



Ethylox

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Sandra Aliaga Molina
Agustina Domínguez Cresci
Alejandro Lozano Correyero
Carla Martínez Castillo
Albert Mestre Escoda
Jon Ander Sanchiz Urbieta

Tutor: Josep Anton Torà

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona

e escola
d'enginyeria



Ethylox

CAPÍTULO 1: ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona

e escola
d'enginyeria

ÍNDICE

1.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO	1
1.1.1 BASES DEL PROYECTO	1
1.1.2 ALCANCE DEL PROYECTO	2
1.1.3 LOCALIZACIÓN	3
1.1.3.1 PARÁMETROS DE EDIFICACIÓN, SERVICIOS Y PLANO DE PARCELA.....	4
1.1.3.2 EVALUACIÓN DE LAS COMUNICACIONES Y ACCESIBILIDAD.....	6
1.1.4 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO.....	10
1.1.4.1 CLIMATOLOGÍA	10
1.1.4.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA.....	13
1.1.4.3 HIDROLOGÍA.....	15
1.1.4.4 SISMOLOGÍA.....	17
1.1.5 ABREVIACIONES	19
1.2 CARACTERÍSTICAS DE REACTIVOS Y PRODUCTO	21
1.2.1 MATERIAS PRIMAS.....	21
1.2.1.1 ETILENO	21
1.2.1.2 OXÍGENO	22
1.2.1.3 NITRÓGENO.....	25
1.2.1.4 MONOETANOLAMINA (MEA).....	26
1.2.1.4 AMONÍACO.....	27
1.2.2 PRODUCTO.....	29
1.2.2.1 ÓXIDO DE ETILENO	29
1.2.3 SUBPRODUCTOS	30
1.2.3.1 AGUA.....	30
1.2.3.2 DIÓXIDO DE CARBONO.....	32
1.2.4 CATALIZADOR	33
1.2.5 CORROSIÓN Y MATERIALES	34
1.3 DESCRIPCIÓN PROCESO DE PRODUCCIÓN	35
1.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES	36
1.3.2 DIAGRAMA DE PROCESO	38
1.3.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA.....	39
1.3.4 OTRAS VIAS DE PRODUCCIÓN.....	41
1.4 CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA.....	42
1.4.1 DESCRIPCIÓN DE CADA ÁREA	43
1.4.1.1 ÁREA 100: RECEPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS	43

1.4.1.2 ÁREA 200: ÁREA DE REACCIÓN	44
1.4.1.3 ÁREA 300: ÁREA DE SEPARACIÓN DE PRODUCTO.....	44
1.4.1.4. ÁREA 400: ÁREA DE SEPARACIÓN DE SUBPRODUCTOS	45
1.4.1.5 ÁREA 500: ÁREA DE PURIFICACIÓN	45
1.4.1.6 ÁREA 600: ALMACENAMIENTO DE PRODUCTO	45
1.4.1.7 ÁREA 700: SERVICIOS	46
1.4.1.8 ÁREA 800: OTROS.....	46
1.4.1.9 ÁREA 900: LABORATORIO	50
1.4.1.10 ÁREA 1000: SALA DE CONTROL	50
1.4.1.11 ÁREA 1100: SALA DE PRIMEROS AUXILIOS.....	51
1.4.1.12. ÁREA 1200: APARCAMIENTO	51
1.4.2 IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGIAS 4.0.....	51
1.4.2.1 EL GEMELO DIGITAL	52
1.4.3 PLANO DE LAS AREAS DE LA PLANTA.....	53
1.5 SERVICIOS DE PLANTA.....	53
1.5.1 AGUA DE RED	53
1.5.2 NITRÓGENO	54
1.5.3 AGUA CONTRA INCENDIOS	54
1.5.4 AIRE COMPRIMIDO	54
1.5.5 ELECTRICIDAD	54
1.5.6 GAS NATURAL	55
1.5.7 AGUA GLICOLADA	55
1.5.8 AMONÍACO	55
1.5.9 VAPOR DE AGUA	56
1.6 BALANCE DE MATERIA	57
1.7 PLANIFICACIÓN TEMPORAL	58
1.7.1 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA PLANTA.....	58
1.7.1.1 DIAGRAMA DE GANT.....	60
1.7.2 TURNOS DE TRABAJO Y PARADAS DE LA PLANTA.....	60
1.8 REFERENCIAS.....	62

1.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

En este apartado se especificarán las bases del proyecto, el abasto de este, y la información necesaria sobre la localización de la planta. Por último, se ha dispuesto de un apartado donde aparece la nomenclatura utilizada en el proyecto.

1.1.1 BASES DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es el diseño y estudio de la viabilidad de una planta química industrial en continuo, productora de óxido de etileno (C_2H_4O) a partir de oxígeno (O_2) y etileno (C_2H_4) como materias primas. La reacción que se produce es catalítica, y se trabaja con un catalizador de plata sobre una superficie de alúmina.

El proyecto se realizará en el polígono industrial “Gases Nobles” ubicado en el municipio de La Canonja (Tarragona).

El diseño de la planta industrial ha de cumplir con los protocolos, normas de seguridad, obligaciones medioambientales y protecciones contra incendios tanto a nivel urbanístico como sectorial.

Las especificaciones del proyecto son las siguientes:

- **Capacidad:** La planta será diseñada para la producción de 120.000 toneladas al año de óxido de etileno.
- **Funcionamiento:** Para alcanzar los requisitos requeridos, la planta opera 320 días al año con 2 paradas para realizar el mantenimiento de la planta. Estas dos paradas coinciden en agosto y Navidades. La planta trabajará en continuo las 24 horas del día, los 7 días de la semana.
- **Presentación:** El producto se presentará en forma líquida en recipientes a presión.

1.1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

A continuación, se añaden los puntos desarrollados y analizados de este proyecto, lo cual garantizarán la seguridad y efectividad de la planta para la producción de óxido de etileno.

- Diseño y especificaciones de todas las unidades de reacción y proceso para la producción y purificación del óxido de etileno.
- Diseño y especificaciones de las unidades de almacenaje de materias primas, productos, subproductos, y materias auxiliares.
- Estudio de carga y descarga de materias primas y producto.
- Estudio de los sistemas de control necesarios para la correcta automatización y funcionamiento de la planta.
- Análisis de los servicios necesarios en la planta para la correcta producción de óxido de etileno.
- Análisis y estudio del impacto ambiental que puede generar la producción de óxido de etileno, como el tratamiento de residuos sólidos, líquidos, y gases.
- Aplicación de la normativa vigente en el ámbito de seguridad.
- Diseño de todos los sistemas y protocolos de seguridad de la planta.
- Aplicación de la normativa vigente en el ámbito medioambiental.
- Simulación de la puesta en marcha y operación de la planta una vez ésta opere.
- Estudio de la seguridad e higiene de la planta.
- Evaluación económica y estudio de la viabilidad de la planta.
- Diagramas generales, PID correspondientes e implementación de la planta.

- Diseño físico (mapa) de la planta en 2D, lo cual incluye todas las áreas de proceso, las de almacenaje, servicios, laboratorios, oficinas, sala de control, taller, y áreas auxiliares.

1.1.3 LOCALIZACIÓN

El emplazamiento escogido para la ubicación de la planta se encuentra en el término municipal de Tarragona, en un polígono industrial llamado “Gases Nobles”, situado concretamente en el municipio de La Canonja, a 2 km de Tarragona. El proyecto se realizará en una parcela con una superficie total de 53.235 m² con una resistencia de 2 kg/cm² a 1,5 metros de profundidad sobre gravas.



Figura 1. Ubicación de Tarragona en la península ibérica.



Figura 2. Ubicación de la Canonja en Tarragona



Figura 3. Municipios de la comarca de Tarragona

La Canonja se encuentra en la comarca del Tarragonés, provincia de Tarragona, Cataluña. Es un municipio que se sitúa entre los municipios de Tarragona y Reus. El censo municipal es de 5.804 habitantes, y tiene una extensión territorial de 7,32 km². ^{[1][2]}

1.1.3.1 PARÁMETROS DE EDIFICACIÓN, SERVICIOS Y PLANO DE PARCELA

La planta diseñada cumple con la normativa vigente urbanística del polígono “Gases Nobles” relativa al municipio de La Canonja, en referencia a la altura de los edificios, ocupación de la parcela, retranqueos, distancia entre edificios, y edificación de esta.

El proyecto se realizará en una parcela con una superficie total de 53.235 m² con una resistencia de 2 kg/cm² a 1,5 metros de profundidad sobre gravas.

En la **tabla 1**, se observan todos los requerimientos nombrados anteriormente:

Tabla 1. Parámetros de edificación de la planta

EDIFICACIÓN	
Edificabilidad	1,5 m ² techo/ m ² suelo
Ocupación máxima de parcela	75%
Ocupación mínima de parcela	20% de la superficie de ocupación máxima
Retranqueos	5 metros a viales y vecinos

EDIFICACIÓN	
Altura máxima	16 metros y 3 plantas excepto en la producción (justificando la necesidad por el proceso).
Altura mínima	4 metros y una planta
Aparcamientos	1 plaza / 150 m ² construido
Distancia entre edificios	½ del edificio más alto con un mínimo de 5 metros.

Los diferentes servicios de los cuales dispone el terreno se muestran en la **tabla 2**:

Tabla 2. Servicios disponibles en el terreno en que se construye la planta

SERVICIOS	
Energía eléctrica	Conexión desde la línea de 20 kV a pie de parcela (tener en cuenta una estación transformadora)
Gas natural	Conexión a pie de parcela a media presión (1,5 kg/cm ²)
Alcantarillado	Red unitaria en el centro de la calle a una profundidad de 3,5 metros. Diámetro del colector de 800 mm.
Agua de incendios	La máxima presión 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.

A continuación, en la **figura 4**, se muestra un plano de la parcela donde se ubicará la planta Ethylox para la producción de óxido de etileno:

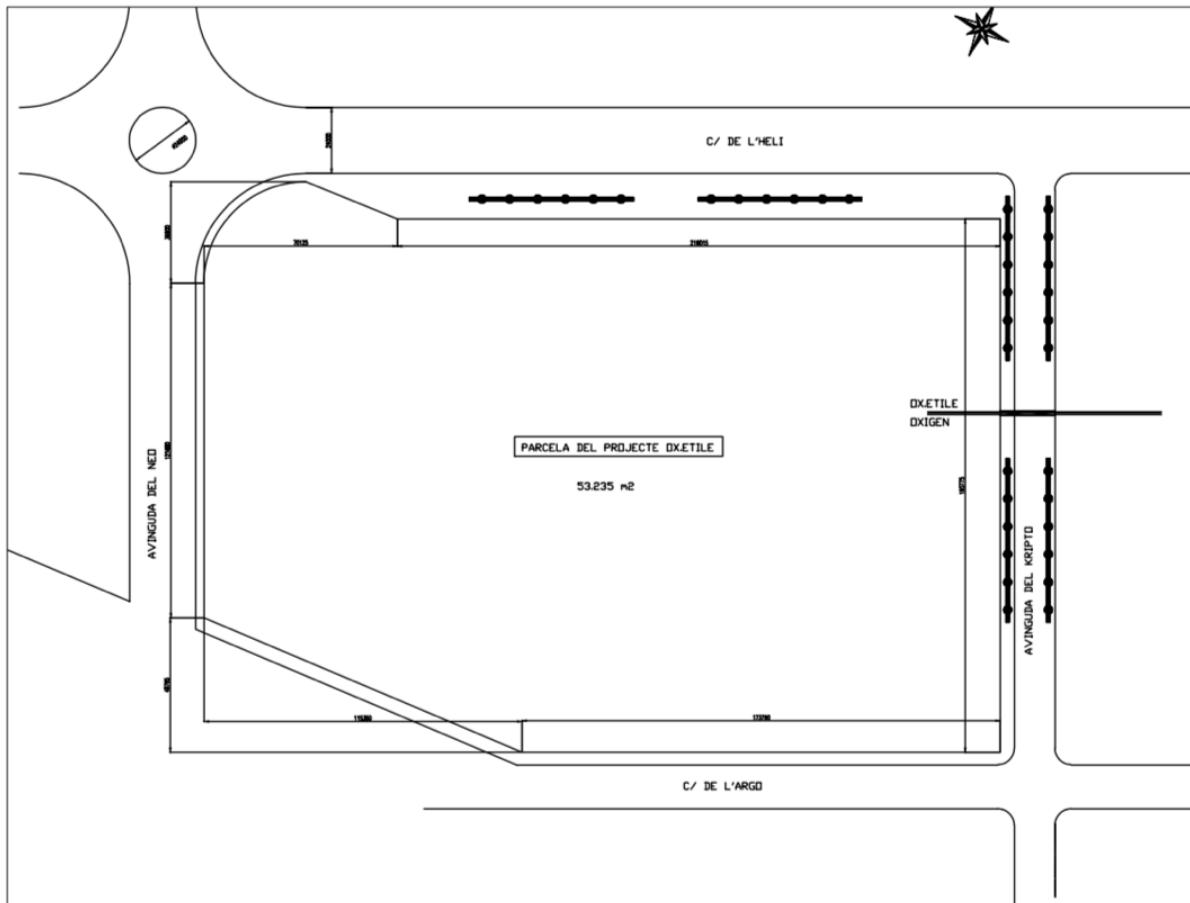


Figura 4. Parcela donde se ubicará la planta de producción de óxido de etileno

1.1.3.2 EVALUACIÓN DE LAS COMUNICACIONES Y ACCESIBILIDAD

Es muy importante el estudio de las comunicaciones y accesibilidad de la planta, para poder escoger el desplazamiento óptimo de las materias primas, y distribución del producto. Por otro lado, se debe tener en cuenta como punto significativo la localización de la planta, ya que puede tener repercusiones económicas importantes. Si la planta no se encuentra en una buena localización, podría generar pérdidas importantes en la empresa, y provocar que el proyecto no sea viable económico.

La Canonja se puede considerar un municipio bien comunicado, ya que dispone de un buen acceso por carretera y se encuentra bien situado de puertos y aeropuertos.

En este apartado se estudiarán las diferentes opciones de transporte disponible para el acceso a La Canonja.

