catalizador	Plata con soporte de alúmina
Empacado	Aleatorio
Porosidad interna	50 %
Tortuosidad	2
Conductividad térmica (W/m·K)	0,3 – 0,5
Capacidad calorífica (kJ/kg·K)	1
Área superficial específica (m ² /m ³)	350

El óxido de aluminio o alúmina (Al_2O_3) es un material cerámico muy versátil. Se encuentra en fase sólida en la naturaleza, tiene un color blanquecino y es inodoro. Juntamente con la sílice, es el componente más importante en la formación de las arcillas y los barnices. Sus propiedades la hacen muy útil en procesos donde la temperatura es un factor clave. Su dureza hace que se pueda adaptar con relativa facilidad a diversos trabajos y usos.

El óxido de aluminio está presente en la naturaleza en el corindón y el esmeril, que son minerales que se encuentran en la Tierra. También ciertas piedras preciosas son formas de alúmina, pero quedan coloreadas por la presencia de óxidos de metales más pesados. Algunas de estas piedras preciosas podrían ser los zafiros o los rubíes.

Para su obtención es necesario realizar una explotación minera del yacimiento donde se encuentra a cielo abierto. El mineral se obtiene directamente de los bloques extraídos del yacimiento y se transporta para su posterior trituración.

La alúmina tiene diferentes aplicaciones. Puede ser utilizada como materia prima para la obtención de aluminio. Por otro lado, puede ser utilizada como aislante térmico y eléctrico debido a sus cualidades como material cerámico que es. En el sector de la industria química se utiliza como catalizador o como portador de catalizadores, que es el caso de este proceso. Al emplearse como catalizador puede modificar notablemente la función del catalizador. Es por eso que es necesario elegir el tipo adecuado de alúmina para el proceso en cuestión, así como determinar la cantidad de agente activo considerando su actividad, estabilidad y el coste para realizar dicha operación.

A continuación, se adjunta la **Tabla 14** con las propiedades físicas y químicas más importantes del compuesto.

Tabla 14. Propiedades físicas y químicas del óxido de aluminio [17].

Propiedades	Valor
Peso molecular [g/mol]	101,96
Formula química	Al_2O_3
Densidad del líquido [kg/m^3]	3970
Punto de fusión [$^{\circ}\text{C}$]	2050
Punto de ebullición [$^{\circ}\text{C}$]	2980
Conductividad térmica ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	26-35
Calor específico ($\text{J/K}\cdot\text{kg}$)	850-900

1.2.5. Obtención de materias primas

Para realizar el proceso de fabricación se requieren 3 caudales de componentes puros: dos caudales serán de los reactivos que en nuestro caso serán oxígeno y etileno y un caudal de gas inerte que en nuestra planta se ha elegido el nitrógeno. El resto de compuestos expuestos anteriormente no suponen ningún caudal de entrada al sistema puro.

En el caso del etileno y oxígeno necesarios para realizar la reacción cinética estos componentes se aportan a la planta vía tubería. La mezcla de estas materias primas se realiza en una tubería de proceso mediante “buffles”. Estos caudales provienen de una instalación química cercana que obtienen como subproductos. Los dos corrientes se introducen a nuestro proceso regulando el caudal necesario, a temperatura ambiente y a una presión cercana a la atmosférica.

1.2.6. Obtención de nitrógeno

En el caso del nitrógeno, se ha decidido contratar los servicios de suministro de una empresa especializada en la producción y distribución de gases para la industria química, medicina e ingeniería en general. La empresa en cuestión es *Air Liquide*, opera en más de 80 países distintos, atiende más de 3,5 millones de clientes y su reputación esta contrastada. La razón para elegir este tipo de suministro es que el caudal necesario de nitrógeno es bajo y no es rentable construir una instalación de fraccionamiento de aire para obtener nitrógeno in situ en la planta. Es por eso que dado el requerimiento de la planta de nitrógeno se ha optado por esta vía de suministro.

La empresa *Air Liquide* ofrece diferentes modos de suministro de nitrógeno para las diferentes necesidades del cliente. En el caso de esta planta se ha elegido la opción de almacenar el nitrógeno en estado líquido a alta presión y baja temperatura. La empresa ofrece el alquiler del tanque de almacenamiento ya diseñado y construido, vaporizadores atmosféricos para la producción de nitrógeno en fase gas, controles de nivel, fijación en el suelo de los elementos instalados, carteles de seguridad y armarios eléctricos.

El cliente, únicamente suministra la toma de electricidad, una planchada de hormigón para el tanque, el vaporizador y la zona de descarga, una toma de agua y una valla de 2 metros con puerta. La empresa también suministra el producto (nitrógeno) con camiones que transportan el nitrógeno des de la zona de producción de *Air Liquide* hasta la zona de descarga de nuestra planta. Hay diferentes tamaños de tanque, pero antes de elegir hay que realizar un cálculo de la cantidad necesaria de suministro [18].

A continuación como se observa en la **Tabla 15**, se ha realizado un cálculo para conocer el volumen necesario para que la planta tenga una autonomía de operación de 1 semana. Para realizar los cálculos se ha elegido una densidad del nitrógeno líquido de 800 kg/m^3 :

Tabla 15. Cálculo del volumen y masa necesarios de nitrógeno a la semana.

Propiedad	Unidades	Valor
Caudal molar	kmol/h	9,08
Caudal másico	kg/h	254,22
Caudal volumétrico	m ³ /h	0,32
Caudal volumétrico	m ³ /d	7,63
Caudal volumétrico	m ³ /semana	53,39
TOTAL (semanal)	Tm en 1 semana	42,71

Una vez realizados los cálculos, se puede proceder a elegir el tanque cilíndrico y el vaporizador de la instalación. Air Liquide únicamente proporciona tanques de 53 m^3 o 63 m^3 . En este caso el caudal volumétrico necesario supera los 53 m^3 así que se opta por el tanque de 63 m^3 para que se encuentre sobredimensionado en la planta. Se alquilarán 2 tanques de 63 m^3 de capacidad idénticos. Cada uno de ellos tendrán 2,84 m de diámetro y medirán 14,68 metros desde el suelo hasta el punto más elevado del cabezal. Aun así, esa no es la altura operativa del cilindro ya que también se construye un soporte en la plancha de hormigón. Por lo tanto, la altura operativa se ha calculado como 9,95 m aproximadamente. El tanque de almacenamiento aplica una presión total en su interior de 17 bar. Por lo tanto, para que el nitrógeno permanezca en fase líquida habrá que mantener la temperatura entre -180 y -190°C . Si no es así, el nitrógeno se vaporizará generando una sobrepresión en el reactor.

El vaporizador elegido es el 250ALE ya que el caudal volumétrico necesario en fase gas para entrar al sistema es de $222 \text{ m}^3/\text{h}$ y este vaporizador opera a un máximo de $250 \text{ m}^3/\text{h}$. Con lo cual, se concluye que el servicio contratado constara de una instalación de almacenamiento de nitrógeno a 17 bar y -190°C y un servicio de suministro de producto mediante camiones que transportara a nuestra planta 42 Tn de nitrógeno líquido una vez a la semana.

A continuación en la **Figura 22**, se adjunta información de la empresa contratada en referencia a la instalación y dimensiones del sistema de almacenamiento de N_2 líquido.

