



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLOROBENCENO

Universidad Autónoma de Barcelona

ESCUELA DE INGENIERIA

Trabajo de Fin de Grado

GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

TUTORA:

M^a Eugenia Suárez Ojeda

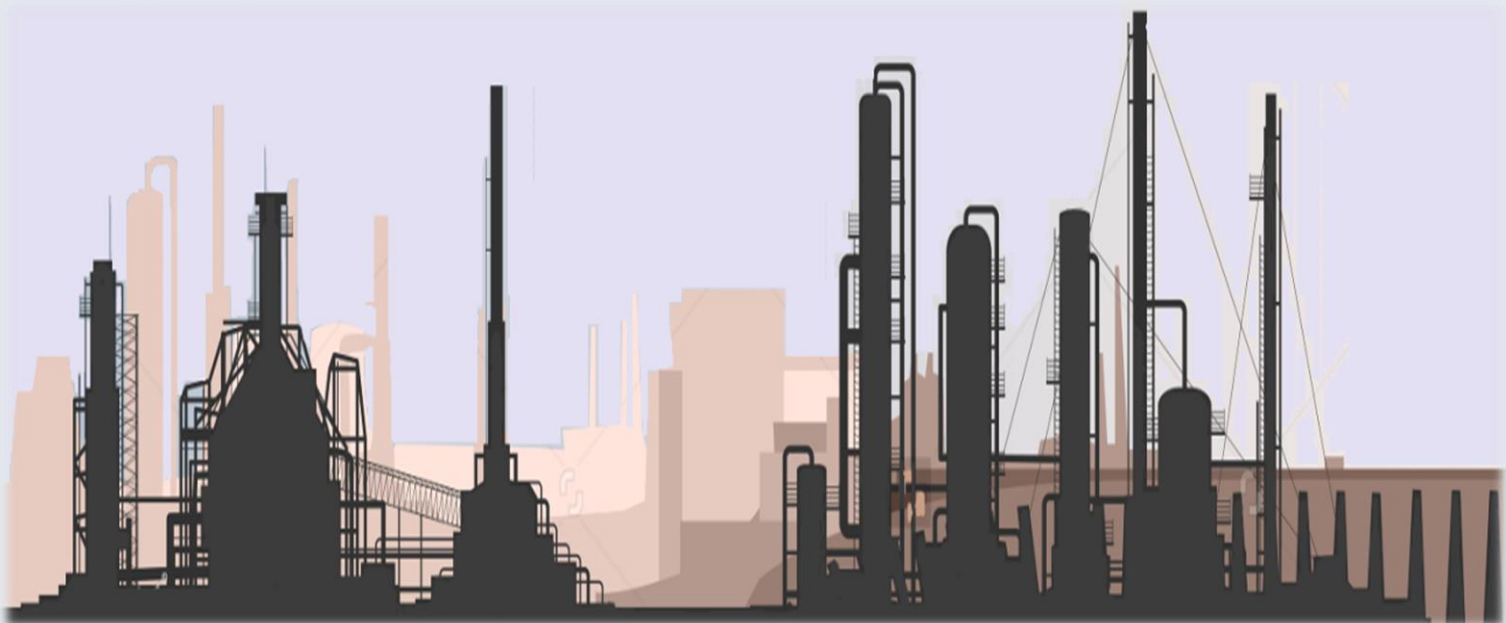
Aymà Garcia, Irina

Luque Luceno, Raúl

Rodríguez Bohoyo, Carlos

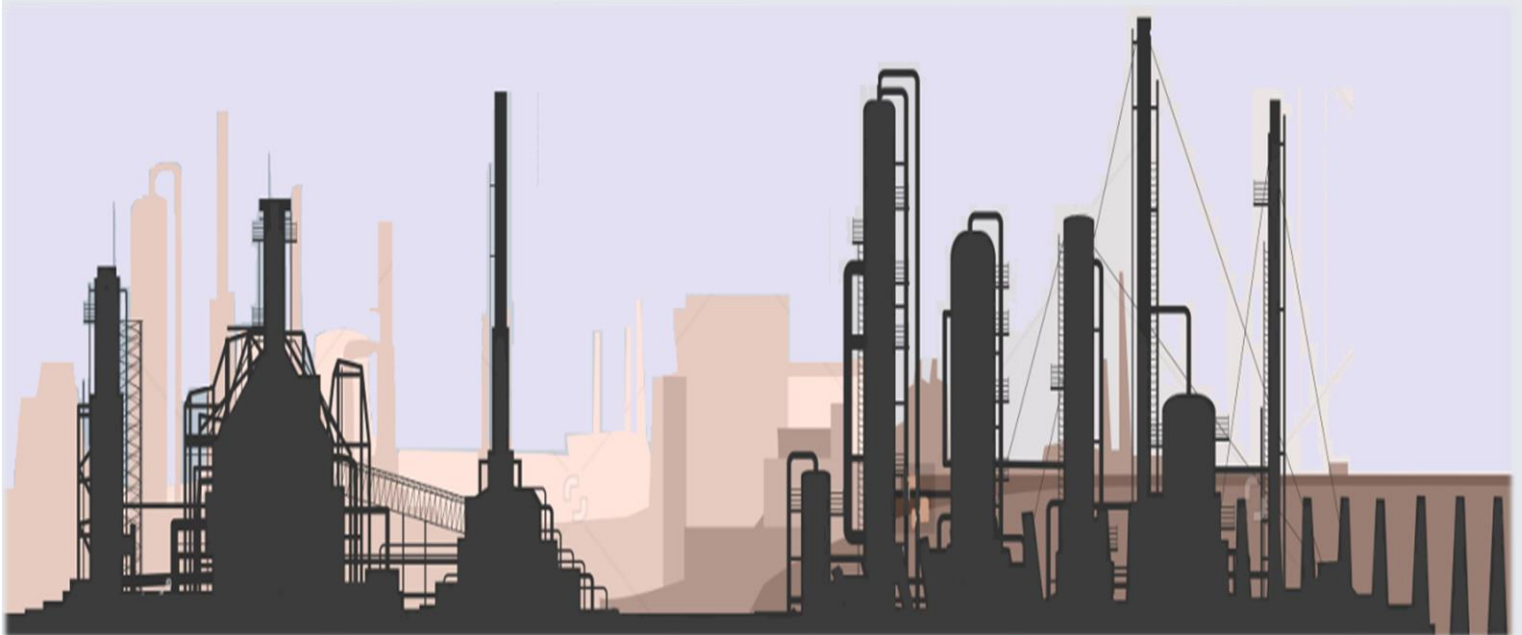
Sellarès Feiner, Santi

Cerdanyola del Vallès, Junio 2017



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLOROBENCENO

CAPÍTULO 1: Especificaciones del proyecto



ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO | 4 |
| 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 Abreviaciones..... | 7 |
| 1.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS | 9 |
| 1.2.1 Producto de interés: Monoclorobenceno (MCB)..... | 9 |
| 1.2.2 Materias primas..... | 10 |
| 1.2.3 Subproductos y otros compuestos..... | 12 |
| 1.2.4 Corrosión y materiales..... | 13 |
| 1.3 PROCESOS DE OBTENCIÓN DEL CLOROBENCENO | 16 |
| 1.3.1 Descripción del proceso de producción..... | 16 |
| 1.3.3 Diagrama del proceso y descripción detallad..... | 18 |
| 1.4 CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA | 21 |
| 1.4.1 Descripción cualitativa de la planta..... | 21 |
| 1.4.2 Distribución por áreas..... | 22 |
| 1.4.3 Planificación temporal y plantilla de trabajadores..... | 27 |
| 1.5 BALANCE DE MATERIA | 28 |
| 1.6 ESPECIFICACIONES Y NECESIDADES DE SERVICIOS A LÍMITE DE PLANTA | 35 |
| 1.6.1 Servicios requeridos por la planta..... | 35 |
| 1.7 PROGRAMACION TEMPORAL Y MONTAJE DE LA PLANTA | 51 |
| 1.8 BIBLIOGRAFIA | 54 |

1.1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1.1 Bases del proyecto

El principal objetivo de este proyecto es realizar un estudio y viabilidad de la construcción de una planta química para la producción de monoclorobenceno (MCB) a partir del benceno y del cloro con ayuda del cloruro de hierro (III) (FeCl_3) como catalizador (**Figura 1-1**). Esta planta estará ubicada en el polígono industrial del municipio de Igualada.

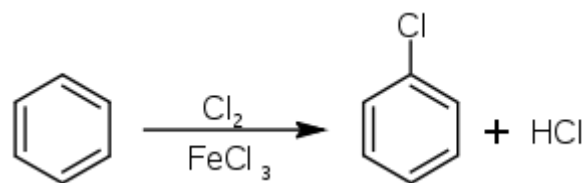


Figura 1- 1: Reacción de cloración del benceno

Para realizar el diseño y construcción de la planta se debe tener en cuenta la normativa y legislación vigente a nivel urbanístico y sectorial, dando especial atención a las áreas de salud, seguridad y medio ambiente.

A continuación se muestran las bases específicas del proyecto.

- Capacidad: producción anual de 60.000 Tn/año de MCB con una pureza del 98.5% en peso.