- **Transporte terrestre**

Por La Canonja, pasa la autopista de la mediterránea (AP-7), un eje que comunica toda la costa del mediterráneo desde la frontera con Francia hasta Guadiaro (Cádiz). Esta trayectoria facilita la comunicación con España, pero también con Europa. Por otro lado, cabe destacar que la autopista AP-7, comunica Tarragona con la zona metropolitana de Barcelona, en la que hay gran cantidad de empresas del sector industrial, a tan solo 102 kilómetros de distancia. ^[3]

Por otro lado, la Canonja también tiene acceso la autovía del nordeste (A-2), es una de las seis autovías radiales de España y la única autovía radial de Catalunya. Esta autovía comunica Madrid con Barcelona. La Canonja de Madrid se encuentra a 544 km de distancia. ^[3]

La Canonja se encuentra a tan solo 6,5 km de Tarragona, lo cual también dispone de varias carreteras nacionales como la N-340 o la N-440. ^[3]

En relación con el medio de transporte para los empleados residentes en Tarragona, es importante que estos tengan un buen acceso al transporte público que permita un desplazamiento rápido y sencillo a la planta. La línea de autobús N-340 permite el desplazamiento de los trabajadores de La Canonja a Tarragona, y al revés. ^[3]

Respecto el transporte ferroviario, hay diferentes líneas que unen Tarragona con Barcelona, como las líneas R14, R15, R16, R17, RT1 y RT2. Estas líneas pertenecen a la red de Rodalies de Catalunya. ^[4]

En cuanto al transporte ferroviario de mercancías, el puerto de Tarragona tiene acceso ferroviario que conecta con la línea dirección Zaragoza-Madrid, la línea dirección Valencia y la línea dirección Barcelona. ^[5]

A continuación, se muestra un plano de la red de carreteras para acceder a la Canonja:

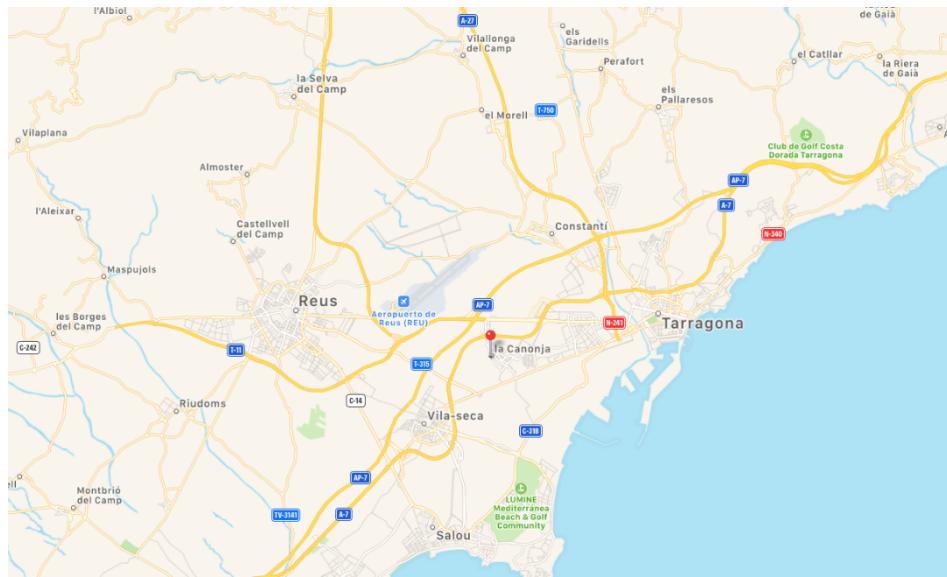


Figura 5. Red de carreteras para acceder a la Canonja

- **Transporte marítimo**

La Canonja se encuentra a tan solo 6,7 km del puerto de Tarragona. El puerto de Tarragona mantiene servicios directos con 46 países. Es uno de los cinco puertos más importantes de España y uno de los principales de Europa. ^[5]

También cabe destacar que es el puerto químico de referencia del sur de Europa. Anualmente se mueven más de 32 millones de toneladas donde aproximadamente el 6,8% del total de las mercancías que se transportan corresponden a productos químicos de diferentes países. [5]

A continuación, en las **figuras 6 y 7**, se observan la estadística de productos químicos exportados en el puerto de Tarragona en 2019, y el tráfico de zonas del mundo en 2020:^[6]

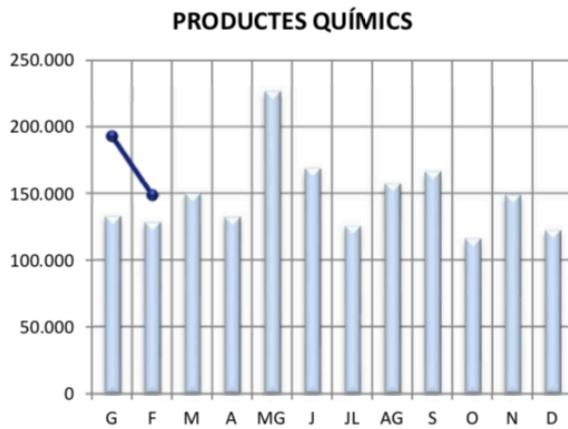


Figura 6. Estadística de las toneladas de productos químicos en el puerto de Tarragona

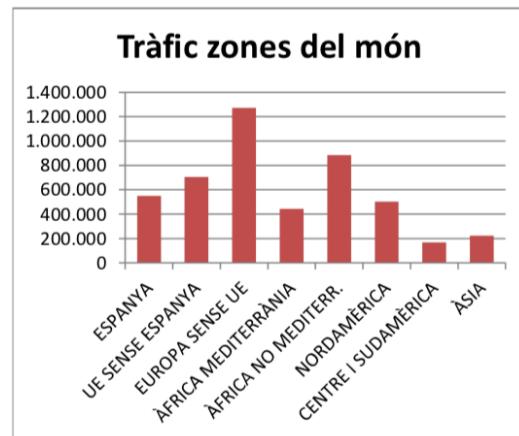


Figura 7. Tráfico de zonas del mundo del puerto de Tarragona

Por lo tanto, utilizar el puerto de Tarragona, nos garantiza tanto tener una gran variedad de rutas marítimas, como la venta del producto de manera nacional e internacionalmente. Se podrán transportar las mercancías mediante carreteras o transporte ferroviario, para la llegada al puerto.

- **Transporte aéreo**

El transporte aéreo es una otra vía para conectar de manera internacional ya sea para el transporte de mercancías o para la llegada de un pasajero.

El aeropuerto más cercano a la planta química corresponde al aeropuerto de Reus, a tan solo 7,3 km. Este aeropuerto no es uno de los más utilizados para el transporte de mercancías, pero nos ayudará a tener contacto con el resto del mundo y poder contar con los mejores especialistas del sector. ^[7] ^[8]

Otra opción sería el aeropuerto de Barcelona- El Prat, que se trata del mayor aeropuerto en Catalunya, y uno de los más importantes a la hora de transportar pasajeros y mercancías. El aeropuerto de Barcelona se encuentra a aproximadamente 85 km de la

Canonja. Este aeropuerto conecta con los Estados Unidos, Colombia, Argentina, Brasil, África del norte, Oriente medio, el sudeste asiático y Europa. ^[7] ^[8]

Por lo tanto, una buena comunicación aérea es una ventaja competitiva para la empresa.

1.1.4 CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

1.1.4.1 CLIMATOLOGÍA

La Canonja, como ya se ha descrito anteriormente, se encuentra en la provincia de Tarragona, Cataluña. Tarragona disfruta de un clima mediterráneo, es decir, los inviernos son suaves y los veranos calurosos. Es un clima tipo Csa según la clasificación de Köppen. ^[9]

- **Temperatura**

La temporada calurosa dura aproximadamente tres meses, de junio a septiembre, donde la temperatura máxima promedio diaria es superior a los 26°C. En cambio, la temporada fresca dura aproximadamente cuatro meses, y la temperatura máxima promedio no es superior a los 17°C. ^[9]

La **figura 8** muestra las temperaturas promedias anuales de la provincia de Tarragona:

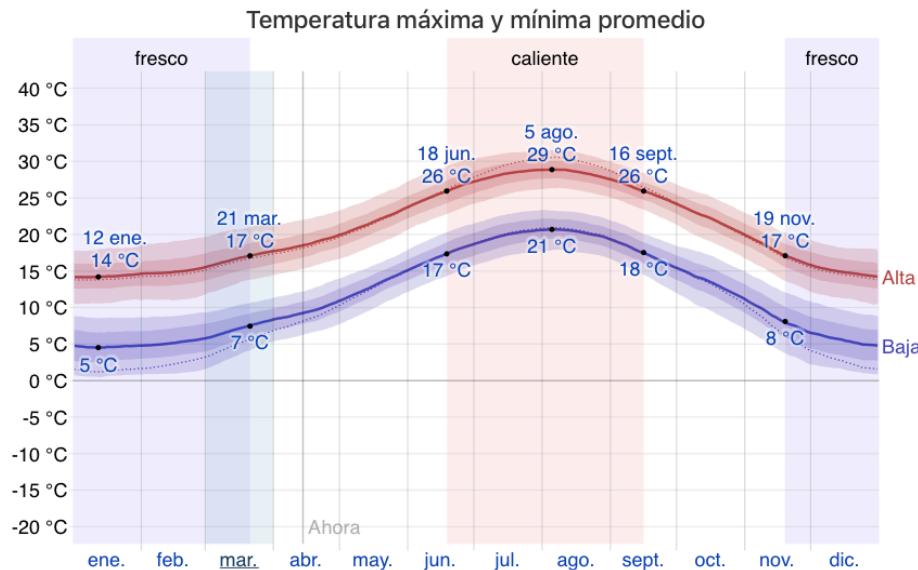


Figura 8. Temperaturas máximas (línea roja) y mínimas (línea azul), promedios anuales de Tarragona.

Como se puede observar en la **figura 8**, las máximas temperaturas se dan entre junio y septiembre, lo cual la temperatura máxima no supera los 30°C. Por otro lado, la temperatura mínima asumida es de 5°C en el mes de enero.

- **Precipitación**

Las precipitaciones son irregulares, pero aun así se puede afirmar que la estación más seca suele ser en verano, seguido del invierno. Primavera y otoño suelen registrar las mayores precipitaciones que se producen a lo largo del año. Las precipitaciones frecuentemente pueden alcanzar una intensidad elevada, aunque el episodio lluvioso suele durar poco. El tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia. La nieve no es muy rara, pero no suele caer con suficiente intensidad o duración como para cubrir el suelo, lo cual la convierte en un fenómeno subjetivamente percibido como mucho más infrecuente de lo que en realidad es.^[9]

La siguiente figura muestra la probabilidad diaria de precipitación de la provincia de Tarragona:

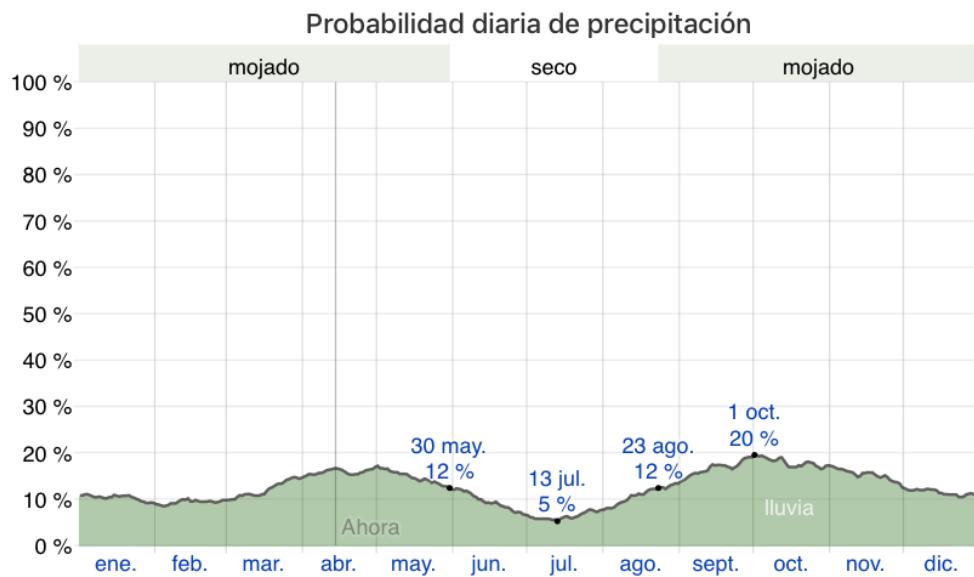


Figura 9. Probabilidad diaria de precipitación en la provincia de Tarragona

Como se puede observar en la **figura 9**, la temporada húmeda dura aproximadamente nueve meses, de agosto a mayo, con una probabilidad de más de un 12% de precipitación. En la figura, también se puede observar que la temporada más seca dura aproximadamente tres meses de junio a agosto.

- **Humedad**

En Tarragona la humedad percibida varía extremadamente. El periodo más húmedo del año dura aproximadamente cuatro meses, de junio a octubre. ^[9]

La **figura 10** muestra los niveles de comodidad de la humedad anual de Tarragona:

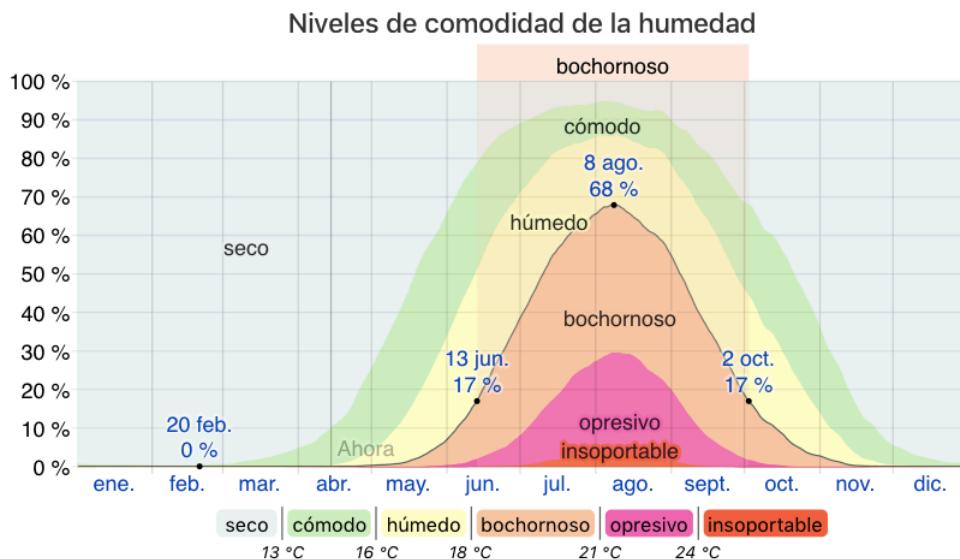


Figura 10. Niveles de comodidad de la humedad en Tarragona

En la **figura 10**, se puede observar el tanto por ciento de humedad según la estación del año. Como se puede observar, los meses entre enero a mayo, y de octubre a diciembre el clima es seco, ya que el tanto por ciento de humedad es mínimo. En cambio, entre los meses de junio a octubre, la humedad aumenta considerablemente, provocando que el nivel de comodidad de una persona sea húmedo, bochornoso, opresivo o insopportable.

