

ACIDOX

I N D U S T R Y

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO OXÁLICO

PROYECTO DE FINAL DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA

Tutor | Albert Bartrolí Almera

Sara Araujo Bellés
Elena Chico Egea
Abdelah El Yacoubi El Baqqali
Ivo Samuel Giosa Domínguez
Marcelo Enrique Infante Benites
Luis Humberto Montalvo Huaman

CERDANYOLA DEL VALLÈS, JUNIO 2021

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona





ESPECIFICACIONES

CAPÍTULO 1

1.1.Especificaciones del proyecto

1.1.	Definición del proyecto	1
1.1.1.	Bases del proyecto.....	1
1.1.2.	Alcance del proyecto.....	1
1.1.3.	Localización de la planta	2
1.1.4.	Características del medio físico de la zona	5
1.2.	Nomenclatura y abreviaciones	8
1.3.	Características de los reactivos y del producto	10
1.3.1.	Reactivos.....	10
1.3.2.	Productos.....	11
1.3.3.	Catalizadores	12
1.4.	Proceso de producción	14
1.4.1.	Descripción proceso de producción	14
1.4.2.	Diagrama de bloques	15
1.4.3.	Diagrama de proceso y balance de materia	16
1.4.4.	Descripción detallada del proceso	19
1.5.	Departamentos y gestión.....	25
1.5.1.	Departamento de producción y ensacado	25
1.5.2.	Departamento de mantenimiento.....	25
1.5.3.	Departamento de ingeniería	25
1.5.4.	Departamento de calidad.....	26
1.5.5.	Departamento de I+D+i	26
1.5.6.	Departamento HSEQ.....	26
1.5.7.	Departamento financiero	27
1.5.8.	Departamento de recursos humanos.....	27
1.5.9.	Departamento de marketing y comercial.....	28
1.5.10.	Departamento de compras	28
1.5.11.	Departamento de logística y operaciones	28
1.6.	Constitución de la planta	29
1.6.1.	Distribución de la planta	29
1.6.2.	Descripción de las áreas	30
1.7.	Especificaciones y necesidades de servicios	33
1.7.1.	Agua de red	33
1.7.2.	Agua descalcificada	34
1.7.3.	Agua desionizada.....	34
1.7.4.	Agua de refrigeración	35
1.7.5.	Chiller.....	35
1.7.6.	Agua contra incendios.....	36
1.7.7.	Vapor de agua	36
1.7.8.	Aire comprimido	36
1.7.9.	Nitrógeno.....	37
1.7.10.	Electricidad.....	37
1.7.11.	Gas natural.....	38
1.8.	Bibliografía	41

1.2. Definición del proyecto

1.2.1. Bases del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es el diseño y el estudio de la viabilidad de una planta de producción de ácido oxálico dihidratado a partir de etilenglicol y oxígeno con ácidos sulfúrico y nítrico como catalizadores. El ácido oxálico dihidratado tiene que presentarse en forma sólida, como granos de menos de 0,4 mm de diámetro y en big-bags de 1000 kg. La planta de producción funcionará 320 días al año.

Esta planta de producción se ubicará en el polígono industrial ficticio “Gasos Nobles” en el municipio de Tàrrega. Por tanto, la planta debe cumplir con su normativa urbanística y sectorial. Esto incluye retranqueos a viales y vecinos, altura de los edificios, ocupación de parcela, edificabilidad, seguridad, medio ambiente y protección contra incendios.

La producción de ácido oxálico se lleva a cabo con la siguiente reacción:

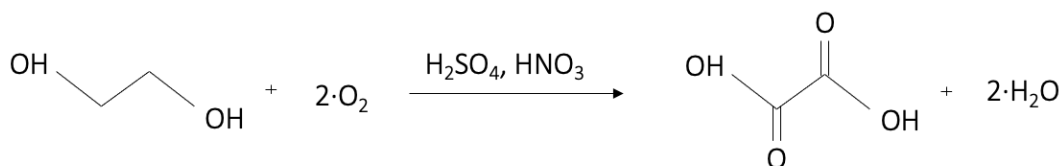


Figura 1.1. Ecuación de la reacción química del ácido oxálico.

Aunque esta reacción se puede llevar a cabo a través de diferentes procesos [1] en la planta de producción diseñada en este proyecto, la reacción se lleva a cabo a 80°C a presión de 1 atmósfera con unas concentraciones diluidas en agua de los reactivos y los catalizadores.

1.2.2. Alcance del proyecto

Para diseñar la planta de la mejor manera posible y considerando aspectos de diferente naturaleza, se han decidido abordar los siguientes temas:

- Diseño y especificación del proceso químico.
- Diseño de los equipos involucrados, tanto los de proceso como los de almacenamiento.
- Diseño de las diferentes áreas y zonas de la planta. Esto incluye:
 - Zona de carga y descarga

- Zona de proceso y reacción con sus respectivas subzonas.
- Laboratorios, oficinas y vestuarios.
- Aparcamiento y transporte.
- Áreas auxiliares como zona de control de accesos, zona contra incendios y zonas de depuración de agua y gases.
- Diseño de todo el sistema de control y las alarmas de proceso.
- Especificación de los sistemas de tuberías, válvulas, bombas y compresores.
- Identificación el impacto medioambiental de la planta y diseño del tratado de residuos.
- Evaluación de los aspectos económicos de la planta.
- Evaluación de la viabilidad de la planta.
- Especificación del proceso de puesta en marcha y operación de la planta.
- Consideración de las posibles mejoras que se le puedan hacer a la planta.

1.2.3.Localización de la planta

La planta de producción se encuentra en el polígono industrial “Gasos Nobles” en el municipio de Tàrrega, que se encuentra en la comarca de Urgell. En general, tiene un relieve llano, con la excepción de la zona que limita con la Segarra al oeste. La altitud va de los 505 metros al sureste hasta los 305 al noroeste. El pueblo está a 373 metros sobre el nivel del mar. [2]

He aquí algunos datos relevantes de la zona.

1.2.3.1. Parámetros de edificación

El polígono industrial “Gases Nobles” tiene una normativa a la cual la planta debe ajustarse. Esta normativa se muestra en la *Tabla 1.1*.

Tabla 1. 1: Parámetros de edificación del polígono industrial de la planta.

Edificabilidad	1,5 m ² techo/m ² suelo
Ocupación máxima de la parcela	75%
Ocupación mínima de la parcela	20% de la superficie de ocupación máxima
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 una planta
Aparcamientos	1 plaza/150 m ² construidos
Distancia entre edificios	1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5 m

A continuación, se presenta el plano del terreno sobre el cual se construirá la planta.

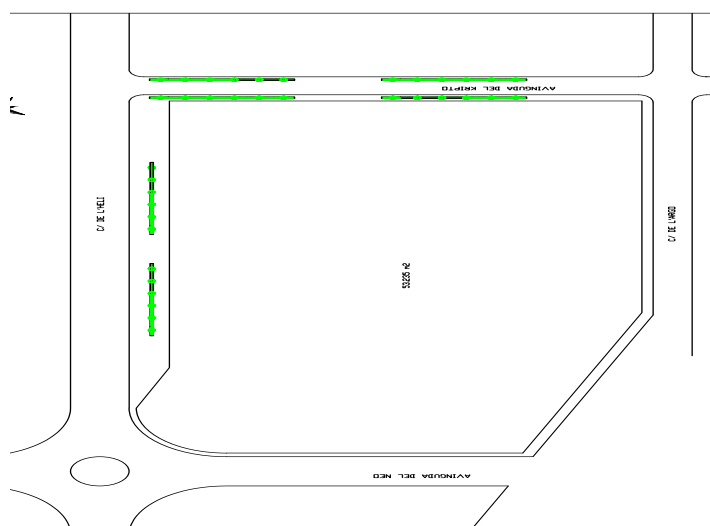


Figura 1.2. Plano de la planta ACIDOX INDUSTRY S.L. en Tàrraga

1.2.3.2. Comunicación y accesibilidad de la planta

En el diseño de una planta de producción, la comunicación y la accesibilidad en la planta son factores muy importantes. Si la accesibilidad a la planta no es lo suficientemente buena, se podrían generar problemas de suministro y de facilidad para encontrar trabajadores.

Es por esto, por lo que he ha hecho un estudio de las diferentes vías de comunicación a la planta.

Carreteras

A continuación, se presenta un mapa para visualizar algunas de las carreteras que pasan por Tàrrega o cerca del municipio.

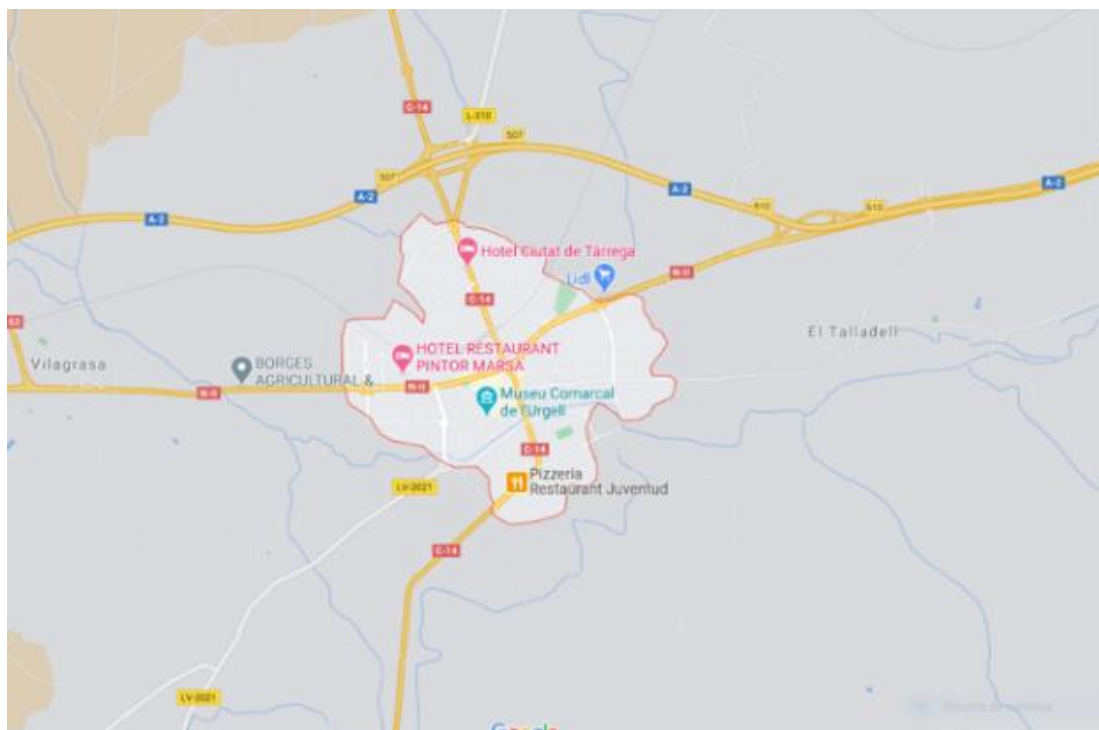


Figura 1.3. Localización del municipio de Tàrrega. [3]

Como puede verse en el mapa de la Figura 1.3, por el municipio de Tàrrega pasan las carreteras A-2, N-II y C-14. [2] [3] Todas estas carreteras unen Tàrrega con Lleida. La N-II y A-2, además, unen Tàrrega con Barcelona.