- Funcionamiento: 300 días/año de producción con dos paradas para realizar las tareas de mantenimiento de equipos.
- Presentación del producto a granel en cisternas de 23 Tn con la pureza requerida anteriormente.

1.1.2 Alcance del proyecto

En el proyecto se debe tener en cuenta y contemplar las siguientes áreas:

- Unidades de proceso y reacción para la producción y purificación del MCB.

- Unidades de almacenamiento de materias primas y estaciones de carga y descarga
- Almacenamiento del producto terminado
- Áreas de servicio
- Oficinas, laboratorios y vestuarios
- Áreas auxiliares: aparcamientos, control de accesos, contra incendios, depuración de aguas y gases.

También se deben incluir los aspectos siguientes:

- Diseño y especificación de todos los equipos incluidos en el proceso
- Diseño y especificación de todo el sistema de control necesario para que la planta funcione de manera correcta.
- Diseño de un sistema de seguridad e higiene adecuado.
- Estudio del impacto medioambiental y del cumplimiento de la legislación vigente.
- Estudio de la viabilidad económica de la planta diseñada.
- Estudio de la puesta en marcha, parada y operación de la planta.
- Cumplimiento de las normativas pertinentes y disposiciones legales vigentes.

1.1.3 Localización de la planta

La planta de producción de MCB se encuentra situada en el polígono industrial “Gases Nobles” del municipio de Igualada, en la comarca de l’Anoia, que se encuentra al Noreste de la provincia de Barcelona **Figura 1-2**



Figura 1- 2: Situación geográfica de la planta de producción en la península Ibérica

La parcela tiene una superficie total de 53.235m², también se detallan los servicios disponibles conexcionados que presenta el emplazamiento en la **Tabla 1-1**.

Tabla 1- 1: Tabla de servicios disponibles a la planta

| SERVICIO DISPONIBLE | CLASE DE CONEXIÓN |
|-------------------------|--|
| Energía eléctrica | Línea de 20 kV a pie de parcela |
| Gas Natural | Conexión a pie de parcela a media presión (1.5Kg/cm ²) |
| Agua de red e incendios | Conexión a pie de parcela a 4Kg/cm ² Con diámetro de 200mm |
| Alcantarillado | Red de alcantarillado unitaria en el centro de la calle, con profundidad de 3.5m y diámetro de colector de 800mm |

1.1.3.1. Parámetros de edificación y plano de la parcela

Los parámetros de edificación según la normativa urbanística del municipio de Igualada para el polígono industrial “El Clot del Bruixot” se recogen en la **Tabla 1-2**.