1.1.4.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Las unidades geológicas presentes en un determinado territorio, como su expresión morfológica ante los procesos de erosión-sedimentación, son las responsables finales de las áreas en las cuales se registran una mayor ocupación humana y soportan una mayor actividad antrópica. En los apartados que se van a mostrar a continuación, se caracterizan las diferentes unidades geológicas y su morfología en el término municipal de Tarragona. ^[10]

- **Geología y geomorfología**

La comarca de Tarragona se puede dividir en dos sectores separados por el río Francolí; el sector occidental con una topografía uniforme, y el sector oriental con un terreno más irregular y alto. No obstante, en ningún punto del municipio se superan cotas superiores a los 200 metros. ^[11]

En la **figura 11** se puede observar las pendientes del municipio de Tarragona:

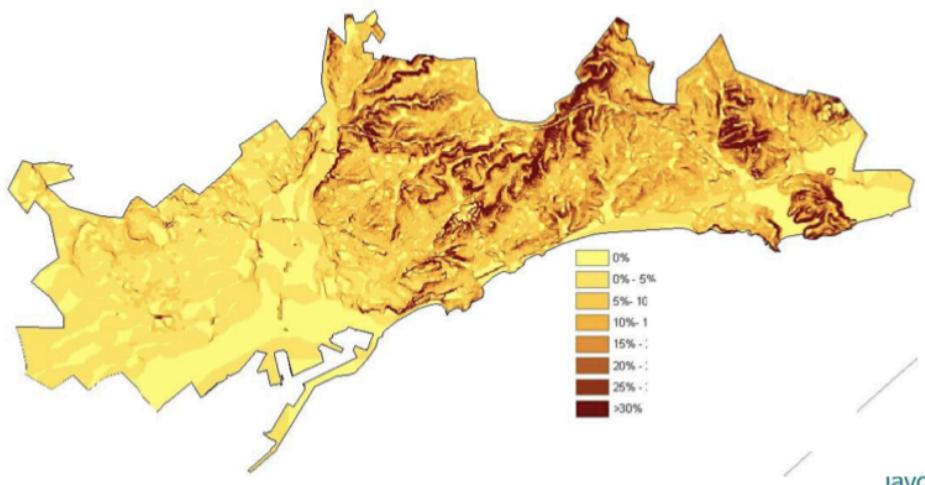


Figura 11. Mapa de las pendientes del municipio de Tarragona

Las transgresiones y regresiones marinas como la acción erosiva de los ríos originaron una litología lo cual se puede diferenciar en tres períodos; el Mioce continental, el Mioce Marino, y el cuaternario.

Como se puede observar en la **figura 12**, el municipio de Tarragona presenta en toda su superficie una matriz formada por gravas (con arena, limos, y arcilla). El sector de levante del municipio de Tarragona está dominado por arcillas y calcarenitas. En el centro destaca una franja en sentido inclinado formada por calcáreas y margas. En la bibliografía se puede observar de manera más detallada las características de las unidades geológicas de cada zona de Tarragona. ^[11]

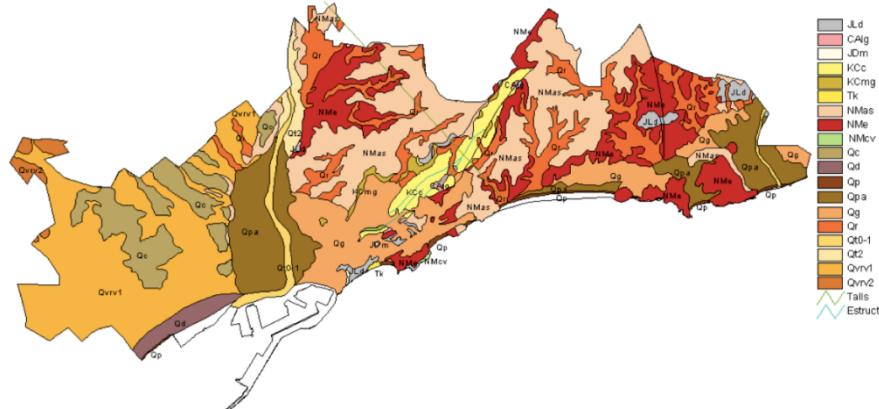


Figura 12. Mapa geológico de Tarragona

1.1.4.3 HIDROLOGÍA

El agua es un recurso muy importante en el proceso de producción de óxido de etileno, por tanto, es fundamental conocer las características del agua de la zona para prevenir y hacer tratamientos a estas para no dañar los equipos o que el proceso se vea afectado negativamente. [11] [12]

En por eso que en este apartado se analiza la hidrología del municipio de Tarragona a partir de los recursos de agua existentes. Por un lado, se analiza las aguas subterráneas como acuíferos, y, por otro lado, las aguas superficiales presentes en el municipio.

- **Aguas subterráneas**

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, bajo la superficie de la tierra.

El municipio de Tarragona se encuentra parcialmente incluido en la masa de agua subterránea del Baix Francolí. Esta masa de agua tiene riesgo debido a su estado químico, ya que hay presencia de valores altos de nitratos, y plaguicidas relacionadas con la actividad agrícola y vertidos industriales. También cabe destacar que se encuentra

en una zona litoral con riesgo de intrusión salina. La salinidad del Baix Francolí es superior a los 1.100 mg/L. ^[11] ^[12]

Los acuíferos incluidos en esta masa de agua son el acuífero aluvial del río Francolí y el acuífero pliocuaternario del campo de Tarragona. Se puede ver la ubicación de ambos en la **figura 13**.

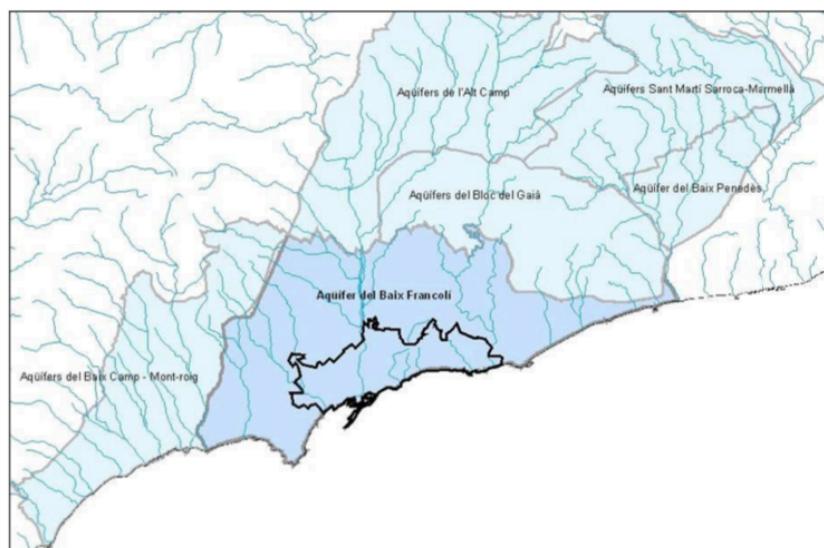


Figura 13. Ubicación del acuífero del Bajo Francolí

- **Aguas superficiales**

Las aguas superficiales son aquellas que se encuentran en la superficie de la tierra.

Son cuatro las cuencas hidrográficas a las cuales pertenece el municipio de Tarragona, de oeste a este; estas son las siguientes; Rieras de Baix camp, la cuenca del Francolí, la cuenca de la Punta de la Mòra y la cuenca de Gaià. La cuenca de la Punta de la Mòra es la que ocupa más superficie del municipio. En la **figura 14** se puede ver la ubicación de todas ellas. ^[11] ^[12]

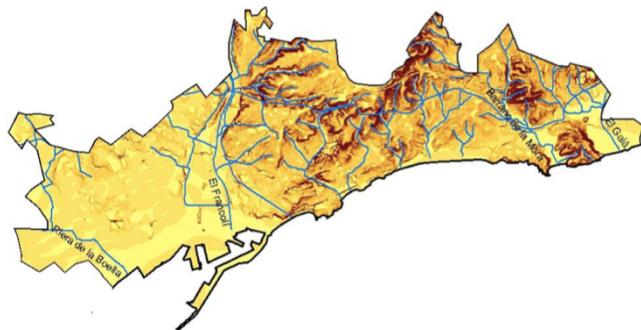


Figura 14. Principales cursos fluviales de la comarca Tarragonés

Se puede considerar que ha habido una mejora de la calidad fisicoquímica de las aguas fluviales de la comarca Tarragonés, pero aún así continúa habiendo unas elevadas concentraciones de determinados elementos como sulfatos y nitratos, y la presencia de metales, amonio y organoclorados debido a la actividad industrial. [11] [12]

1.1.4.4 SISMOLOGÍA

La sismología de la zona en la que se va a llevar a cabo el proyecto es uno de los aspectos fundamentales para la edificación de la planta. Si bien es cierto que Cataluña es un área con actividad sísmica moderada, siempre existe la probabilidad de que se den catástrofes de éste índole. Es por ello que existen estudios que han llevado a la definición de zonas sísmicas dentro de la comunidad catalana, donde se ajusta cada una a su peligrosidad sísmica. ^[13]

A continuación, en la **figura 15**, aparece un mapa de las zonas sísmicas de Cataluña:

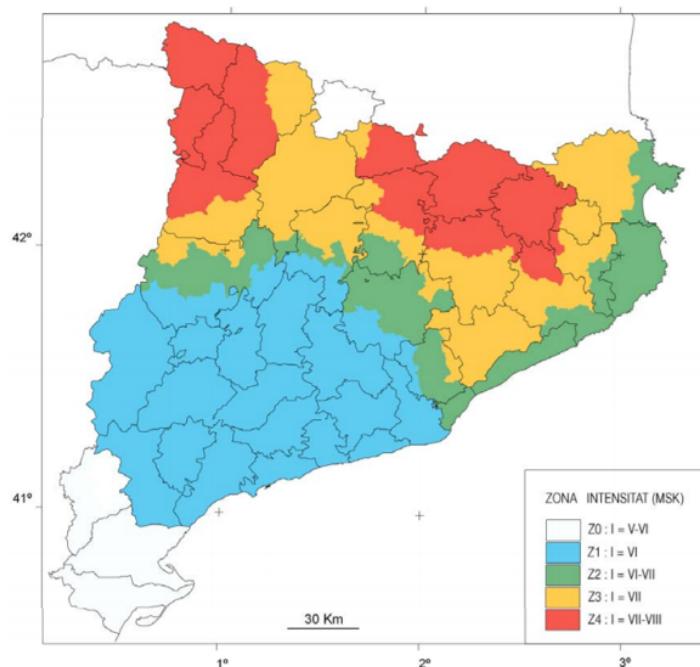


Figura 15. Mapa de las zonas sísmicas de Cataluña (suelo medio).

El mapa reflejado en la **figura 15**, está referido a un tipo de suelo medio, el cual se encuentra en algo más del 45% de los municipios catalanes. El municipio de La Canonja (dentro de la comarca del Tarragonés) se encuentra en la zona Z1. Por lo tanto, puede verse afectado por terremotos de intensidad VI en la escala MSK (Medveded-Sponheuer- Karnik). Esta escala evalúa la fuerza de los movimientos sísmicos según los efectos destructivos de las edificaciones y el grado de afectación entre la población. Los grados de intensidad se mueven en un rango entre I y XII, por ende, una intensidad VI corresponde a un efecto sísmico de fuerza media. ^[13]

Se debe agregar que existen normas de construcción sismo resistente para proporcionar los criterios que han de seguirse en proyectos que envuelvan cualquier tipo de edificación. El documento que recoge la normativa NCSE-02 establece que, los edificios e instalaciones industriales en los que intervengan sustancias peligrosas son clasificados de especial importancia. Tanto en su edificación completa, como en modificaciones estructurales. ^[13]

1.1.5 ABREVIACIONES

Para facilitar y simplificar la comprensión y la lectura del lector de este proyecto, se ha descrito la nomenclatura y abreviaciones que se utilizarán a lo largo de este proyecto.