Capítulo 1. Especificaciones del proyecto

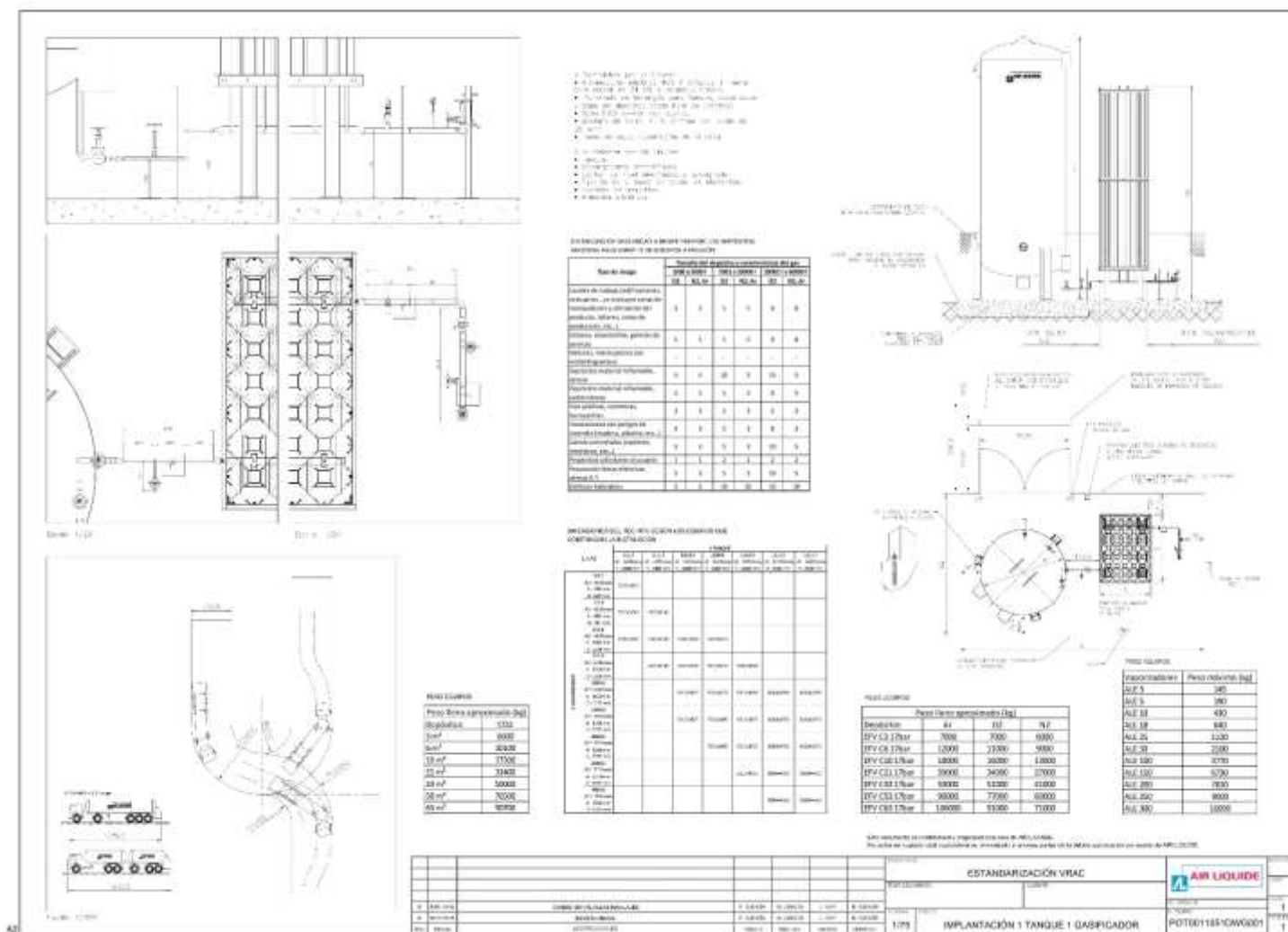


Figura 22. Información de la empresa Air Liquide en referencia a la instalación del sistema de almacenamiento de nitrógeno líquido.

1.3. Descripción del proceso de fabricación

El proceso de fabricación consta de 3 etapas: etapa de reacción, etapa de recuperación del óxido de etileno y finalmente una etapa de purificación.

El diagrama de proceso consta de un sistema de dos reactores en paralelo para realizar la reacción. Las condiciones de operación del reactor son claves en este proceso para obtener la selectividad deseada ya que hay más de una reacción compitiendo. Por una parte, está la reacción que se desea favorecer, la oxidación parcial del etileno y por otra parte la reacción que se desea inhibir, la oxidación total. En los siguientes puntos se muestran las ecuaciones estequiométricas de la planta. Las dos reacciones producen una alta cantidad de energía y eso hace que el control de ese calor generado sea indispensable.

Posteriormente se utilizan diversas unidades de separación para recuperar el óxido de etileno generado y para purificarlo para que pueda ser comercializado y distribuido.

Para el proceso de producción del óxido de etileno se han seguido las diferentes patentes recogidas en la bibliografía, principalmente US 9,611,236 B2. [19] y [20]

1.3.1. Diagrama de bloques

En este apartado se presenta el diagrama de bloques del proceso que se ha diseñado. Realizando una visión global del proceso de producción se pueden observar las diferentes unidades indicadas en este diagrama. En el punto 1.3.2. se realiza una explicación detallada del funcionamiento y finalidad de los diferentes equipos.

A continuación en la **Figura 23**, se representa el proceso esquematizado en diagrama de bloques:

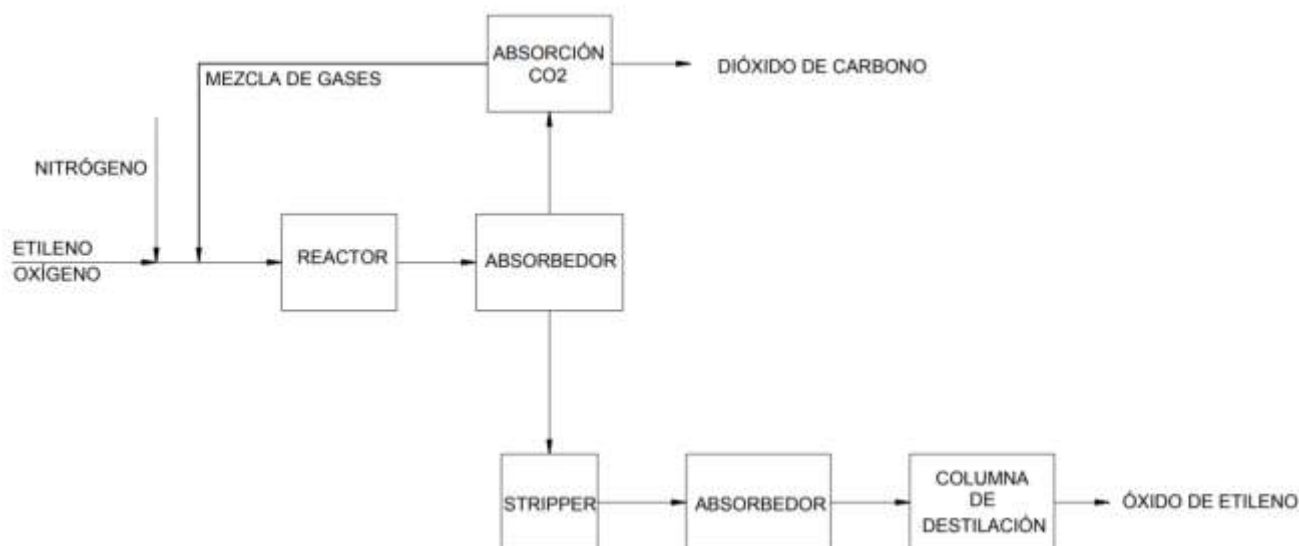
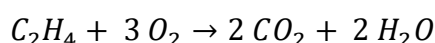
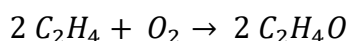


Figura 23. Diagrama de bloques del proceso de fabricación.

1.3.2. Descripción detallada del proceso

El proceso de producción de óxido de etileno se basa primeramente en la oxidación parcial del etileno al óxido de etileno en fase gas. Para este tipo de reacción se puede utilizar tanto aire como oxígeno como reactivos. En nuestro caso utilizaremos oxígeno puro ya que así se obtiene un mayor rendimiento en el proceso y una mayor pureza del producto. Los reactivos se introducen en la planta mediante una tubería y se mezclan en la misma en estado gas mediante “baffles”. En este proceso hay 2 reacciones principales que compiten entre ellas: la oxidación parcial y la oxidación total del etileno. También existen otras reacciones secundarias como la reoxidación del óxido de etileno, aunque tienen una menor contribución en nuestro caso.

Las reacciones que se producen en el proceso son las siguientes:



Donde la primera reacción corresponde a la oxidación parcial y la siguiente a la oxidación total. Las dos reacciones son exotérmicas, la oxidación parcial tiene una entalpia de reacción de $\Delta H = -105 \text{ kJ/mol}$ mientras que la oxidación parcial es $\Delta H = -1327 \text{ kJ/mol}$ [21]. Estos valores están referidos a energía liberada por mol de etileno consumido. Es por este motivo que la evacuación del calor de reacción es un parámetro clave del proceso.

Con el propósito de obtener una alta selectividad en el reactor para que se produzca principalmente la oxidación parcial este proceso de reacción opera a unas determinadas condiciones de operación y se usa un catalizador. Este proceso se cataliza mediante un catalizador de plata. El catalizador contiene aproximadamente un 15% en peso de plata que se coloca como una capa fina sobre una superficie inerte y porosa de alúmina (Al_2O_3). Por otro lado, las condiciones de operación se deben controlar de manera muy estricta ya que, si no se mantienen los parámetros en el punto óptimo el rendimiento bajará. En este caso se opera a una temperatura de entre 250 y 300°C y una presión de entre 1000 y 2000 kPa [22]. En nuestro caso se ha decidido operar a 250°C para controlar la generación de calor en el reactor. Cumpliendo estos factores en la reacción se consigue hasta un 80% de selectividad para la oxidación parcial.

Por último, hay que destacar que las mezclas de oxígeno con óxido de etileno y oxígeno con etileno son muy inflamables. Es por eso que se limita la conversión de etileno al 10% para controlar la generación de calor. Aun así, el óxido de etileno es explosivo incluso en ausencia de oxígeno así que también se añade un gas inerte para aumentar la presión de la mezcla [23]. De esta manera se estabiliza. El gas inerte utilizado en nuestro caso es el nitrógeno (N_2) en una proporción mayor al 50% en la alimentación del reactor. Cabe destacar que las sustancias incluidas en el proceso que no reaccionan bien porque son inertes o bien porque no se alcanza la conversión necesaria para que reaccionen son recirculados a la entrada del proceso.

Las únicas entradas de materia prima al sistema son las del etileno, oxígeno y un pequeño caudal de N_2 que pese a ser inerte hay parte de esta sustancia que no es posible recuperar. Estas entradas se producen a temperatura ambiente 25°C y presión atmosférica. Posteriormente pasan por un sistema de compresores e intercambiadores de calor con agua para calentar y subir la presión de la alimentación. Una vez conseguidas las condiciones requeridas para el proceso de reacción, se introduce la alimentación con un corriente de recirculación al sistema de reactores.