Tabla 1- 2: Parámetros de edificación del Polígono Industrial "El Clot del Bruixot"

| PARÁMETRO | CONDICIONES |
|--------------------------------|--|
| Edificabilidad | Línea de 20kV a pie de parcela |
| Ocupación máxima de la parcela | Conexión a pie de la parcela a media presión (1.5 kg/cm2) |
| Ocupación mínima de la parcela | Conexión a pie de parcela a 4kg/cm2. Con diámetro de 200mm |
| Retranqueos | 5m a viales y vecinos |
| Altura máxima | 16m y 3 plantas. Excepto en producción justificando la necesidad del proceso |
| Altura mínima | 4m y 1 planta |
| Aparcamientos | 1plaza/150m2 construidos |
| Distancia entre edificios | 1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5m |

A continuación se muestra el plano de la parcela donde se ubicará la planta de producción de MCB, **Figura 1-3**.

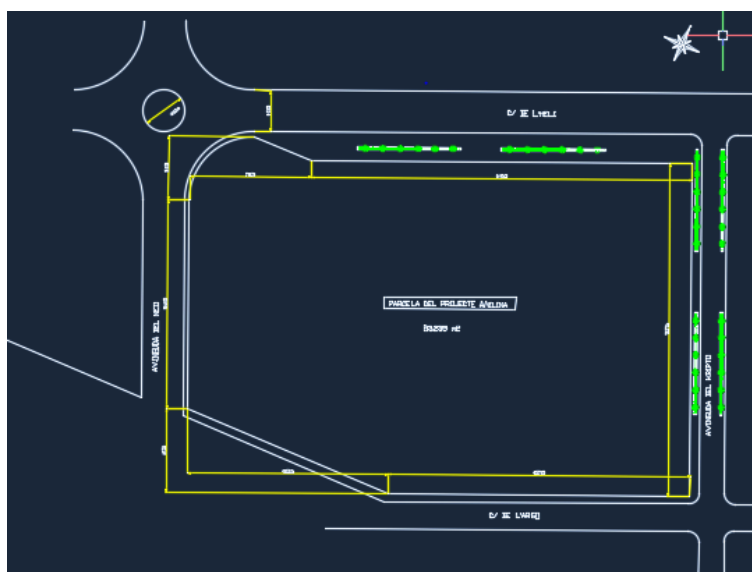


Figura 1- 3: Plano de la parcela para la ubicación de la planta de MCB

1.1.3.2 Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad de la planta

Para escoger el emplazamiento es importante saber las comunicaciones y los accesos de la planta, principalmente en lo que se refiere al abastecimiento de materias primas, así como la distribución del producto terminado para su propia comercialización.

En este caso Igualada está situada en un nudo de comunicaciones en el centro de Cataluña. A continuación se detalla las infraestructuras de transporte de primer nivel situadas en las proximidades de Igualada.

VIAS TERRESTRE

- La autovía A-2: se trata de una de las seis autovías radiales de España y comunica Madrid con Barcelona pasando por Guadalajara, Zaragoza y Lérida.
- El eje Diagonal C-15: Itinerario principal de comunicación de las comarcas del interior de Cataluña con la zona central de la Mediterránea.
- La carretera Nacional- II: se trata de una carretera radial que une Madrid con el paso fronterizo de Los Límites (La Junquera) pasando por localidades como Guadalajara, Zaragoza, Lérida, Barcelona y Gerona.
- Carreteras secundarias: desde el municipio de Igualada salen carreteras comarcales como la C-37, que comunica con Manresa, la C-241 que comunica con el Montblanc i la C-1412 que comunica con Tremp pasando por el Calaf i Ponts.

VIAS MARITIMAS

- Puerto de Barcelona: situado a 62 Km de Igualada.
- Puerto de Tarragona: situado a 96 Km de Igualada.

VIAS AEREAS

- Aeropuerto del Prat: se encuentra a 63.2Km

1.1.3.3 Características del medio físico del entorno

Clima y temperaturas

Igualada, zona de emplazamiento de la planta, tiene un clima mediterráneo continental subhúmedo, según la clasificación climática de Köppen. Los veranos son secos y calurosos, y los inviernos fríos, con heladas frecuentes de noviembre a abril y a veces alguna nevada.

En la **Figura 1-4** se muestra la variación de las temperaturas máximas y mínimas así como la variación en las precipitaciones, datos obtenidos de la Estación Meteorológica de Sabadell (a 40.8 km de Igualada) durante el año 2016.

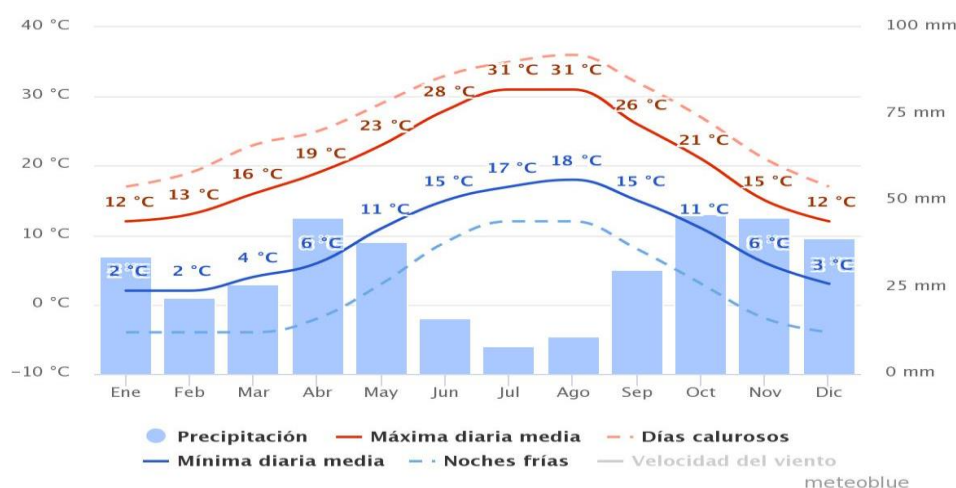


Figura 1- 4: Datos termo pluviométricos de la Estación Meteorológica de Sabadell. Fuente datos del Servicio Meteorológico de Catalunya [1]