A continuación, la nomenclatura de los equipos presentes en la planta se presenta en la **tabla 3:**

Tabla 3. Nomenclatura según el tipo de equipo

EQUIPOS	
Nomenclatura	Equipo
M	Mezclador
CM	Compresor
EX	Expansor
E	Intercambiador de calor
R	Reactor tubular catalizado
CA	Columna de absorción
D	Columna de desorción
RB	Reboiler
P	Bomba
CF	Columna Flash
CR	Columna de regeneración
TC	Tanque de condensado
CD	Columna de destilación
TP	Tanque de almacenamiento de producto
CV	Caldera de Vapor
CS	Caldera de agua sobrecaleñada

TR	Torre de refrigeración
CH	Chiller
DS	Descalcificador
TN	Tanque criogénico de nitrógeno
TE	Transformador eléctrico
GE	Generador eléctrico

La nomenclatura de los compuestos que aparecen en la planta se muestra en la **tabla 4**:

Tabla 4. Nomenclatura de los compuestos presentes en la planta

COMPUESTOS EN PLANTA	
Nomenclatura	Compuesto
C₂H₄	Etileno
O₂	Oxígeno
CO₂	Dióxido de carbono
H₂O	Agua
N₂	Nitrógeno
MEA	Monoetanolamina
C₂H₄O	Óxido de etileno

Las mezclas de los fluidos también tienen su correspondiente nomenclatura, lo cual se presenta en la **tabla 5**:

Tabla 5. Nomenclatura en función de la mezcla que esté circulando en tuberías y válvulas

MEZCLAS	
Nomenclatura	Mezcla
M1	Agua
M2	Materias primas (N ₂ , O ₂ , C ₂ H ₄)
M3	Materias primas y productos de la reacción
M4	Corriente de MEA
M5	Amoníaco
M6	Óxido de etileno con agua
M7	Óxido de etileno puro

MEZCLAS	
M8	Agua glicolada
M9	Nitrógeno puro

Por último, se muestra la nomenclatura que se ha utilizado para los fluidos de servicio en la **tabla 6**:

Tabla 6. Nomenclatura para los fluidos de servicio

FLUIDOS DE SERVICIO	
Nomenclatura	Servicio
A1	Agua de red
A2	Agua contra incendios
AC	Aire comprimido
N2	Nitrógeno
NH3	Amoníaco

1.2 CARACTERÍSTICAS DE REACTIVOS Y PRODUCTO

1.2.1 MATERIAS PRIMAS

1.2.1.1 ETILENO

- **Descripción del compuesto**

El Etileno es un gas a temperatura ambiente, soluble en agua, formado por dos átomos de Carbono unidos por un doble enlace:

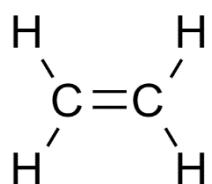


Figura 16. Estructura molecular del Etileno

- **Utilidad del compuesto en la industria**

El etileno es la materia prima orgánica de mayor consumo en la industria química. La producción mundial es de aproximadamente 10^8 Tn anuales. Más del 30% de la industria petroquímica deriva del etileno. El mayor consumo (aproximadamente el 78%) es para la producción de plásticos, bien directamente para polietileno (PE), bien como materia prima para monómeros del PVC, poliacetato de vinilo (PAV) y poliestireno y también como copolímero para cauchos.

En la planta de producción de óxido de etileno, el etileno se utiliza como materia prima principal, con el objetivo de realizar la oxidación del etileno para producir el óxido de etileno.

- **Propiedades fisicoquímicas del etileno**

Tabla 7. Propiedades fisicoquímicas del etileno

Peso molecular	28 g/mol
Punto de ebullición	-104°C
Punto de fusión	-169.2°C
Temperatura crítica	9.9 °C
Presión crítica	50,7 atm
Densidad a 20°C	1178 Kg/m ³
Solubilidad en agua	Miscible
Presión de vapor a 15°C	8100 kPa
Punto de inflamación	Gas inflamable
Temperatura de autoignición	490°C

- **Obtención del etileno en la planta de producción**

El etileno llega por tubería del proveedor REPSOL, que dispone de un complejo industrial en Tarragona donde produce grandes cantidades de etileno.

1.2.1.2 OXÍGENO

- **Descripción del compuesto**

El oxígeno es un gas a temperatura ambiente, incoloro, inodoro e insípido. Se encuentra en gran abundancia en la atmósfera con una proporción del 20,8%, junto al nitrógeno, argón y otros gases. El proceso de obtención del oxígeno puro actualmente se realiza mediante la destilación fraccionada de los gases del aire.

Es un elemento altamente reactivo que forma fácilmente compuestos, especialmente óxidos, con la mayoría de los elementos. Normalmente se suministra en estado líquido para poder almacenar mayores cantidades en un espacio reducido.

- **Utilidad del compuesto en la industria**

El oxígeno tiene una gran cantidad de aplicaciones industriales, es un gas muy utilizado y se usa con diferentes finalidades dependiendo de la aplicación o industria.

En la industria química normalmente se utiliza el oxígeno como reactivo para la oxidación de materias primas que puedan derivar a un producto de mayor valor industrial, como es el caso del óxido de etileno.

Muchos procesos utilizan oxígeno en vez de aire con tal de aumentar la capacidad de producción. En el caso de la planta de producción de este proyecto, el oxígeno se utiliza como materia prima para oxidar el etileno y obtener el óxido de etileno.

El oxígeno también se utiliza en otras aplicaciones, algunos ejemplos son:

- Aeroespacial y Aeronáutica, donde se utiliza el oxígeno para la combustión y la propulsión de cohetes.
- Farmacéutica y Biotecnología. Se utiliza el oxígeno en fermentadores y Biorreactores.
- Hospitales y centros médicos, se utiliza el oxígeno para respiradores y otros tratamientos.
- Producción de metales
- Tratamiento de aguas, donde se utiliza oxígeno para la aireación.

- **Propiedades fisicoquímicas del oxígeno**

Tabla 8. Propiedades fisicoquímicas del oxígeno

Peso molecular	32 g/mol
Punto de ebullición	-182.96 °C
Punto de fusión	-218.4 °C
Temperatura crítica	-118.38 °C
Presión crítica	50.14 atm
Densidad a 20°C	1.354 Kg/m ³
Solubilidad en agua	39 mg/ L
Presión de vapor a 25°C	8039 kPa

- **Obtención del oxígeno en la planta de producción**

El oxígeno llega a la planta por tubería, a través del proveedor “Carburos metálicos”, fabricante de gases industriales que dispone de una fábrica de destilación de los gases del aire a unos 500 metros de la parcela de Ethylox, situada en La Canonja (Tarragona), tal como podemos ver en la **figura 17**.

En la fábrica de Carburos Metálicos se destilan los gases del aire (nitrógeno, oxígeno y argón), para separarlos y comercializarlos como gases industriales con purezas del 95%.

Por lo tanto, debido a la proximidad del fabricante, tanto el oxígeno como el nitrógeno para la fabricación del óxido de etileno se obtienen de este proveedor y llegan a la planta de fabricación por tubería, en forma de gas comprimido a 6 atmosferas.



Figura 17. Situación geográfica de la fábrica de Carburos Metálicos, donde se destilan los gases del aire para producir Nitrógeno y Oxígeno.

1.2.1.3 NITRÓGENO

- **Descripción del compuesto**

El nitrógeno es un gas en condiciones normales, que constituye aproximadamente un 78% del aire atmosférico. También se puede encontrar junto al oxígeno en forma de óxidos de nitrógeno, como el NO o el NO₂, o junto al hidrógeno con el que forma el amoníaco (NH₃).

- **Utilidad del compuesto en la industria**

La principal propiedad del nitrógeno es su poca reactividad; es utilizado en la industria como gas inerte para crear atmósferas protectoras, debido a su bajo riesgo de explosividad. En el caso de la producción de óxido de etileno, el nitrógeno se utiliza como inerte en la reacción, que es muy exotérmica, para controlar la temperatura dentro del reactor.

También se usa como gas criogénico para aplicaciones que requieran temperaturas puntuales realmente bajas, y en la industria química, el nitrógeno es muy utilizado en la producción de fertilizantes y ácido nítrico.

- **Propiedades fisicoquímicas del nitrógeno (N₂)**

Tabla 9. Propiedades fisicoquímicas del nitrógeno

Peso molecular	28 g/mol
Punto de ebullición	-196 °C
Punto de fusión	-210 °C
Temperatura Crítica	-147 °C
Presión Crítica	3,39 MPa
Densidad a 20 °C	1,25 Kg/m ³
Calor específico	5,57 J/(K·Kg)
Entalpía de Vaporización	5,57 KJ/mol

- **Obtención del nitrógeno en la planta de producción**

Tal como se ha mencionado anteriormente, el nitrógeno llega por tubería a la planta de Ethylox, en forma de gas a 6 atmosferas y temperatura ambiental, suministrado por el fabricante “Carburos Metálicos”.

1.2.1.4 MONOETANOLAMINA (MEA)

- **Descripción del compuesto**

La monoetanolamina, también abreviada como MEA, es un líquido tóxico, inflamable, incoloro y corrosivo, con un olor parecido al del amoníaco. Actúa como base débil, y se produce mediante la reacción del óxido de etileno con el amoníaco.

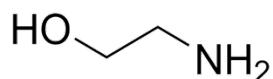


Figura 18. Estructura molecular de la monoetanolamina.

- **Utilidad del compuesto en la Industria**

Se utiliza en soluciones acuosas para “scrubar” (o absorber) ciertos gases ácidos, como por ejemplo el dióxido de carbono o el sulfuro de hidrógeno (H₂S).

En la planta de producción del óxido de etileno se utiliza la MEA para absorber el CO₂ y separarlo de las materias primas que no han reaccionado (etileno, oxígeno y nitrógeno) que se introducirán de nuevo en el reactor. El CO₂ se emite a la atmósfera.

- **Propiedades fisicoquímicas de la monoetanolamina (MEA)**

Tabla 10. Propiedades fisicoquímicas de la monoetanolamina (MEA)

Masa molar	61,08 g/mol
Estado a temperatura ambiente	Líquido
Densidad molar (a 20 °C)	16,56 kmol/m ³
Densidad mísica (a 20 °C)	1012 kg/m ³
Punto de fusión	11 °C
Punto de ebullición	171 °C
pKa	9,5
Presión de vapor (a temp ambiente)	0,4 mmHg
Límite inferior de explosividad	3% en volumen
Límite superior de explosividad	23,5% en volumen
Temperatura de autoignición	450 °C

- **Obtención de la MEA en la planta de producción:**

La monoetanolamina se compra al fabricante “HELM Iberica” [15], situado en Madrid. La monoetanolamina llega por carretera y se almacena en tanques de almacenaje situados en el área 100.

1.2.1.4 AMONÍACO

- **Descripción del compuesto**

El amoníaco es un gas a temperatura ambiente, con olor repulsivo. Constituye una molécula con 3 hidrógenos y un nitrógeno, unidos por un enlace simple, que tiene la siguiente estructura química:

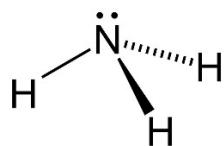


Figura 19. Estructura química de la molécula de amoníaco.

- **Utilidad del compuesto en la industria**

Una de las principales aplicaciones del amoníaco es en la agricultura, donde se utiliza el amoníaco como fertilizante para aumentar el rendimiento de los cultivos.

También se usa para la fabricación de compuestos nitrogenados, como el ácido nítrico, y otras aplicaciones industriales.

En el caso de la planta de producción de Ethylox, el amoníaco se usa como refrigerante en algunos intercambiadores de calor, debido a que tiene una capacidad calorífica superior a la del agua.

- **Propiedades fisicoquímicas del amoníaco**

Tabla 11. Propiedades fisicoquímicas del amoníaco

Peso molecular	17 g/mol
Punto de ebullición	-33 °C
Punto de fusión	-78 °C
Temperatura crítica	132 °C
Presión crítica	111 atm
Densidad a 20°C	0,73 Kg/m ³
Solubilidad en agua	89,9 g/100 mL
Momento dipolar	1,42 D

- **Obtención del amoníaco en la planta de producción**

El amoníaco se obtiene mediante el transporte por carretera, del proveedor Amoniaco Anhidro S.L, fabricante y distribuidor de amoníaco cerca de Lleida.

1.2.2 PRODUCTO

1.2.2.1 ÓXIDO DE ETILENO

- **Descripción del compuesto**

El óxido de etileno es un gas inflamable de aroma fuerte, tóxico a temperatura ambiente. Los vapores de óxido de etileno forman mezclas explosivas con el aire.

Es miscible en agua, alcohol, éter y la mayoría de los disolventes orgánicos. Es muy reactivo tanto en fase líquida como vapor, y se debe prestar especial atención en la temperatura de fabricación ya que conlleva una reacción altamente exotérmica.

Normalmente se presenta como producto final en forma líquida en recipientes a presión.

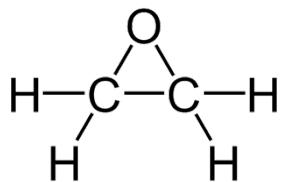


Figura 20. Estructura molecular del óxido de etileno

- **Utilidad del compuesto en la industria**

A nivel mundial se producen unos 14,5 millones de Tm/año de óxido de etileno. El óxido de etileno se utiliza principalmente para fabricar **etilenglicol**, que es un compuesto muy utilizado en la Industria como anticongelante, o como poliéster para fabricar fibras para ropa, tapicería, alfombras y almohadas.

El etilenglicol también se utiliza para la fabricación de fibra de vidrio utilizada en productos como motos de agua, bañeras y bolas de bolos, además de la resina de plástico de polietileno tereftalato (PET) utilizada para hacer contenedores de bebida para gaseosa, agua, jugos y cerveza, además de película de empaque.

Una pequeña cantidad de óxido de etileno (alrededor de un 1%) se utiliza para la esterilización de productos médicos y farmacéuticos, y para controlar insectos en ciertos productos agrícolas almacenados.

- **Propiedades fisicoquímicas del óxido de etileno**

Tabla 12. Propiedades fisicoquímicas del óxido de etileno

Peso molecular	44.1 g/mol
Punto de ebullición (a presión atmosférica)	11°C
Punto de fusión (a presión atmosférica)	-111°C
Temperatura crítica	196°C
Presión crítica	71 atm
Densidad a 20°C	896 Kg/m ³
Solubilidad en agua	Miscible
Presión de vapor a 20°C	146 kPa
Punto de inflamación	Gas inflamable
Temperatura de autoignición	429°C

1.2.3 SUBPRODUCTOS

1.2.3.1 AGUA

- **Descripción del compuesto**

El agua es una sustancia que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido.

Su molécula de geometría no lineal, formada por 2 átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, junto a la mayor electronegatividad del átomo de oxígeno, le confiere a la molécula un momento dipolar, que es responsable de las propiedades que tiene el agua

como disolvente. Las sustancias hidrófilas se disuelven bien en el agua, como es el caso del oxígeno y el dióxido de carbono, entre otros gases y sustancias.

Los puentes de hidrógeno entre las moléculas del agua son responsables de propiedades como su elevada capacidad calorífica, calor latente y conductividad térmica. Por esta razón el agua es comúnmente utilizada como refrigerante en procesos industriales.

En la síntesis del óxido de etileno a partir de oxígeno y etileno, el agua aparece como producto de la reacción de combustión del etileno:

- **Utilidad del compuesto en la industria**

Aproximadamente el 70% del agua dulce se destina a la agricultura, el 20% se utiliza en la industria y el 10% restante para el consumo doméstico.