Otras carreteras importantes que pasan por Tàrrega son la AP-2 (que conecta con Zaragoza) y la C-53. Se tarda unos 40 minutos en ir de Lleida hasta Tàrrega (49,2 km) [4] y unas 2 horas en ir desde Barcelona hasta Tàrrega en coche (109 km). [5] Otras ciudades notables que se encuentran cerca son Tarragona (75 km), Cambrils (80,9 km), Igualada (47,7) y Manresa (66,1 km) [3].

Trenes y ferrocarriles

Tàrrega tiene una estación en la línea R12 de Renfe, que la conecta con la estación Lleida-Pirineus, Manresa, Terrassa, Sabadell y Barcelona entre otros. [6]

Puertos y aeropuertos.

Tàrrega no tiene costa, así que cualquier persona o suministro que llegue por mar, tendrá que llegar a algún puerto cercano y luego ir a Tàrrega por uno de los medios de transporte previamente mencionados.

Los aeropuertos más cercanos son el de Barcelona-El Prat (a 1 hora y 11 minutos por carretera), el de Girona (a 1 h y 44 minutos) y el de Lleida (a 39 minutos).

Los puertos más cercanos son el de Tarragona (a 1h y 05 min) y el de Barcelona (a 1h y 15 min).

1.2.4. Características del medio físico de la zona

Climatología

En Tàrrega, los veranos son cortos, muy calurosos y con cielos mayormente despejados. Los inviernos son largos, fríos y parcialmente nublados. En general, el clima es seco todo el año. [7]

A continuación, se presentan una serie de gráficos sobre el clima de Tàrrega y se harán algunos breves comentarios sobre ellos.

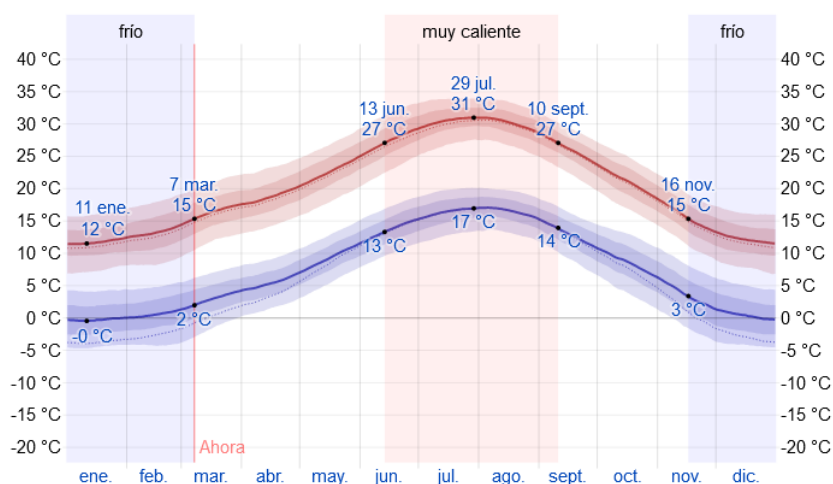


Figura 1.4. Promedio de temperaturas máximas (línea roja) y mínimas (línea azul) en Tàrrega. [7]

La temporada calurosa dura unos 3 meses con una temperatura máxima promedio de más de 27°C. El día más caluroso del año suele tener una máxima de 31°C. [7]

La temporada fría dura 4 meses con una temperatura máxima promedio de menos de 15°C. El día más frío del año puede llegar a tener una temperatura de 0°C. [7]

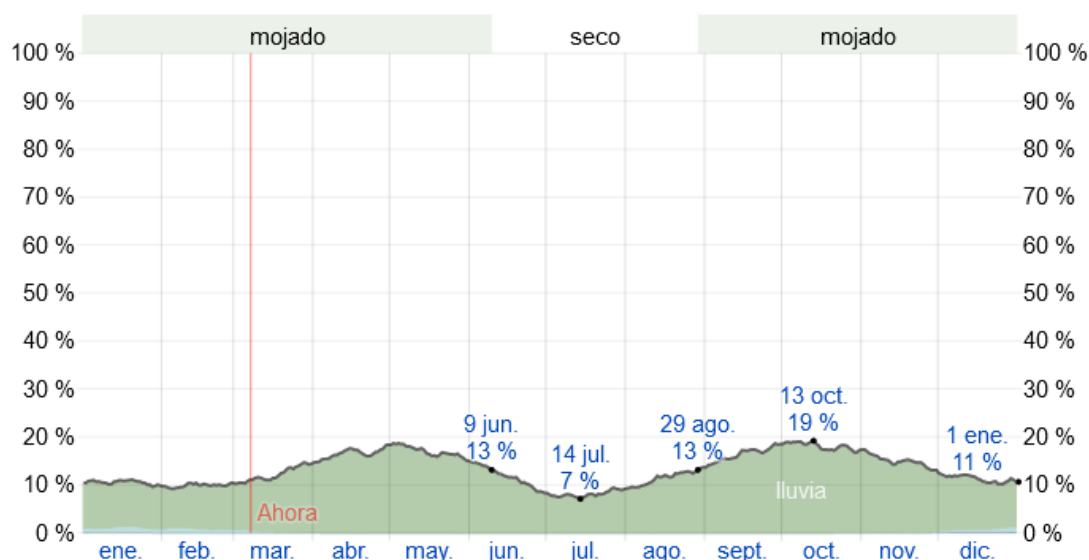


Figura 1.5. Probabilidad de que un día haya algún tipo de precipitación, en forma de lluvia, nieve, o ambas. [7]

Se considera un día mojado un día con, como mínimo, 1 mm de líquido o precipitación equivalente a líquido. Como se puede ver en el gráfico no hay una posibilidad muy alta de que llueva en ningún día. [7]

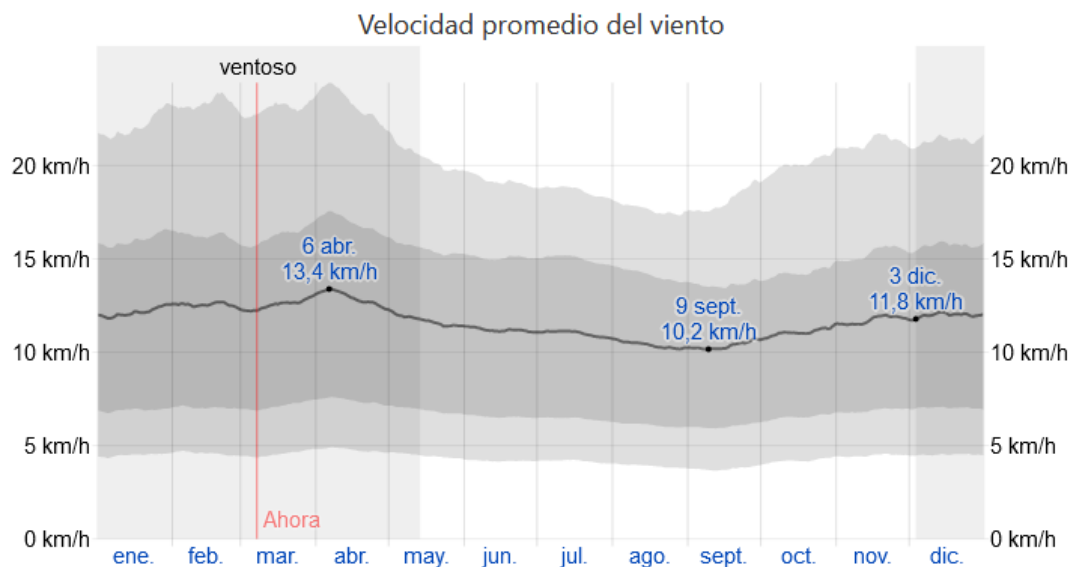


Figura 1.6. Promedio de la velocidad media del viento en Tàrrega. [7]

La época con vientos más fuertes del año dura 5 meses y tiene velocidades promedio del viento de más de 11,8 km/h. El día en el cual el viento sopla más fuerte puede tener vientos de hasta 13,4 km/h.

Según la *Dirección General de Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior de España*, para que un viento sea clasificado como moderado debe tener una

velocidad promedio de entre 21 y 40 km/h. [8] Por lo tanto, no hay peligro por vientos fuertes en Tàrrega.

Según el Instituto Estadístico de Cataluña, la humedad relativa media de Tàrrega es del 65%. [9]

En la *Tabla 1.2*, como resumen final, se presentan las humedades relativas promedio de Tàrrega en los diferentes meses del año, junto con las temperaturas máximas, mínimas e intermedias; las precipitaciones y los días lluviosos.