La velocidad media del viento en Igualada comprende entre 7.5 y 9.5 km/h. A su vez, la humedad relativa del municipio es entre 60-80%

Entorno geológico y geomorfología

La ciudad de Igualada está situada en la banda izquierda de la Anoia, a 315.8m sobre el nivel del mar, en el centro de la fosa de erosión que recibe el nombre de la Conca de Odena.

El relieve del término igualadino es poco accidentado, solo roto por algunas alineaciones de colinas. Esta zona tiene un terreno predominantemente calcáreo y colmatado por sedimentos continentales y marinos.

A lo largo de toda la zona de la comarca de la Anoia hay una falta de alta permeabilidad del terreno, y por lo tanto, se descarta la existencia de acuíferos explotables. La ciudad de Igualada tiene ubicado un río en el lado izquierdo, el río Anoia.

Sismología

El municipio de Igualada se encuentra envuelto por una fosa tectónica formada por tres estructuras diferenciadas, aun así la actividad sísmica se puede considerar baja.

Según el Servicio de Sismología de la Generalitat, en Catalunya se registra de media un terremoto de magnitudes de 1 a 2 grados cada día. Registrando solo un terremoto al año de máximo 3 grados en la escala de Richter.

1.1.4 Abreviaciones

Para poder facilitar y simplificar la comprensión y lectura del proyecto, se ha descrito una nomenclatura y abreviaciones que se usarán de forma constante durante el proyecto.

La **Tabla 1-3** se detalla las distintas áreas principales de la planta y la correspondiente nomenclatura

Tabla 1- 3: Abreviaciones de las distintas áreas presentes en la planta

| CÓDIGO | DESCRIPCIÓN |
|--------|---|
| A-100 | Almacenaje de materias primas |
| A-200 | Reacción de cloración |
| A-300 | Purificación MCB |
| A-400 | Purificación HCl |
| A-500 | Almacenaje de productos |
| A-600 | Servicios / Transformador eléctrico |
| A-700 | Oficinas / Laboratorios/Sala de control |
| A-800 | Seguridad / Medio Ambiente |

En la **Tabla 1-4** se detalla la codificación de los distintos equipos empleados a lo largo del proceso.

Tabla 1- 4: Abreviaciones de los equipos de planta

| CÓDIGO | EQUIPO | CÓDIGO | EQUIPO |
|--------|-------------------------------------|--------|-------------------------|
| T | Tanques o depósitos | R | Reactor |
| TF | Tanques de reflujo | CD | Columna de destilación |
| CT | Condensador total | E | Intercambiador de calor |
| RB | Reboiler | CM | Compresor |
| TR | Torre de refrigeración | P | Bombas |
| CV | Caldera de vapor | D | Decantador |
| GE | Generador eléctrico | CF | Centrífuga |
| CA | Columna de absorción | MIX | Mixer |
| AFF | Columna Falling Film | CH | Chillers |
| TCN | Tanque criogénico de N ₂ | DC | Descalcificadora |
| | | TE | Transformador eléctrico |

En la **Tabla 1-5** se codifican los distintos fluidos de proceso necesarios para el correcto funcionamiento de la planta. También se adjuntan los códigos usados para las mezclas de fluidos que se dan durante el proceso. Todos ellos están codificados con la letra P y con un número distinto dependiendo de la mezcla de componentes que contenga. Así se facilita la comprensión de diagramas de proceso o de ingeniería.

Tabla 1- 5: Fluidos que intervienen en toda la planta de producción de clorobenceno

| CÓDIGO | FLUIDO | FÓRMULA | CÓDIGO | FLUIDO | FÓRMULA |
|--------|-------------------------|-------------------------------|--------|---------------------------|---|
| F1 | Benceno | C ₆ H ₆ | F7 | Hidróxido de sodio | NaOH |
| F2 | Cloro | Cl ₂ | F8 | Cloruro de sodio | NaCl |
| F3 | Cloruro de hierro (III) | FeCl ₃ | F9 | Hidróxido de hierro (III) | Fe(OH) ₃ |
| F4 | Monoclorobenceno | MCB | F10 | Agua | H ₂ O |
| F5 | Di-clorobenceno | DCB | F11 | Tolueno | C ₆ H ₅ CH ₃ |
| F6 | Ácido clorhídrico | HCl | | | |

1.2. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS

1.2.1 Producto de interés: Monoclorobenceno (MCB)

El MCB es un compuesto orgánico aromático con fórmula química C₆H₅Cl. Se trata de un líquido incoloro e inflamable.

El principal uso del MCB es como intermedio en la producción de productos como herbicidas, colorantes i caucho. También se utiliza como disolvente de alto punto de ebullición en muchas aplicaciones industriales. También se ha utilizado para la fabricación de ciertos plaguicidas, especialmente el DDT.