Concretamente se han utilizado 2 reactores tubulares catalíticos heterogéneos que operan en isoterma a una temperatura de 250°C. Previamente la mezcla reactiva se ha acondicionado mediante compresores e intercambiadores de calor para que llegue a la entrada del reactor a 250°C y 2000 kPa. Cada reactor contiene 7500 tubos de 1 pulgada ($2,54 \cdot 10^{-2} \text{ m}$) y 6 metros de longitud. Eso resulta un volumen operativo de 22,8 m³ cada reactor. La mitad de ese volumen

está ocupado por el catalizador de plata por lo tanto el volumen vacío del reactor por donde pasa el corriente gas que reacciona es de $11,4 \text{ m}^3$. Hay una pérdida de presión de $74,15 \text{ kPa}$ en el reactor y se generan más de $5 \cdot 10^7 \text{ kJ/h}$ de energía que será aprovechada en un circuito de cogeneración.

Después de la primera etapa, que es la etapa de reacción de etileno con oxígeno en el reactor los productos avanzan hacia la etapa de recuperación del óxido de etileno y por último a la etapa de purificación del producto en cuestión. Previamente se enfrían los productos mediante un corriente de agua fría en un intercambiador de calor y se expanden para que pierdan presión. La corriente sale a 1500 kPa y 108°C .

El siguiente equipo es un absorbedor para poder recuperar todo el óxido de etileno en el corriente líquido. Los productos que provienen del reactor en fase gas se introducen en un absorbedor por la parte baja de este. El solvente liquido utilizado en este caso es agua a alta presión aprovechando las diferentes solubilidades del óxido de etileno con el resto de sustancias químicas de la mezcla. De esta manera el agua disuelve el óxido de etileno y sale por la parte baja del absorbedor. Por la parte de arriba sale el corriente en fase gas que no se ha disuelto en el absorbente. El corriente en fase gas contendrá los compuestos químicos inertes (nitrógeno) o que no han conseguido reaccionar (etileno, oxígeno). La columna de absorción opera a una presión de entre 1000 y 1400 kPa y tiene 10 etapas de equilibrio. Su altura total es de 8 metros y un diámetro de 3 metros.

El corriente superior se dirigirá a la etapa de eliminación de CO_2 donde se utiliza una absorción con aminas. Primeramente, se divide el caudal de entrada para la eliminación del CO_2 . En el proceso de absorción el caudal que se dirige a esa zona entra a un absorbedor donde se pone en contacto con un corriente rico de amina. La amina absorbe el dióxido de carbono y lo elimina del corriente de proceso. El corriente de aminas pasará por unas etapas de separación para poder separar las aminas del CO_2 y así se podrán reutilizar las aminas para la posterior absorción. Una vez realizado el proceso de eliminación del CO_2 el corriente se vuelve a mezclar con el dividido anteriormente. El corriente resultante se calienta en un intercambiador de calor de agua y se baja la presión con un expansor para reacondicionarlo y recircularlo a la entrada. El corriente que se recircula constituye la mayor parte de la alimentación del reactor ya que se ha tratado de recircular los compuestos que no reaccionen ya sea porque son un gas inerte como el N_2 o porque son potenciales reactivos que no reaccionaron en su primer paso por el reactor. Se consigue así minimizar la necesidad de alimentación de materias primas al sistema, aumentando el beneficio económico de la planta.

El óxido de etileno disuelto en agua se dirige a una torre de desorción o stripping. El objetivo de este equipo es eliminar una gran cantidad de agua para obtener un producto lo más puro posible de óxido de etileno. Por lo tanto, el equipo

funciona como deshumidificador del corriente de entrada. Utilizando una pequeña pérdida de presión y teniendo en cuenta las diferentes temperaturas de ebullición del agua y del óxido de etileno se consigue separar los dos compuestos. Por lo tanto, el corriente que sale por la cabeza de la torre será el corriente puro de óxido de etileno en fase gas y el corriente líquido que saldrá por debajo del stripper será prácticamente solo agua. Este stripper opera a alta temperatura para poder evaporar el óxido de etileno de la fase acuosa y a una presión de 800 a 1300 kPa en función de la posición en la torre. Contiene 10 platos de equilibrio teóricos, su altura es de 8 m y su diámetro de 3,2 m.

El corriente líquido de agua se separa con un divisor. Parte del corriente se dirigirá al primer absorbedor y la otra parte se dirigirá al segundo absorbedor de purificación, prácticamente en un 50%. El agua que se recircula al primer absorbedor es bombeada y reacondicionada mediante bombas y intercambiadores de calor para que entre en las condiciones deseadas. El agua que se dirige al segundo absorbedor pasa por un intercambiador de calor con agua. De esta manera su temperatura y su presión disminuyen y se consiguen las condiciones óptimas para la reabsorción.

El corriente rico en óxido de etileno y el agua recirculada se introducen nuevamente en una columna de absorción. La finalidad de este equipo es eliminar los componentes que no han podido reaccionar como etileno, dióxido de carbono o nitrógeno y que no se han eliminado previamente en el primer absorbedor. De esta manera se obtiene un corriente purificado. El funcionamiento de la reabsorción es el mismo que en la primera absorción. Se usa agua a presión (800 kPa) y este absorbe el óxido de etileno presente en el corriente gas. La columna opera esta vez cerca de presión atmosférica entre 101,3 y 150 kPa en función del punto de la columna en cuestión. Mediante esta unidad de separación conseguimos eliminar prácticamente todas las impurezas que contenía el corriente rico y obtenemos un corriente de óxido de etileno disuelto en agua. Esta vez se ha requerido un caudal de agua mucho menor para realizar el proceso, prácticamente un 50% menor. La columna cuenta nuevamente con 10 etapas de equilibrio, mide 8 m y tiene un diámetro de 2,3 m.

Por último, el corriente de óxido de etileno en fase acuosa se introduce en una columna de destilación. Este equipo separa el óxido de etileno de su fase acuosa aprovechando la diferencia entre el punto de ebullición de los dos compuestos. Por lo tanto, el óxido de etileno se evapora y va al condensador parcial situado en la salida del ultimo plato de equilibrio de la columna. La columna tiene 10 etapas de equilibrio en la columna más el reboiler y el condensador, su altura es de 9 metros y tiene un diámetro de 2,5 m.

En el condensador parcial que opera a 10°C separa el óxido de etileno de las últimas impurezas que restan. El caudal de gas que sale del condensador contiene parte de etileno, oxígeno y dióxido de carbono. Por otra parte, el caudal de salida líquido del condensador parcial tiene un 99,99% de óxido de etileno en

composición molar. Este corriente es el producto final para distribuir. Por otro lado, la salida por la parte baja de la columna de destilación sale el agua prácticamente pura en fase líquida a una temperatura aproximada de 70°C.

Esta agua se reacondiciona mediante bombas y intercambiadores de calor para enfriar y subir la presión y recircularse a la primera absorción. Juntando el caudal de salida del stripper y el caudal de salida de la columna de destilación se obtiene el caudal necesario para la primera absorción. De esta manera el circuito de agua es prácticamente cerrado y únicamente hay una pequeña purga para ir eliminando el agua que se genera en la reacción.

El caudal de vapor que sale del condensador parcial se mezcla con la salida de gases del segundo absorbedor. De esta manera obtenemos un caudal de compuestos que no han reaccionado, pero también se recupera parte del óxido de etileno que no está en el producto final y que se ha ido perdiendo durante las dos operaciones de separación de donde se obtienen los corrientes. Una vez mezclados se comprimen y se enfrían para poder volver a recircularlos en la entrada del proceso de recuperación del óxido de etileno, que corresponde al primer absorbedor. Con esta recirculación se consigue minimizar al máximo la pérdida de producto y se reduce en una gran cantidad los residuos generados en la planta.

Circuito de cogeneración con turbina

Con la reacción que se lleva a cabo en el reactor se genera una gran cantidad de energía en forma de calor. Se ha decidido aprovechar esta energía en un circuito de cogeneración.

Se controla la temperatura del reactor mediante un caudal de agua líquida que entra a punto de burbuja en la carcasa del reactor. En la carcasa del reactor el agua líquida absorbe calor y realiza un cambio de fase de líquido a vapor. Este vapor se dirige a una turbina donde se producirá la generación de energía mediante el trabajo realizado por el eje de la turbina. De esta manera obtendremos energía eléctrica que se podrá aprovechar para otras zonas de la planta y para suministrar algunos equipos.

Después de la turbina, el vapor se dirigirá al condensador donde volverá a generarse agua líquida. Esta agua líquida se volverá a recircular al reactor para que realice el mismo proceso en un ciclo continuo.

Tratamiento de residuos

Para el tratamiento de residuos de la planta de óxido de etileno se han caracterizado los diferentes efluentes y se ha propuesto un tratamiento en base a sus características.

Estos se dividen en función del estado en el que se encuentran (sólido, líquido o gas). El residuo sólido proviene mayoritariamente del uso del catalizador de plata. Por otra parte, los efluentes líquidos provienen del proceso y servicios y los efluentes gaseosos de la inertización, la caldera y el proceso.

Los diferentes equipos con los que consta la planta para hacer los diferentes tratamientos son una depuradora, un RTO (regenerative thermal oxidizer) y una EDAR (estación depuradora de aguas residuales). También se generan otros residuos que, debido a sus características, se tratan de forma externa.

Todo ello garantizando que cumplen la normativa de gestión medioambiental y buscando provocar el menor impacto ambiental posible.

1.4. Constitución de la planta

1.4.1. Distribución por áreas

En este apartado se define la distribución elegida para la construcción de las diferentes zonas de la planta. La parcela tiene una superficie total de 53235 m². En la distribución de la planta se engloban todos los elementos de la instalación. Se incluyen equipos industriales específicos para el proceso de fabricación, instalaciones auxiliares o sitios de trabajo para los empleados. Se ha tenido en cuenta las distancias de seguridad entre diferentes instalaciones siguiendo la normativa vigente.