Tabla 1. 2:.. Tabla de diferentes datos climáticos de Tàrrega. [7]

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	4.9	6.1	9.6	12.6	16.7	21.6	24.2	23.7	19.6	15.3	9	5.4
Temperatura min. (°C)	0.9	1.5	4.2	7	10.7	15.2	18.1	18.2	14.7	11.1	4.9	1.5
Temperatura máx. (°C)	9.8	11.5	15.6	18.5	22.8	28.1	30.8	30.1	25.3	20.4	13.7	10
Precipitación (mm)	33	25	38	58	61	42	32	48	65	70	47	35
Humedad(%)	77%	67%	61%	60%	56%	51%	51%	55%	63%	70%	74%	78%
Días Lluviosos (días)	4	3	4	6	6	5	4	6	6	6	4	4

1.3.Nomenclatura y abreviaciones

Tabla 1. 3:Nomenclatura y definiciones

Área 100	Tanques de Almacenamiento
T-101	Tanque de etilenglicol 1
T-102	Tanque de etilenglicol 2
T-103	Tanque de ácido sulfúrico
T-104	Tanque de ácido nítrico
Área 200	Zona de reacción
TM-201	Tanque mezcla de etilenglicol
TM-202	Tanque mezcla de ácido sulfúrico
TM-203	Tanque mezcla de ácido nítrico
E-204	Intercambiador de calor
R-205	Reactor
Área 300	Zona de separación
E-301	Intercambiador de calor Flash 1
FC-302	Columna flash 1
RC-303	Columna de rectificación 1
E-304	Intercambiador de calor Flash 2
FC-305	Columna flash 2
FC-306	Columna de rectificación 2
E-307	Intercambiador de calor Flash 3
FC-308	Columna flash 3
RC-309	Columna de rectificación 3
RC-310	Columna de rectificación 4
E-311	Intercambiador de calor
E-312	Intercambiador de calor
E-313	Intercambiador de calor
E-314	Intercambiador de calor
TP-315	Tanque pulmón
Área 400	Zona de cristalización
TM-401	Tanque mezcla
TM-402	Tanque mezcla
E-403	Intercambiador de calor
CR-404	Cristalizador

Área 500	Zona de acondicionamiento producto final
CE-501	Centrífuga
S-502	Secador
CI-503	Ciclón
D-504	Deshumidificador
Área 600	Zona de envasado
EN-601	Tamiz + Ensacadora

1.4. Características de los reactivos y del producto

1.4.1. Reactivos

1.4.1.1. Etilenglicol

El etilenglicol o también llamado etanodiol es un compuesto químico orgánico que pertenece al grupo de los dioles. Se puede fabricar a partir de la hidratación del óxido de etileno y se suele utilizar como anticongelante en los circuitos de refrigeración de motores de combustión interna.

Su fórmula molecular es $C_6H_6O_2$, es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso y con un leve sabor dulce. Se trata del diol más sencillo. [10] [11]

Tabla 1. 4: Propiedades del etilenglicol. [10] [11]

Estado	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Formula	$C_6H_6O_2$
Masa molar	62,07 g/mol
pH	6 - 7,5 (agua: 100g/L, 20°C)
Punto de ebullición	365°C
Punto de fusión	-14 - -12°C a 1,013 hPa
Temperatura de descomposición	No disponible
Temperatura de autoignición	412°C a 1,013 hPa - ECHA
Densidad másica	1,11 g/cm ³ a 20°C
Densidad relativa de vapor	2,14 (aire=1)
Presión de vapor	0,12 hPa a 25°C
LIE	3,2 % vol.
LSE	43 % vol.

1.4.1.2.Oxigeno

Nombre de la molécula O_2 . Es un agente fuertemente oxidante y presenta la electronegatividad más alta de todas exceptuando el flúor. [12] [13]

Tabla 1. 5: Propiedades del oxígeno. [12] [13]

Estado	Gas
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Formula	O_2
Masa molar	32 g/mol
pH	No aplicable
Punto de ebullición	-183 °C
Punto de fusión	-219 °C
Temperatura de descomposición	No aplicable
Temperatura de autoignición	No inflamable
Densidad másica	0,0013 g/cm ³ a 21 °C
Densidad relativa de vapor	1,105 (aire=1) a 21 °C
Presión de vapor	No aplicable

1.4.2.Productos

1.4.2.1.Ácido oxálico dihidratado

El ácido oxálico o ácido etanodioico es un ácido dicarboxílico con dos átomos de carbono. Es soluble en etanol y agua, cristaliza fácilmente en el agua en forma de hidratada. Esta forma tiene la fórmula molecular $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$. [14] [15]

Tabla 1. 6: Propiedades del ácido oxálico. [14] [15]

Estado	Solido (cristal)
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Formula	$C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$
Masa molar	126 g/mol
pH	~1,5 (agua: 10 g/L, 20 °C)
Intervalo de ebullición	149-160 °C
Punto de fusión	98 - 101 °C
Temperatura de descomposición	>110 °C
Temperatura de autoignición	>400 °C
Temperatura inflamación	157 °C
Densidad másica	1,65 g/cm ³ a 20 °C

Presión de vapor

<0,1 hPa a 25 °C

1.4.3.Catalizadores

1.4.3.1.Ácido sulfúrico

Es un compuesto químico con estructura de pirámide, extremadamente corrosivo y el que más se produce en el mundo, una gran parte de la producción de ácido sulfúrico es destinada a la obtención de fertilizantes.

También se utiliza para la síntesis de otros ácidos y sulfatos, además de en la industria petroquímica. [16] [17]

Tabla 1. 7:Propiedades del ácido sulfúrico. [16] [17]

Estado	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Formula	H ₂ SO ₄
Masa molar	126 g/mol
pH	<1 (20 °C)
Intervalo de ebullición	295 - 315 °C
Punto de fusión	-15 °C
Temperatura de descomposición	338 °C
Temperatura de autoignición	No disponible
Temperatura inflamación	No relevante
Densidad másica	1,81 g/cm ³ a 20 °C
Presión de vapor	<0,01 hPa a 20 °C

1.4.3.2. Ácido nítrico

Este compuesto es un líquido bastante viscoso, corrosivo, incoloro e inodoro. Este compuesto se puede conseguir mediante una mezcla de pentóxido de dinitrogeno y agua, pero a nivel industrial se produce mediante la síntesis de amoniaco y oxígeno. Forma un azeótropo al mezclarse con agua a una composición determinada. [18] [19]

Tabla 1. 8: Propiedades del ácido nítrico. [18] [19]

Estado	Líquido
Color	Amarillo claro
Olor	Fuerte Acre
Formula	HNO_3
Masa molar	126 g/mol
pH	1 (0,1M)
Punto de ebullición	122 °C
Punto de fusión	-42 °C
Temperatura de descomposición	No hay datos disponibles
Temperatura de autoignición	No hay datos disponibles
Temperatura inflamación	No es aplicable
Densidad másica	1,51 g/cm ³ a 20 °C
Densidad relativa de vapor	1,42
Presión de vapor	No hay datos disponibles