En la **Tabla 1-6** que se presenta a continuación se recogen las propiedades de mayor interés del MCB:

Tabla 1- 6: Propiedades generales del MCB [2]

| PROPIEDAD | VALOR |
|--|--------|
| Peso molecular (kg/kmol) | 112.56 |
| Punto de ebullición (°C) | 130.85 |
| Punto de fusión (°C) | -45.2 |
| Densidad (Kg/m ³) | 1.11 |
| Densidad relativa (agua=1) (kg/m ³) | 1.03 |
| Densidad relativa del vapor (aire=1)(kg/m ³) | 3.88 |
| Presión de vapor a 20°C (kPa) | 1.17 |
| Viscosidad a 25°C (mPa·s) | 0.753 |
| Temperatura crítica (°C) | 360.25 |
| Presión crítica (MPa) | 4.52 |
| Solubilidad a 20°C (g/100mL H ₂ O) | 0.05 |

El MCB tiene una alta solubilidad en disolventes no polares, sin embargo, es casi insoluble en agua. Si se acumula en sistema de agua tiende a hundirse debido a su densidad. Pero tiene mayor tendencia a acumularse en aguas tranquilas debido a su alta volatilidad.

1.2.2 Materias primas

- **Benceno (C₆H₆)**

El benceno se trata de un hidrocarburo aromático, el cual se representa con un hexágono y un círculo inscrito para hacer notar que los tres enlaces dobles están dissociados y deslocalizados, tal y como se muestra en la **Figura1-5**. Este se encuentra en la lista de los 20 productos químicos de mayor volumen de producción. Algunas industrias usan el benceno como punto de partida para manufacturar otros productos químicos usados en la fabricación de plásticos, resinas, nilón y otras fibras sintéticas y en ciertos polímeros. También se usa para hacer ciertos tipos de gomas, lubricantes, tinturas, detergentes, pesticidas. El benceno también es un componente natural del petróleo crudo y la gasolina.

Se tiene que tener en cuenta que el benceno se evapora al aire rápidamente y es sólo ligeramente soluble en agua, pero sumamente inflamable.

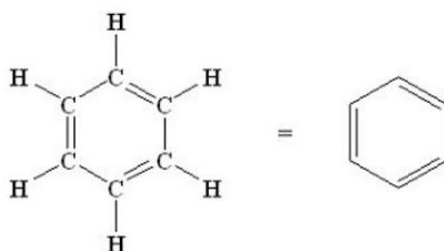


Figura 1- 5: Estructura molecular del benceno

- **Cloro (Cl₂)**

El cloro existe como un gas diatómico amarillo-verdoso a temperaturas y presiones ordinarias. Es el segundo en reactividad entre los halógenos, y de aquí que se encuentre libre en la naturaleza sólo a las temperaturas elevadas de los gases volcánicos.

Las principales aplicaciones del cloro son la producción de un amplio rango de productos industriales y para consumo, como por ejemplo en la elaboración de plásticos, solventes para el lavado en seco y desgrasado de metales, producción de agroquímicos, clorofluorocarbonos (CFCs), etc. También es muy importante para la purificación del agua, en desinfectantes y en la lejía.

El cloro es un gas altamente reactivo, y se disuelve cuando se mezcla con agua y es especialmente dañino para los organismos que viven en el agua y el suelo.

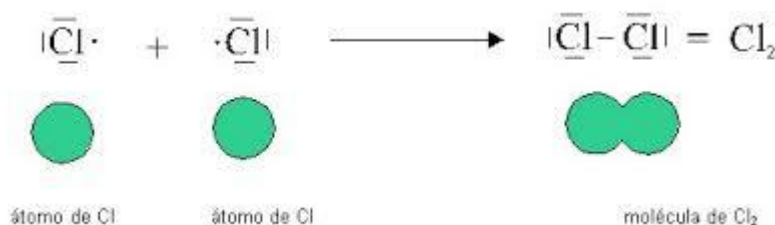


Figura 1- 6: Estructura de Lewis para la molécula de cloro

1.2.3 Subproductos y otros compuestos

- **Ácido clorhídrico (HCl)**

Se trata de un ácido mineral fuerte y altamente corrosivo con varias aplicaciones tanto industriales como a menor escala. El HCl se utiliza a nivel industrial para la producción de policloruro de vinilo (PVC) y poliuretano.

Otras aplicaciones de este ácido inorgánico son la limpieza del hogar, la producción de aditivos alimentarios, la descalcificación, tratamiento del cuero y decapado del acero.

El HCl destaca por su capacidad de corrosión de otros materiales, por lo tanto, será necesario extremar las precauciones para su manipulación. Se trata de un compuesto peligroso para la fauna y flora acuática, ya que su actividad se relaciona directamente con la generación de la lluvia ácida y el deterioro de la capa de ozono.

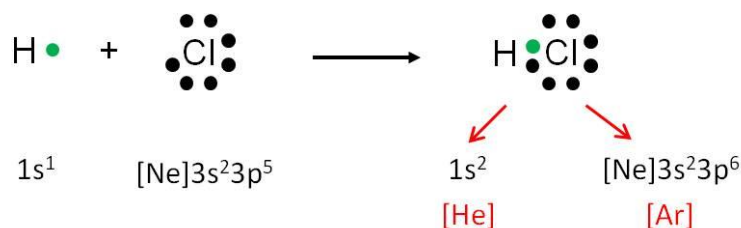


Figura 1- 7: Estructura de Lewis para la molécula de ácido clorhídrico

- **Di-clorobenceno (DCB)**

Se presenta en forma de líquido blanco con un olor característico. Existen tres isómeros del DCB tal y como se muestra en la **Figura 1.8**

El 1,2-diclorobenceno es un líquido incoloro o amarillento usado para fabricar herbicidas. El 1,3-diclorobenceno también es incoloro y es usado para la producción de herbicidas, insecticidas, medicamentos y tintes. El 1,4-diclorobenceno, es el más importante de los tres isómeros, es un sólido incoloro o blanco con un olor fuerte y penetrante. Cuando se expone al aire se convierte lentamente de sólido a vapor.

