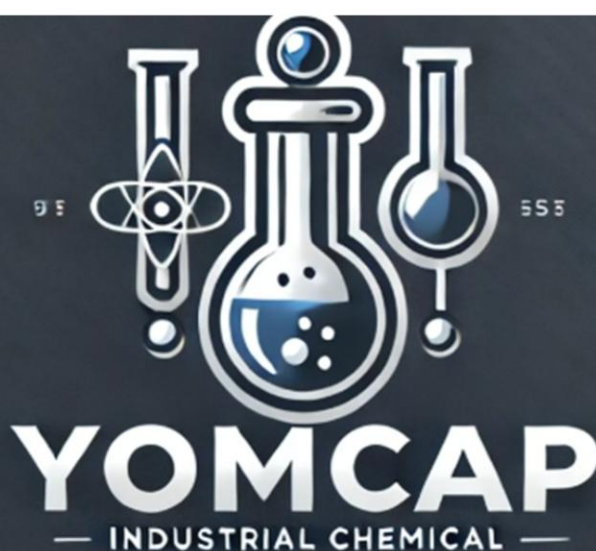


# PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MDA

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA



Abel Baños Garcia

Victor C. Becerra Hernández

Yhamiley R. Mila Nuñez

Claude F. Kamnang Tchatchouang

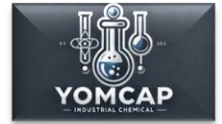
Patrícia Jover Segura

Oscar Lorenzo Lama

Miguel Ruiz Zamorano

TUTOR:

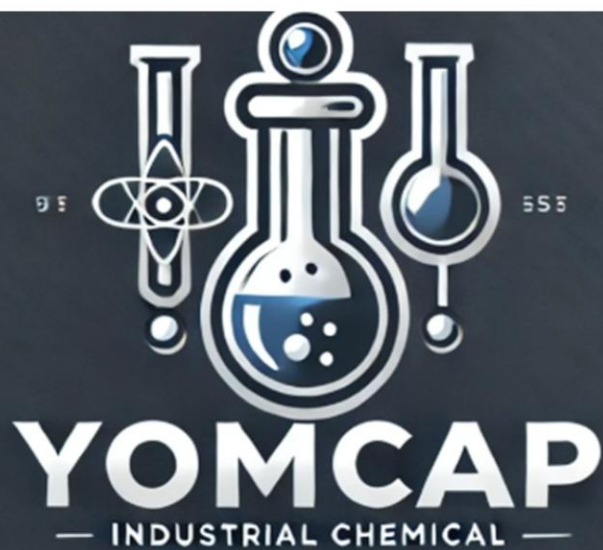
Antoni Sánchez Ferrer



# PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MDA

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA



## **CAPÍTULO 1: ESPECIFICACIONES**

**ÍNDICE**

1.1. Definición del proyecto.....	3
1.1.1. Bases del proyecto.....	3
1.1.2. Alcance del proyecto.....	3
1.1.3. Localización de la planta .....	4
1.1.3.1. Parámetros de edificación de la planta y plano de la parcela.....	4
1.1.3.2. Servicios disponibles a planta.....	6
1.1.3.3. Características del medio físico .....	6
1.2. Comunicación y accesibilidad a la planta.....	8
1.2.1. Comunicación viaria .....	8
1.2.2. Comunicación aérea .....	8
1.2.3. Comunicación Ferroviaria .....	8
1.2.4. Comunicación marítima.....	9
1.3. Características de las sustancias químicas.....	10
1.3.1. Materias primas.....	10
1.3.1.1. Anilina.....	10
1.3.1.2. Ácido clorhídrico .....	10
1.3.1.3. Formaldehído .....	11
1.3.1.4. Hidróxido de sodio .....	12
1.3.2. Subproductos.....	12
1.3.2.1. Agua .....	12
1.3.2.2. Hidrocloruro de anilina .....	13
1.3.2.3. Hidrocloruro de MDA .....	13
1.3.2.4. Cloruro de sodio .....	14
1.3.3. Producto de interés .....	14
1.3.3.1. MDA .....	14
1.4. Proceso de producción.....	15
1.4.2. Descripción del proceso de obtención del MDA .....	15
1.4.2.1. Formación del hidrocloruro de anilina .....	15
1.4.2.2. Condensación con formaldehído .....	15
1.4.2.3. Reducción del hidrocloruro de MDA .....	15
1.4.2.4. Separación del producto y tratamiento de las aguas residuales.....	16
1.4.2.4.1. Decantación .....	16
1.4.2.4.2. Centrifugación del producto.....	16
1.4.2.4.3. Secado del producto final.....	16

1.4.2.4.4. Tratamiento de agua residuales .....	16
1.4.2.4.5. Recuperación de la sal.....	17
1.4.3. Abreviaturas.....	17
1.5. Diagramas y balances .....	18
1.5.1. Diagrama de bloque.....	18
1.5.2. Diagrama de proceso.....	19
1.5.3. Balance de materia .....	20
1.6. Necesidades de servicios de planta.....	26
1.6.1. Agua .....	26
1.6.1.1. Agua de torre.....	26
1.6.1.2. Agua de red.....	26
1.6.1.3. Agua contra incendios .....	27
1.6.2. Electricidad .....	27
1.6.3. Gas natural .....	27
1.6.4. Alcantarillado .....	27
1.6.5. Nitrógeno .....	27
1.6.6. Aire comprimido .....	28
1.6.7. Vapor de agua .....	28
1.7. Áreas de la planta .....	28
1.8. Plantilla de trabajadores .....	29
1.9. Planificación temporal.....	30
1.10. Bibliografía .....	32

## **1.1. Definición del proyecto**

El objetivo del proyecto es el estudio del diseño de la viabilidad económica de una planta química en continuo de 4,4-metilendianilina (MDA), cumpliendo con toda la normativa urbanística y sectorial, así como, la legislación vigente de medio ambiente, seguridad e higiene.

### **1.1.1. Bases del proyecto**

Las especificaciones requerido del proyecto son las siguientes:

- Capacidad de producción: 160.000 toneladas al año de 4,4-metilendianilina.
- Presentación será en forma sólida dentro de unas bolsas de Big Bag
- Funcionamiento de la planta: 335 días/año de producción, con de 30 días para la parada de producción/mantenimiento, la cual se realizarán 15 días en agosto y 15 días en diciembre.

### **1.1.2. Alcance del proyecto**

Los aspectos principales que se tendrán en cuenta para el estudio y la valoración del proyecto son los siguientes:

- \* Diseño y especificaciones de las unidades del proceso para la producción y purificación del producto.
- \* Diseño y especificaciones de los equipos para las unidades de reacción, almacenamiento de materias primas y del producto acabado.
- \* Diseño y especificaciones de los accesorios, conducciones y de los sistemas de controles.
- \* Especificaciones de las áreas de la planta.
- \* Especificaciones de las áreas auxiliares (aparcamiento, control de accesos, sistema contra incendios, depuración de agua).
- \* Especificaciones de la seguridad e higiene de la planta.
- \* Evaluaciones del impacto ambiental y los tratamientos de residuos.
- \* Evaluación de la viabilidad económica de la planta.
- \* Estudio de la puesta en marcha, operaciones y parada de la planta.
- \* Elaboraciones de los diagramas y planos de la planta.