Con una adecuada distribución de las áreas de la planta, se puede optimizar la temporización de las actividades de la planta ya que se dedicará menos tiempo en ir de una zona a otra. De esta manera se podrá aprovechar mejor el tiempo.

La planta consta de 14 áreas divididas por la parcela disponible. En concreto se han destinado un total de 4 áreas al proceso productivo de óxido de etileno. Existirá una zona con los equipos de servicios y las conexiones a pie de parcela y una zona destinada al almacenamiento del producto. El resto de áreas se repartirán entre las instalaciones auxiliares y las de tratamiento de residuos. A continuación en la **Tabla 16**, se enumeran las diferentes áreas de la planta y su función.

Tabla 16. Áreas de la planta de producción de óxido de etileno y función que desempeñan.

Área	Descripción
A-100	Área de acondicionamiento de materias primas
A-200	Área de reacción
A-300	Área de tratamiento de gases
A-400	Área de purificación
A-500	Área de almacenaje de óxido de etileno
A-600	Área de servicios
A-700	Área de tratamiento de aguas residuales
A-800	Área de taller y almacenaje
A-900	Área de carga y descarga
A-1000	Área de laboratorios y control
A-1100	Área de oficinas
A-1200	Aparcamiento
A-1300	Balsa de agua contra incendios
A-1400	Área de dilución de los tanques de óxido de etileno

A continuación en la **Figura 24**, se adjunta el “Lay-out” de la planta con las áreas especificadas con la leyenda de la **Tabla 16**.

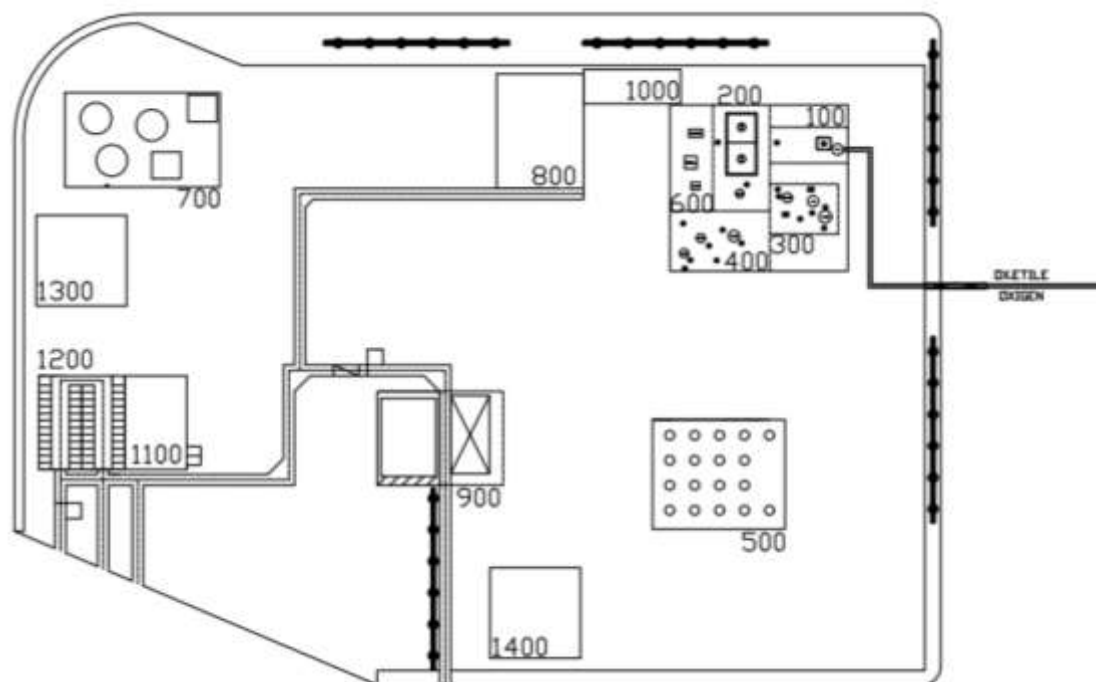


Figura 24. Lay-out de la planta de producción

1.4.2. Descripción cualitativa de la planta

- Área 100: Acondicionamiento de materias primas

En esta área se realiza la entrada a la planta de las materias primas. El etileno y el oxígeno llegan a la planta por tubería y se mezclan también en una tubería mediante unos accesorios llamados “buffles”. Con estos accesorios conseguimos aumentar la velocidad del corriente disminuyendo el área de paso. Juntamente con las materias primas, también se introduce una gran cantidad de nitrógeno como gas inerte del mismo modo que las materias primas. El nitrógeno llega desde los tanques situados en la misma área.

Una vez mezclados los reactivos y el nitrógeno, se procede a realizar el acondicionamiento del corriente para que llegue en las condiciones deseadas a la entrada del reactor. Para ello se utilizan dos compresores y un intercambiador. Una vez acondicionado, se juntará con el corriente de recirculación para poder entrar al reactor.

- Área 200: Área de reacción

En esta área se realiza la reacción en los dos reactores tubulares. Previamente a la entrada al reactor se realiza un último acondicionado del corriente de entrada. La reacción se produce en fase gas en el interior de los tubos del reactor. Esta reacción genera una alta cantidad de energía en forma de calor que se absorbe con un caudal de agua. Este vapor de agua que absorbe la energía del reactor se dirigirá a una turbina para generar trabajo en el eje y de esta manera generar energía eléctrica.

Una vez realizada la reacción, el corriente de salida del reactor rico en óxido de etileno se dirige a una etapa de absorción. En la columna de absorción se absorbe el óxido de etileno mediante un caudal de agua y se separa en gran parte del resto de gases generados o restantes (etileno, oxígeno, dióxido de carbono). El caudal de óxido de etileno diluido en agua se dirigirá a la zona de purificación y los gases restantes se enviarán a el tratamiento de gases.

- Área 300: Área de tratamiento de gases

El corriente en fase gas de salida del absorbedor se acondiciona mediante un compresor y un intercambiador para poder iniciar el tratamiento de gases para la eliminación del CO₂ generado. Para la eliminación del CO₂ se ha decidido realizar una etapa de absorción con amina. Concretamente se absorbe el dióxido de carbono en un absorbedor con un corriente líquido rico de monoetanolamina. Posteriormente se separa el dióxido de carbono con un destilador.

Finalmente, el caudal de gases de salida del absorbedor se recirculará a la entrada del reactor y el caudal de amina de salida de la columna de destilación se recirculará de nuevo a la absorción de CO₂.

- Área 400: Área de purificación

En esta área se lleva a cabo la purificación del corriente que contiene en óxido de etileno. Para la purificación se utiliza una etapa de desorción, una segunda absorción con agua y un destilador. En la desorción se elimina gran parte del agua del primer absorbedor. Posteriormente se realiza una segunda absorción para eliminar los gases restantes y finalmente una última destilación para eliminar el agua de la segunda absorción. Después de esta área, se obtiene un caudal continuo de óxido de etileno en fase líquida.

- Área 500: Área de almacenaje de óxido de etileno

En el área de almacenamiento se encuentra el parque de tanques de almacenamiento de producto. Se dispondrán de 18 tanques de 35 m³ para el almacenamiento del óxido de etileno con una cubeta de retención común y un cubeto individual para cada tanque.

- Área 600: Área de servicios

En esta área se encuentran la mayoría de equipos de servicios del cual dispone la planta. La torre de refrigeración para disponer de agua fría para la refrigeración de los equipos y corrientes, las calderas de vapor y aceite, el compresor de aire para las válvulas y la conexión con el agua de red.

- Área 700: Área de tratamiento de aguas residuales

En esta área se dispone de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) para el tratamiento de los corrientes líquidos residuales. En esta área también se dispone de un RTO para gases.

- Área 800: Área de taller y almacenaje

Es la ubicación donde se encuentran las piezas de recambio para los diferentes equipos de planta. También se almacena otros compuestos como catalizador, solución de amina o otros que se utilizan a lo largo del proceso. También existe una zona destinada a la reparación y tareas de mantenimiento que se realizan des del servicio técnico de la planta.

- Área 900: Área de carga y descarga

Esta zona está destinada a la entrada y salida de compuestos de la planta por vía terrestre, mayoritariamente con camiones. Para carga, únicamente se vende un producto por lo tanto se trata de carga de óxido de etileno para ser transportado al comprador. En la descarga, se destina este espacio para la entrada de compuestos necesarios para la planta que no sean materias primas (que llegan por tubería). Compuestos como el catalizador o nitrógeno líquido serian algunos de los compuestos que se descargarían en la planta por los camiones de los proveedores contratados.

- Área 1000: Área de laboratorios y control

Esta zona está equipada con un laboratorio donde se analizan los diferentes parámetros de las tomas de muestra distribuidos en toda la planta. También se dispone una planta piloto para realizar pruebas y estudios asignados al departamento de I+D.

- Área 1100: Área de oficinas

Se trata de la zona destinada al lugar de trabajo de los empleados de administración, comerciales, contables y otros trabajadores que requieran realizar este tipo de tareas.

- Área 1200: Aparcamiento

Es un espacio destinado para el aparcamiento de los vehículos privados de los trabajadores que entren a trabajar a la planta.

- Área 1300: Balsa de agua contra incendios

En esta área se encuentra un depósito de agua de red que se destinará para apagar un incendio en caso de accidente. La balsa requiere 16.000 m³ de volumen de agua, pero se ha sobredimensionado. En esta área también se incluyen los equipos antiincendios, formados por dos bombas: una eléctrica y otra de motor de explosión en caso de que no haya corriente.