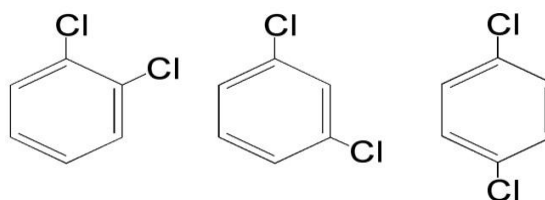


Figura 1- 8: Estructuras de los distintos isómeros existentes de DCB

- **Cloruro de Hierro (III) (FeCl_3)**

El compuesto cloruro férrico, en su forma anhidra, se dice que es higroscópico, por lo que forma una niebla de cloruro de hidrógeno cuando se encuentra en presencia de aire con humedad.

Este compuesto se encuentra en estado de agregación sólida, pero es considerablemente volátil debido a su enlace covalente. Conforma cristales de tipo molecular laminar, por lo que se presenta en forma de escamas con brillo y coloración verdosa o púrpura.

Posee una gran presión de vapor, por lo que los puntos de ebullición y fusión son bajos. A pesar de esto, se debe controlar la temperatura a la cual se trata este compuesto, pues puede llegar a descomponerse pasando a forma di-cloruro de hierro.

Cuando se disuelve en agua, este compuesto es hidrolizado por lo que realiza una liberación de calor en una reacción exotérmica, dando lugar a una solución de carácter corrosivo y ácido. Al disolverse en agua, debería precipitar formando hidróxido de hierro ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) insoluble; sin embargo, se forma una disolución coloidal de este compuesto, pudiéndose usar como coagulante para tratamientos de aguas.

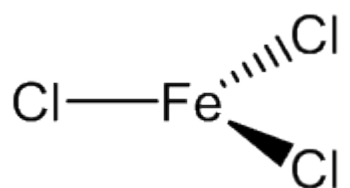


Figura 1- 9: Estructura de Lewis para el Cloruro de Hierro (III)

1.2.4 Corrosión y materiales

Uno de los principales gastos en la industria química se debe al mantenimiento y sustitución de equipos e instalaciones a causa de la degradación de los materiales. Evitar el deterioro de los materiales a largo tiempo resulta imposible, sin embargo si es

posible minimizar estos efectos, efectuando una buena selección de los materiales y de las condiciones de operación.

Los principales factores que intervienen en la degradación de los materiales suelen ser la erosión, la corrosión, los esfuerzos mecánicos o la temperatura, siendo la corrosión la principal causa.

La corrosión, por tanto se define como el deterioro de un material como consecuencia de un ataque electroquímico de su entorno. Para poder prevenirla, es importante conocer las sustancias con las que estará en contacto los materiales y sus condiciones de trabajo.

A continuación en la **Tabla 1-7** se pueden observar para los distintos compuestos presentes en la planta de producción de clorobenceno, la compatibilidad con diferentes materiales según su grado de corrosión.

Tabla 1- 7: Tabla de compatibilidad química entre materiales y sustancias químicas ^[4]

| COMPUESTOS | Latón | Acero al carbono | Fundación de Hierro | 316 Acero Inoxidable | 304 Acero Inoxidable | EPDM | Titanio | Viton | Silicona | PTFE | PTFE Reforzado | PTFE Econ Grafito | Delrin | Hastelloy |
|----------------|-------|------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------|---------|-------|----------|------|----------------|-------------------|--------|-----------|
| Benceno | A | B | B | B | B | D | D | B | D | A | A | A | C | B |
| MCB | * | B | B | A | B | D | D | A | D | A | A | A | B | B |
| DCB | * | * | C | C | B | D | D | * | C | A | A | A | D | B1 |
| HCl | * | * | * | C | C | C | B | * | * | B | B | B | C | A |
| NaOH | D | A | B | A | A | B | A | C | A | A | D | D | D | A |
| FeCl3 | B | B | A | A | A | B | C | C | C | A | A | B | D | B |
| Fe(OH)3 | D | A | B | A | A | B | A | C | A | A | D | D | D | A |
| Tolueno | A | A | A | A | A | D | D | B | D | A | A | A | C | A |
| Cl2 | * | B | B | B | B | B | A | A | * | A | A | A | A | B |

Dónde **A** = Excelente, **B** = Bueno, **C** = Pobre, **D** = No usar, * = No información

1.2.4.1 Sustancias y mezclas corrosivas

Tabla 1- 8: Corrientes de mezcla de productos que intervienen en toda la planta de producción de MCB

| ABREVIACIÓN MEZCLAS | COMPOSICIÓN | ABREVIACIÓN MEZCLAS | COMPOSICIÓN |
|------------------------|---|------------------------|---------------------------------|
| M1 | B + T | M9 | B+HCl+MCB+DCB+Cl ₂ |
| M2 | HCl + Cl ₂ | M10 | HCl+Cl ₂ +B |
| M3 | H ₂ O+NaOH | M11 | HCl+H ₂ O+B |
| M4 | H ₂ O+NaCl+B+HCl+MCB+DC B+FeCl ₃ | M12 | B+HCl+MCB+DCB |
| M5 | H ₂ O+NaCl+B+MCB+DCB | M13 | HCl+B |
| M6 | H ₂ O+NaCl | M14 | HCl+H ₂ O |
| M7 | B+MCB+DCB | M15 | B+HCl+MCB+DCB+FeCl ₃ |
| M8 | MCB+DCB | | |

1.3 PROCESOS DE OBTENCIÓN DEL CLOROBENCENO

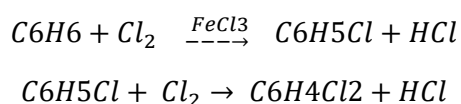
Para empezar, es necesario situar la producción de MCB para el sector químico a nivel mundial, siendo en el año 1989, una producción anual total de 168.000Tn de MCB.