#### 1.1.3. Localización de la planta

La planta se ubica en el término del municipio de Tarragona en la provincia de Barcelona, en el Polígono Industrial “Satèl·lits” concretamente en el polígono Petroquímico.

Tarragona es una ciudad ubicada al noreste de España, en la comunidad autónoma de Cataluña, tal y como se puede observar en la figura 1.1.

A nivel logístico, la ciudad cuenta con una infraestructura de transporte, tal como el puerto, que es uno de los más importantes de España, y su proximidad a grandes redes de autopistas y ferrocarriles, facilitando el acceso a materias primas y la distribución de productos a nivel nacional e internacional.



Figura 1.1: Localización geográfica de Tarragona

##### 1.1.3.1. Parámetros de edificación de la planta y plano de la parcela

La parcela disponible para la edificación de la planta tiene una superficie total de  $53.720 m^2$ , del cual la superficie destinada a la construcción de la planta es de  $16.732 m^2$  y está delimitado por la calle de Deimos, calle de Titan, calle de Ganimedes y la calle de Europa, como se puede ver en la figura 1.2.

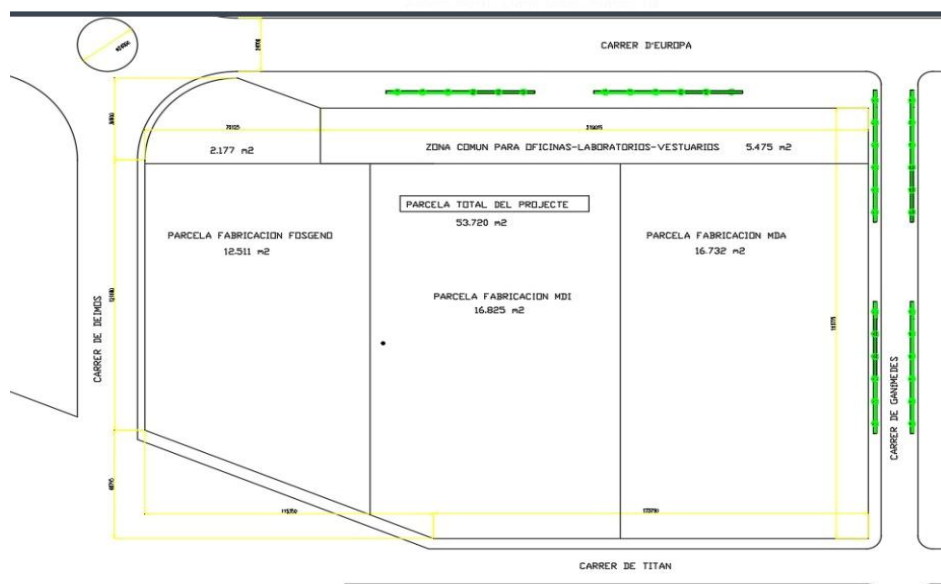


Figura 1.2: Plano de la parcela

Los parámetros de edificación que contempla el Polígono Industrial Satèl.lits, cumpliendo las restricciones obligatorias según la normativa urbanística, son los que se detallan en la tabla 1.1 a continuación:

Tabla 1.1: parámetros de la edificación al polígono industrial satélite según la normativa urbanística

Edificabilidad	1,5m <sup>2</sup> techo/m <sup>2</sup> suelo
Ocupación máxima de parcela	75%
Ocupación mínima de parcela	20% de la superficie de ocupación máxima
Retranqueos	5m a viales y vecinos
Altura máxima	16m y 3 plantas excepto en producción justificando la necesidad por el proceso
Altura mínima	4m y 1 planta
Aparcamientos	1 plaza/150m <sup>2</sup> construidos
Distancia entre edificios	Mínimo de 5m

Teniendo en cuenta que la ocupación máxima de la parcela es de 75% de la superficie total, por lo tanto, la superficie edificable de la planta es de 40.290m<sup>2</sup>.



**1.1.3.2. Servicios disponibles a planta**

La planta dispone de servicios auxiliares para asegurar el correcto funcionamiento del proceso y la realización de las actividades propia de la operación en planta, los cuales se estipulan en la tabla 1.2.

Tabla 1.2: servicios disponibles a la planta.

<b>Energía eléctrica</b>	Conexión desde la línea de 20kV a pie de parcela, hay que prevenir una estación transformadora (espacio ya delimitado al plano).
<b>Gas natural</b>	Conexión a pie de parcela a media presión ( $1.5 \text{ kg/cm}^2$ )
<b>Alcantarillado</b>	Red unitaria al centro de la calle a una profundidad de 3.5 m (diámetro del colector de 800 mm).
<b>Agua de incendios</b>	La máxima presión es de $4 \text{ kg/cm}^2$ , por lo que se ha de diseñar una estación de abombamiento y reserva de agua.
<b>Agua de red</b>	Escomesa a pie de parcela a $4 \text{ kg/cm}^2$ con un diámetro de 200 mm.
<b>Terreno</b>	Resistencia del terreno de $2 \text{ kg/cm}^2$ a 1.5 m de profundidad sobre graves.

**1.1.3.3. Características del medio físico**

Para tener en cuenta la estabilidad del terreno de construcción, se estudió las características climatológicas y geográficas del área, de suma importancia a la hora de entender el terreno para prevenir futuros problemas.

#### 1.1.3.3.1. Climatología

Tarragona presenta un clima mediterráneo, con inviernos templados y relativamente lluviosos, y verano calurosos y soleados con una temperatura media anual que ronda los 17°C, registrando una máxima de 38°C. Las precipitaciones acumuladas ascienden los 550mm/año, principalmente en los meses de otoño, con una humedad relativa media entre el 50% y el 80%.

#### 1.1.3.3.2. Viento

La velocidad del viento varía considerablemente en transcurso del año, con una velocidad medio de más de 15 km/h durante los meses de octubre a abril. El mes más ventoso del año es diciembre con vientos a una velocidad promedio de 17.2 km/h.

#### 1.1.3.3.3. Sismología

Según el Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña y la normativa vigente NCSE-02, Tarragona se encuentra en una zona de baja peligrosidad sísmica, con la mayor magnitud de 4.8 en la escala de Richter registrado en 1995. En 2013, un terremoto de magnitud 3.9 se registró al sur de Tarragona y en 2022, se registró un sismo de magnitud 3.4 en la comarca del Baix Ebre sin registro de daños graves.

#### 1.1.3.3.4. Topografía

En cuanto a la topografía del municipio se ubica en una zona costera con terrenos suaves y ondulados que descienden hacia el mar Mediterráneo. Contiene variaciones modestas de altitud con un cambio máximo de 140m y una altitud promedio sobre el nivel de 25m.

El área en un radio de 3km de Tarragona está cubierta de superficies artificiales 45% y agua 34%, en un radio de 16km esta cubierta de agua en un 45% y tierra de cultivos en un 34% y en un radio de 80km tiene de agua 43% y de tierra de cultivos 32%.