- Área 1400: Área de dilución de los tanques de óxido de etileno

Esta área se ha destinado a la dilución del óxido de etileno en caso de fuga. Si se produce una fuga del parque de tanques de almacenamiento, esta fuga se dirigirá a esta área. En esta área se hará llegar agua para diluir el óxido de etileno. Esta área únicamente se utilizará en caso de fuga como medida de seguridad.

1.4.3. Plantilla de trabajadores

La planta que se está exponiendo estará operativa 320 días al año las 24 horas del día. Eso nos da un total de 2560 horas al año de operabilidad. Esta planta ha decidido dividir el total de la plantilla en 5 turnos para no exceder la cantidad máxima de horas laborables anuales.

Los trabajadores estarán divididos en diversos grupos, formados por los departamentos de la planta. A continuación, se enumeran los departamentos existentes:

- Departamento de Seguridad
- Departamento de Ingeniería
- Departamento de Producción
- Departamento de Control de calidad
- Departamento de Mantenimiento
- Departamento de Control de procesos
- Departamento de I+D
- Departamento Comercial y Marketing
- Departamento de Finanzas
- Departamento de RRHH
- Departamento de Logística Interna

Cada uno de los departamentos cuenta con un director y un encargado. Cada uno de los departamentos tiene una cantidad de personal a su cargo para desempeñar su función encomendada.

Los directores de departamento serán los encargados de planificar, supervisar y coordinar las distintas actividades necesarias para el buen desarrollo de la empresa. Se ocuparán y responsabilizarán de cumplir con los plazos previstos y objetivos planificados, así como de realizar la toma de decisiones correspondiente a sus áreas de actuación.

Los encargados de departamento serán el nexo de unión entre la dirección de cada departamento con el equipo que forman. De esta manera su función será la de coordinar y supervisar las distintas tareas encomendadas y planificadas por la dirección.

Los operarios, tanto de almacenamiento como de producción son los trabajadores que están a pie de planta controlando los distintos procesos y parámetros críticos de operación.

El personal de control de producción tendrá la función de supervisar estrictamente los procesos llevados a cabo en el proceso productivo de la planta, así como tomar las decisiones previamente acordadas por la dirección para variar algún parámetro en algún punto de la producción.

Los técnicos de mantenimiento serán los encargados de supervisar el estado de la maquinaria y equipos que se utiliza en el proceso. También se encargarán de llevar a cabo el mantenimiento requerido por los equipos cuando se estime oportuno.

En el laboratorio se encontrarán el personal de control de calidad y los técnicos de laboratorio. El personal de control de calidad analizará los diferentes compuestos que actúan en la planta y aseguraran que sus propiedades se ajustan a las necesarias para el proceso. Analizarán tanto materias primas como productos como otras sustancias que realizan alguna función en la planta. Una parte de los técnicos de laboratorio también trabajaran en el departamento de I+D.

Por último, los empleados de oficina serán los comerciales, contables, recursos humanos y administración. Realizarán diferentes funciones para la empresa, pero no relacionadas con el aspecto productivo como llevar las cuentas económicas de la empresa, contactar con distribuidores y compradores o organizar las diferentes casuísticas de los empleados (vacaciones, bajas, ...).

A continuación, se adjunta la **Tabla 17** con la totalidad de trabajadores de la empresa:

Tabla 17. Plantilla de trabajadores de la planta.

Cargo	Nº de trabajadores
Gerente	1
Director de departamento	11
Encargados de departamento	11
Operarios de almacenamiento	15
Operarios de producción	40
Personal control de producción	10
Comerciales	1
Técnicos de mantenimiento	7
Personal de control de calidad	4
Técnicos de laboratorio	6
Personal de limpieza	10
Recursos humanos	2
Contables	2
Administración	4
TOTAL	124

En total se dispone de 124 trabajadores en la planta distribuidos en 5 turnos, distribuidos en las divisiones que se muestran en la tabla.

1.5. Balance de materia

A continuación, se presentan las características de cada corriente que entra y sale de los diferentes equipos que forman el proceso de fabricación (ver **Figura 25**). En las siguientes tablas se encuentran valores de temperatura, presión, caudal tanto molar como masico y volumétrico, densidad, fracción de vapor y fracción molar de los diferentes componentes.

Estos balances de materia corresponden a la situación donde la planta estaría operando en continuo para producir un mínimo de 120.000 toneladas de óxido de etileno al año. Estos balances corresponden al diagrama de proceso que se adjunta previamente en las **Tablas 18-21** con la información de los diferentes corrientes:

1.5.1. Diagrama de proceso

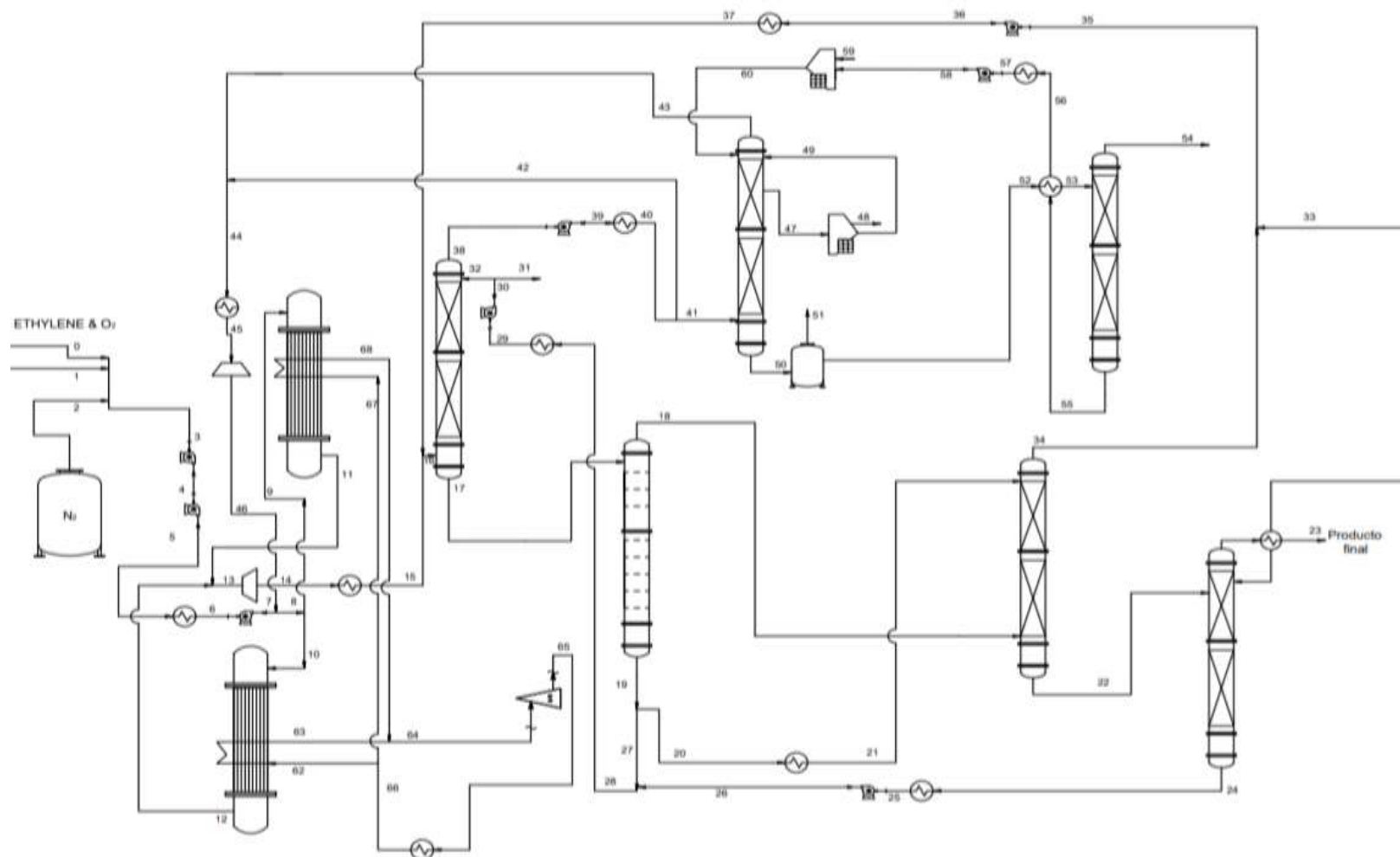


Figura 25. Diagrama de proceso de fabricación de la planta.

1.5.2. Presentación balance de materia

Tabla 18. Balance de materia en la planta corrientes 0-16.

CORRIENTE		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Fracción vapor		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Temperatura	°C	25	25	25	25	197	255	166	250	250	250	250	250	250	250	233	108	108
Presión	kPa	101,3	101,3	101,3	101,3	600	1000	950	2000	2000	2000	2000	1948	1948	1948	1600	1500	1500
Caudal molar	kgmole/h	470,06	367,20	9,07	846,33	846,33	846,33	846,33	846,33	8394	4197	4197	4091	4091	8183	8183	8183	8334
Caudal másico	kg/h	13186	11750	254,22	25191	25191	25191	25191	25191	246811	123405	123405	123405	123405	246811	246811	246811	252639
Caudal volumétrico	m ³ /h	11427	8977	221,97	20638	5489	3706	3229	1829	18312	9156	9156	9150	9150	18300	21527	17146	17440
Densidad másica	kg/m ³	1,15	1,31	1,15	1,22	4,59	6,80	7,80	13,77	13,48	13,48	13,48	13,49	13,49	13,49	11,47	14,39	14,49
		COMPOSICIÓN																
Fracción molar CO ₂		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,048	0,048	0,048	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,063
Fracción molar O ₂		0,000	1,000	0,000	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,100	0,100	0,100	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058
Fracción molar Etileno		1,000	0,000	0,000	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,134	0,134	0,134	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
Fracción molar O.etileno		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,015	0,015	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067	0,076
Fracción molar N ₂		0,000	0,000	1,000	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,700	0,700	0,700	0,718	0,718	0,718	0,718	0,718	0,708
Fracción molar H ₂ O		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,003	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,016
Fracción molar MEAmine		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabla 19. Balance de materia en la planta corrientes 17-33.