Los principales procesos de producción o vías de síntesis que se usan para la producción de clorobenceno son los siguientes:

- Cloración en fase gaseosa con cloro puro.
- Cloración en fase gaseosa o líquida con cloruro de hidrógeno y aire (oxicloración)
- Cloración con compuestos clorados
- Electrólisis de benceno y ácido hidrocórico

1.3.1 Descripción del proceso de producción

El proceso de fabricación de monoclorobenceno consiste en la cloración del benceno formado a partir de una reacción bifásica en presencia de un ácido de Lewis como catalizador. Este proceso también conduce a una reacción secundaria no deseada donde el monoclorobenceno se clora obteniendo di-clorobenceno. La reacción es la siguiente.



A continuación, se muestra el diagrama de bloques de la producción de monoclorobenceno.

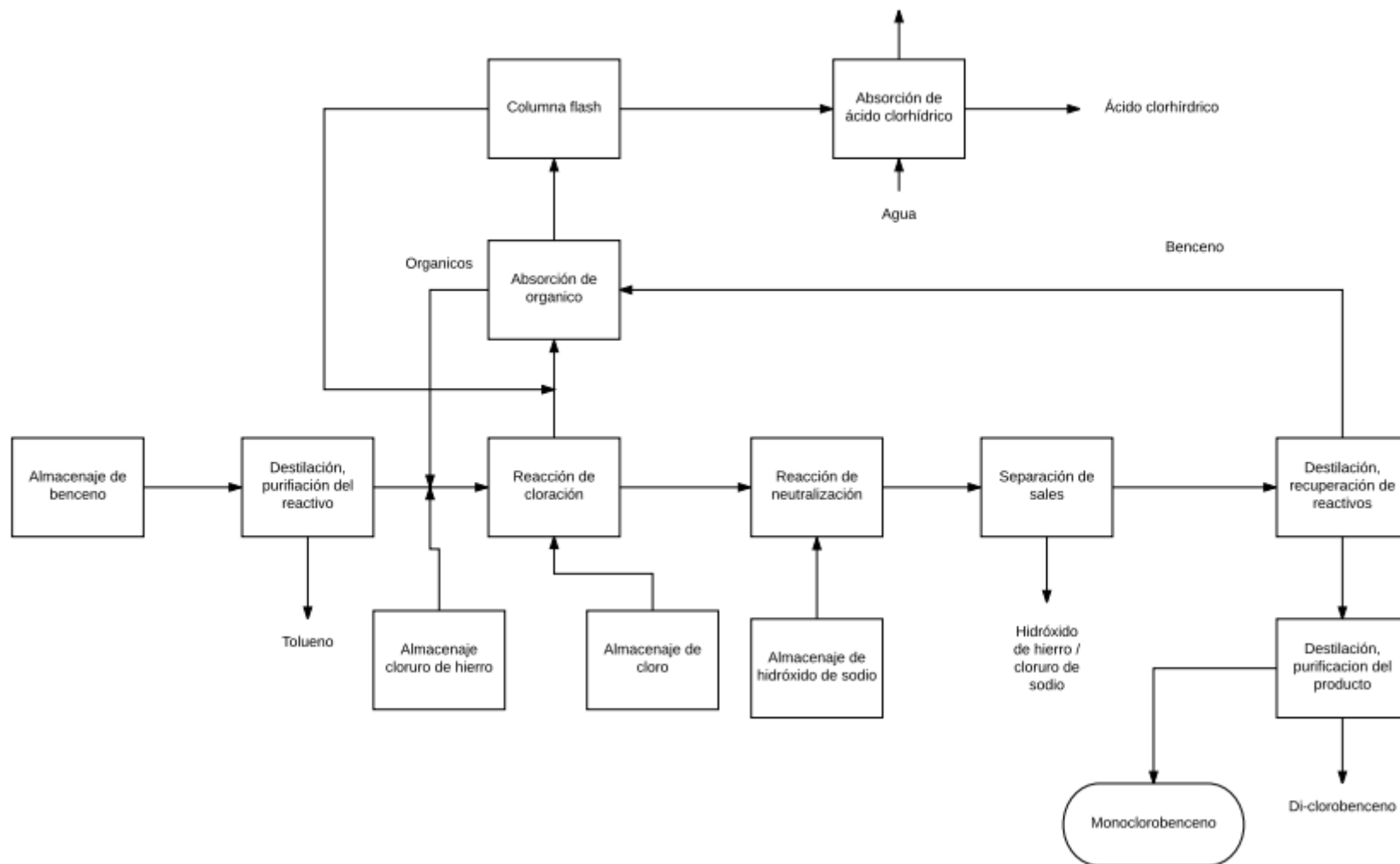


Figura 1- 10: Diagrama de bloques del proceso de producción de MCB

1.3.2 Diagrama del proceso y descripción detallada

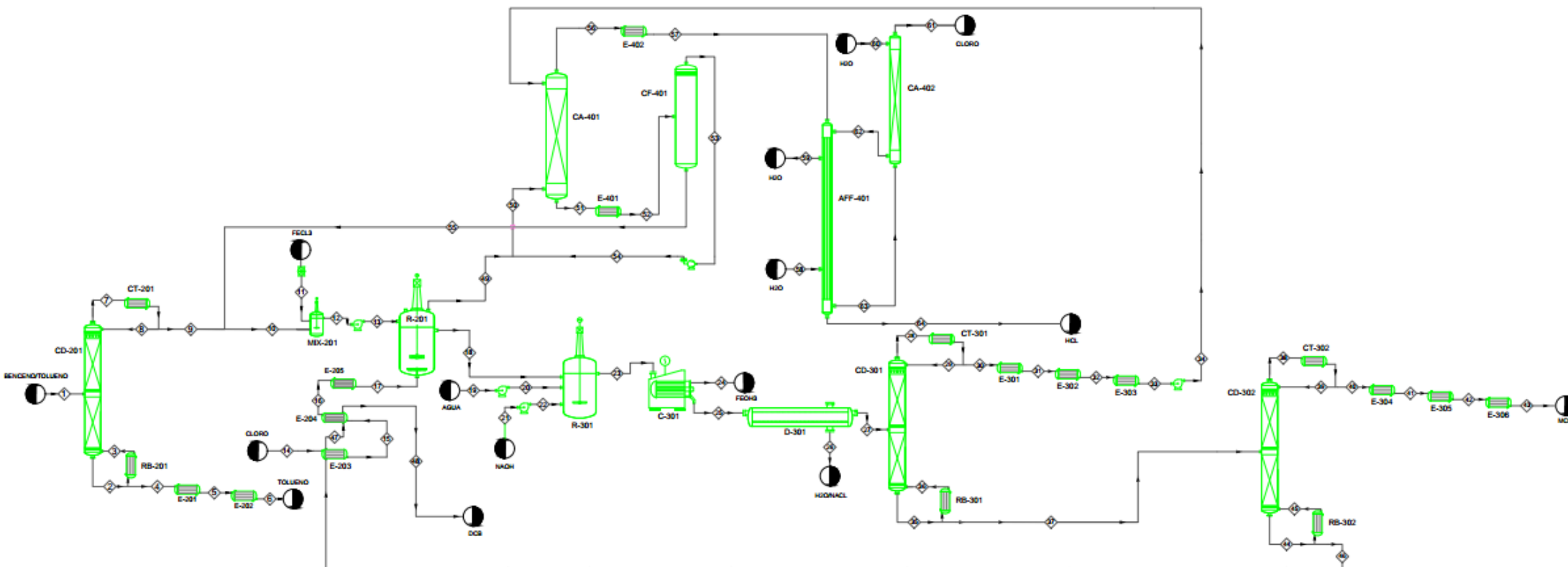


Figura 1- 11: Diagrama de proceso de la producción de clorobenceno

Como se observa en el diagrama, el proceso se diferencia en 3 etapas:

- La primera etapa es la reacción, donde se lleva a cabo la cloración del benceno para la producción de monoclorobenceno.
- La segunda es la purificación, donde se procede a purificar el producto hasta la concentración deseada.
- Finalmente, la línea de gases para manejar los subproductos gases.

El benceno con un 1% molar de tolueno entran a la primera columna de destilación (CD-201) para conseguir un reactivo puro. Este proceso es necesario para evitar la reacción de cloración del tolueno i conseguir de esta forma una conversión más elevada respecto a nuestro producto. El tolueno separado es almacenado, mientras que el benceno sigue la línea de reacción donde se une con el benceno recirculado procedente de la columna (CD-301). Este corriente contiene mayoritariamente benceno, pero también una pequeña cantidad de ácido clorhídrico, monoclorobenceno y di-clorobenceno.

La recirculación al unirse con el benceno caliente proveniente de la columna (CD-201) hace que el corriente se caliente y llegue a la temperatura deseada de reacción. La mezcla entra a un mixer donde se diluirá con el catalizador (cloruro de hierro) con una proporción de 1% en peso respecto al benceno. Se le subirá la presión a la solución hasta la de operación y se introducirá al reactor.

El corriente de cloro líquido proveniente del almacenaje a alta presión (10 bar) se expande hasta 2.4 bares. Seguidamente se introduce a tres intercambiadores de calor en serie donde se vaporizará el cloro y se calienta hasta la temperatura de operación del reactor.