En la industria, el vapor y el agua son usados como transmisores de calor en diversos sistemas de intercambio de calor debido a su abundancia y por su elevada capacidad calorífica, que le permite absorber grandes cantidades de energía calorífica sin que cambie en exceso su temperatura.

También se utiliza como disolvente o reactivo, sobretodo en las reacciones inorgánicas en las que muchos compuestos iónicos y polares que se disuelven en el agua. En cambio, en varias reacciones orgánicas los reactivos no se disuelven bien, por lo que el agua no se suele usar en este tipo de reacciones.

- **Propiedades fisicoquímicas del agua**

Tabla 13. Propiedades fisicoquímicas del agua

Masa molar	18,02 g/mol
Punto de ebullición	100 °C
Punto de fusión	0 °C
Temperatura crítica	374 °C
Presión crítica	217,67 atm
Densidad a 20 °C	1 g/cm ³

Viscosidad a 20 °C	1 cP
Presión de vapor a 20 °C	2,3 kPa

1.2.3.2 DIÓXIDO DE CARBONO

- **Descripción del compuesto**

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas incoloro e insípido a temperatura ambiente, presente en la atmósfera en pequeñas cantidades. Se produce CO₂ durante los procesos de descomposición de materiales orgánicos y en reacciones de combustión. Es uno de los principales gases de efecto invernadero por lo que es importante reducir su producción y abocamiento en el aire. Por esta razón, es muy común la búsqueda de nuevos catalizadores y procesos en la industria con tal de minimizar la producción de CO₂.

- **Utilidad del compuesto en la industria**

Pese a que el dióxido de carbono se encuentra como producto en la mayoría de los procesos, también tiene algunas aplicaciones como materia prima:

-Como gas inerte: En soldaduras, extintores de incendio, armas de aire comprimido...

-En la industria alimentaria, se añade en algunas bebidas como la cerveza o el champán para agregar efervescencia. También se utiliza como solvente en forma líquida para la descafeinización, para extraer la cafeína a productos como el café o la coca cola.

- **Propiedades fisicoquímicas del dióxido de carbono**

Tabla 14. Propiedades fisicoquímicas del dióxido de carbono

Masa molecular	44,01 g/mol
Densidad másica (a 20°C)	1,834 Kg/m ³
Densidad molar (a 20 °C)	0,04168 Kmol/m ³
Punto de fusión	197,7 K (-78 °C)
Punto de ebullición	216 K (-57 °C)

Solubilidad en agua	1,45 Kg/m ³
Temperatura crítica	31 °C
Presión crítica	72,8 atm

1.2.4 CATALIZADOR

Para la catálisis de la reacción se utiliza un catalizador de plata, depositada en forma de capa fina sobre un soporte inerte y poroso de Alúmina (Al_2O_3). El catalizador contiene un 15% en peso de plata. A continuación, en la **figura 21**, se muestra una fotografía del catalizador utilizado.

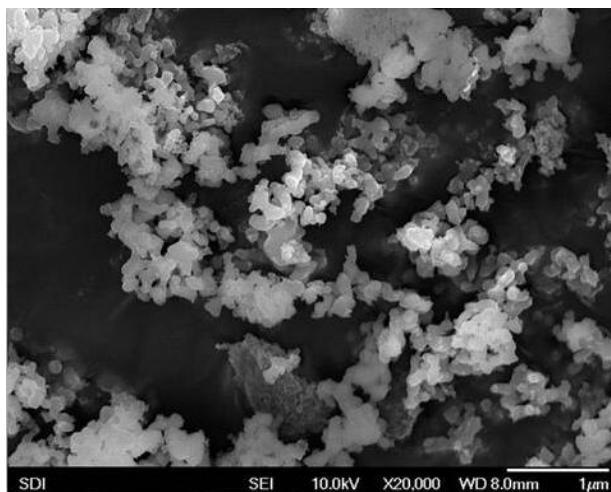


Figura 21. Imagen de un catalizador de plata soportado en alúmina proporcionada por un microscopio electrónico de rastreo (SEM). Aumento: x20.000. Distancia entre los extremos de la imagen: 6 μm

- **Mecanismo de reacción**

Cuando las moléculas de gas chocan con el catalizador, pueden atravesar la película externa estancada del catalizador, o volver a la fase gas. Si la atracción entre el catalizador y la molécula es fuerte, ésta penetra en el interior del catalizador y se produce la adsorción de la molécula a un centro activo, donde reacciona rápidamente. Luego se libera del centro activo y sale del catalizador para que otras moléculas puedan ocupar el centro activo.

A medida que la superficie interior del catalizador se va cubriendo de especies adsorbidas, va disminuyendo el número de sitios disponibles para la adsorción y se produce un descenso de la velocidad de reacción, por lo que es conveniente ir cambiando el catalizador a lo largo del tiempo.

Se cambiará el catalizador cada dos años, a pesar de tener una vida útil de cinco años, para mejorar así la eficiencia del proceso y prevenir problemas de producción.

- **Propiedades del catalizador**

Tabla 15. Propiedades del catalizador

Nombre comercial	Plata sobre alúmina
Abreviación	Ag/Al ₂ O ₃
% en peso de Plata	15
Diámetro de partícula (mm)	4
Resistencia de la partícula	60 N / partícula
Geometría de la partícula	Esférica
Densidad del catalizador	1000 Kg/m ³ reactor

- **Obtención del catalizador**

El catalizador se compra a la empresa “Meryt-Chemicals” [16], situada en Cartagena, y llega a la planta de Ethylox por carretera.

1.2.5 CORROSIÓN Y MATERIALES

El material que se utiliza para la construcción de las tuberías y los equipos en casi toda la planta de producción es el AISI 316, que es un acero inoxidable de cromo níquel austenítico que contiene molibdeno. Esta aleación aumenta la resistencia a la corrosión a nivel general y proporciona mayor resistencia a temperaturas elevadas.

El único compuesto del proceso que podría presentar problemas de corrosión es la monoetanolamina (MEA), presente en la unidad de absorción del CO₂.

El material utilizado para los equipos de la zona de absorción del CO₂ es el AISI 316L, que es una aleación que presenta una menor cantidad de carbón que el AISI 316, la cual mejora aún más la resistencia a la corrosión en estructuras sólidas.

Como criterio de selección del material para esa unidad, se ha utilizado como referencia un artículo de la Universidad de Regina, en Canadá, que realiza un estudio basado en la monitorización de la corrosión por MEA en plantas de captura de CO₂, utilizando diferentes tipos de materiales: AISI 1018, AISI 316L y AISI 304L, concluyendo que el material que menos corrosión presenta en un tiempo determinado es el AISI 316L (acero inoxidable).

En la **tabla 16** se adjuntan las composiciones químicas de los aceros 316 y 316L:

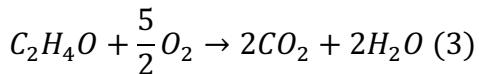
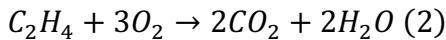
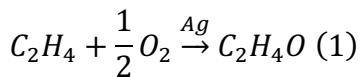
Tabla 16. Porcentaje de los diferentes elementos que constituyen los materiales AISI 316 Y AISI 316L.

Elemento Químico	Material: AISI 316	Material: AISI 316L
Carbón	0,08	0,035
Manganeso	2	2
Azufre	0,03	0,03
Fósforo	0,04	0,04
Silicio	0,75	0,75
Cromo	17	17
Níquel	12	12,5
Molibdeno	2,5	2,5

1.3 DESCRIPCIÓN PROCESO DE PRODUCCIÓN

El proceso industrial para la obtención de óxido de etileno (C₂H₄O) está basado en la oxidación del etileno (C₂H₄), a partir de oxígeno de elevada pureza, y en presencia de un catalizador a base de plata (≈15% Ag en peso sobre soporte inerte y poroso de alúmina). Cabe destacar que la producción de este tipo de óxido no conlleva únicamente una sola

reacción, sino que se dan hasta tres distintas: reacción principal (1), combustión (2) y re-oxidación del producto (3).



La primera de ellas constituye el proceso en sí mismo y es la que tiene el único interés industrial. De modo que las dos reacciones restantes (2 y 3) no son provechosas en la producción, de ahí que se requiera invertir gran atención en las condiciones de trabajo del reactor (presión y temperatura). Ya que en función de éstas se verán favorecidas unas u otras reacciones. En concreto, se ha decidido operar estrictamente en ciertos rangos de temperaturas y presiones para no favorecer e incluso suprimir la reacción de re-oxidación del producto (3).

Todas las reacciones son de carácter exotérmico, concretamente la reacción de combustión (2) desprende gran cantidad de calor. Es por ello por lo que el reactor principal requiere de un sistema de refrigeración efectivo para evitar un calentamiento excesivo y futuros problemas operacionales, como por ejemplo reacciones descontroladas (run-away) o el descenso de la actividad del catalizador.

1.3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

El proceso industrial propuesto para la construcción de la planta Ethylox puede dividirse, a grandes rasgos, en tres etapas distintas según:

- a. Etapa de reacción, la cual contempla el acondicionamiento de las materias primas y la unidad de reacción.
- b. Etapa de recuperación, donde se divide el caudal de salida del reactor en producto deseado (óxido de etileno) y todos aquellos reactivos no reaccionados. Estos

últimos serán recirculados a la unidad de reacción. También incluye la separación del dióxido de carbono (CO_2) para su posterior emisión a la atmósfera o aprovechamiento como subproducto.

c. Etapa de purificación, para limpiar el caudal de óxido de etileno y así obtener un producto de elevada pureza.

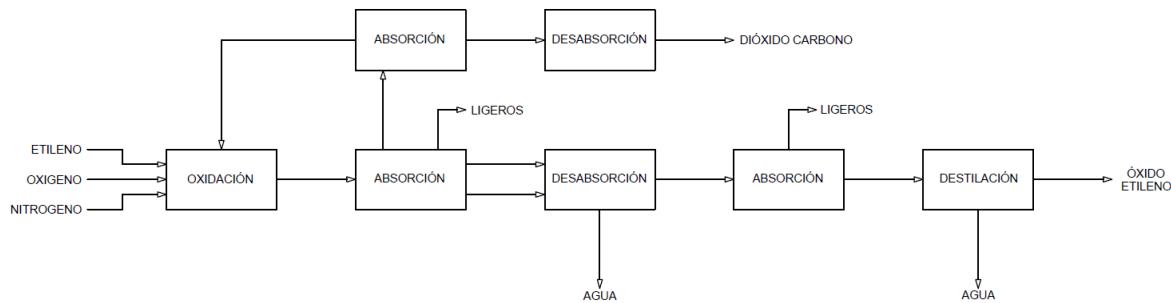


Figura 22. Diagrama de bloques de la planta de producción de óxido de etileno.

1.3.2 DIAGRAMA DE PROCESO

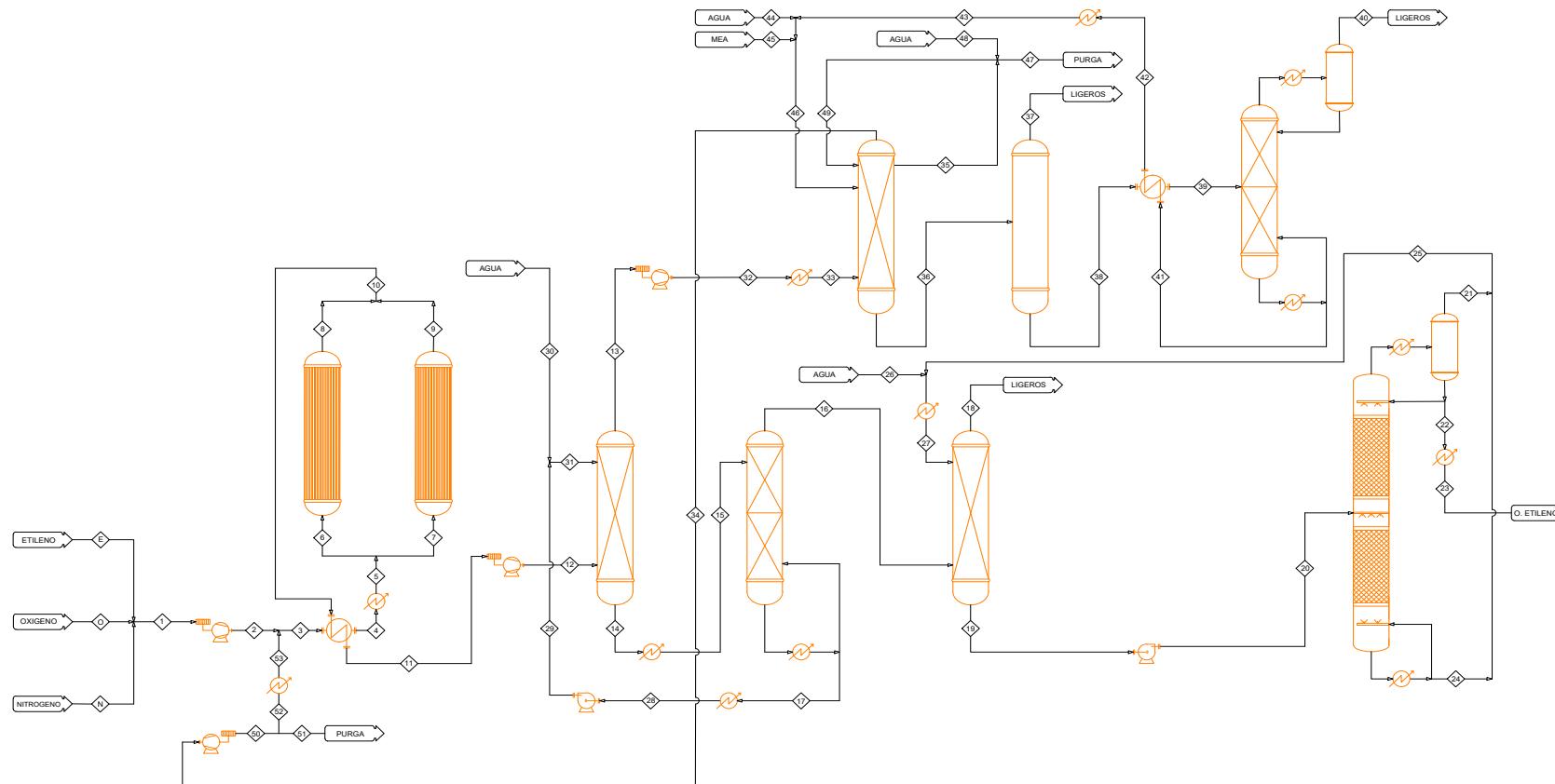


Figura 23. Diagrama de proceso de la planta de producción de óxido de etileno.