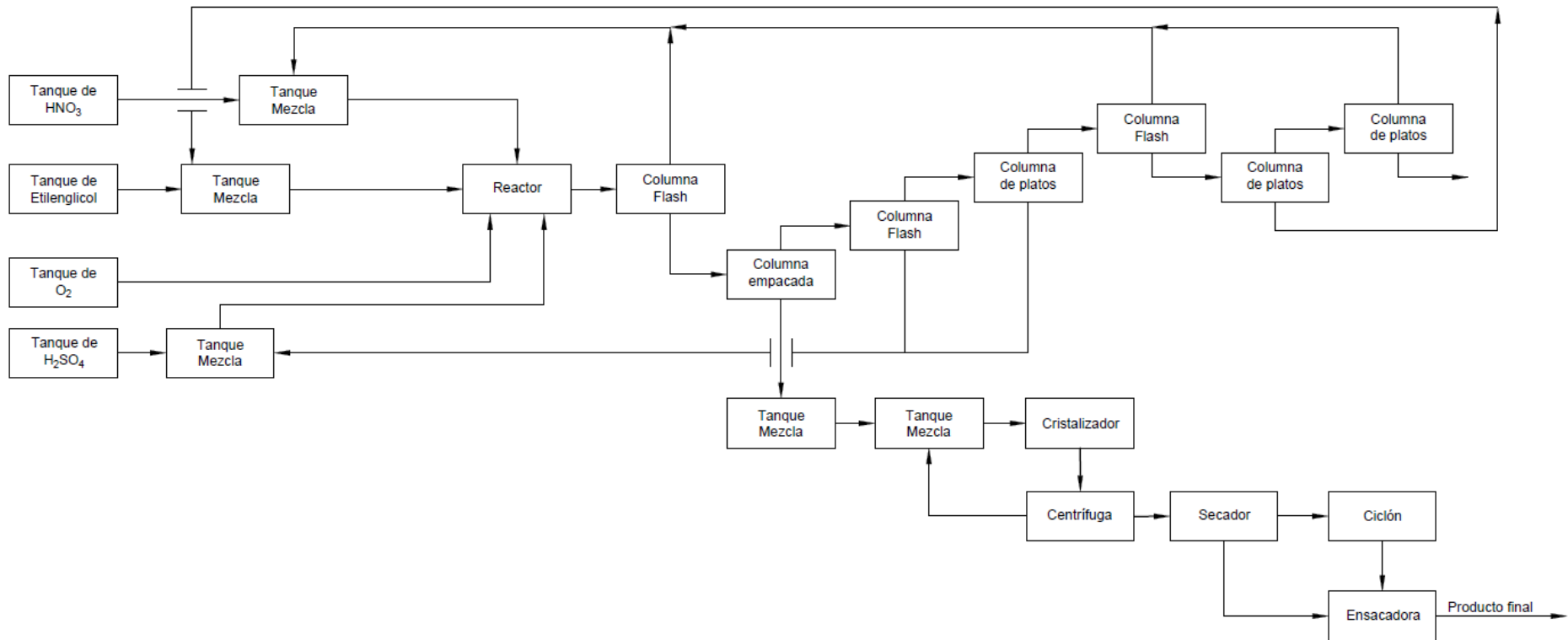
1.5.Proceso de producción

1.5.1.Descripción proceso de producción

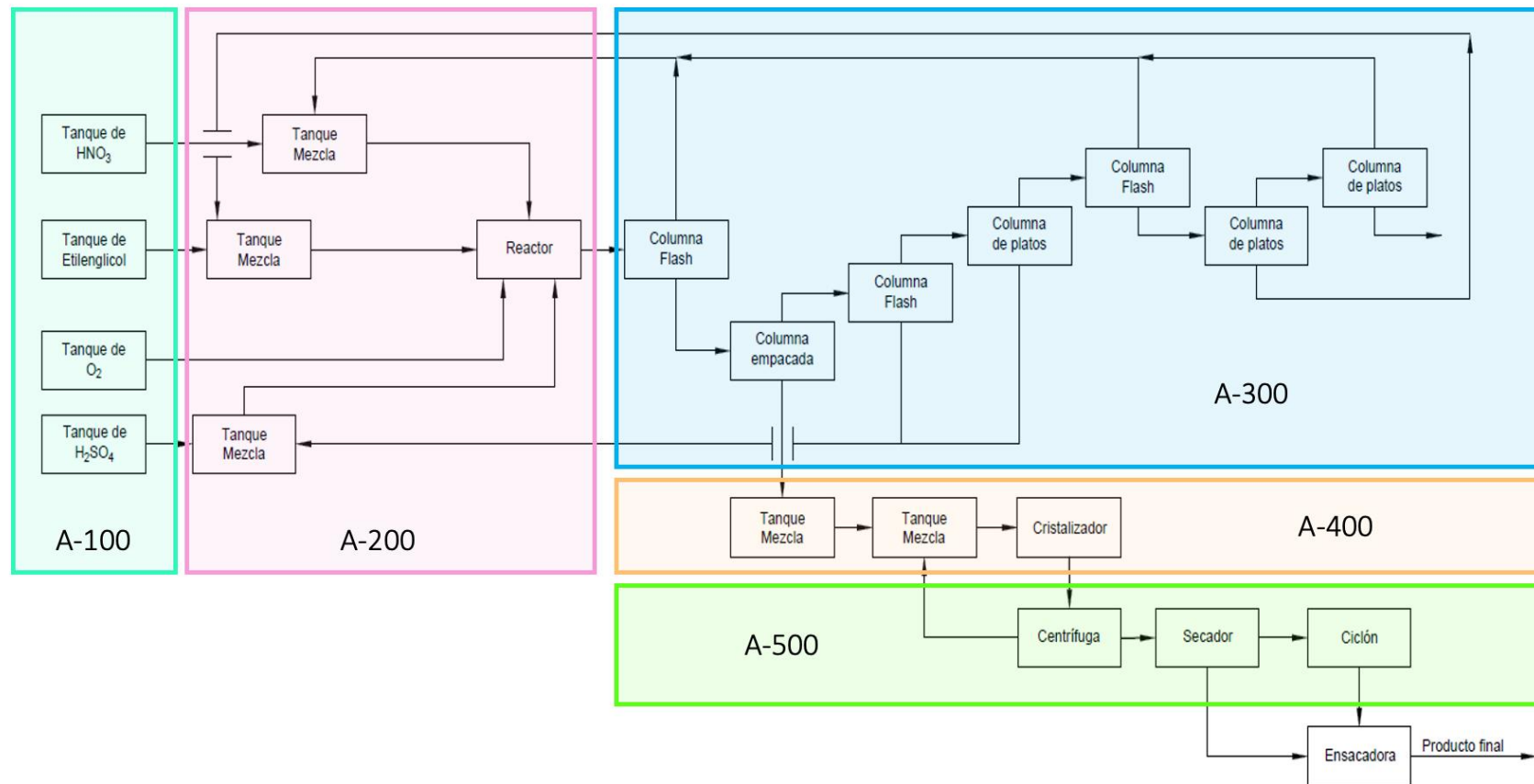
El proceso de producción del ácido oxálico a partir de Etilenglicol y oxígeno, con ácidos como promotores, está fundamentado a partir de la patente 3,691,232. [20]

La reacción principal que se da en el reactor es a partir de etilenglicol y oxígeno, en presencia de ácido sulfúrico y ácido nítrico y se forma ácido oxálico y agua.

1.5.2. Diagrama de bloques



1.5.3. Diagrama de bloques separado por áreas



1.5.4. Diagrama de proceso y balance de materia

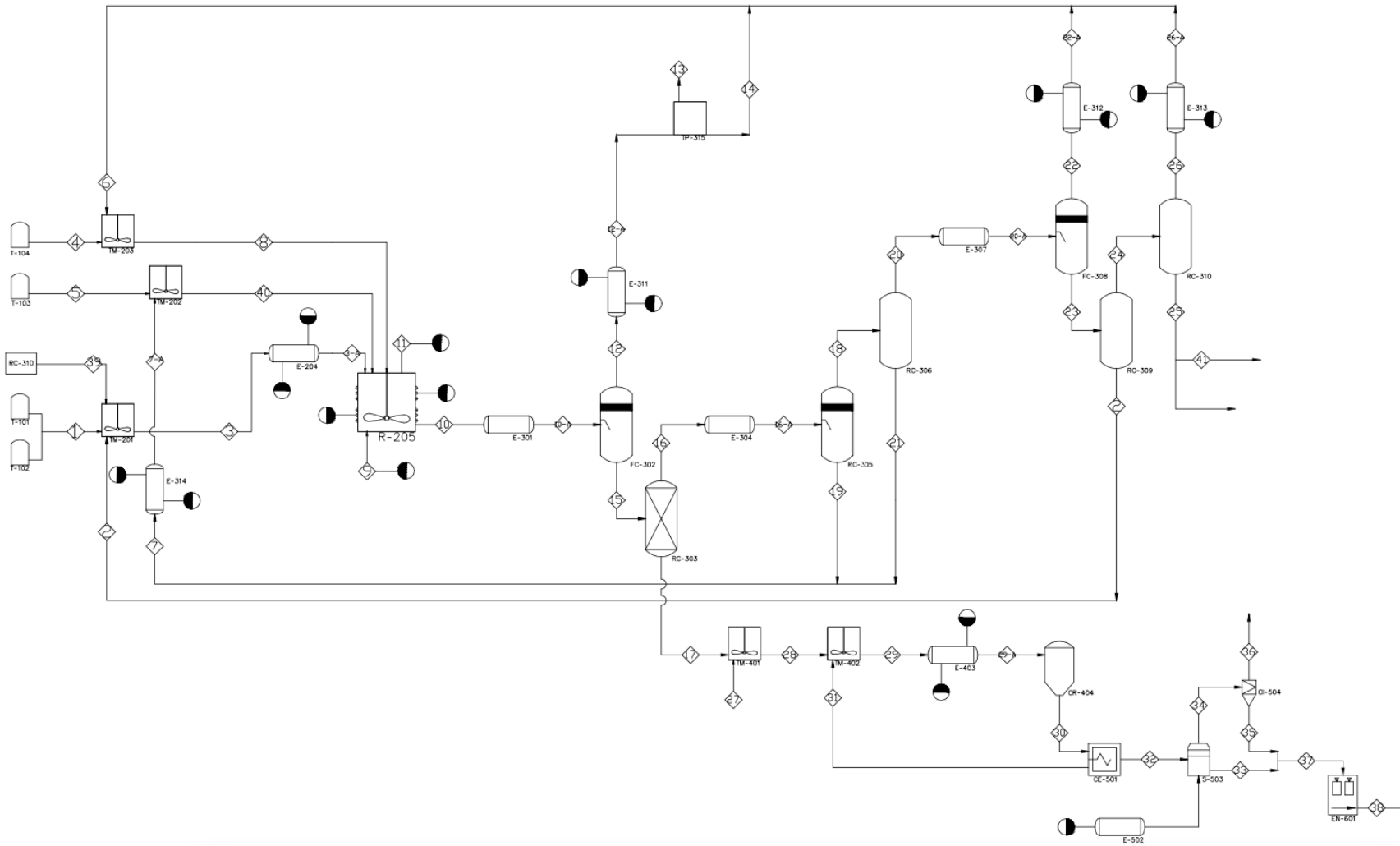


Tabla 1. 9: Balance de materia

Corriente	Etilenglicol	O ₂	H ₂ SO ₄	HNO ₃	Agua	Oxálico	Temperatura (°C)
1	2183	-	-	-	11	-	25
2	380	-	-	-	-	-	197
3	2563	-	-	-	46	-	50
3A	2563	-	-	-	46	-	25
4	-	-	-	-	-	-	25
5	-	-	-	-	-	-	25
6	14	-	2	13521	12387	Trazas	25
7	149	-	12465	14	26	53	250
7A	149	-	12465	14	26	53	25
8	14	-	2	13521	12387	Trazas	25
9	-	2647	-	-	-	-	25
10	554	155	12467	13535	13694	3147	80
10A	554	155	12467	13535	13694	3147	105
11	-	335	-	-	-	-	80
12	6	155	2	10190	8706	-	105
12A	6	155	2	10190	8706	-	25
13	-	155	-	-	-	-	25
14	6	-	2	10190	8706	-	25
15	548	-	12465	3345	4988	3147	105
16	548	-	12465	3345	4988	53	103
16	548	-	12465	3345	4988	53	231
17	0	0	0	0	0	3094	296
18	510	-	6599	3331	4963	22	231
19	39	-	5865	14	26	30	231
20	399	-	0	3331	4962	0	91
20A	399	-	0	3331	4962	0	96
21	111	-	6599	0	1	22	270
22	8	-	0	2751	2837	0	96
22A	8	-	0	2751	2837	0	25
23	391	-	-	580	2125	0	96
24	11	-	0	580	2125	-	96
25	11	-	-	-	1281	-	100
26	0	0	0	580	844	-	96
26A	0	0	0	580	844	-	25
27	0	0	0	0	2156	0	25
28	0	0	0	0	2156	3094	185
29	0	-	-	-	3982	3392	140
29A	0	-	-	-	3982	3392	80

30	-	-	-	-	3982	3392	30
31	-	-	-	-	1862	262	30
32	-	-	-	-	2120	3130	30
33	-	-	-	-	960	2400	90
34	-	-	-	-	1160	730	90
35	-	-	-	-	240	600	80
36	-	-	-	-	920	130	70
37	-	-	-	-	1200	3000	50
38	-	-	-	-	1200	3000	50
39	-	-	-	-	1200	3000	-
40	-	-	-	-	1200	3000	-

Nota: todos los corrientes están expresados en kg/h.

1.5.5.Descripción detallada del proceso

El modo de operación de esta planta es en continuo y trabaja a presión atmosférica. Como se puede observar en el diagrama de bloques, los equipos principales son: tanques de almacenamiento, tanques mezcla, un reactor, un cristalizador, diferentes tipos de columnas de separación, una centrífuga, un secador y una tamizadora ensacadora.

El proceso se compone de cinco etapas muy diferenciadas. En primer lugar, tenemos el almacenamiento de los reactivos, seguido del acondicionamiento de los reactivos para la posterior reacción, después la separación del ácido oxálico de los compuestos que no han reaccionado y reaprovechamiento de estos. Seguidamente, está la cristalización del ácido oxálico y, por último, el acondicionamiento del producto final.

La primera etapa se compone del almacenamiento del etilenglicol, el ácido nítrico y del ácido sulfúrico.