## 1.2. Comunicación y accesibilidad a la planta

### 1.2.1. Comunicación viaria

El acceso principal a Tarragona se realiza desde la AP-7 y la A-7 lo que permite una conectividad eficiente tanto al nivel local como nacional. Además la AP-7, atraviesa todo el Vallés Occidental y conecta tanto con la comarca de Tarragona y la Comunidad Autónoma de Valencia. La N-340 ofrece desplazamientos comarcales y da acceso directo a los polígonos industriales. Es necesario destacar la T-11 que une Tarragona con Reus y facilita el acceso al interior.



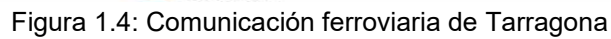
Figura 1.3: comunicación viaria de Tarragona

### 1.2.2. Comunicación aérea

La planta se encuentra a unos 10 km del aeropuerto de Reus, el cual sería un beneficio futuro para la planta en el caso de exportación de las materias primas y subproductos a nivel internacional e importación del producto acabado al mercado tanto nacional como internacional. El aeropuerto Prat de Llobregat con mayores movimientos de mercancías, se encuentra a unos 100 kilómetros.

### 1.2.3. Comunicación Ferroviaria

El polígono petroquímico cuenta con una buena conexión ferroviaria. Dispone de una red interna que enlaza las estaciones de Tarragona Clasificación y tres Caminos, desde donde salen trenes de mercancías hacia España y Europa.



### 1.3. Características de las sustancias químicas

#### 1.3.1. Materias primas

##### 1.3.1.1. Anilina

La anilina es un compuesto orgánico aromático que pertenece al grupo de las aminas aromáticas. Es un líquido aceitoso incoloro ligeramente amarillento, con un olor característico y es ligeramente soluble en agua.

Industrialmente, es un precursor fundamental en la fabricación de colorantes, productos farmacéuticos y espumas de poliuretano. Se obtiene por reducción de nitrobenzeno mediante métodos catalíticos o químicos.

Tabla 1.3: Propiedades fisicoquímicas de la Anilina

Formula	$C_6H_6NH_2$
Peso molecular (g/mol)	93.13
Densidad ( $kg/m^3$ )	1021.7
Solubilidad en agua (20°C)	3.4 g/100 ml
Temperatura de ebullición (°C)	184.1
Punto de fusión (20°C)	-6
Presión de vapor (bar) (20°C)	0.0004
Límite de inflamación (% en volumen)	Inferior: 1.2%, superior: 11%
Viscosidad (20°C) (cp)	4.35

##### 1.3.1.2. Ácido clorhídrico

El ácido clorhídrico es un ácido fuerte, incoloro y un olor picante de una disolución del gas cloruro de hidrógeno, ampliamente usado en la industria química para la producción de cloruros, la síntesis de compuestos orgánicos e inorgánicos. Debido a su alta corrosividad, su manejo requiere de equipos resistentes y protocolos de seguridad estrictos. En la planta YOMCAP, se encuentra en estado gaseoso puro, por lo tanto, en la obtención del MDA se usará al 37% de pureza, el cual es el más usado en la industria.

Tabla 1.4: Propiedades fisicoquímicas del Ácido clorhídrico al 37%

Formula	HCl
Peso molecular (g/mol)	36.46
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1.190
Solubilidad en agua (20°C)	Completamente miscible
Punto de ebullición (°C)	110
Punto de fusión (°C)	-
Presión de vapor (bar)	0.03
Límite de inflamación (%)	No inflamable
Viscosidad (20°C) (cp)	1.9

### 1.3.1.3. Formaldehído

El formaldehído es un gas incoloro, uno de los compuestos orgánicos más importante en la industria. Es ampliamente usado en la producción de resinas, productos textiles, conservantes y plásticos. En la planta es utilizado en forma de solución al 37% y es uno de los reactivos más importante para la producción del MDA.

Tabla 1.5: Propiedades fisicoquímicas del Formaldehído

Formula	CH <sub>2</sub> O
Peso molecular (g/mol)	30.03
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	1090
Solubilidad en agua (20°C)	Completamente miscible
Punto de ebullición (°C)	96 – 100 (con agua)
Punto de fusión (°C)	-
Presión de vapor (bar)	0.013
Límite de inflamación	Inferior: 7, superior: 73
Viscosidad (20°C) (cp)	1.2

#### 1.3.1.4. Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio, más bien conocido sosa cáustica es de gran importancia en la industria química, se disuelve fácilmente en agua, liberando calor con facilidad. Se emplea para la fabricación de papel, tratamiento de agua y producto químicos. Puede causar quemaduras graves en contacto con la piel debido a su carácter corrosivo.

Tabla 1.6: Propiedades fisicoquímicas del hidróxido de sodio

Formula	NaOH
Peso molecular (g/mol)	40.01
Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )	1250
Solubilidad en agua (20°C)	Completamente miscible
Punto de ebullición (°C)	140
Punto de fusión (°C)	-
Presión de vapor (bar)	Muy baja
Límite de inflamación	No inflamable
Viscosidad (20°C) (cp)	78

#### 1.3.2. Subproductos

##### 1.3.2.1. Agua

El agua es un disolvente por excelencia y desempeña un papel fundamental en casi todas las reacciones químicas, tanto como medio de reacción como subproductos. En síntesis, orgánica, suele generarse como subproductos en reacciones de condensación o neutralización.

Tabla 1.7: Propiedades fisicoquímicas del Agua

Formula	$\text{C}_6\text{H}_6\text{NH}_2$
Peso molecular (g/mol)	18.02
Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )	1.000
Solubilidad en agua (20°C)	-
Punto de ebullición (°C)	0
Punto de fusión (°C)	100
Presión de vapor (bar)	0.023
Límite de inflamación	No inflamable
Viscosidad (20°C) (cp)	1.002

**1.3.2.2. Hidrocloruro de anilina**

El hidrocloruro de anilina es un sólido cristalino (sal) blanco soluble en agua que resulta de la reacción entre la anilina y el ácido clorhídrico. Se emplea como intermedio en la síntesis de colorantes, productos farmacéuticos. Su estabilidad y solubilidad es útil para procesos donde la anilina libre sería demasiado volátil o reactiva.

Tabla 1.8: Propiedades fisicoquímicas del Hidrocloruro de anilina

Formula	$C_6H_6NH_2$
Peso molecular (g/mol)	129.59
Densidad ( $kg/m^3$ )	1220
Solubilidad en agua (20°C)	Altamente soluble
Punto de ebullición (°C)	Descompone
Punto de fusión (°C)	198 – 200
Presión de vapor (bar)	-
Límite de inflamación	No inflamable
Viscosidad (20°C) (cp)	2.25

**1.3.2.3. Hidrocloruro de MDA**

El hidrocloruro de MDA es la forma salina del MDA, un compuesto estable, más soluble en agua y más fácil de manejar en condiciones controladas de síntesis. Se utiliza como intermedio clave en la producción de MDA libre.