CORRIENTE		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Fracción vapor		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Temperatura	°C	41	112	184	184	34	55	10	71	60	60	184	117	25	25	25	25	13
Presión	kPa	1400	800	1300	1300	800	150	101,3	150	110	1300	1300	1300	1200	1500	1500	1500	101,3
Caudal molar	kgmole/h	30637	999,57	29637	16000	16000	16889	375	16474	16475	16475	13637	30113	30113	30113	118,36	30000	40
Caudal másico	kg/h	578826	40578	538248	290573	290573	327093	16519	308813	308806	308806	247674	556480	556480	556480	2186	554146	1759
Caudal volumétrico	m3/h	654,98	3716	619,67	334,53	290,77	892,24	18,76	460,88	317,33	317,23	285,14	599,38	554,63	554,60	2,18	552,23	919,68
Densidad másica	kg/m3	883,74	10,92	868,61	868,61	999,33	366,60	880,70	670,06	973,14	973,46	868,61	928,43	1003	1003	1003	1003	1,91
		COMPOSICIÓN																
Fracción molar CO2		0,000	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005
Fracción molar O2		0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fracción molar Etileno		0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Fracción molar O.etileno		0,033	0,837	0,006	0,006	0,006	0,052	1,000	0,028	0,028	0,028	0,006	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,992
Fracción molar N2		0,001	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Fracción molar H2O		0,966	0,110	0,994	0,994	0,994	0,948	0,000	0,972	0,972	0,972	0,994	0,982	0,982	0,982	0,982	0,982	0,000
Fracción molar MEAmine		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Capítulo 1. Especificaciones del proyecto

Tabla 20. Balances de materia en la planta corrientes 34-50.

CORRIENTE		34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Fracción vapor		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Temperatura	°C	45	35	262	108	25	229	80	80	80	40	73	338	250	40	40	40	44
Presión	kPa	103,3	101,3	1600	1500	1000	5100	5000	5000	5000	5000	5000	4900	2000	5000	5000	5000	5000
Caudal molar	kgmole/h	110,40	150,40	150,40	150,40	7697	7697	7697	1539,32	6157	1387	7544	7544	7544	3860	0,01	3860	36323
Caudal másico	kg/h	4058	5818	5818	5818	227959	227959	227959	45592	182366	39200	221567	221567	221567	70246	0,32	70249	818587
Caudal volumétrico	m ³ /h	2802	3768	405,74	289,71	18854	6351	4431	886,12	3544	706,43	4254	7929	16472	70,35	0,00	70,35	812,57
Densidad másica	kg/m ³	1,45	1,54	14,34	20,08	12,09	35,89	51,45	51,45	51,45	55,49	52,08	27,94	13,45	998,53	1001	998,53	1007
		COMPOSICIÓN																
Fracción molar CO ₂		0,134	0,100	0,100	0,100	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,000	0,054	0,054	0,054	0,002	0,000	0,002	0,003
Fracción molar O ₂		0,035	0,026	0,026	0,026	0,062	0,062	0,062	0,062	0,062	0,068	0,063	0,063	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000
Fracción molar Etileno		0,084	0,062	0,062	0,062	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,091	0,086	0,086	0,086	0,000	0,000	0,000	0,000
Fracción molar O.etileno		0,450	0,594	0,594	0,594	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,000	0,017	0,017	0,017	0,000	0,000	0,000	0,001
Fracción molar N ₂		0,221	0,163	0,163	0,163	0,763	0,763	0,763	0,763	0,763	0,839	0,777	0,777	0,777	0,000	0,000	0,000	0,000
Fracción molar H ₂ O		0,076	0,056	0,056	0,056	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,003	0,995	0,000	0,995	0,893
Fracción molar MEAmine		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	1,000	0,003	0,102

Tabla 21. Balances de materia en la planta corrientes 51-68.

Parámetro		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	62	63	64	65	66	67	68
Fracción vapor		1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
Temperatura	°C	45	45	180	228	239	112	40	40	40	40	190	190	190	105	190	190	190
Presión	kPa	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	5000	5000	5000	1256	1236	1236	120	1256	1256	1236
Caudal molar	kgmole/h	4,45	36319	36319	1500	34819	34819	34819	34819	1352	36179	1580	1580	3160	3160	3160	1580	1580
Caudal másico	kg/h	125,84	818461	818461	30603	787857	787857	787857	787857	24359	812218	28470	28470	56939	56939	56939	28470	28470
Caudal volumétrico	m ³ /h	3,86	812,86	921,40	1849	956,24	822,18	782,91	782,52	24,50	807,01	32,93	4625	9250	81993	65,87	32,93	4625
Densidad másica	kg/m ³	32,62	1007	888,28	16,55	823,91	958,26	1006,32	1007	994,34	1006	864,42	6,16	6,16	0,69	864,42	864,42	6,16
		COMPOSICIÓN																
Fracción molar CO ₂		0,000	0,003	0,003	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fracción molar O ₂		0,076	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fracción molar Etileno		0,108	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fracción molar O.etileno		0,001	0,001	0,001	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fracción molar N ₂		0,812	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fracción molar H ₂ O		0,003	0,893	0,893	0,903	0,893	0,893	0,893	0,893	1,000	0,897	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Fracción molar MEAmine		0,000	0,103	0,103	0,000	0,107	0,107	0,107	0,107	0,000	0,103	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

1.5.3. Comprobación balance de materia

Para poder comprobar que el balance de materia se ha realizado correctamente se procede a realizar el cálculo de la masa que entra en el proceso para poder comparar con el valor de salida. De esta manera se demuestra que la entrada es igual a la salida y por lo tanto que el balance se ha realizado con éxito. Se realiza lo que se denomina balance global del sistema ver **Tabla 22** y **Tabla 23**:

Caudales de entrada al sistema:

Tabla 22. Corrientes de entrada al sistema y su caudal masico

Corrientes	Caudal masico (kg/h)
0	13187
1	11750
2	254,22
59	24342
SUMA	49533

Caudales de salida del sistema

Tabla 23. Caudales de salida del sistema y su caudal masico.

Corrientes	Caudal masico (kg/h)
23	16520
31	2186
48	0,32
51	125,85
54	30622
SUMA	49454

Una vez realizado el balance global de la planta obtenemos una diferencia entre la salida y la entrada del **0,16%**. Esa diferencia no resulta significativa en el proceso global y por lo tanto se puede determinar que el balance se cumple. Las posibles diferencias pueden venir dadas por cuestiones numéricas de la simulación del proceso que se ha realizado con la **Ecuación 1**.

Ecuación 1. Comprobación balance de materia.

$$\text{Diferencia } E - S (\%) = \left(1 - \frac{SUMA_{salida}}{SUMA_{entrada}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{49454,14}{49533,44}\right) \cdot 100 = 0,16 \%$$

1.6. Especificaciones y necesidades de servicios

En el proceso de fabricación se requieren de diferentes servicios complementarios para que se pueda llevar a cabo. En estos servicios se incluyen los servicios más esenciales de agua, electricidad y gas natural, así como también de más específicos como nitrógeno o aceite térmico.

Estos servicios serán clasificados como fluidos o energías en función de su naturaleza y según su fuente de obtención. A continuación en la **Tabla 24** se muestran los diferentes servicios necesarios en la planta:

Tabla 24. Tabla de servicios de la planta.

Servicio	Clasificación	Fuente
Agua de red	Fluido	Conexión a pie de planta
Agua contra incendios	Fluido	Interna
Electricidad	Energía	Conexión des de línea
Gas natural	Energía	Conexión a pie de planta
Nitrógeno	Fluido	Externa
Aire comprimido	Fluido	Interna
Aceite térmico	Fluido	Externa
Solución MEAmina	Fluido	Externa

Agua de red

El agua de red se utiliza para el circuito de refrigeración formado por los intercambiadores y por la torre de refrigeración. Una pequeña parte se destina para realizar vapor de calefacción para las oficinas, laboratorios u otras partes de la planta.

Se han utilizado en la planta un total de 12 intercambiadores de calor y una torre de refrigeración para que se utilizar el agua a 20°C para enfriar los corrientes de proceso. Se trata de un circuito cerrado de agua, así que en el tiempo donde la planta esté operando en continuo a pleno funcionamiento, no se requerirá una adición de agua de red continua. En total, en este circuito de refrigeración está circulando 8527,92 m³/h. Este caudal se reparte a todos los intercambiadores en función de las necesidades. Las especificaciones de los intercambiadores y la torre de refrigeración elegida están en el capítulo del “*Capítulo 10. Manual de Cálculos*” de este proyecto.

Para la producción de vapor para oficinas, se produce en la caldera de vapor utilizando gas natural y se utiliza un caudal de 3,45 m³/h de agua de red. (ver **Tabla 25**)

Tabla 25. Agua de red requerida y uso.