La segunda etapa tiene como objetivo entrar los reactivos al reactor con las concentraciones y condiciones adecuadas.

En primer lugar, el etilenglicol (1) entra a un mezclador donde se homogeneiza con otro caudal de etilenglicol (2) que se recircula en el proceso, ya que no ha reaccionado. Proviene de los equipos de separación que se detallarán más adelante.

Además, hay una entrada de agua en el tanque mezcla, que permite que la concentración de entrada al reactor sea la misma que la de la patente que se ha usado. Este corriente de agua (25) proviene de un corriente de salida de una columna de separación que se explicará más adelante.

Por otro lado, el oxígeno entra al reactor a partir de unos difusores situados en la parte inferior del reactor (9). Como el oxígeno no se disuelve al 100%, hay una salida de oxígeno en el reactor que permite recircularlo otra vez al reactor. (11)

Finalmente, entran los ácidos. En primer lugar, el ácido sulfúrico (5) entra desde el tanque de almacenamiento hasta un mezclador, donde se homogeneiza con el caudal de recirculación (7) proveniente de las separaciones.

El ácido nítrico tiene un proceso prácticamente igual al del ácido sulfúrico. El caudal de ácido nítrico puro (4) que proviene del tanque de almacenamiento y el caudal de recirculación (6) que proviene de los equipos de separación se homogeneizan en un tanque mezcla.

La entrada de ácidos puro, que proviene de los tanques de almacenamiento, es muy baja, ya que se recirculan prácticamente todos los ácidos. Esto pasa porque, como ya se ha comentado, se trata de catalizadores, y por lo tanto no reaccionan.

Aun así, es imprescindible poner estos tanques y estas entradas, ya que se asumen pérdidas del 5% en el proceso de recuperación, es decir, en las separaciones.

Para resumir, en la entrada del reactor (corrientes 3,8,42,9) tenemos etilenglicol al 6% - aproximadamente-, ácido nítrico al 30%, ácido sulfúrico al 29%, agua en un 28% y el oxígeno, aunque está en exceso en la fase gas, tiene una concentración del 6% en masa en la parte disuelta. El exceso se consigue porque se trata de un reactor bifásico donde el 25% del volumen total es oxígeno.

En el reactor reacciona el etilenglicol con el oxígeno con una conversión de 80%. Por esto, en la salida del reactor (10) hay un caudal con ácido sulfúrico (aprox. 29%), ácido nítrico (aprox. 30%), ácido oxálico (aprox. 7%), agua (aprox. 32%), y oxígeno disuelto (aprox. 1%). Además, hay una salida de oxígeno (11). La reacción se da a 80°C, y el corriente de salida (10) está a la misma temperatura.

Como se puede observar, el ácido oxálico está muy diluido, es por eso por lo que a continuación se ha diseñado un conjunto de operaciones de separación a partir de columnas de destilación y columnas de rectificación que permiten separar el ácido oxálico de los otros componentes y también, separar los demás componentes entre sí para recircularlos otra vez al sistema.

La primera columna flash trabaja a 105°C y permite separar gran parte del ácido nítrico y de agua de la mezcla. Por la parte superior (12) sale un corriente en fase gas compuesto por aproximadamente un 60% en ácido nítrico, un 40% aproximadamente de agua y un poco de oxígeno. Este corriente se condensa a través de un intercambiador de calor de carcasa y tubos y entra a un tanque pulmón, donde se elimina el oxígeno que se ha quedado en fase gas (13) y el ácido nítrico y el agua se recirculan al tanque mezcla de ácido nítrico. (14). El corriente de salida del intercambiador de calor está a 25°C

Por la parte inferior de esta misma columna de destilación flash (15) sale el ácido oxálico al 13%, ácido sulfúrico al 50%, ácido nítrico al 14%, etilenglicol al 2% y trazas de oxígeno disuelto. La temperatura de este corriente es de 105°C

Como ya se ha dicho, el objetivo principal de las operaciones de separación de esta planta es separar el ácido oxálico del resto de los componentes para poder cristalizarlo posteriormente. Es por esto por lo que el corriente 15 entra a una columna de rectificación empacada. Esta columna trabaja a 296°C y consigue separar por la parte inferior el ácido oxálico en una concentración prácticamente del 100%. Salen trazas de ácido sulfúrico y de etilenglicol, pero se pueden considerar negligibles.

Por la parte superior de la columna empacada (16) tenemos un corriente con una mezcla de todos los componentes. El ácido oxálico al 0,25%, ácido sulfúrico al 58%, ácido nítrico al 16%, etilenglicol al 3%, agua y trazas de oxígeno disuelto. La temperatura de este corriente es del 102°C.

Este último corriente (16) entra a otra columna flash. Esta columna trabaja a 102°C, y el objetivo principal es separar el máximo del ácido sulfúrico del corriente para poder recircularlo al reactor. Se consigue una salida por colas (19) con un 98% en ácido sulfúrico, y el resto son pequeñas concentraciones de ácido nítrico, ácido sulfúrico etilenglicol y ácido oxálico. Todo el caudal se recircula al reactor, pasando primero por el tanque mezcla de ácido sulfúrico.

Por cabezas de esta segunda columna de destilación flash (18), se obtiene un caudal con una mezcla de los componentes, ácido oxálico al 0,14%, ácido sulfúrico al 43%, ácido nítrico al 22%, etilenglicol al 3%, y agua al 32%.

El caudal (18) entra en otra columna de rectificación, con el objetivo de separar todo el ácido sulfúrico, y como el corriente 19, recircularse al reactor, pasando primero por el tanque mezcla de ácido sulfúrico.

Por lo tanto, por la parte inferior de la columna de rectificación (21) se obtiene un caudal principalmente formado por ácido sulfúrico, concretamente al 98%. Además, tiene casi un 2% de etilenglicol y un 0,3% de ácido oxálico. La temperatura de este corriente es de 270°C, que posteriormente junto al corriente 19, entran a un intercambiador de calor que baja la temperatura a 25°C y después entran al tanque de ácido sulfúrico.

Por la parte superior de esta columna (20) se obtiene un caudal principalmente formado por ácido nítrico y agua. Concretamente un 58% de agua y un 38% de ácido nítrico. También hay un 0,5% de etilenglicol. Este corriente sale a una temperatura de 91°C.

Con el objetivo de recuperar este etilenglicol, este corriente (20) pasa por una tercera columna flash, donde se consigue un caudal por cabezas con solo ácido nítrico al 49% y agua al 51%, que se recircula al reactor, al igual que el corriente 14, pasando primero por el tanque mezcla de ácido nítrico.

Por la parte inferior de la columna (23) sale un corriente con ácido nítrico al 19%, agua al 69% y etilenglicol al 12%. En este punto se quiere separar el etilenglicol, por esto el corriente 23 pasa por una tercera columna de rectificación.

A la salida por colas de esta columna, se obtiene un caudal concentrado en etilenglicol, prácticamente al 100%. Sale a una temperatura de 380°C.

En la salida de esta columna de rectificación obtenemos un caudal (24), por cabezas a una temperatura de 96°C con ácido nítrico al 21%, agua 78% y etilenglicol al 0,3%.

Como se quiere aprovechar al máximo los ácidos, pero la concentración de este corriente está demasiado diluida en ácido nítrico, se pasa por una cuarta columna de rectificación con el objetivo de conseguir un caudal más concentrado en ácido nítrico.

Por lo tanto, por cabezas de la columna de rectificación sale un corriente con una concentración de ácido nítrico al 41%. Este caudal (26) se recircula al tanque mezcla de ácido nítrico, al igual que los corrientes 22 y 14.

El corriente que sale por colas está compuesto prácticamente por agua al 99% y menos de un 1% de etilenglicol (25). Aproximadamente, un 3% de este corriente, se usa como entrada de agua en el tanque mezcla de etilenglicol.

Hasta aquí se ha explicado el proceso en las tres primeras etapas, a continuación, se explicará el proceso de cristalización y de acondicionamiento de los reactivos.

En primer lugar, se vuelve al corriente que sale de la segunda columna empacada (17), que está compuesto casi en un 100% de ácido oxálico a una temperatura de 296°C.

Este corriente no puede entrar con estas condiciones al cristalizador, ya que no cumple con las condiciones requeridas. Antes de entrar al cristalizador se necesita un 46% en masa de ácido oxálico y una temperatura de 80°C.

Es por eso, por lo que se han diseñado dos tanques mezcla y un intercambiador en la entrada del cristalizador.

El primer tanque mezcla permite añadir un caudal de agua determinado, consiguiendo una concentración del 59% en masa en el caudal de salida del primer tanque mezcla (28).

A continuación, en el segundo tanque mezcla, se añade un caudal de recirculación de la centrífuga (31), que se explicará más adelante.

A la salida del segundo tanque mezcla la concentración es la óptima para la cristalización, solo falta bajar la temperatura a 80°C. Esto se consigue con un intercambiador de calor que baja la temperatura de 140°C a 80°C.

En este punto, el corriente 29 tiene las condiciones ideales para la cristalización. En la cristalización, gracias al fluido refrigerante, se baja la temperatura de 80°C a 30°C, y se da la cristalización.

La cristalización tiene un rendimiento del 100%, es por esto, que gracias a la centrífuga se separa los sólidos que han cristalizado (32) de las aguas madre (31).

Los sólidos que salen de la centrífuga siguen teniendo humedad, y no cumplen con los requerimientos de la planta, es por esto por lo que se ha diseñado un secador de lecho fluidizado el cual consigue eliminar la humedad hasta un 6% mediante un caudal de nitrógeno gas caliente. Seguidamente, el nitrógeno gas que sale del secador, junto con

el porcentaje de ácido oxálico dihidratado que arrastra, se hace pasar por el ciclón que elimina las partículas en suspensión. La salida de finos de la parte inferior del ciclón se añade a la corriente de salida del secador, que es el producto final.

Finalmente, el ácido oxálico dihidratado ya está listo para ser ensacado, pero antes, para poder asegurar la calidad del producto y que cumpla con el tamaño de grano, se hace pasar el corriente 37 por una maquina ensacadora con un tamizador instalado en la tolva de esta.

1.6. Departamentos y gestión

Una parte muy importante en una empresa es la organización del personal y de los turnos. La planta trabajará 320 días por año, y habrá dos paradas anuales, una en las vacaciones de navidad y otras en las vacaciones de verano.

A continuación, se explicará los diferentes departamentos que habrá en ACIDOX INDUSTRY S.L.