Tabla 1.9: Propiedades fisicoquímicas del Hidrocloruro de MDA

Formula	$C_{13}H_{16}N_2Cl_2$
Peso molecular (g/mol)	271.18
Densidad ( $kg/m^3$ )	1440
Solubilidad en agua (20°C)	Altamente soluble
Punto de ebullición (°C)	Descompone antes de hervir
Punto de fusión (°C)	245 – 250
Presión de vapor (bar)	-
Límite de inflamación	No inflamable
Viscosidad (20°C) (cp)	-



#### 1.3.2.4. Cloruro de sodio

El cloruro de sodio. También conocida como sal común, es un compuesto iónico formado por sodio y cloro. En procesos químicos, se produce frecuentemente como subproducto cuando se neutralizan ácidos fuertes con bases fuertes. En YOMCAP Chemical Industrial, esta sal está en forma líquida disuelta en agua.

Tabla 1.10: Propiedades fisicoquímicas del Cloruro de sodio

Formula	NaCl
Peso molecular (g/mol)	58.44
Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )	2.200
Solubilidad en agua (20°C)	Fácil en agua
Punto de ebullición (°C)	1465
Punto de fusión (°C)	801
Presión de vapor (bar)	-
Límite de inflamación	-
Viscosidad (20°C) (cp)	-

#### 1.3.3. Producto de interés

##### 1.3.3.1. MDA

El 4,4-metilendianilina es un compuesto orgánico aromático, en forma sólido amarillo pálido de baja solubilidad en agua, pero soluble en disolventes orgánicos, que consiste en dos grupos de anilina unidos por un puente metileno. Se usa principalmente en la industria como precursor en la fabricación de poliuretanos y resinas epoxi. Es una sustancia tóxica, lo que obliga un control estricto en su manipulación.

Tabla 1.11: Propiedades fisicoquímicas del 4,4-Metilendianilina

Formula	$\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{N}_2$
Peso molecular (g/mol)	198.26
Densidad ( $\text{kg/m}^3$ )	1150
Solubilidad en agua (20°C)	0.125 g/100 ml
Punto de ebullición (°C)	393 – 403
Punto de fusión (°C)	89 – 92
Presión de vapor (bar)	Muy baja
Límite de inflamación	Combustible sólido
Viscosidad (100°C) (cp)	8.3

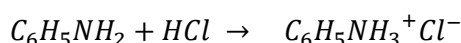
## 1.4. Proceso de producción

### 1.4.2. Descripción del proceso de obtención del MDA

La obtención del 4,4-metilendianilina (MDA) se basa en una serie de reacciones de neutralización, condensación y separación, realizadas bajo condiciones controladas que garantizan la seguridad del proceso y la calidad del producto acabado.

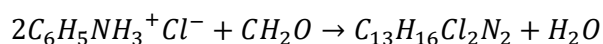
#### 1.4.2.1. Formación del hidrocloreuro de anilina

La primera etapa del proceso consiste en la reacción de anilina al 99% con ácido clorhídrico al 37%, lo cual permite formar el clorhidrato de anilina para aumentar la solubilidad de la anilina y mejorar su reactividad. La reacción se lleva a cabo en un reactor en continuo de tanque agitado a 1 bar de presión que permite el control preciso de temperatura y agitación.



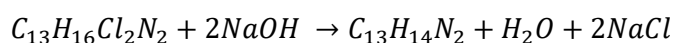
#### 1.4.2.2. Condensación con formaldehído

El hidrocloreuro de anilina resultante de la primera reacción se mezcla con formaldehído, iniciando la reacción de condensación que lleva a la formación de hidrocloreuro de MDA y agua. Esta mezcla se mantiene a una temperatura controlada para prevenir una reacción violenta. Una vez formada, la mezcla se calienta mediante un intercambiador de calor para ajustar la temperatura óptima de entrada al reactor de flujo pistón continuo con camisa térmica por donde circula una corriente de vapor saturado proveniente de la caldera. El diseño de flujo pistón favorece una conversión completa y uniforme, y evitar la formación de subproductos.



#### 1.4.2.3. Reducción del hidrocloreuro de MDA

La solución que contiene el hidrocloreuro de MDA se neutraliza con hidróxido de sodio en un reactor continuo de tanque agitado. Esto permite obtener el MDA en su forma libre, junto con la formación de sal común (NaCl) y agua como subproductos. Posteriormente, la mezcla pasa por un intercambiador de calor de calor refrigerado con agua de torre para reducir su temperatura y facilitar la posterior separación de fases



#### 1.4.2.4. Separación del producto y tratamiento de las aguas residuales

Una vez finalizado la reacción de neutralización en la que se libera el MDA, se obtiene una mezcla compuesta por una fase orgánica que contiene el producto y una fase acuosa. Esta etapa del proceso tiene como objetivo separar eficientemente ambas fases, purificar el MDA y trata adecuadamente los efluentes acuosos antes de su disposición.

##### 1.4.2.4.1. Decantación

La mezcla se introduce en un decantador, donde la separación de fases se produce por diferencia de densidad entre el MDA y las aguas residuales + NaCl. Es una operación fundamental para evitar que el agua residual contamine el producto final. Este equipo es ideal, ya que su uso reduce el consumo energético y simplifica la operación antes de técnicas más intensivas como la centrifuga.

##### 1.4.2.4.2. Centrifugación del producto

La fase orgánica separada en el decantador se somete a una centrifugación para eliminar cualquier traza de agua o impurezas finas que aún puedan estar presentes y facilitar el secado posterior al reducir el contenido de humedad. Las aguas residuales resultante de esta operación son enviadas a un reactor oxidantes mediante válvulas para su posterior tratamiento. La centrifuga ofrece una separación rápida y eficiente en comparación con procesos puramente gravitacionales, especialmente cuando las impurezas están finamente dispersas.

##### 1.4.2.4.3. Secado del producto final

El MDA se introduce en un secador de aire caliente donde se eliminar la humedad residual restante obteniendo así un producto final altamente puro.

Este tipo de secador es eficaz y fácil de escalar. El aire caliente es una fuente de energía segura y compatible con el producto controlando la temperatura para evitar degradación térmica.

##### 1.4.2.4.4. Tratamiento de agua residuales

Las aguas generadas tanto en la decantación como en la centrifugas se recolectan y se envían a un reactor oxidante, donde se adiciona peróxido de hidrógeno para neutralizar trazas de hidrocloruro de anilina y hidróxido de sodio y así neutralizar la formación de ácidos y minimizar los impactos ambientales. La oxidación permite degradas contaminantes que no se eliminan por métodos físicos y cumple con las normativas ambientales estrictas.

**1.4.2.4.5. Recuperación de la sal**

Una vez tratada químicamente, la solución acuosa se envía a un evaporador, donde se elimina el agua mediante vapor, permitiendo así la cristalización de la sal. La sal resultante, se envía a una centrifuga donde se separan los cristales de sal del líquido residual. Para reducir la humedad de la sal, se envía en una secadora donde se obtiene una sal puramente seca y lista para su almacenamiento.