Destino	Caudal (m ³ /h)
Refrigeración	8528
Vapor	3,45
TOTAL	8531

Agua contra incendios

Una fracción del agua de red se utilizará para suministrar los equipos antiincendios y se almacenará como reserva. Será necesario una balsa para poder almacenar el agua y un sistema de bombeo para poder hacer llegar el caudal de agua necesario, según las diferentes normativas, al lugar donde se ha producido el incendio o explosión. Se ha decidido construir una balsa de 1600 m³ de capacidad, aunque se ha sobredimensionado. Se dispone de un equipo contra incendios que cuenta con dos bombas eléctrica que incorpora una bomba “Jockey” y dos bombas de motor de explosión. Se ha calculado que se requeriría un caudal de 15.000 L/min. Las bombas se especifican sus características en el capítulo “Tuberías, Bombas, Compresores, Válvulas y Accesorios” de este proyecto.

Electricidad

El servicio de electricidad se encarga de proporcionar energía a los diferentes equipos que la necesiten. También es necesaria para las instalaciones de oficinas, salas de control o iluminación en la propia planta.

Se dispondrá de un equipo transformador que convertirá la electricidad que llega a través de la red eléctrica convencional. La planta tiene un consumo muy elevado de electricidad, por lo que ha sido necesario la adquisición de 3 estaciones transformadoras, detalladas en el capítulo de “*Capítulo 10. Manual de Cálculos*” de este proyecto. A continuación, en la **Tabla 26**, se exponen los consumos eléctricos de los diferentes equipos de la planta:

Tabla 26. Consumo eléctrico por equipos de proceso

Equipos	Consumo (kW)
Compresores	17949
Bombas	3163
Torres de refrigeración	74
Aire comprimido	55
Iluminación	1046
Equipos	1046
TOTAL	23365

También se ha decidido incluir una etapa de cogeneración con el caudal de vapor que proviene de la refrigeración del reactor. Mediante una turbina, la planta genera una gran cantidad de electricidad que se puede utilizar para abastecer equipos de planta o para ser utilizado en las oficinas u otras instalaciones. La turbina elegida está especificada en el capítulo de “Manual de Cálculos” de este proyecto y produce una cantidad de 10072 kW.

Gas natural

El uso del gas natural en esta planta se concentra en las calderas y su uso es para generar energía en forma de calor. Este gas natural se obtiene mediante una conexión a pie de planta con una presión media de $1,5 \text{ kg/cm}^2$. Se utiliza tanto en la caldera de vapor como en la caldera de aceite térmico.

Para la caldera de vapor se utiliza un total de 218 kg/h para producir una cantidad de vapor de $3,45 \text{ m}^3/\text{h}$, explicado anteriormente. Para la caldera de aceite térmico, su uso se limita a calentar el aceite hasta la temperatura deseada. Se requiere un caudal de 12812 kg/h de gas natural para calentar hasta 400°C el aceite térmico. En el capítulo de “Manual de Cálculos” de este proyecto se detallan los cálculos referidos a las calderas y la elección de una caldera del mercado.

Nitrógeno

Tal y como se ha explicado anteriormente en este capítulo, se contrata la empresa Air Liquide para el suministro de nitrógeno. El servicio de Air Liquide proporciona el suministro de nitrógeno líquido, la instalación del tanque y el transporte a cambio de un precio de alquiler, precio de descarga y precio por cantidad de nitrógeno descargada. En total se dispondrá de 2 tanques de nitrógeno líquido para poder introducir directamente en los corrientes de proceso. En concreto se requiere de un caudal de 254 kg/h de nitrógeno.

Para proceder a la inertización de todos los equipos de la planta, se contratarían los servicios de la misma empresa para realizar dicha operación durante la puesta en marcha de la planta.

Aire comprimido

En esta planta de producción de óxido de etileno se utiliza aire comprimido para el consumo de las válvulas neumáticas instaladas a lo largo de la planta. No hay ningún equipo de proceso que requiera de aire comprimido de manera continua. Por otro lado, las válvulas neumáticas se accionan únicamente por la acción del controlador diseñado, por lo tanto, su consumo de aire es intermitente. Se han diseñado las válvulas neumáticas para operar a 6 bar. Las válvulas de acción requieren un mínimo de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ y un máximo de $3 \text{ m}^3/\text{h}$ de aire comprimido.

El sistema de aire comprimido estará formado por un compresor, un filtro para eliminar partículas sólidas y un tanque acumulador. Se han realizado los cálculos de requerimiento de aire comprimido para un total de 100 válvulas y un caudal intermedio de 2 m³/h.

El servicio de aire comprimido viene proporcionado por un compresor de la marca PUSKA. En concreto se ha elegido el modelo DRD75 A 8,5 CE que proporciona un caudal de hasta 577 m³/h con un consumo eléctrico de 55 kW. Estos valores de caudal superan ampliamente los requerimientos calculados en el capítulo de “Manual de cálculos” de este proyecto. A continuación en la **Figura 26**, se adjunta una imagen del equipo.



Figura 26. Equipo de aire comprimido.

Aceite térmico

Para ciertos intercambiadores de calor de proceso se ha decidido utilizar un fluido térmico para poder optimizar su uso. Para este fluido se ha construido una caldera que, mediante gas natural se calienta hasta 400°C. A esta temperatura circulará por los intercambiadores de calor que lo precisen. No es necesario que se produzca un cambio de fase en la caldera ya que en estado líquido puede alcanzar esa temperatura a la presión de operación requerida. Se requiere un caudal total de 1084,55 m³/h de fluido térmico. El fluido térmico seleccionado es el Dowtherm A el cual es un fluido orgánico sintético. Se ha contratado el suministro de este fluido de servicio a la empresa Dow Chemicals Iberia [24].

Solución de amina

En la zona de tratamiento de CO₂ se ha utilizado una solución de amina para poder absorber el CO₂ del corriente de proceso. En concreto se ha utilizado monoetanolamina (MEA). El proveedor de este compuesto es DOW Chemicals [25], que ofrece un servicio de suministro. Cada cierto periodo de tiempo será necesario adquirir más cantidad de MEA ya que en el sistema de recuperación de esta, hay una pequeña porción que se pierde.

1.7. Planificación temporal y montaje de planta

A continuación, se presenta una propuesta de planificación para el montaje de la planta. Se ha diseñado un modelo esquemático para temporizar todas las tareas que se deben llevar a cabo antes de la construcción.

Se ha realizado un diagrama de Gantt que incluye todas las etapas de la construcción de la planta, su duración y su orden de ejecución. De esta manera se puede visualizar la duración total que tendrá la construcción del proyecto. (Ver **Figura 27 y 28**)

	●	Nombre	Duración	Inicio	Terminado	Predecesores
1		Ingeniería del detalle	120 days	25/05/20 8:00	6/11/20 17:00	
2		Licencia de obras y actividades	180 days	25/05/20 8:00	29/01/21 17:00	
3		Encargo de equipos	180 days	9/11/20 8:00	16/07/21 17:00	1
4		Urbanización	0 days	6/11/20 17:00	6/11/20 17:00	1
5		Limpieza de terrenos	30 days	9/11/20 8:00	18/12/20 17:00	1
6		Excavaciones y cimientos	60 days	21/12/20 8:00	12/03/21 17:00	5
7		Instalación de suministros	30 days	15/03/21 8:00	23/04/21 17:00	6
8		Viales y aceras	30 days	15/03/21 8:00	23/04/21 17:00	6
9		Edificación de oficinas y aparcamiento	0 days	25/05/20 8:00	25/05/20 8:00	
10		Edificio de oficinas	90 days	26/04/21 8:00	27/08/21 17:00	7
11		Vestuarios	30 days	26/04/21 8:00	4/06/21 17:00	7
12		Aparcamiento	30 days	26/04/21 8:00	4/06/21 17:00	6;8
13		Instalación de equipos	0 days	25/05/20 8:00	25/05/20 8:00	
14		Area de producción	90 days	19/07/21 8:00	19/11/21 17:00	3;7
15		Area de recuperación	60 days	22/11/21 8:00	11/02/22 17:00	14
16		Area de purificación	30 days	22/11/21 8:00	31/12/21 17:00	14
17		Area de almacenamiento de producto	30 days	19/07/21 8:00	27/08/21 17:00	3;7
18		Area de servicios	30 days	26/04/21 8:00	4/06/21 17:00	7
19		Calibrage de equipos	60 days	14/02/22 8:00	6/05/22 17:00	15;16
20		Area de laboratorio	30 days	26/04/21 8:00	4/06/21 17:00	7
21		Area de seguridad y medio ambiente	30 days	14/02/22 8:00	25/03/22 17:00	15;16
22		Soportes, escaleras, plataformas y barandillas	30 days	9/05/22 8:00	17/06/22 17:00	14;15;16;17;18;19;20;21
23		Instalación de tuberías	0 days	25/05/20 8:00	25/05/20 8:00	
24		Instalación de tuberías de proceso	30 days	9/05/22 8:00	17/06/22 17:00	14;15;16;17;18;19;20;21
25		Instalación de tuberías de servicio	30 days	7/06/21 8:00	16/07/21 17:00	18
26		Instrumentación	0 days	25/05/20 8:00	25/05/20 8:00	
27		Instalación de instrumentación	30 days	20/06/22 8:00	29/07/22 17:00	24;25
28		Conexión instrumentos-equipos	15 days	1/08/22 8:00	19/08/22 17:00	27
29		Aislamientos	0 days	25/05/20 8:00	25/05/20 8:00	
30		Aislamiento de equipos	30 days	22/08/22 8:00	30/09/22 17:00	28
31		Aislamiento de tuberías	30 days	22/08/22 8:00	30/09/22 17:00	28
32		Acabados	0 days	25/05/20 8:00	25/05/20 8:00	
33		Pruebas de equipos	15 days	3/10/22 8:00	21/10/22 17:00	30;31
34		Pintura	15 days	24/10/22 8:00	11/11/22 17:00	33
35		Limpieza	15 days	14/11/22 8:00	2/12/22 17:00	34

Figura 27. Listado de tareas, duración y orden de ejecución de las diferentes tareas a realizar en la construcción de la planta.