1.3.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA

El proceso de producción se inicia con la llegada de los reactivos (etileno, oxígeno y nitrógeno) a través de un sistema de cañerías. La red conecta las instalaciones de los distintos proveedores, todos situados en el mismo polígono industrial, directamente con la planta de Ethylox. Las distintas materias primas ya mencionadas se reciben a una presión de 5,9 atm y 25°C.

Dado que los reactivos son recibidos a bajas temperaturas y presiones es indispensable llevar a cabo una aclimatación de todos aquellos compuestos que serán introducidos en el reactor, ya que no pueden ser llevados directamente a dicha unidad. Inicialmente, se produce la mezcla de reactivos (M-201), los cuales deben tener una pureza igual o superior al 98% molar para el caso del etileno y igual o mayor al 97% molar de oxígeno. Además de estos, también se añade un tercer corriente de gas en dicho mezclador que contiene únicamente nitrógeno (N₂). Esta mezcla de gases es llevada a un intercambiador de carcasa y tubos, el cual se alimenta del calor de la corriente de salida de los reactores. Llegados a este punto, los gases ya se encuentran en unas condiciones óptimas para ingresar en el reactor.

En el interior de las unidades de reacción del proceso (tanques multitubulares de lecho fijo) se llevan a cabo la reacción principal y la de combustión. Las condiciones de operación estándar del proceso son de 270 a 290 °C y presiones de 8,2- 20,4 atm según la bibliografía consultada (*Chemical Process and Design Handbook*, page 2229). En particular ambos reactores trabajan a 270°C y 19,7 atm, ya que se ha podido comprobar que estas condiciones ofrecen mejores rendimientos de la reacción. El corriente de salida obtenido contiene parte del reactivo no reaccionado, el inerte introducido, el producto de interés y subproductos derivados de la reacción de combustión (CO₂ y H₂O). Debido a la pluralidad de la mezcla y la baja conversión del reactor, es necesario tratar este corriente para separar los reactivos no reaccionados, que serán recirculados al reactor, y obtener un corriente de óxido de etileno limpio.

El siguiente equipo (CA-301) es un absorbédon líquido- gas que opera a 15,0 atm en la parte superior y 19,3 atm en la inferior. Su corriente de entrada (12) debe ser enfriado,

ya que procede de la unidad de reacción a elevadas temperaturas, y posteriormente someterlo a compresión para aumentar su presión. La torre de absorción aprovecha la alta afinidad del óxido de etileno con el agua, para conseguir una salida acuosa con dicho óxido en la parte inferior de la columna (14). Es por ello por lo que el agente extractor es únicamente agua a temperatura ambiente (31). Por otro lado, los gases no absorbidos (reactivos no reaccionados y subproductos) desembocan por la parte superior del equipo (13) y serán llevados a una etapa de separación de CO₂. Paso que es sumamente importante ya que no se desea introducir este compuesto a la unidad de reacción mediante la recirculación.

Con respecto el corriente acuoso rico en óxido de etileno que abandona la columna (CA-301) aún no cumple con las estrictas condiciones de venta. Así pues, es conducido a un desorbedor (D-301) cuya finalidad es establecer condiciones poco favorables para la mezcla H₂O- C₂H₄O, y provocar la desabsorción. El equipo opera a 8,0 atm y 10,1 atm en las zonas superiores e inferiores, respectivamente. Además, se encuentra equipado de un calderín para mantener la temperatura de operación en su interior. El agua libre de óxido de etileno (17) puede utilizarse de nuevo en la unidad de absorción anterior (CA-301), dado que siempre se busca el mayor aprovechamiento de recursos.

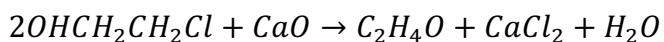
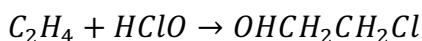
El corriente que contiene la mayoría de producto (16) es dirigido al siguiente equipo de la etapa de purificación. En vista de que no se encuentra totalmente libre de agua y gases ligeros, como el N₂ y CO₂. Para ello se emplea una segunda columna de absorción (CA-501) con agua como agente extractor (34°C) y unas condiciones de 1,0 atm (zona superior) y 1,5 atm (zona inferior), del que se obtienen dos corrientes: gases ligeros por la cabeza (18) y óxido de etileno con cierta cantidad de agua (19). El corriente ligero será liberado a la atmósfera conforme la normativa vigente en emisiones, entre tanto el cabal líquido será introducido en una última columna de destilación (CD-501). Las condiciones de operación de este equipo (2,5 atm en cabezas y 3,5 atm en colas) son aquellas que proporcionan una separación satisfactoria de la mezcla introducida. Para ser más específicos, el residuo (24) consta en su totalidad de agua y pequeñas trazas de otros compuestos no separados en estado líquido, y el destilado (23) contiene el producto de interés con elevada pureza. Debido al tipo de condensador empleado, también se tiene

una tercera salida (21) con pequeñas cantidades de óxido de etileno. Esta salida será mezclada con el residuo para obtener agua con extractos de óxido de etileno, la cual se recircula a la columna de absorción CA-501. Al contrario, el óxido de etileno de elevada pureza ya se encuentra listo para ser almacenado en los tanques incorporados (TP-601) en las instalaciones de la planta.

La etapa de separación de dióxido de carbono será tratada como un proceso complementario al de la línea principal. El corriente proveniente de la columna de absorción anterior (13) es comprimido y enfriado con tal de acondicionarlo a las siguientes etapas. Así pues, esta zona dedicada a la limpieza del subproducto consta de una columna de absorción (CA- 401) que opera a 49.3 atm. Su agente extractor es una disolución de agua y amina al 10%, en concreto monoetanolamina o MEA (C_2H_7NO). Puesto que este tipo de amina tiene una elevada afinidad con el CO_2 . La salida superior (34) es devuelta al proceso principal para ser introducido al reactor. Por contra, el efluente inferior es llevado a una serie de equipos para la recuperación del agente extractor. Para ser más específicos, será introducido a una columna flash (CF- 401) para separar los gases ligeros que resten presentes en la mezcla, principalmente H_2O , N_2 y O_2 . Estos serán liberados a la atmósfera. La corriente líquida es calentada y introducida a una columna de regeneración (CR- 401) que trabaja a 1,1 atm. Cuyo objetivo es separar la MEA del resto de componentes como el agua, y así ser recirculada a la primera columna de absorción. También se genera un corriente gaseoso de agua debidamente separada con pequeñas trazas de CO_2 y MEA.

1.3.4 OTRAS VIAS DE PRODUCCIÓN

La producción a gran escala de óxido de etileno se inició en los años veinte con el uso de etileno (C_2H_4) y ácido hipocloroso ($HClO$) como reactivos en la reacción de formación de clorhidrina ($OHCH_2CH_2Cl$). Seguida de la deshidrocloración con óxido de calcio (CaO) hacia epóxido, es decir óxido de etileno (C_2H_4O) y cloruro de calcio ($CaCl_2$).



Este proceso de producción cayó en desuso debido a su poca competitividad económica en el sector y la aparición de alternativas a partir de la oxidación directa del etileno mediante aire u oxígeno puro, siempre en presencia de un catalizador de plata (Ag) sobre soporte de alúmina (Al_2O_3).

La principal diferencia entre las alternativas, aire y oxígeno, son los propios reactivos: el primero de ellos trabaja con aire atmosférico (79% O_2 y 21% N_2) y el segundo requiere de oxígeno con elevada pureza (>97%).

Si bien es cierto que el proceso basado en oxígeno requiere de mayor inversión en equipos, su mayor selectividad frente al aire compensa el desembolso. En particular, el oxígeno usado como reactivo debe obtenerse a partir de la separación de aire atmosférico en la planta o mediante proveedores externos. Paso que supone gastos extras, tanto de inversión como operacionales. Pero este método de oxidación consigue equilibrar el gasto con la mejora de la selectividad de la reacción y, por consiguiente, mayor producción anual para llevar a la venta. También es preciso añadir que la cantidad de catalizador se ve reducida. Así pues, son todos los motivos expuestos anteriormente los que han hecho que en el presente proyecto se opte por el proceso de producción con oxígeno.

1.4 CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA

La empresa Ethylox tiene su única sede en Tarragona, por lo que tanto la zona de proceso como las oficinas están ubicadas en la misma parcela. Las ubicaciones de las diferentes zonas de la parcela se han diseñado con el objetivo de garantizar la seguridad de los trabajadores y de la planta, facilitando el acceso a las zonas que requieren de más intervención humana.

La planta de producción de óxido de etileno se ha separado en distintas áreas, dependiendo de las distintas operaciones que se tienen que llevar a cabo en la misma.

A continuación, en la **tabla 17** se recogen todas las áreas y sus respectivas nomenclaturas.

Tabla 17. Clasificación de las áreas de la planta

NOMENCLATURA	ÁREA
A100	Recepción de materias primas
A200	Área de reacción
A300	Área de separación de producto
A400	Área de separación de subproductos
A500	Área de purificación
A600	Almacenamiento de producto
A600-1	Carga de producto
A700	Servicios
A800-1	Oficinas y comedor
A800-2	Taller de reparación y almacén
A800-3	Vestuarios y lavabos
A900	Laboratorio
A1000	Sala de control
A1100	Sala de primeros auxilios
A1200	Aparcamiento

1.4.1 DESCRIPCIÓN DE CADA ÁREA

1.4.1.1 ÁREA 100: RECEPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

En el área 100 se almacenarán únicamente los barriles necesarios de MEA comprados a un proveedor externo para el tratamiento de CO₂.

Se estudio la posibilidad de almacenar en tanques de almacenamiento etileno y oxígeno proveniente por tubería para un periodo de 2 días. No obstante, el amplio número de tanques necesarios y el volumen de estos resultó ser más caro que el hecho de tener que detener la producción en caso de problema con el suministro de los reactivos.

Esta área está conectada con las tuberías de materia prima procedentes de los complejos químicos vecinos y con el área 200, primera área del proceso donde se lleva a cabo la reacción.

1.4.1.2 ÁREA 200: ÁREA DE REACCIÓN

En esta área tiene lugar la reacción del proceso. El etileno reaccionará junto con el oxígeno para proporcionar óxido de etileno en reactores verticales multitubulares catalizados y refrigerados.

Las corrientes de entrada de esta área serán, por un lado, procedentes del A100, área de recepción de las materias primas y, por otro lado, procedentes del A400, con la recirculación de materia prima no reaccionada. Así mismo, las corrientes de salida están conectadas con el A300, para circular los productos del reactor al área de separación.

El A200 está compuesta por 2 reactores multitubulares catalizados en paralelo además de 2 intercambiadores de calor para precalentar las materias primas antes de entrar al reactor. Por otro lado, se disponen de un mezclador para juntar las dos corrientes de entrada procedentes del A100 y la corriente de recirculación de materia prima no reaccionada. Además, de 2 compresores en paralelo para cada corriente de entrada al M-202.

1.4.1.3 ÁREA 300: ÁREA DE SEPARACIÓN DE PRODUCTO

Esta área es la encargada de recibir las corrientes de salida del A200, es decir, los productos del reactor, y separar las materias primas no reaccionadas del producto.

Estará compuesta principalmente por una columna de absorción y una columna de desorción. En primer lugar, la corriente procedente del A200, entrará en la primera columna de absorción, separando el producto deseado y dirigiéndolo a la siguiente

columna de desorción. Por otro lado, los productos no deseados y las materias primas no reaccionadas se dirigirán al área 400.

1.4.1.4. ÁREA 400: ÁREA DE SEPARACIÓN DE SUBPRODUCTOS

Esta área está compuesta por una columna de absorción, una columna flash y una columna de regeneración. Esta área está conectada con la corriente proveniente del área 300. Dicha corriente contiene los reactivos no reaccionados además de los subproductos no reaccionados. En esta área se separan los reactivos no reaccionados para poder recircularlos al área 200. Por otro lado, se hace un tratamiento del CO₂.

1.4.1.5 ÁREA 500: ÁREA DE PURIFICACIÓN

El área de purificación dispone de una primera columna de absorción en la cual se separa los componentes ligeros aun pertenecientes en la corriente procedente del A300 por cabezas y el óxido de etileno y agua por colas. La corriente de colas es dirigida a la columna de destilación en la que se separan el agua y el óxido de etileno

Las corrientes de salida de esta área serán el producto deseado de óxido de etileno y la mezcla de óxido de etileno y agua. El producto final será dirigido al A600 y, por otro lado, el agua será recirculada a la columna de absorción (CA-501) como agente extracto.

1.4.1.6 ÁREA 600: ALMACENAMIENTO DE PRODUCTO

En el área 600 se almacena el producto generado, es decir, óxido de etileno.

El óxido de etileno se almacena en seis tanques a presión en los cuales se almacenarán un total de 120 T al año.

Todas las corrientes de entrada a esta área son procedentes del A500. Por otro lado, las corrientes de salida se conectarán con los camiones cisterna encargados de transportar los productos a los respectivos proveedores.

El A600 tendrá una sub-área A600-1 para la carga de producto. En esta sub-área se colocarán los camiones cisterna mientras carguen el producto.

1.4.1.7 ÁREA 700: SERVICIOS

En el área 700 se sitúan los equipos encargados de almacenar, enfriar, calentar, distribuir o generar los principales servicios utilizados en la planta. Estos servicios son el agua y amoníaco de refrigeración, el nitrógeno, el vapor de agua, agua sobrecaleñada, la electricidad y el aire comprimido.

Además de los servicios, en esta área se encuentran los equipos de limpieza de gases compuesto por dos scrubbers (LG-701, LG-702).

1.4.1.8 ÁREA 800: OTROS

El área 800 se divide en las secciones clasificadas en la **tabla 18**:

Tabla 18. Secciones del A700

A800-1	Oficinas y comedor
A800-2	Taller de reparación y almacén
A800-3	Vestuarios y lavabos

1.4.1.8.1 Oficinas y comedor

Dentro de las oficinas se encuentran los diferentes departamentos de la empresa:

- **Departamento de I+D:** A partir de todos los análisis y los resultados obtenidos de la planta, el responsable del departamento se dedica exclusivamente a investigar ciertos aspectos del proceso que puedan mejorarse e influir positivamente en el desarrollo de la empresa.