**1.4.3. Abreviaturas**

Tabla 1.12: Nomenclatura de los equipos de la planta

Equipos	Nomenclatura
Tanque de almacenamiento	T-001
Reactor	R-001
Intercambiador	I-001
Secadero	SE-001
Compresor	CO-001
Centrifuga	CE-001
Bomba	P-001
Caldera	CA-001
Evaporador	4-001
Torre de refrigeración	TR-001
Reactor oxidante	RO-001
Decantador	DE-001

## 1.5. Diagramas y balances

### 1.5.1. Diagrama de bloque

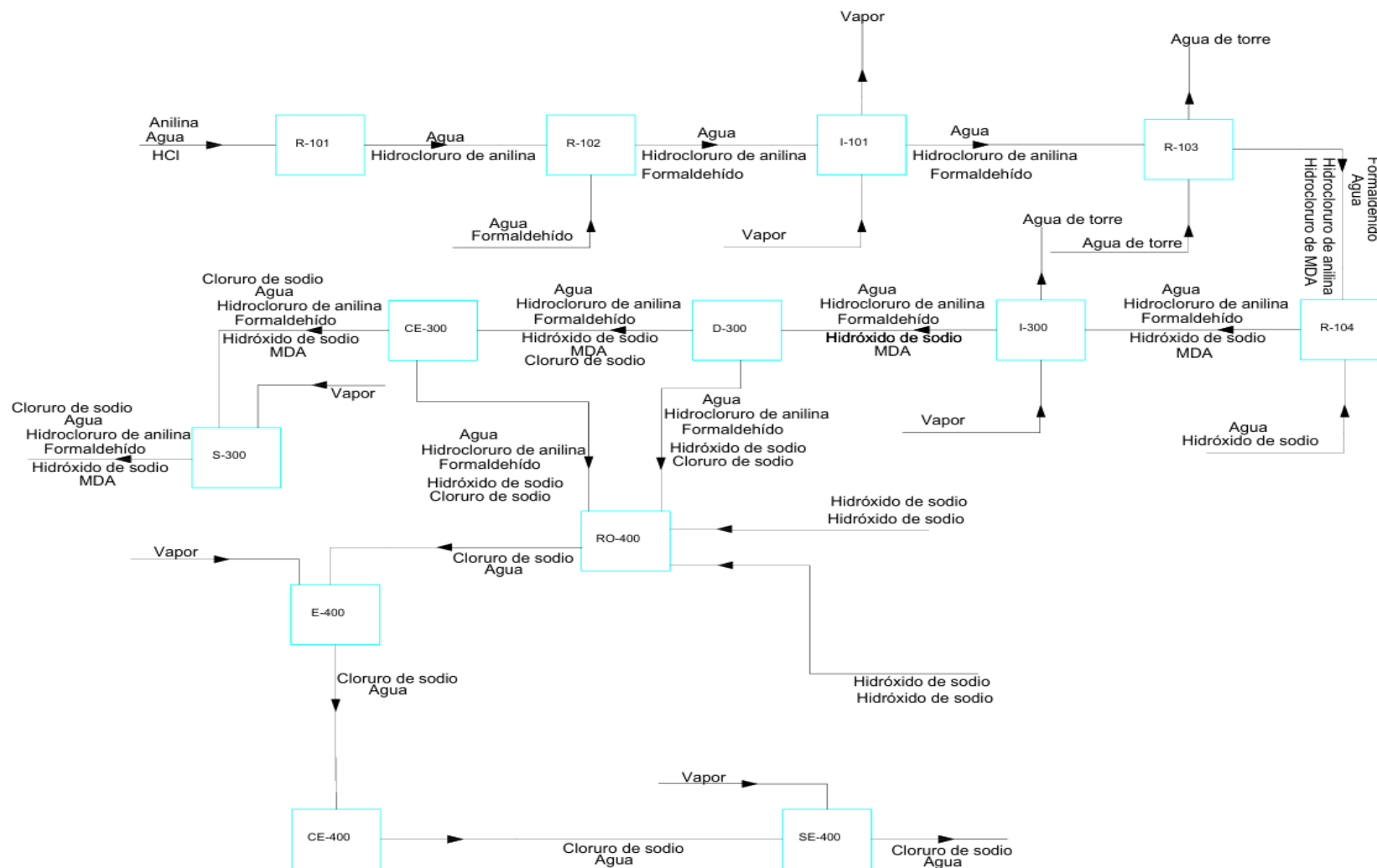


Figura 1.5: Diagrama de bloque de producción de la planta

### 1.5.2. Diagrama de proceso

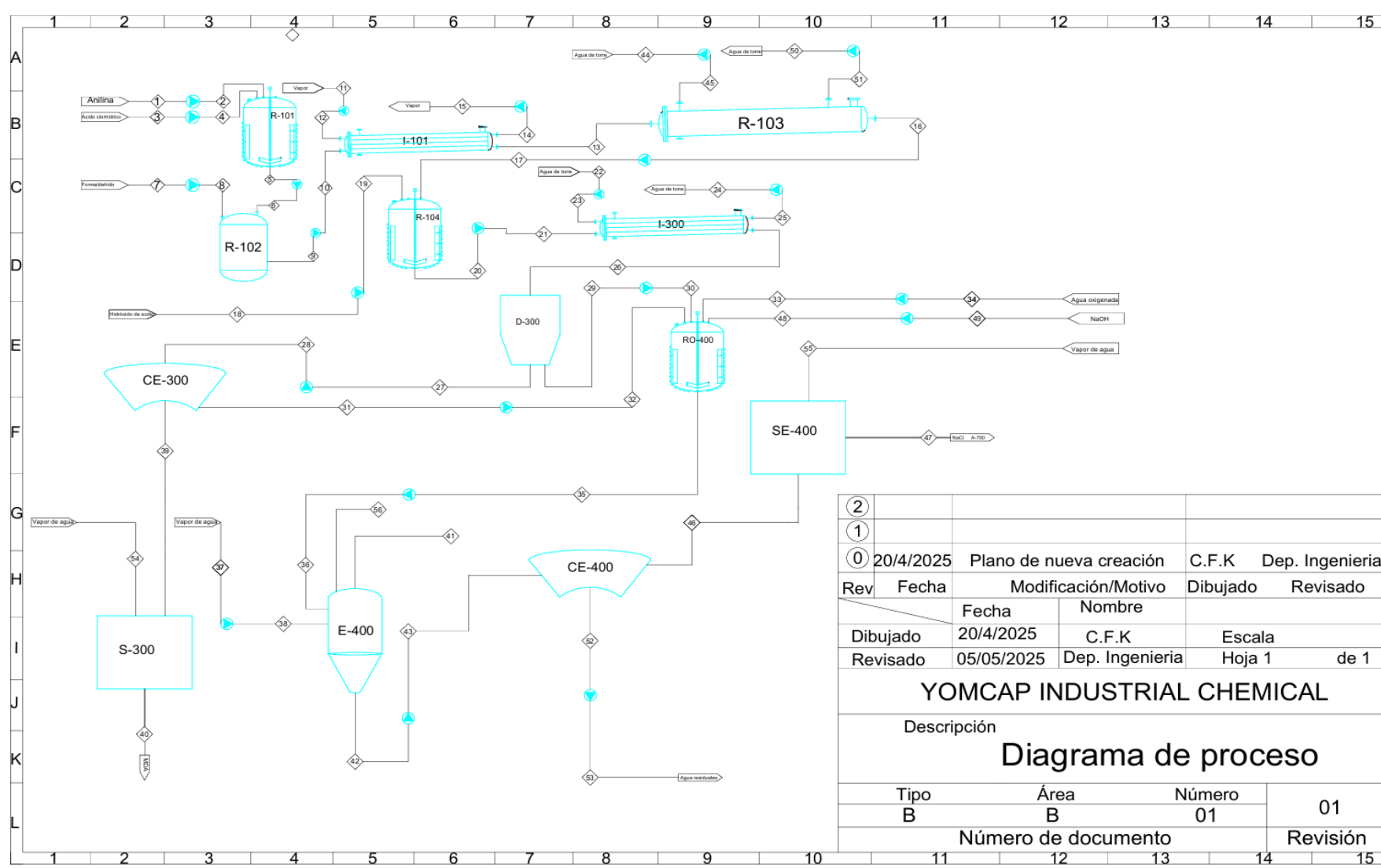


Figura 1.6: Diagrama de proceso de producción de la planta

### 1.5.3. Balance de materia

Tabla 1.13: Balance de materia del proceso de producción (parte 1 de 6)