1.6.1. Departamento de producción y ensacado

El departamento de producción estará formado por diferentes posiciones. A grandes rasgos, están los responsables del departamento y los operarios.

El objetivo de este departamento es que la producción y todas las operaciones que conlleva se hagan de forma correcta.

Además, este departamento también engloba el ensacado del producto final. La parte de ensacado es la parte más manual del proceso, por lo que habrá un grupo de operarios que se encargaran de poner las bolsas en la ensacadora.

1.6.2. Departamento de mantenimiento

EL departamento de mantenimiento es el encargado mantener, reparar y revisar los diferentes equipos de la planta.

En ACIDOX INDUSTRY S.L, como en la mayoría de las empresas, el mantenimiento se puede clasificar como preventivo, predictivo o correctivo.

El objetivo de esta empresa es conseguir que el mantenimiento correctivo sea el mínimo, aunque es prácticamente imposible que sea cero, se trabajará mucho con el mantenimiento preventivo y predictivo para lograr tener un mínimo correctivo.

Este departamento también se encargará de la contratación de la obra pública.

1.6.3. Departamento de ingeniería

El departamento de ingeniería de ACIDOX INDUSTRY S.L se encarga principalmente del estudio de paros y de costes del departamento de producción. El objetivo que tiene es acortar tiempos de paro, reducir en costes y aplicar el método de *lean manufacturing*.

Uno de los perfiles que habrá en este departamento será el ingeniero de proceso, que se encargará de analizar, evaluar y mejorar la eficiencia de los procesos; de analizar los flujos de trabajo dentro y a través de todos los departamentos para determinar cómo toda la empresa puede trabajar mejor en conjunto.

Además, en esta planta, se quiere crear un proyecto anual de mejora continua, de manera que la empresa sea cada vez más rentable y eficiente, cumpliendo siempre todas las normativas vigentes.

1.6.4. Departamento de calidad

El departamento de calidad en ACIDOX INDUSTRY S.L cuenta un gran número de empleados con diferentes funciones.

En el departamento de calidad se gestionan muchos temas como, por ejemplo, la gestión de los documentos, las formaciones que deben tener todos los trabajadores, legislaciones vigentes entre otros.

En ACIDOX INDUSTRY S.L también se dispondrá de un equipo de auditores que realizarán las auditorías internas, para comprobar que se está trabajando y cumpliendo todas las normativas.

En el departamento de calidad de esta empresa también habrá un equipo de técnicos de laboratorio que se dedicarán a analizar diferentes muestras de diferentes partes del proceso para verificar el correcto funcionamiento de la planta y el cumplimiento de los requerimientos del producto final.

1.6.5. Departamento de I+D+i

El objetivo del departamento de I+D+i en esta empresa es la búsqueda de servicios o productos que puedan mejorar aspectos de la empresa, desarrollarlos a nivel de laboratorio y finalmente escalarlos a la producción real, con el objetivo de mejorar aspectos de la producción.

1.6.6. Departamento HSEQ

El departamento de HSEQ (Healthy, Safety, Environmental and Quality), lidera la salud, seguridad, medioambiente y calidad, por lo que será imprescindible en ACIDOX INDUSTRY S.L.

Las responsabilidades de este departamento son cuidar la salud y la seguridad de los empleados y garantizar que el ambiente de trabajo sea seguro para todos los empleados que trabajan dentro de la organización. [21]

Se encarga también de implementar políticas, resolver problemas y trabajar constantemente para minimizar el riesgo de accidentes o cualquier otra lesión que pueda ocurrir dentro de la empresa. [21]

Una parte del trabajo que hará este departamento es una revisión periódica para comprobar que la planta funciona de manera segura y que los trabajadores siguen las normas establecidas. En el apartado 09. Operación en planta, se detalla más esta función.

1.6.7. Departamento financiero

El departamento financiero se encarga de la financiación. Esta financiación es necesaria para que la empresa pueda sufragar los costes de sus necesidades.

Además, el departamento planifica los gastos y pagos para que la organización siempre tenga dinero para afrontar sus pagos de forma puntual, teniendo una situación patrimonial saneada. [22]

En una fábrica como ACIDOX INDUSTRY S.L la financiación es imprescindible, porque como se puede observar en el apartado 07. Evaluación económica, los costes son muy elevados.

1.6.8. Departamento de recursos humanos

El departamento de recursos humanos se encargará de buscar trabajadores con las aptitudes necesarias y las más indicadas para el puesto de trabajo, a través de entrevistas, procesos de selección y desarrollo. [22]

En ACIDOX INDUSTRY S.L se quiere conseguir que los trabajadores estén a gusto y que estén motivados, por lo que, una función fundamental de este departamento es asegurarse de ello y, en caso de que haya habido algún incidente entre ellos, tratar de ver qué vías tomar para asegurarse de que no perjudique las relaciones sociales de dentro de la organización.

1.6.9. Departamento de marketing y comercial

El departamento de marketing trabaja para conseguir más y mejores ventas, además de asegurarse de que los clientes reciben un buen trato, invitándolos a que vuelvan a comprar ácido oxálico en ACIDOX INDUSTRY S.L.

También, se encarga de distribuir el producto de tal forma que esté disponible en el momento oportuno, en la forma y cantidad pertinentes, en el espacio que se precise y a un precio competitivo, ni demasiado caro para que el consumidor no lo compre ni demasiado barato como para que la empresa tenga pérdidas. [22]

1.6.10. Departamento de compras

Para poder conseguir una calidad óptima del producto final y a un precio competitivo, el departamento de compras es imprescindible, por lo que la principal función del departamento de compras es adquirir buenas materias primas o piezas a usar en fabricación, con un costo reducido, de calidad y, siempre que se pueda, sin defectos de fábrica.

1.6.11. Departamento de logística y operaciones

El departamento de logística y operaciones en ACIDOX INDUSTRY S.L es considerado uno de los más importantes, porque es el motor para la competitividad de la organización y su desarrollo económico. [22]

Viendo la situación de desarrollo actual de las tecnologías, el departamento de logística cada vez tiene más importancia, es por esto, por lo que en esta planta se ha potenciado mucho este departamento.

Un tema importante es que, después de la pandemia del SARS-CoV-2, las compras online han aumentado mucho, por lo que la mayoría de las empresas gestiona las compras de forma online. Este departamento se encargará de gestionar estos temas.

1.7. Constitución de la planta

1.7.1. Distribución de la planta

Se ha hecho una propuesta de las diferentes partes que deben conformar la planta y su distribución, intentado optimizar los espacios, minimizar el riesgo de accidente y que sea práctica para los trabajadores.

La entrada en la planta es única para trabajadores, transportistas y visitas externas, de manera que haya un control exhaustivo de las personas que entran y salen de la planta. Para los trabajadores hay aparcamiento, situado cerca del acceso a planta y de las oficinas.

La distribución diseñada se presenta en la figura 1.7

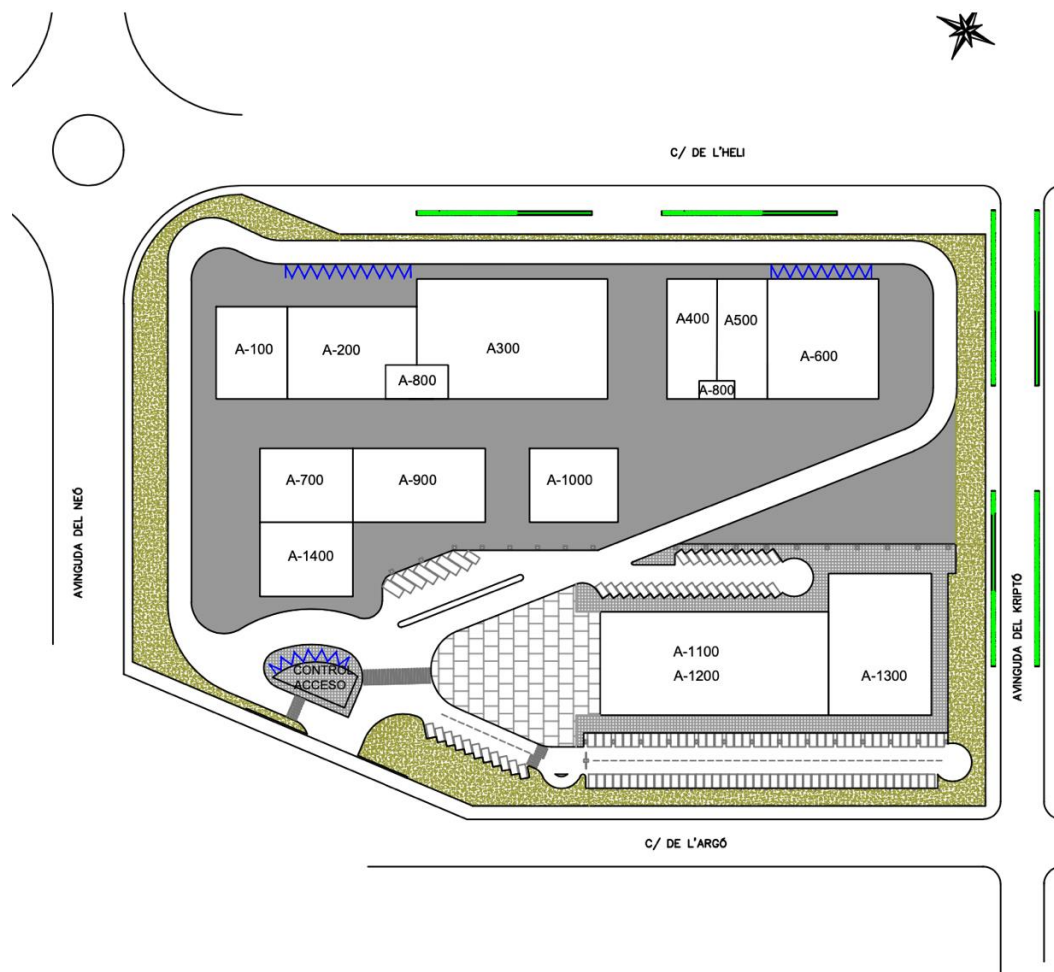


Figura 1.7. Distribución de la planta por áreas

Las áreas que conforman la planta se presentan en la *Tabla 1.9.*

Tabla 1. 10:Áreas de la planta ACIDOX INDUSTRY S.L

Abreviación	Área
A-100	Parque de tanques de reactivos
A-200	Zona de reacción
A-300	Zona de separación
A-400	Zona de cristalización
A-500	Acondicionamiento y envasado del producto
A-600	Almacenaje del producto
A-700	Servicios de la planta
A-800	Sala de control
A-900	Mantenimiento
A-1100	Oficinas
A-1200	Laboratorio
A-1300	Comedor y vestuarios
A-1400	Sistema contra incendios

1.7.2.Descripción de las áreas

Área 100: Almacenamiento de las materias primas

En el área 100 se almacenan los dos reactivos de la reacción, etilenglicol y oxígeno. Se almacenan teniendo en mente una autonomía de la planta de una semana. Además, también hay almacenamiento de los dos catalizadores del proceso, el ácido sulfúrico y el nítrico.