Existen ciertos campos interesantes de investigación como la catálisis del reactor, con el objetivo de aumentar la vida útil del catalizador, mejorar la cinética y selectividad en el reactor. Para el estudio de posibles mejoras en el reactor, una de las tareas del responsable de I+D es tomar muestras de la mezcla a la salida del reactor e introducirlas en el cromatógrafo de gases para analizar su composición.

El departamento de I+D dispone de ordenadores potentes con un software avanzado que permite hacer predicciones y simulaciones complejas a partir de grandes cantidades de datos.

- **Departamento Administrativo:** En el departamento administrativo se realiza toda la gestión de documentos y tareas administrativas de la empresa. En este departamento cuenta con 8 personas con diferentes perfiles, ya que el departamento administrativo tiene varios objetivos a cumplir:

-Contabilidad de la empresa: Controlar que todos los balances económicos de la empresa cuadren, y gestionar todo el tema económico de la empresa como los salarios de los trabajadores, controlar los pedidos en material o otros servicios, etc...

-Gestión de la documentación técnica: Presentar la documentación técnica necesaria en diferentes pliegos como concursos públicos o privados. Preparación de la documentación técnica que acredita el cumplimiento de las normas en cuanto a medio ambiente y/o seguridad.

-Gestión de la documentación legal: Asegurar de que la empresa cumple todas las normas vigentes de la planta como las revisiones anuales, gestionar todas las

inspecciones, etc... con el objetivo de evitar sanciones por el incumplimiento de las normas.

-Recursos humanos: Retener el talento y seleccionar a los profesionales que encajan mejor en una posible oferta de empleo, en el caso de que la empresa necesite un aumento de personal o en el caso de que algún trabajador deje la empresa.

- **Departamento Comercial:** El departamento comercial está situado al lado del departamento administrativo, en la misma sala. Dispone de una sala de visitas, donde se realizan las visitas programadas con los clientes o proveedores. En el departamento comercial se gestionan todas las ofertas y pedidos, se realiza el seguimiento de proyectos de ámbito comercial y la fidelización de los clientes actuales que tiene la empresa.

El departamento comercial dispone de 2 comerciales, uno centrado en las ventas del producto final acabado al cliente, y el otro en la adquisición de nuevos equipos o materiales para la empresa.

- **Departamento de Ingeniería:** En el departamento de Ingeniería se encuentran los 2 Ingenieros de proceso, el Ingeniero Eléctrico, 4 operarios de proceso y el director de producción.

La función del departamento es operar la planta de producción, planificando y resolviendo las incidencias que se puedan dar en el proceso, y notificarlas al director de producción, que tiene una visión general del proceso y tiene el objetivo de tomar las decisiones pertinentes.

- **Departamento de Control de Calidad:** El técnico del departamento de Control de Calidad se encarga de garantizar que el producto acabado obtenido al final del proceso cumple con las características establecidas.

Está situado al lado del laboratorio, ya que es donde se realizan los análisis para parametrizar la calidad del producto final. El técnico estará constantemente desplazándose al laboratorio para realizar y observar los resultados de los análisis fisicoquímicos.

Todos los datos de los análisis realizados se guardan automáticamente en la base de datos, ya que tienen un alto valor para el departamento de I+D en cuanto a la mejora del proceso.

- **Departamento de Medio ambiente y seguridad:** este departamento se ocupará de todo lo relacionado con el medio ambiente y la seguridad de la planta (normativas, legislaciones, etc.)
- **Sala del responsable de la empresa:** El responsable de la empresa es el máximo representante de la organización y es el responsable de todo lo que pasa en la empresa, tanto a nivel de producción, como a nivel comercial y administrativo. Dispone de una sala exclusivamente para él.

El jefe de producción le notifica directamente a él las incidencias o las posibles mejoras que se pueden realizar en la planta de proceso y su evaluación económica.

- **Comedor:** esta es una sala destinada a las comidas de todos los trabajadores y visitantes de la planta. Dispone de una cocina, sala de microondas y un amplio espacio de mesas.

1.4.1.8.2 Taller de reparación y almacén

El taller de reparación dispone de todas las herramientas necesarias para el correcto mantenimiento y reparación de los equipos más sencillos del proceso, así como bombas, válvulas, pequeñas secciones de tuberías, etc.

1.4.1.8.3 Vestuarios y lavabos

Los lavabos y vestuarios disponen de taquillas para que los trabajadores dejen sus objetos personales y la ropa durante la jornada laboral, ya que todo el personal que accede a la planta de proceso debe llevar el vestuario adecuado proporcionado por la empresa. Se dispone de lavabos diferentes para hombres y para mujeres, y unas duchas por si alguien quiere ducharse al final de la jornada laboral.

1.4.1.9 ÁREA 900: LABORATORIO

El laboratorio está conectado con las oficinas, concretamente con los departamentos de Control de Calidad y de I+D. También está situado en un punto estratégico cerca de la zona de proceso, con tal de facilitar la captación de muestras para su posterior análisis. Se ha colocado cerca de la zona de almacenaje del producto final, ya que es la zona principal de control y análisis.

En el laboratorio se encuentran los siguientes equipos: **Equipos de análisis**, así como los fungibles que requieren los análisis químicos necesarios para garantizar la calidad del producto final: Cromatógrafos de gases, etc. **Material de laboratorio** necesario para poder manipular las mezclas correctamente y con seguridad.

1.4.1.10 ÁREA 1000: SALA DE CONTROL

En el área 1000 se encuentra la sala de control de la planta. Tal como indica su nombre, la sala de Control sirve para controlar que todas las variables de proceso están dentro de su rango adecuado, es decir, que la planta está operando correctamente. En el caso de que se detecte alguna anomalía, salta una alarma para indicar que se apaga manualmente, una vez se haya actuado en consecuencia a la anomalía.

En la Sala de Control hay una gran pantalla que muestra a tiempo real las variables más relevantes para el proceso como el nivel del líquido dentro de los tanques, la temperatura y presión del reactor, etc...

Los ordenadores de la Sala de Control tienen integrado el Gemelo Digital, que permite visualizar rápidamente lo que está pasando en la planta y permite predecir futuros escenarios.

Tanto los Ingenieros de proceso como los operarios tienen acceso al Gemelo Digital, pero los operarios solo tienen acceso a las herramientas de visualización del proceso, mientras que los Ingenieros pueden realizar cambios en las variables y puntos de consigna y utilizar las herramientas de simulación de posibles futuros escenarios.

1.4.1.11 ÁREA 1100: SALA DE PRIMEROS AUXILIOS

El área 1200 es una sala destinada a la atención primaria en caso de accidente dentro de la planta. Se proporcionará ayuda sanitaria y psicológica para todos aquellos trabajadores, clientes o visitantes de la planta que lo necesiten.

1.4.1.12. ÁREA 1200: APARCAMIENTO

El área 1200 está destinada al estacionamiento de los vehículos de todos los trabajadores y visitantes de la empresa Ethylox. Tendrá capacidad para 200 vehículos.

1.4.2 IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGIAS 4.0

En el diseño de esta planta de producción se ha dado suma importancia en la implementación de nuevos sistemas de automatización y la adquisición de datos, la cual se traduce en un alto grado de Digitalización de toda la empresa y la implementación de tecnologías propias de la Industria 4.0 como el Gemelo Digital.

El objetivo de la implementación de estas nuevas tecnologías es mejorar la conectividad entre departamentos y utilizar el análisis de datos para tomar decisiones con más rapidez, tanto a nivel de proceso como administrativo.

1.4.2.1 EL GEMELO DIGITAL

El Gremelo Digital es un software que utiliza técnicas avanzadas de analítica de datos como el Machine Learning para procesar todos los datos que la planta genera (sensores, PLCs, etc.).

La interfaz se basa en el modelado 3D de la infraestructura de la planta. Tal como indica su nombre, el gemelo digital es una copia virtual de la planta de producción, en la que se almacenan todos los datos y se procesan para extraer conclusiones que sean útiles para la empresa.

El gemelo Digital detecta patrones y comportamientos que se dan en el proceso, lo que permite tener un control integral de toda la zona de producción, predecir y simular nuevos escenarios, y detectar a tiempo anomalías del proceso que puedan significar fallos leves como la avería de una bomba centrífuga, o accidentes graves como la explosión de un reactor. ^[18]



Figura 24. El Digital Twin procesa todas las variables de proceso y extrae conclusiones.

1.4.3 PLANO DE LAS AREAS DE LA PLANTA

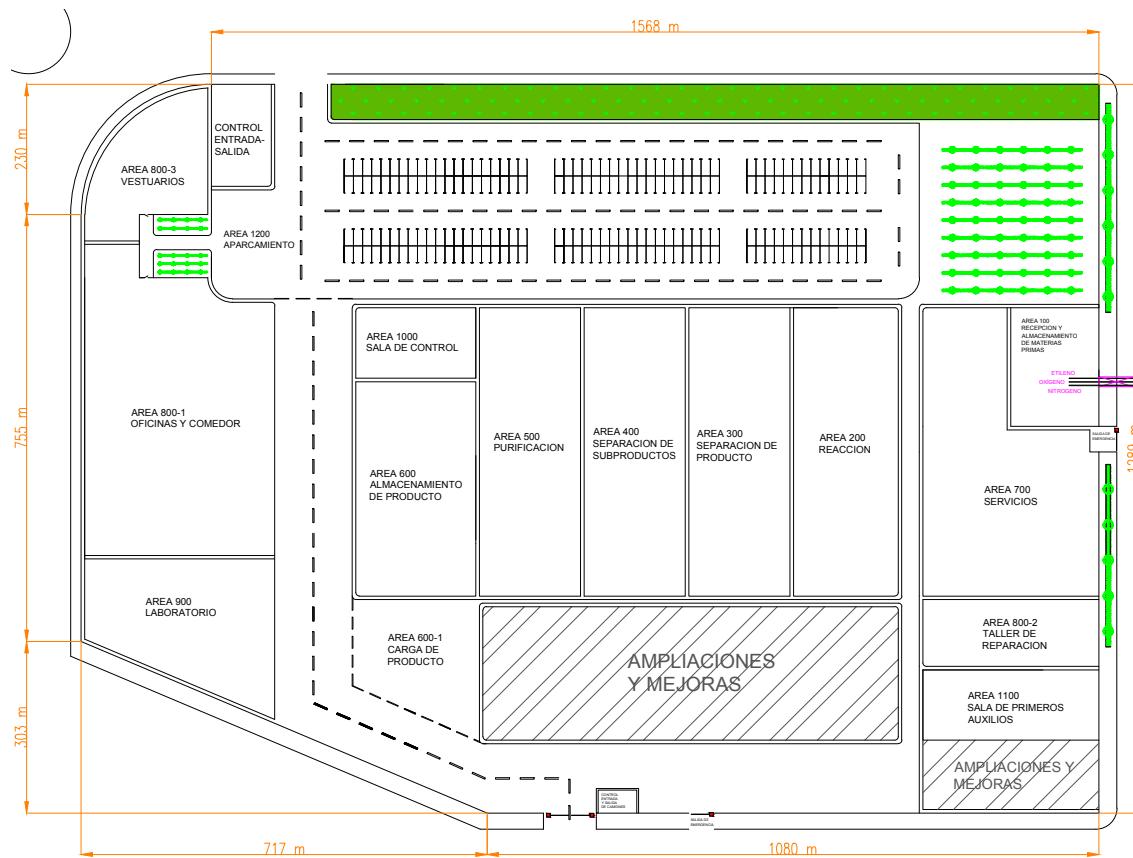


Figura 25. Plano de las áreas de la planta.

1.5 SERVICIOS DE PLANTA

1.5.1 AGUA DE RED

El agua de red es utilizada para suministrar agua a todos los equipos del proceso que lo requieran y para el uso del personal en vestuarios, oficinas, laboratorios, etc.

Se debe construir una red de tuberías a pie de parcela que distribuya el agua por toda la planta. El agua de esta red provendrá de la red de agua potable del municipio.

Para la construcción de esta red, se utilizarán tuberías sin la necesidad de aislamiento y con una presión máxima de 4 Kg/cm².

1.5.2 NITRÓGENO

Para evitar que al extraer un volumen determinado de un tanque de almacenamiento se produzca el vacío, se dispone de nitrógeno en estado gas para contrarrestar esta diferencia de presión. También se utiliza el nitrógeno antes de la puesta en marcha de la planta para poder desplazar el aire que se encuentra en el sistema, y así eliminar las posibles atmósferas explosivas.

1.5.3 AGUA CONTRA INCENDIOS

Una parte del agua de red será utilizada para suministrar el conjunto de equipos antiincendios para así asegurar la seguridad en la planta. Será almacenada en una balsa contra incendios para así poder disfrutar de una reserva y poder abastecer las necesidades de agua en los equipos antiincendios en caso de incendio. También tendrá que haber una estación de bombeo con el fin de suministrar el agua a los equipos a la presión adecuada.

1.5.4 AIRE COMPRIMIDO

El aire comprimido es un componente esencial de la planta, ya que se utiliza para enviar señales neumáticas a las válvulas de control. La red de aire comprimido dispondrá de un compresor, un filtro para la eliminación de partículas sólidas y un tanque pulmón para estabilizar la presión del circuito.

1.5.5 ELECTRICIDAD

El servicio eléctrico es uno de los más importantes ya que la mayoría de los equipos requiere electricidad para su funcionamiento. Además, se necesita abastecer de electricidad a toda la planta, tanto la zona de producción, como oficinas, laboratorios, vestuarios, etc.

Se instalarán unos generadores de emergencia en caso de fallo en la red eléctrica, los cuales utilizarán gas natural como combustible y que estarán capacitados para abastecer las necesidades eléctricas de la planta durante unas horas.

Se requerirá un transformador que permita convertir el voltaje de entrada a pie de parcela, al que se necesite para la alimentación de cada uno de los equipos.

1.5.6 GAS NATURAL

El gas natural será necesario para el funcionamiento de las calderas de vapor, para poder así abastecer los equipos que requieran vapor para su funcionamiento. Se tendrá una conexión a pie de parcela, con una presión de 1,5 Kg/cm².