Corrientes	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Viscosidad (cp)	4.35	4.35	1.36	1.36	2	2	1,8	1,8	2
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	2018.70	2018.7	2187	2187	2217	2217	2087	2087	1272
Presión (bar)	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
Temperatura	20	20	20	20	47,05	47.05	20	20	41
Cabal volumétrico total (m <sup>3</sup> /h)	20.35	20.35	20.53	20.53	37,43	37.43	8.71	8.71	46.14
Cabal masico total (Kg/h)	20783.97	20783.97	21771.54	21771.54	42555.51	42555.51	8964.79	8964.79	51520.29
Cabal molar total (Kmol/h)	232.47	232.47	982.09	982.09	993.63	993.63	423.89	423.89	1417.52
Composición molar por componentes (kmol/h)									
Anilina	220.94	220.94	-	-	-	-	-	-	-
Ácido Clorhídrico	-	-	220.94	220,94	-	-	-	-	-
Hidroccloruro de anilina	-	-	-	-	220.94	220,94	-	-	220.94
Formaldehído	-	-	-	-	-	-	110,47	110,47	110.47
Hidroccloruro de MDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	11.53	11.53	761.19	761.19	772.69	772.69	313.42	313.42	1086.11
Hidróxido de Sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruro de sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua oxigenada	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vapor saturado	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 1.14: Balance de materia del proceso de producción (parte 2 de 6)

Corrientes	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Viscosidad (cp)	2	0.19	0.19	2	0.8	0.8	1.75	1.75	18
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1272	0.826	0.826	1104	0.743	0.743	993	993	1525
Presión (bar)	1.013	1.43	1.43	1.013	1.01	1.01	1.013	1.013	1.013
Temperatura	41	110	110	90	100	100	111.99	111.99	20
Cabal volumétrico total (m <sup>3</sup> /h)	46.14	2.92	2.92	46.14	2.92	2.92	42.80	42.80	10.53
Cabal masico total (Kg/h)	51520.29	2800	2800	51520.29	2800	2800	51519.69	51519.69	16070.76
Cabal molar total (Kmol/h)	1417.52	155.5	155.5	1417.52	155.5	155.5	1318.09	1318.09	646.73
<b>Composición molar por componentes (kmol/h)</b>									
Anilina	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ácido Clorhídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocloreuro de anilina	220.93	-	-	220.94	-	-	22.09	22.09	-
Formaldehído	110.46	-	-	110	-	-	11.04	11.04	-
Hidrocloreuro de MDA	-	-	-	-	-	-	99.42	99.42	-
Agua	626.83	-	-	1086.111	-	-	1185.53	1185.53	445.9
Hidróxido de Sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	200.83
MDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruro de sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua oxigenada	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vapor saturado		155.5	155.5		155.5	155.5			



Tabla 1.15: Balance de materia del proceso de producción (parte 3 de 6)

Corrientes	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Viscosidad (cp)	18	0.283	0.283	1.138	1.138	0.720	0.720	0.283	
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	1525	1259	1259.00	998.29	998.29	980.45	980.45	1090.00	701.740
Presión (bar)	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1,013
Temperatura	20	175.00	175.00	15.00	15.0	65.00	65.00	100.00	80
Cabal volumétrico total (m <sup>3</sup> /h)	10.53	57.09	57.09	50.09	50.09	50.28	50.28	57.09	56.18
Cabal masico total (Kg/h)	16070.76	65798.46	65798.46	50005.81	50005.81	50005.81	50005.81	65798.46	39425.17
Cabal molar total (Kmol/h)	646.73	2061.28	2062.28	2775.07	2775.01	2775.01	2775.01	2064.27	939.42
<b>Composición molar por componentes (kmol/h)</b>									
Ácido Clorhídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anilina	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocloreuro de anilina	-	22.09	22.09	-	-	-	-	22.09	-
Formaldehído	-	11.04	11.04	-	-	-	-	11.04	4.73
Hidrocloreuro de MDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	445.9	1730.87	1730.87	2775.01	2775.01	2775.01	2775.01	1730.87	739.74
Hidróxido de Sodio	200.83	198.84	198.84	-	-	-	-	1.98	0.852
MDA	-	98.42	99.42	-	--	-	-	99.04	99.42
Cloruro de sodio	-	-	-	-	-	-	-	-	85.20
Dióxido de carbono	-	-	-	-	--	-	-	-	-
Agua oxigenada	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vapor saturado	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 1.16: Balance de materia del proceso de producción (parte 4 de 6)

Corrientes	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Viscosidad (cp)		1.3	1.3	1.3	1.3	1.25	1.25	1.3	1.3
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	701.74	1172.9	1172.9	1172.75	1172.75	1200	1200	1060	1060
Presión (bar)	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
Temperatura	80	80	80	50	50	20	20	100	100
Cabal volumétrico total (m <sup>3</sup> /h)	56.18	22.44	22.44	8.41	8.41	3.42	3.42	26.52	26.52
Cabal masico total (Kg/h)	39425.17	26293.73	26293.73	9856.29	9856.29	4079.8	4079.8	26470.21	26470.21
Cabal molar total (Kmol/h)	939.42	1120.44	1120.44	420	420	173.21	173.21	1214.00	1214.00
Composición molar por componentes (kmol/h)									
Ácido Clorhídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anilina	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocloreuro de anilina	9.46	12.63	12.63	4.73	4.73	-	-	-	-
Formaldehído	4.73	6.31	6.31	2.37	2.37	-	-	-	-
Hidrocloreuro de MDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	739.74	986.71	986.71	369.87	369.87	113.25	113.25	1100.35	1100.35
Hidróxido de Sodio	0.852	1.14	1.14	0.43	0.43	-	-	-	-
MDA	99.42	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruro de sodio	85.20	113.65	113.65	42.6	42.6	-	-	113.64	113.64
Dióxido de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua oxigenada	-	-	-	-	-	59.96	59.96	-	-
vapor saturado									

Tabla 1.17: Balance de materia del proceso de producción (parte 5 de 6)