La distribución dentro de esta área se ha hecho siguiendo la normativa ITC-MIE-APQ, que se expone en el apartado 5. Seguridad e Higiene.

Se ha situado cerca de la zona de reacción, para minimizar el transporte de los fluidos a la zona productiva.

Al lado de esta área se encuentra una zona de descarga para los camiones cisterna.

Área 200: Zona de reacción

En esta parte de la planta se sitúan tres tanques mezcla y el reactor. Los tanques permiten controlar la entrada de los reactivos al reactor y garantizan la homogeneización de los corrientes, que proceden de las operaciones de la separación que hay en el área 300 y de los tanques de almacenamiento.

El reactor tiene un volumen de unos 200 m³, y es bifásico. Uno de los reactivos, el oxígeno se encuentra en fase gas.

Área 300: Zona de separación

El corriente que sale del reactor pasa por distintas operaciones de separación, separadores *flash* y columnas de destilación, con el objetivo de poder separar al máximo el ácido oxálico, que es el producto, y también los ácidos nítrico y sulfúrico, para poder aprovecharlos en el proceso.

En esta zona se trabaja a una temperatura elevada, así que hay varios intercambiadores de carcasa y tubos que funcionan con vapor para conseguir la temperatura adecuada de cada corriente.

Los corrientes que se recirculan a los tanques mezcla del área 200, primero se enfrían, por lo que también hay intercambiadores que trabajan a temperatura bajas.

Área 400: Zona de cristalización

De la zona de separación se obtiene un corriente de ácido oxálico muy concentrado. En esta área se añade el agua necesaria en tanques mezcla, para que cuando entre al cristalizador y baje la temperatura el producto cristalice correctamente.

Área 500: Acondicionamiento y envasado del producto

Aquí se produce la separación de los cristales de ácido oxálico dihidrato, el producto, de las aguas madres del cristalizador. El transporte de los sólidos se hace por gravedad. Se pasa por un secador, que usa nitrógeno y se envasa el producto en big-bags de una tonelada.

Área 600: Almacenamiento

Almacén donde se guardan las sacas de producto, para que puedan ser recogidas. Anexo al almacén hay una zona de carga de camiones.

Área 700: Servicios de planta

La planta tiene los servicios necesarios juntos en una misma área. Hay la caldera de vapor, el chiller y la torre de refrigeración, entre otros.

Área 800: Sala de control

Hay 2 salas de control diferenciadas, una que comparten el área 200 y 300 y otra para el área 400 y 500.

Área 900: Zona de mantenimiento

Se sitúa el taller para las reparaciones y también el almacén de las herramientas y los recambios de válvulas, bombas y tuberías (entre otros) necesarias para tener un correcto mantenimiento de la planta, tanto correctivo como preventivo.

Área 1100: Oficinas

Espacio requerido para una parte de los trabajadores de la planta. También se incluyen salas de reunión.

Área 1200: Laboratorio

Se plantean dos tipos de laboratorios, los que pertenecen al departamento de calidad y al departamento de I+D. El departamento de calidad se encarga de comprobar que el producto final cumple con los requerimientos de venta, y se encarga de analizar diferentes puntos del sistema con el objetivo de solucionar problemas antes de que afecten a la calidad final del producto.

El departamento de I+D tiene como objetivo investigar y desarrollar en nuevas técnicas y componentes para poder plantear mejoras en el proceso actual.

Área 1300: Vestuarios y comedor

Por la necesidad de uso de equipos de protección individual en la planta (EPI) es necesario que haya vestuarios para los trabajadores.

También hace falta un comedor, un espacio habilitado que tenga máquinas de café y fuentes de agua, para el descanso de los trabajadores.

Área 1400: Sistema contraincendios

En esta área se encuentra la balsa contraincendios, y el sistema de bombeo necesario para su funcionamiento. Las partes que la componen se desarrollan en el Apartado 5. Seguridad e Higiene.

1.8. Especificaciones y necesidades de servicios

La planta ACIDOX INDUSTRY S.L tiene necesidades de ciertos servicios complementarios para un correcto proceso en la planta.

Estos servicios incluyen tanto necesidades esenciales como agua, electricidad y gas natural hasta servicios más específicos como la salmuera de refrigeración procedente del chiller o nitrógeno para la inertización de los equipos.

Estos servicios se clasifican en energías o fluidos, y según su fuente de obtención. En el caso del agua, para los distintos usos se utilizará el agua de red con los tratamientos necesarios según convenga.

A continuación, se muestra la *Tabla 1.10* con la clasificación de los servicios necesarios y su fuente de obtención.

Tabla 1. 11: Servicios requeridos en la planta

Servicio	Clasificación	Fuente
Agua de red	Fluido	Acometida a pie de parcela
Agua descalcificada	Fluido	Interna
Agua desionizada	Fluido	Interna
Agua de refrigeración	Fluido	Interna
Salmuera chiller	Fluido	Interna
Agua contra incendios	Fluido	Interna
Vapor	Fluido	Interna
Aire comprimido	Fluido	Interna
Nitrógeno	Fluido	Externa
Electricidad	Energía	Conexión des de la línea
Gas natural	Energía	Externa, conexión a pie de parcela

A continuación, se realiza la descripción de cada uno de los servicios que se requieren para que la planta ACIDOX INDUSTRY S.L funcione de manera correcta.

1.8.1. Agua de red

El agua proviene directamente del suministro a pie de parcela, se utiliza como agua a suministrar para los equipos del proceso después de pasar por un tratamiento, y para

los laboratorios, las oficinas y los vestuarios. Otro de sus usos será la limpieza de equipos y riego de zonas verdes de la parcela.

Una red de tuberías distribuirá el fluido por la planta para su posterior tratamiento y uso. Para determinar el total de agua de red utilizada se ha calculado el agua requerida por los equipos y se ha considerado un 5% de ésta, como el agua destinada a otros usos.

Tabla 1. 12: Agua de red requerida

Destinación	m ³ /h
Vapor	48.52
Agua de refrigeración	128.25
Agua desionizada	2.16
Otras	8.95
Total	187.88

1.8.2. Agua descalcificada

En la planta ACIDOX INDUSTRY S.L existe la necesidad de tener agua descalcificada en la planta para un correcto mantenimiento de los equipos utilizados en el proceso y una mayor durabilidad de estos.

Para obtener el agua descalcificada se ha instalado en la planta la descalcificadora de la empresa CULLIGAN modelo ULTRA HB4500 [23].

La descalcificadora utiliza resinas esféricas de tamaño pequeño de un material sintético inerte. Este material retiene las sales de calcio y magnesio del agua. A medida que pasa el tiempo la resina se va saturando y se tiene que tratar. Este modelo está preparado para trabajar en continuo, por lo tanto, contiene dos columnas, cuando sea necesario regenerar una de ellas, la otra estará en funcionamiento.

La descalcificadora operará a un caudal de 179x m³/h máximo en la hora de puesta de marcha o después de una parada importante. Este equipo tiene un tanque de reserva con una capacidad de 6 m³ para tener una entrada continua de agua en caso de un corte de suministro u otros problemas.

1.8.3. Agua desionizada

El equipo de agua desionizada es el encargado de proporcionar agua prácticamente libre de iones a partir de agua de red. Esta agua se utiliza para poder cumplir con las

necesidades de agua en el tanque mezcla de la zona 400, donde se mezclará agua desionizada con el corriente de ácido oxálico que proviene de la zona 300. Esta agua también abastecerá equipos y circuitos que la requieran de forma puntual.

Para llevar a cabo la desionización se ha instalado en la planta un equipo de ósmosis inversa que trabaja a una temperatura de 25°C y presiones entre 6 y 14 bares.

Este equipo es de la empresa IDEAGUA modelo OI4340. [24]

La desionizadora operará a un caudal de 2,16 m³/h. Este caudal entrará de forma continua en el tanque mezcla de la zona 400.

1.8.4. Agua de refrigeración

En las necesidades de intercambio de calor que presenta la planta ACIDOX INDUSTRY SL., el papel del agua de torre de refrigeración es muy importante. Esta agua se ha utilizado para el equipo E-403. La temperatura de salida del agua de la torre será de 25°C. La necesidad de agua de refrigeración que tiene este intercambiador es de 128,25 m³/h. Además, tendrá un consumo de 2234 kW.

1.8.5. Chiller

Gran parte de la refrigeración de la planta se hará utilizando salmuera. Este refrigerante puede alcanzar temperaturas negativas, permitiendo cumplir con las grandes exigencias de refrigeración. La salmuera nos la proporcionará la empresa UNION SALINERA DE ESPAÑA S.A.

El chiller trabajará bajando la temperatura de la salmuera de refrigeración a -15°C. El caudal y consumo que tendrá este chiller se muestra en la Tabla 1.13.

Tabla 1. 13: Salmuera de chiller a -15°C.

Equipo	Caudal (m ³ /h)	Potencia (kW)	Equipo	Caudal (m ³ /h)	Potencia (kW)
E-201	1,23	44,90	E-314	35,02	1277,52
E-311	225,51	7050,88	R-205	92,94	3874,53
E-312	16,48	601,12	CR-404	19,47	405,78
E-313	2,47	89,92	Total	393,11	13344,65

1.8.6. Agua contra incendios

Hay equipos contra incendios que requieren de un suministro de agua de red, esta agua se almacenará en una balsa. Este flujo de agua que llega a la planta tendrá una presión de 4 kg/cm^2 , por lo que es necesario una balsa para almacenar agua y un sistema de bombeo para que el agua llegue con la suficiente presión al lugar donde se produce el incendio o la explosión.