1.5.7 AGUA GLICOLADA

Para poder calentar el fluido de proceso en algunos intercambiadores, se ha utilizado agua glicolada. Se ha utilizado una solución con un 40% de glicol y un 60% de agua. Se ha utilizado este servicio en los equipos RB-301 y RB-501 y en total se necesitarán 64348 kg/h de este servicio.

1.5.8 AMONÍACO

El amoníaco es famoso por sus excelentes propiedades termodinámicas. Su rendimiento es superior al de los refrigerantes sintéticos. Aunque tiene sus desventajas, es un refrigerante para tener en cuenta.

Para poder enfriar algunos corrientes del proceso, se ha utilizado amoníaco como refrigerante. Se ha utilizado este servicio en los equipos E-301, E-401 y E-404. En total se necesitarán 98766 kg/h de amoníaco.

1.5.9 VAPOR DE AGUA

El vapor de agua se produce en las calderas mediante una reacción de combustión. En la planta de producción de óxido de etileno se utiliza el vapor de agua como fluido calefactor en la mayoría de los intercambiadores de calor.

1.6 BALANCE DE MATERIA

Tabla 19. Balance de materia.

CORRIENTE	E	O	N	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	0	0	1	
Temperatura (°C)	25,0	25,0	25,0	24,4	149	49,4	200	270	270	270	270	270	270	100	106	25,1	60,4	15,0	164
Presión (kPa)	600,0	600,0	600,0	600,0	2000	2000	2000	2000	2000	1852	1852	1852	1852	1955	1520	1955	1955	810,0	
Caudal molar (kmol/h)	660	385	680	1725	1725	10260	10260	5129	5129	5039	5039	10080	10080	10080	9614	15460	15460	2380	
Caudal volumétrico (m ³ /h)	2619	1582	2802	7015	2999	13450	20180	23230	11610	11610	12310	12310	24620	16660	16060	15330	295	286	10180
FRACCIÓN MOLAR																			
C ₂ H ₄	1,00	0,00	0,00	0,38	0,38	0,27	0,27	0,27	0,27	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,00	0,00	0,00	
O ₂	0,00	1,00	1,00	0,22	0,22	0,07	0,07	0,07	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	
N ₂	0,00	0,00	0,00	0,39	0,39	0,66	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,67	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	
C ₂ H ₄ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,00	0,02	0,02	0,15	
CO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,85	
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,98	0,98	0,00	
MEA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CORRIENTE	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Fracción vapor	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Temperatura (°C)	181	34,2	87,0	87,1	35,6	35,6	139	127	25,0	34,0	25,0	25,1	25,0	159	41,15	41,4	41,4	41,4	
Presión (kPa)	1023	101,3	150,0	350,0	250,0	250,0	350,0	250,0	150,0	150,0	1023	1520	1520	5000	5000	5000	5000	5000	
Caudal molar (kmol/h)	13080	3,62	26230	26230	0,350	355	355	25870	25870	23850	23850	13080	13080	1916	15000	9614	9614	9489	
Caudal volumétrico (m ³ /h)	270	91,2	505	505	3,44	18,4	17,5	510	8206	427	429	234	234	34,3	268	6875	4767	4718	
FRACCIÓN MOLAR																			
C ₂ H ₄	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	0,00	
O ₂	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,00	
N ₂	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,70	0,71	0,00	
C ₂ H ₄ O	0,00	0,00	0,01	0,01	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO ₂	0,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	
H ₂ O	1,00	0,05	0,99	0,99	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	
MEA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CORRIENTE	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	
Fracción vapor	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
Temperatura (°C)	48,5	49,5	49,5	102	102	107	37,0	40,0	40,7	40,7	41,6	41,4	41,4	41,4	-9,78	-9,78	-9,78	27,0	
Presión (kPa)	5000	110,0	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	2000	2000	2000	2000	
Caudal molar (kmol/h)	16470	11,4	16460	16460	4820	11640	11640	4704	0,462	16340	0,032	2,23	1644	9480	948	8532	8532		
Caudal volumétrico (m ³ /h)	368	276	367	381	3136	373	340	288	85,2	0,03	365	0,002	0,040	30,1	9891	989	8902	10350	
FRACCIÓN MOLAR																			
C ₂ H ₄	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	0,25	
O ₂	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	
N ₂	0,00	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	0,71	0,71	0,71	
C ₂ H ₄ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
CO ₂	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
H ₂ O	0,89	0,10	0,89	0,89	0,98	0,85	0,85	0,85	1,00	0,00	0,89	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
MEA	0,10	0,07	0,10	0,10	0,00	0,15	0,15	0,15	0,00	1,00	0,10	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

1.7 PLANIFICACIÓN TEMPORAL

En este apartado se hablará de la planificación de la construcción y montaje de la planta industrial Ethylox, representándola en un diagrama de Gantt. También se hablará de los turnos de trabajo de los trabajadores y de las paradas que se realizarán durante el funcionamiento de la planta.

1.7.1 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA PLANTA

Tabla 20. Tareas en la construcción y montaje de la planta y sus duraciones

NÚMERO DE TAREA	TAREA	DURACIÓN (DÍAS)	PREDECESOR
1	Ingeniería de detalle	120	0:1
2	Obtención de permisos de obras	150	0:2
3	Pedido de equipos	100	1:3
4	Limpieza de terrenos	30	2:4
5	Excavaciones y cimientos	90	4:5
6	Instalación de suministros	30	5:6
7	Vías de acceso y aceras	30	5:7
8	Edificación de oficinas (A-700-1)	60	6:8
9	Construcción de parking (A-1100)	30	7:9

INSTALACIÓN DE EQUIPOS (10-17)

10	A-100	30	3,6:10
11	A-200	60	3,6:11
12	A-300	60	3,6:12
13	A-400	60	3,6:13

14	A-500	40	3,6:14
15	A-600	60	3,6:15
16	A-700-2	30	6:16
17	A-700-3	30	6:17
18	A-700-4	20	6:18
19	A-800	30	3,6:19
20	A-900	30	3,6:20
21	A-1000	20	6:21
22	Calibrado de equipos	70	10-18:22
23	Instalación de tuberías del proceso	50	11-13,16:23
24	Instalación de tuberías de servicios	50	10,14-20:24
25	Instalación de instrumentación	30	22-24:25
26	Conexión instrumentación-equipos	20	25:26
27	Aislamiento de equipos	30	26:27
28	Aislamiento de tuberías	30	23,24:28
29	Pruebas de equipos	30	27,28:29
30	Pintura	20	29:30
31	Limpieza	15	30:31
32	Puesta en marcha	10	31:32

1.7.1.1 DIAGRAMA DE GANTT

Se ha utilizado el programa *OpenProj* para realizar un diagrama de Gantt, y así poder saber la durada aproximada del proyecto y el camino crítico, marcado en color rojo. Se representa en la **figura 26**.

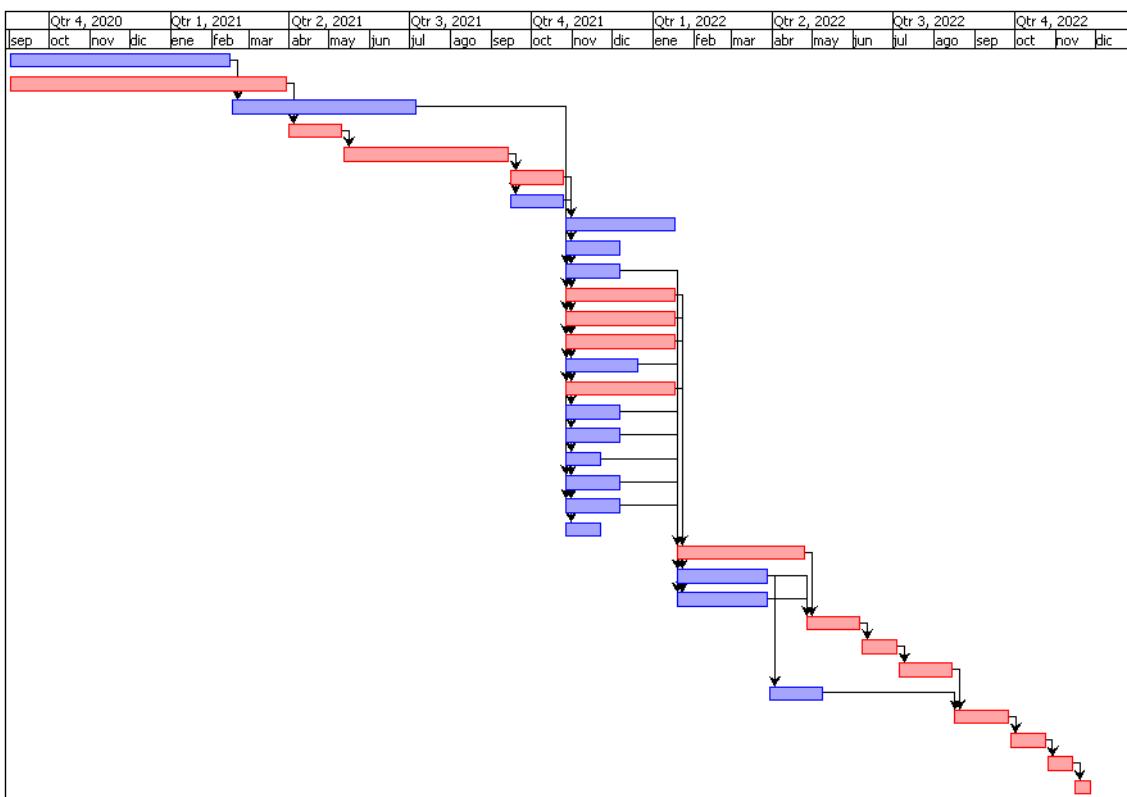


Figura 26. Diagrama de Gantt del proyecto

Como podemos observar, el proyecto tendría una duración de unos dos años y tres meses.

1.7.2 TURNOS DE TRABAJO Y PARADAS DE LA PLANTA

Los operarios de la planta trabajarán 40 horas semanales, de lunes a viernes, y se dividirán en tres turnos. El primer turno de mañana tendrá un horario de 8:00 a 16:00. El turno de tarde será de 16:00 a 00:00. Finalmente, el turno de noche será de 00:00 a 8:00, de manera que cada turno será de 8 horas, con una parada de 1 hora para comer. Los fines de semana tendrán los mismos turnos, pero con diferentes trabajadores.

La planta trabajará 320 días al año las 24 horas del día, y los 45 días sobrantes se dividirán en 2 paradas para limpieza y mantenimiento. La primera corresponderá a

agosto, concretamente del 3 de agosto al 1 de septiembre (29 días). La siguiente parada sería por Navidades, concretamente del 23 de diciembre al 8 de enero (16 días).

1.8 REFERENCIAS

[1] La Canonja, Ajuntament de La Canonja. [Online]. [Fecha de consulta: 20 de marzo del 2020]

<http://www.lacanonja.cat/coneixer-la-canonja/dades-de-la-localitat>

[2] La Canonja. Diputació de Tarragona. [Online]. [Fecha de consulta: 22 de marzo del 2020]

<http://www.dipta.cat/es/municipios/la-canonja>

[3] Google maps. Tarragona. [Online]. [Fecha de consulta: 20 de marzo del 2020]

[4] Rodalies de Catalunya. Generalitat de Catalunya. [Online]. [Fecha de consulta: 25 de marzo del 2020]

<http://rodalies.gencat.cat/ca/horaris/>

[5] Port de Tarragona. [Online]. [Fecha de consulta: 23 de marzo del 2020]

<https://www.porttarragona.cat/es/servicio negocio/negocio/intermodalidad#estacion-ferroviaria-del-muelle-de-la-quimica>

[6] Estadístiques tràfic portulari. Port de Tarragona. [Online]. [Fecha de consulta: 25 de marzo del 2020]

https://www.porttarragona.cat/files/docs/Serveis_Negoci/Negoci/Trafics_Estadistiques/Estadistiques/2020/02_Febrer.pdf

[7] Tráfico de pasajeros, operaciones y carga en los aeropuertos. [Online]. [Fecha de consulta: 27 de marzo del 2020]

http://www.aena.es/csee/ccurl/787/753/Anual2019_prov.pdf

[8] Aeropuerto de Barcelona. [Online]. [Fecha de consulta: 27 de marzo del 2020]

<https://www.barcelona-airport.com/cat/informacio.php>

[9] Clima de Tarragona. [Online]. [Fecha de consulta: 28 de marzo del 2020]

<https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna/tarragona-1565/>

[10] Geografía de Tarragona. [Online]. [Fecha de consulta: 28 de marzo del 2020]

<https://www.guiaarqueologicaciudadespatrimonio.org/tarragona-geografia>

[11] Medi físic de Tarragona. [Online]. [Fecha de consulta: 28 de marzo del 2020]

<https://www.tarragona.cat/neteja-i-medi-ambient/fitxers/fitxers-anticmediambient/altres/fitxers-2009/medi-fisic>

[12] Hidrología de Tarragona. [Online]. [Fecha de consulta: 29 de marzo del 2020]

http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/HidroCA/publica/libros1_HR/libro58/pdf/lib58/mapa4.pdf

[13] Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. [Online].

[Fecha de consulta: 29 de marzo del 2020]

<https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Descargas/Cartografia-geologica-y-geotematica/Mapas-geofisicos-y-sismicos/Evaluacion-del-riesgo-sisimico>

[14] Propiedades fiscoquímicas de los elementos. [Fecha de consulta: 3/04/2020]

<https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>

[15] Proveedor de monoetanolamina. [Fecha de consulta 4/05/2020].

https://www.helmiherica.com/es/productos/quimicos/productos/detalles-producto/d/HIB_Monoethanolamine/5/

[16] Proveedor del catalizador [Fecha de consulta 20/05/2020].

<https://www.meryt-chemical.com/es/home/>

[17] Química orgánica industrial: Productos de partida e intermedios más importantes.

K. Weissermel/ H.-J. Arpe. Ed Reverté. 1981. [Fecha de consulta: 14 de abril 2020]

[18] Gemelo digital. Universidad Internacional de Valencia. [Fecha de consulta: 3 de marzo 2020] <https://www.universidadviu.es/gemelo-digital-definicion-funcionamiento-y-ejemplos/>