Corrientes	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Viscosidad (cp)	00013	0.013	17.1	-	1	2	2	1	1
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	10621	1.621	1170	1210	1000	1295	1295	1000	1000
Presión (bar)	3	3	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013	1.013
Temperatura	134	134	75	30		80	80	25	25
Cabal volumétrico total (m <sup>3</sup> /h)	2798.91	2798.91	47.77	18.77	4.6	23.72	23.72	3.00	3.00
Cabal masico total (Kg/h)	4537.04	4537.04	29568.89	19712.58	4537.03	24097.14	24097.14	3000.00	3000.00
Cabal molar total (Kmol/h)	251.78	251.78	519.42	156.51	251.77	1082.31	1082.31	166.67	166.67
Composición molar por componentes (kmol/h)									
Ácido Clorhídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anilina	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocloreuro de anilina	-	-	4.73	4.73	-	-	-	-	-
Formaldehído	-	-	2.37	2.37	-	-	-	-	-
Hidrocloreuro de MDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	251.7	251.77	369.87	7.39	251.77	968.66	968.66	166.66	166.66
Hidróxido de Sodio	-	-	0.43	0.43	-	-	-	-	-
MDA	-	-	99.42	99.42	-	-	-	-	-
Cloruro de sodio	-	-	42.6	42.6		113.6	113.64	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua oxigenada	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vapor saturado	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 1.18: Balance de materia del proceso de producción (parte 6 de 6)

Corrientes	46	47	48	49	50	51	54	55	56
Viscosidad (cp)			79	79	1	1	0.373	0.373	0.013
Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	3197	2200	1525	1525	1000	1000	2.68	2.68	1.621
Presión (bar)	1.013	1,013	1.013	1.013	1.013	1,013	5.02	5.02	3
Temperatura	75	75	20	20	25	25	152	152	130
Cabal volumétrico total (m <sup>3</sup> /h)	11.859	0.669	0.68	0.68	3	3	144.63	189.94	1463.9
Cabal masico total (Kg/h)	12048.57	1460.82	919.16	919.16	3000	3000	387.76	509.2	2373.06
Cabal molar total (Kmol/h)	1936.82	25.36	36.99	36.99	166.67	166.66	402.9	529.0	131.69
<b>Composición molar por componentes (kmol/h)</b>									
Ácido Clorhídrico	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocloreuro de anilina	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formaldehído	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hidrocloreuro de MDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	485.71	9.7142	25.5	25.5	166.66	166.66	-	-	131.69
Hidróxido de Sodio	-	-	11.49	11.49	-	-	-	-	-
MDA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloruro de sodio	1451.11	1451.11	-	-	-	-	-	-	-
Dióxido de carbono		-							
Agua oxigenada	-	-	-	-	-	-	-	-	-
vapor saturado	-	-	-	-	-	-	402.9	529.0	-

## 1.6. Necesidades de servicios de planta

La planta Yomcap Chemical Industrial requiere unos servicios adecuados para garantizar el funcionamiento seguro, eficiente y continuo de los procesos de producción, necesidades internas personal y garantizar la continuidad operativa. Estos servicios son esenciales para apoyar las operaciones de síntesis, tratamiento y manejo de los productos químicos, así como para cumplir con las normativas ambientales y de seguridad industrial.

En la tabla 1.19 se muestran los servicios necesarios y clasificación en toda la planta.

Tabla 1.19: Servicios requeridos en la planta

Servicios	Fuente	Clasificación
Agua de red	A pie de parcela	Materia
Agua de torre	Interna	Materia
Agua contra incendios	Interna	Materia
Electricidad	Conexión des de la línea a pie de parcela	Energía
Gas natural	Interna	Energía
Alcantarillado	Interna	Evacuación
Nitrógeno	Externa	Materia
Aire comprimido	Externa	Materia
Vapor de agua	Interna	Materia

### 1.6.1. Agua

La planta química necesita diferentes fuentes de agua para el buen funcionamiento de equipos, zonas auxiliares y de uso personales.

#### 1.6.1.1. Agua de torre

Se requerirá un sistema de refrigeración eficiente para garantizar el control térmico de los equipos de procesos, especialmente en operaciones donde se generen elevadas cargas térmicas. Para ello, se contempla la implementación de una torre de refrigeración, cuya función será disipar el calor absorbido por el agua en los intercambiadores de calor y reactores.

#### 1.6.1.2. Agua de red

El agua de red es necesario para el uso en oficinas, consumo personal, servicios sanitarios y limpieza de equipo el cual estará disponible a pie de parcela, con una presión de  $4 \text{ kg/cm}^2$  y un diámetro de tubería de 200 mm necesario para cubrir todas las operativas requeridas.

#### 1.6.1.3. Agua contra incendios

La planta contar con una estación de abombamiento adecuado de agua contra incendios, alimentado a una presión máxima de  $4 \text{ kg/cm}^2$  de reserva de agua específico para emergencias.

#### 1.6.2. Electricidad

La electricidad es uno de los servicios más esencial para el correcto funcionamiento de toda la planta para las operaciones de equipos, sistemas de automatización, iluminación, ventilación, laboratorios y oficinas.

La planta dispone de una estación transformadora con una distribución eléctrica de una línea de 20 kV situada a pie de parcela el cual permitirá adaptar la tensión a los niveles necesarios para la alimentación de los distintos equipos e instalaciones de la planta.

#### 1.6.3. Gas natural

El suministro de gas natural es un servicio esencial tanto para el uso en procesos térmicos de la planta como para alimentación de calderas el cual se realizará a pie de parcela, a una presión de  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ .

#### 1.6.4. Alcantarillado

La evacuación de aguas pluviales y residuales propias de la planta se integrarán en una red unitaria situada en el centro de la vía de acceso, a una profundidad de 3.5 metros que dispone de un colector de 800 mm de diámetros, adecuado para manejar los caudales previstos por la actividad de la planta.

#### 1.6.5. Nitrógeno

El nitrógeno gas se incorporará como un servicio externo, con puntos de conexión reparados para el suministro mediante tanques criogénicos. Este gas inerte es imprescindible para diversas aplicaciones dentro del proceso industrial, como:

- \* creación de atmósferas controladas en reactores y tanque de almacenamiento.
- \* presurización y limpieza por barrido de tuberías.
- \* inertización de líneas y equipos antes intervenciones.

### **1.6.6. Aire comprimido**

El aire comprimido será suministrado como servicio externo a través de una conexión a pie de parcela, con las condiciones de presiones y caudal adecuadas para satisfacer las necesidades operativas de la planta. Es un recurso crucial para la operación de válvulas neumáticas, actuadores, instrumentos de control, sistema de limpieza y otros equipos auxiliares.

Se prevé la instalación de un sistema de distribución interna que garantice la presión constante en los puntos de consumo, con líneas dimensionadas según los requerimientos de cada operativa. Asimismo, se incluirán sistemas de secado y filtrado para asegurar la calidad del aire comprimido.

### **1.6.7. Vapor de agua**

El vapor de agua será generado internamente en la planta, mediante una caldera industrial, cuyo diseño se ajustará a las necesidades térmicas específicas de los procesos químicos. Este servicio interno es vital para:

- Calentamiento de reactores y tanques mediante serpentinos o camisas térmicas.
- Generación de agua caliente de uso auxiliar.
- Mantenimiento de temperatura en procesos.

## **1.7. Áreas de la planta**

La planta YOMCAP Chemical Industrial está estructurada en 12 áreas fundamentales, cada una diseñada para cumplir con funciones específicas dentro del proceso productivo, asegurando la eficiencia operativa, seguridad industrial y cumplimiento ambiental desde la recepción de materias primas hasta la entrega del producto final.