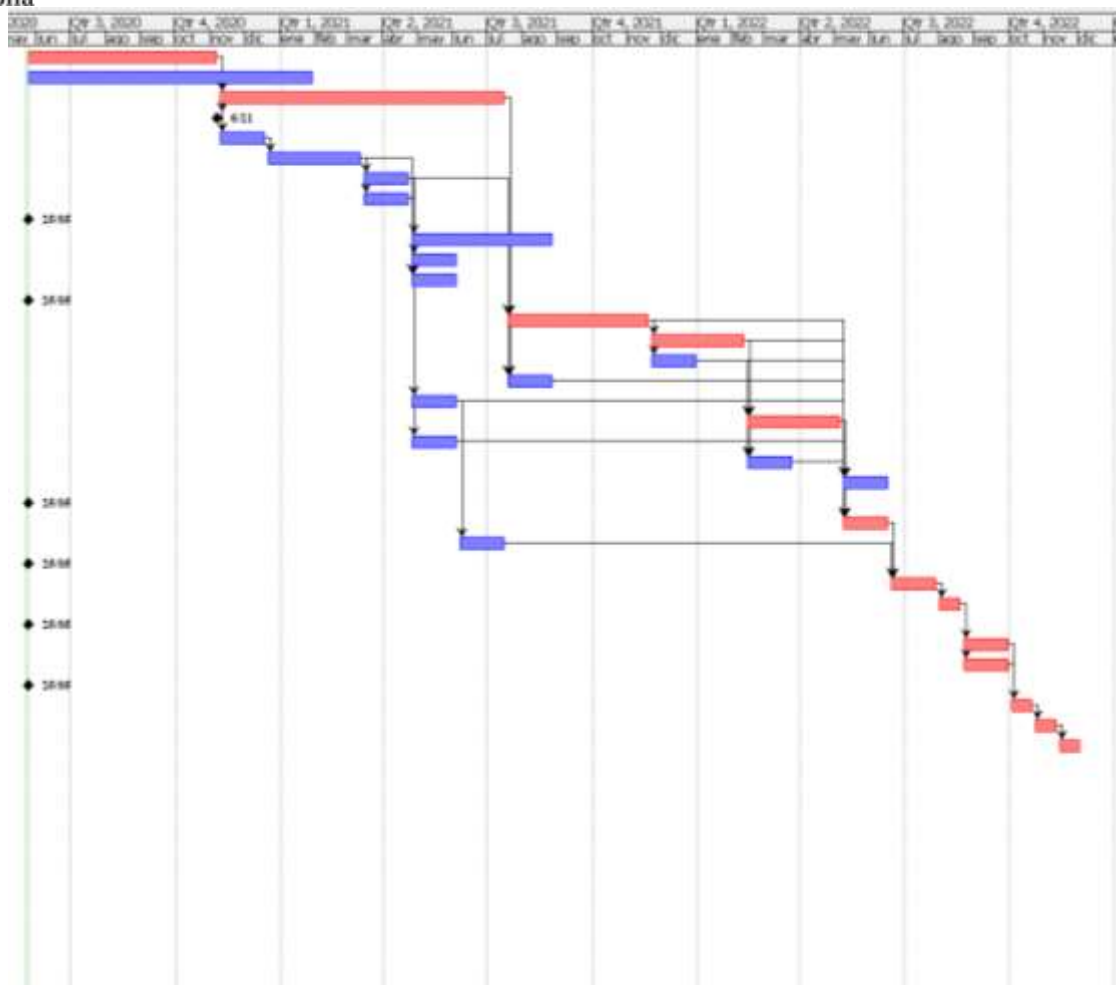


Figura 28. Diagrama de Gantt de la construcción de la planta.

Según el orden de ejecución que se ha propuesto, la duración de la construcción de la planta es de algo más de 2 años en total.

Este diagrama y temporización se ha realizado con el programa “Open Projects”.

1.9. Bibliografía y Webgrafía

- [1] Port Tarragona, «Estadística del Puerto de Tarragona,» [En línea]. Available: <https://www.porttarragona.cat/>. [Último acceso: 3 Abril 2020].
- [2] Port Barcelona, «Estadística Puerto de Barcelona,» [En línea]. Available: <http://contentv5.portdebarcelona.cat/>. [Último acceso: 3 Abril 2020].
- [3] Aena, «Aena,» [En línea]. Available: <http://www.aena.es/>. [Último acceso: 3 Abril 2020].
- [4] Textos Científicos, «Textos Científicos,» 9 Setiembre 2005. [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/quimica/oxido-etileno>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [5] J. Pichel, «El Confidencial,» 15 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.elconfidencial.com/>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [6] Messer Ibérica de gases, «Messer,» 11 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.messer.es/documents/20570/660625/ETILENO.pdf/cb1df638-4516-48b9-8717-eaaa0edfeb3d>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [7] J. M. Uriarte, «Características.co,» 17 marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.caracteristicas.co/oxigeno/#ixzz6J7GEMp8w>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [8] Lenntech, «Lenntech.es,» [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/o.htm>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [9] AL Air Liquide España, «CSIC,» 19 Octubre 2010. [En línea]. Available: [http://www.ebd.csic.es/lie/PDF/FDS%20O2%20\(9\).pdf](http://www.ebd.csic.es/lie/PDF/FDS%20O2%20(9).pdf). [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [10] PRTR, «prtr-es.es,» [En línea]. Available: <http://www.prtr-es.es/CO2-Dioxido-de-carbono,15590,11,2007.html>. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [11] FCEA, «agua.org.mx,» [En línea]. Available: <https://agua.org.mx/que-es/#agua>. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [12] Carl Roth, «carlroth.com,» 24 mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-3175-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMjU0ODR8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNzcvaDJhLzg5NTA4OTI5NTM2MzAucGRmfGMwOTQ4YjA1ZGJiYTkwND>

JkYjVjZGE4Mzg1NDQxNjdIYzU2YmEyYjcxMjM4ODg2ZTExOGQ1.
[Último acceso: 11 Abril 2020].

- [13] Lenntech, «lenntech.es,» [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/n.htm>. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [14] Cryogas, «cryogas.com.co,» [En línea]. Available: <http://www.cryogas.com.co/Descargar/Nitr%C3%B3geno%20AP?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fco%2Fbiblioteca%2Fa57c7eb1718f4c0aafdd69657c97b25b.pdf>. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [15] B. M. y. E. A. Campanella, «scielo.conicyt.cl,» 17 Agosto 2012. [En línea]. Available: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v24n1/art04.pdf>. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [16] Neokem, «neokem.mx,» [En línea]. Available: <https://www.neokem.mx/monoetanolamina-ficha-tecnica-neokem.pdf>. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [17] Carl Roth, «carloth.com,» 06 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.carloth.com/medias/SDB-8250-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMjM5NTV8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNWUvaDg0Lzg5NTA5MjlyNDgyMjlucGRmfGQxMzUzMDk5ZTc1OGY1NjYzMmJjNDQ4MDkzNjBjNDE0NmNiNmVIZDkwNjU3YzAzMzU0NWZI>. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [18] Air Liquide, «industrial.airliquide.es,» [En línea]. Available: <https://industrial.airliquide.es/suministro/suministro-liquido>. [Último acceso: 11 Abril 2020].
- [19] K. Shingo Iguchi y K. Yukimasa Kawaguchi, «Method for producing ethylene oxide». USA Patente US 9,611,236 B2, 4 Abril 2017.
- [20] H. A. Y. González, *Tesis Doctoral "Enviromental Diagnosis of Process Plants by Life Cycle Techniques"*, Tarragona: Universitat Rovira i Virgili, 2006.
- [21] A. Sanz Tejedor, «eii.uva.es,» Universidad de Valladolid, [En línea]. Available: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-05.php>. [Último acceso: 8 Abril 2020].

- [22] UNAM, «organica1.org,» UNAM, [En línea]. Available: https://organica1.org/qo1/a7.htm#_Toc482551831. [Último acceso: 8 Abril 2020].

- [23] M. Bernaola Alonso, «insst.es,» Ministerio de trabajo y asuntos sociales (Gobierno de España), [En línea]. Available: https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_206.pdf/e2baae49-1587-46d1-8152-580ec56131d7. [Último acceso: 8 Abril 2020].

- [24] Dow Chemicals, «dow.com,» [En línea]. Available: <https://www.dow.com/en-us/pdp.dowtherm-a-heat-transfer-fluid.238000z.html#pdp-overview>. [Último acceso: 20 Mayo 2020].

- [25] Dow Chemicals, «dow.com,» [En línea]. Available: <https://www.dow.com/en-us/pdp.monoethanolamine-mea.87914z.html#pdp-overview>. [Último acceso: 24 Mayo 2020].

- [26] M. E. Raffino, «concepto.de,» 29 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://concepto.de/dioxido-de-carbono-co2/>. [Último acceso: 11 Abril 2020].