1.8.7. Vapor de agua

Para realizar las operaciones de calentamiento en la planta, se ha instalado en planta una caldera de vapor. El agua que se utiliza en este equipo debe estar descalcificada para evitar incrustaciones, debido a que se trabajará con esta agua en un circuito cerrado. La caldera tendrá una temperatura de salida de vapor a 250°C y una presión de 8 bar. El caudal necesario de vapor y la potencia requerida para calentar este se encuentran en la Tabla 1.14.

Tabla 1. 14: Vapor de agua requerido.

Equipo	Caudal (m^3/h)	Potencia (kW)
E-505	0.17	19.57
E-304	43.46	7403.49
E-307	3.83	430.48
Total	47.46	7853.23

1.8.8. Aire comprimido

Para enviar las diferentes señales electrónicas del transductor y convertirlas en neumáticas para las válvulas de control se utiliza aire comprimido. Los equipos que forman el sistema de aire comprimido se componen de un filtro, que elimina las partículas sólidas del aire, un tanque acumulador, que permite eliminar la humedad del aire, y de un compresor.

Para poder hacer un cálculo aproximado del caudal necesario de aire comprimido que requerirá la planta, se ha multiplicado el número de válvulas de control que hay en planta por el caudal máximo que puede tener una válvula, $3 \text{ m}^3/\text{h}$.

En esta planta se han instalado un total de 70 válvulas que necesitan aire comprimido, y su caudal máximo será de $210 \text{ m}^3/\text{h}$. En el peor de los casos, donde estén en funcionamiento simultáneo todas las válvulas que requieran de aire comprimido, el

consumo de este será de 3500 L/min. En vista de este consumo, se escoge un compresor de la empresa PUSKA [25] que pueda cumplir con estas necesidades.

1.8.9.Nitrógeno

Una operación vital en cualquier planta química es la inertización con nitrógeno de los equipos que lo requieran, y aún más si existe algún producto inflamable, como es el caso. Esta operación se lleva a cabo para formar atmósferas inertes dentro de los equipos. Además, también sirve para quitar la humedad del sistema en la puesta en marcha. El nitrógeno será suministrado a la planta por una empresa exterior y se almacenará hasta que sea necesario su uso.

Otro requerimiento de este gas que tiene la planta es un corriente de 5600 kg/h que será utilizado en el secador para eliminar la humedad con la que entran a este los cristales de ácido oxálico dihidratado.

El volumen total que se requiere de nitrógeno para realizar la inertización de los tanques de almacenamiento, mezcla, reactor y cristalizador es de 736 m³ a presión atmosférica.

1.8.10.Electricidad

El suministro de electricidad tiene la función de abastecer todos los equipos que lo requieran, así como las oficinas, sala de control, iluminación de toda la planta y equipos de proceso. Este servicio viene a través de una red eléctrica, donde se sitúa la conexión a pie de parcela desde la línea de 20.000 V.

La planta operará a 230V o 380 V a 50 Hz, ósea que necesita un transformador para disponer del voltaje de trabajo requerido. El consumo máximo de la planta es de 35000 kW. Por lo tanto, se necesita un transformador de distribución con relación al consumo de la planta.

Si se diera una fallada en el suministro eléctrico, la planta debe tener un grupo electrógeno que mantenga los servicios funcionando. Este grupo funcionará con gas natural y se encenderá automáticamente en caso de corte eléctrico, pudiendo abastecer el total de la demanda eléctrica de la planta.

1.8.11. Gas natural

El gas natural es el combustible con el cual se alimenta la caldera de vapor. Esta caudal de combustible se proporciona mediante una conexión a pie de parcela a una presión media de $1,5 \text{ kg/cm}^2$. La caldera de vapor tiene una necesidad de caudal continuo de $2547 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Bibliografía

1. **Bohnet, Matthias.** *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Weinheim, Alemania : Wiley-VCH, 2002.
2. **Wikipedia.** Tárrega. [En línea] Fundación Wikimedia, Inc., 18 de Mayo de 2021. <https://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%A1rrega>.
3. **Google.** Google Maps. [En línea] Google, 2021. <https://www.google.es/maps/dir/Barcelona/T%C3%A0rrega/@41.4643531,1.3771994,10z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x12a49816718e30e5:0x44b0fb3d4f47660a!2m2!1d2.1734035!2d41.3850639!1m5!1m1!1s0x12a69ece8e285247:0x83ad835d4ff3e288!2m2!1d1.1409432!2d41.64807>.
4. **Google.** Google Maps. [En línea] Google, 2021. <https://www.google.es/maps/dir/L%C3%A9rida/T%C3%A0rrega/@41.6785964,0.7401597,11z/data=!3m1!4b1!4m14!4m13!1m5!1m1!1s0x12a6e048e73bd37f:0xa0d32ea2d259aaaf!2m2!1d0.6200146!2d41.6175899!1m5!1m1!1s0x12a69ece8e285247:0x83ad835d4ff3e288!2m2!1d1.1409432!2d41.648>.
5. **Google.** Google Maps. [En línea] Google, 2021. <https://www.google.es/maps/place/25300+T%C3%A1rrega,+L%C3%A9rida/@41.6485317,1.1321236,15z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x12a69ece8e285247:0x83ad835d4ff3e288!8m2!3d41.6480797!4d1.1409432>.
6. **Generalitat de Catalunya.** Líneas. Rodalies de Catalunya. [En línea] gencat, 2021. http://rodalies.gencat.cat/es/linies_estacions_i_trens/index.html?linia=r12.
7. **Weather Spark.** Clima promedio en Tàrrega, España, durante todo el año. [En línea] Cedar Lake Ventures, Inc, 31 de Diciembre de 2016. <https://es.weatherspark.com/y/45957/Clima-promedio-en-T%C3%A0rrega-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>.
8. **Dirección General de Protección Civil y Emergencias.** Vientos Fuertes-DGPCyE. [En línea] Gobierno de España, Ministerio del Interior. <https://www.proteccioncivil.es/coordinacion/gestion-de-riesgos/meteorologicos/vientos-fuertes>.
9. **Instituto de Estadística de Catalunya.** Idescat. Anuario Estadístico de Cataluña. Meteorología. Observaciones principales. Comarcas y Aran. [En línea] gencat, 15 de Junio de 2020. http://rodalies.gencat.cat/es/linies_estacions_i_trens/index.html?linia=r12.
10. **Wikipedia.** Etilenglicol. [En línea] Fundación Wikimedia Inc., 3 de Junio de 2021. <https://es.wikipedia.org/wiki/Etilenglicol>.

11. **Roth.** Ficha de datos de seguridad: Etilenglicol. [En línea] 27 de Agosto de 2019.
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-6881-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNLy3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNjcwMjN8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNLy3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNGMvaDlyLzg5NTA5MzEyMjY2NTQucGRmfGRkZGYyZDMzNGMwMDFkMmQ5ZTI2MDhmN2U1NzgzZTNkNWU3NGNmMmY1Y2JhZTFhNWQ4NmNh.>

12. **Wikipedia.** Oxígeno. [En línea] Fundación Wikimedia Inc., 7 de Junio de 2021.
<https://es.wikipedia.org/wiki/Ox%C3%ADgeno.>

13. **Air Products.** Ficha de Datos de Seguridad: Oxígeno. [En línea] 14 de Abril de 2020.
<https://www.airproducts.com.pe/Descargar/Ox%C3%ADgeno%20Industrial%20Gaseoso?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fpe%2Fbiblioteca%2Fafbcf077d5a84e2fa70720250d0104dd.pdf.>

14. **Wikipedia.** Ácido oxálico. [En línea] Fundación Wikimedia Inc., 6 de Abril de 2021.
https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_ox%C3%A1lico.

15. **Roth.** Ficha de datos de seguridad: Ácido oxálico dihidrato. [En línea] 20 de Octubre de 2020.
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-8879-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNLy3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNTg1NDR8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNLy3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oMGQvaGMwLzkwMDQ0NjYwNDQ5NTgucGRmfDBjYzE3OTc5OTkzNTVhNWUxN2lwMTE5NjEyNWE0MGNiNDgzNjVmZDEwZDYyN2JiOTY5MjA1.>

16. **Wikipedia.** Ácido sulfúrico. [En línea] Fundación Wikimedia Inc., 23 de Junio de 2021.
https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_sulf%C3%BArico.

17. **Roth.** Ficha de datos de seguridad: Ácido sulfúrico. [En línea] 22 de Noviembre de 2019.
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-X946-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNLy3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyODU1MTN8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNLy3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNTYvaDJKLzg5NTA5ODE4MjA0NDYucGRmfDEwZjA0Y2FiZDZiNmIxMmVhN2FhYTA0YWM2YTE5ZTM0OTVmMTczNTFkNDdkOGNlMTNiMmYy.>

18. **Wikipedia.** Ácido nítrico. [En línea] Fundación Wikimedia Inc., 16 de Junio de 2021. https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_n%C3%ADtrico.

19. **Thermo Fisher Scientific.** Ficha de datos de seguridad: Nitric Acid. [En línea] 1 de Enero de 2021.

https://www.fishersci.es/chemicalProductData_uk/wercs?itemCode=10378433&lang=ES.

20. Yonemitsu, Eiichi, y otros. *Process for the production of oxalic acid*. 3691232 Estados Unidos, 9 de Diciembre de 1972.

21. School, IMF Business. IMF blog de tecnología. *HSEQ Manager funciones y conocimientos*. [En línea]
<https://blogs.imf-formacion.com/blog/tecnologia/hseq-manager-funciones-habilidades-201805/>.

22. Rubio, Nahum Montagud. Psicología y mente. *Organizaciones, Recursos humanos y Marketing*. [En línea]
<https://psicologiaymente.com/organizaciones/departamentos-empresa>.

23. Culligan España S.A. Descalcificador: Ultraline HB 1550-6600. Ficha técnica. [En línea]
https://www.culligan.es/wp-content/uploads/760950_FT_ES_UL-HB-1700-6600.pdf.

24. IDEAGUA. Equipo de Ósmosis inversa industrial 2400 litros/hora OI4340. [En línea] IDEAGUA.
<https://ideagua.com/equipo-de-osmosis-inversa-industrial-2400-litros-hora-oi4340/equipos-industriales/osmosis-industrial/industrial/7871/1474.html>.

25. Puska. Compresores Transmisión por Correa. [En línea] Puska, 2021.
<https://www.puska.com/es/productos/compresores-aire-piston/transmision-correa>.