En la tabla 1.20 se puede ver las diferentes áreas que forma parte la planta.

Tabla 1.20: Áreas de la planta

Zona	Descripción
A-100	Reacción
A-200	Almacenamientos materias primeras
A-300	Tratamiento del MDA
A-400	Tratamiento del NaCl
A-500	Sala de control
A-600	Servicios
A-700	Almacenamiento del NaCl
A-800	Compresores
A-900	Laboratorios
A-1000	Oficinas + vestuarios
A-1100	Aparcamientos
A-1200	Comedor (lavabos)

## 1.8. Plantilla de trabajadores

La organización de la plantilla de la planta YOMCAP Industrial Chemical ha sido diseñada para garantizar una operación segura y conforma a los requisitos técnicos y normativos del sector, adaptada a las necesidades específicas del proceso productivo, así como al cumplimiento de la normativa vigente en materia de prevención, medio ambiente y calidad. La estructura se puede contemplar en la tabla .

Tabla 1.21: Plantilla de trabajadores

Departamento	Puesto de trabajo	Personal	Turnos
Dirección	Director	1	Turno administrativo
Ingeniería	Ingeniero de planta	1	Turno administrativo
	Técnicos de proceso	2	Turno administrativo
Laboratorio	I+D	2	Turno administrativo
	técnico de laboratorio	7	3 turnos rotativos
Calidad	Responsable de calidad	1	Turno administrativo
	Técnico de control de calidad	4	Turnos administrativos
Producción	Encargado de planta	1	Turno diurno
	Jefe de turno	3	3 turnos rotativos
	Operarios de planta	30	3 turnos rotativos
Mantenimiento	Encargado de mantenimiento	1	Turno diurno / guardias
	Mecánicos	11	3 turnos rotativos
Limpieza	Empleados de limpieza	2	2 turnos rotativos



<b>Seguridad y medioambiente</b>	Encargado departamento	1	Turno administrativo
	Operarios	3	2 turnos rotativos
<b>Recursos humanos</b>	Encargada de RRHH	1	Turno administrativo
	Personal de RRHH	2	Turno administrativo
<b>Administración</b>	Encargado de departamento	1	Turno administrativo
	Técnicos administrativos (*)	4	Turno administrativo
<b>Logística</b>	Carretillero / Almacén	3	Turno diurno
<b>Sistemas</b>	Técnicos en sistemas	1	Turno administrativo

## 1.9. Planificación temporal

La planificación temporal es fundamental para garantizar que cada etapa del proyecto se ejecute de manera eficiente, segura y dentro de los plazos establecidos, y la optimización de recursos y la seguridad operativa.

Tabla 1.22: Planificación temporal de las tareas a realizar para la construcción de la planta

Nº de tarea	Tarea	Duración (días)	Procedencia
1	Ingeniería del proyecto	120	-
2	Obtención de licencias	150	-
3	Demanda de quipos	100	1
4	Limpieza de terrenos	60	2
5	Excavaciones y cimentación	60	4
6	Instalación de suministros	60	5
7	Aceras y viales	30	5
8	Aparcamiento	20	7
9	Edificación	90	6
10	Instalación de soportes, puertas, escaleras	45	9
11	Instalación equipos Área 100	60	3:7
12	Instalación equipos Área 200	90	3:7
13	Instalación equipos Área 300	90	3:7
14	Instalación equipos Área 400	90	3:7
15	Instalación equipos Área 500	60	3:7
16	Instalación equipos Área 600	60	3:7
17	Instalación equipos Área 700	60	3:7
18	Instalación equipos Área 800	60	3:7
19	Instalación equipos Área 900	60	3:7

## Planta de producción de MDA

### Capítulo 3: Control e instrumentación

20	Instalación equipos Área 1000	60	3:7
21	Instalación equipos Área 1100	60	3:7
22	Instalación equipos Área 1200	60	3:7
23	Instalación de tubería de proceso	60	11,12,13
24	instalación y conexión del sistema eléctrico	45	3:22
25	Instalación y conexión instrumentación control	45	23,24
26	Aislamiento de equipos	30	25
27	Aislamientos de tuberías	30	25
28	Pruebas de equipos	50	26,27
29	Pintura	30	28
30	Limpieza	20	29

## 1.10. Bibliografía

- [1] Mapa de la localización de Tarragona. (Data de consulta 10/03/2025) <https://espana-mapa.blogspot.com/2011/10/tarragona-mapa-ciudad-de-la-region.html>
- [2] Datos históricos meteorológicos de 2024 en Tarragona. (Data de consulta 17/03/2025) <https://es.weatherspark.com/y/45958/Clima-promedio-en-Tarragona-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [3] Figura del transporte viaria de Tarragona. (Data de consulta 17/03/2025) <https://www.ih-barcelona.de/ih-tarragona/anreise.htm>
- [4] Propiedades fisicoquímicas del Ácido clorhídrico. (Fecha de consulta 17/03/2025) <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/313>
- [5] Propiedades fisicoquímicas del Hidrocloruro de anilina. (Fecha de consulta 17/03/2025) <https://www.fishersci.es/store/msds?partNumber=11469943&productDescription%3DANILIN E+HYDROCHLORIDE%2C+99%25500G&countryCode=ES&language=es>
- [6] Propiedades fisicoquímicas del formaldehído. (Fecha de consulta 17/03/2025) <https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+123++Formaldeh%C3%ADdo++A%C3%B1o+2018.pdf/322d8406-0dfd-4c21-9ee1-40c5c63a23f1?version=1.0&t=1551310413093>
- [7] Propiedades fisicoquímicas del MDA. (Fecha de consulta 17/03/2025) <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Name=4%2C4%27-Methylenedianiline&Units=SI>
- [8] Propiedades fisicoquímicas de la anilina. (Fecha de consulta 17/03/2025) <https://www.insst.es/documents/94886/431980/DLEP+132+Anilina+2020.pdf/e5547e5b-dd8d-b550-03d3-44cce5cf5219?version=1.0&t=1621499290161#:~:text=La%20anilina%20reci%C3%A9n%20destilada%20es,mayor%C3%ADa%20de%20los%20disolventes%20org%C3%A1nicos>
- [9] Propiedades fisicoquímicas del cloruro de sodio. (Fecha de consulta 17/03/2025) <https://www.spl-latam.com/blog/industrial/12-caracteristicas-del-cloruro-de-sodio/#:~:text=12%20Principales%20caracter%C3%ADsticas%20del%20cloruro%20de%20sodio&text=Disoluci%C3%B3n%20f%C3%A1cil%20en%20agua%2035.9,Resistente%20sol%20en%20%C3%A1cido%20muri%C3%A1tico>

[10] Propiedades fisicoquímicas del hidróxido de sodio. (Fecha de consulta 17/03/2025)

<https://www.spl-latam.com/blog/industrial/12-caracteristicas-del-cloruro-de-sodio/#:~:text=12%20Principales%20caracter%C3%ADsticas%20del%20cloruro%20de%20sodio&text=Disoluci%C3%B3n%20f%C3%A1cil%20en%20agua%2035.9,Resistente%20sol%20en%20%C3%A1cido%20muri%C3%A1tico>