Los dos reactivos entran dentro el reactor continuo de tanque agitado donde se produce la cloración del benceno obteniendo un 33% de conversión del benceno, y un 6% de producción de di-clorobenceno respecto al monoclorobenceno. La reacción se lleva a cabo a 2.4 bares y 55°C para para minimizar la formación del subproducto y a la vez obtener una conversión óptima. La reacción es exotérmica y por lo tanto es necesario refrigerar el reactor para mantener la temperatura constante.

El reactor tiene dos salidas, una de gas y una de líquido. La salida de líquido, la cual llevara nuestro producto deseado juntamente con benceno no reaccionado, el subproducto di-clorobenceno, un pequeño porcentaje de ácido clorhídrico disuelto y catalizador.

Seguidamente se procederá a quitar el catalizador de la mezcla. Este procedimiento se ha hecho antes de introducir el corriente en la columna para evitar el incrustamiento de la sal (catalizador) en las paredes de la columna y el reboiler, además de minimizar los fenómenos de corrosión en el proceso.

El corriente se introduce al reactor (R-301) para llevar a cabo la reacción de neutralización del ácido clorhídrico y el catalizador a partir de hidróxido de sodio formando así dos sales, hidróxido de hierro (III) y cloruro de sodio. La reacción es exotérmica y se produce a las mismas condiciones de salida del reactor, aun así, la reacción no constará de refrigeración ya que la misma se refrigera por un corriente introducido de agua en exceso que se utiliza para mejorar la decantación posterior que se hará.

El corriente de salida del reactor (R-301) se introduce en una centrifuga donde se recoge el precipitado de hidróxido de hierro. A continuación, se lleva a cabo la decantación a presión atmosférica donde se separa el cloruro de sodio disuelto en agua y los orgánicos donde son enviados a la columna de destilación (CD-301). La columna (CD-301) separa el benceno del monoclorobenceno y el di-clorobenceno. El residuo se lleva a la columna de destilación (CD-302) donde obtendremos nuestro producto por el destilado, el monoclorobenceno, y el di-clorobenceno por el residuo.

El di-clorobenceno sale a altas temperaturas y se usara como fluido térmico en los dos primeros intercambiadores de calor en línea de entrada del cloro.

La salida de gas está compuesta por cloro que no ha reaccionado, ácido clorhídrico principalmente que se ha formado como subproducto y una pequeña cantidad de orgánicos. El corriente se llevará a una columna de absorción (CA-401) para absorber los orgánicos, mayoritariamente benceno, de la mezcla gas donde se usará el corriente de benceno procedente de la columna (CD-301) como solvente, el cual se introducirá a 10°C y a 2.4 bares para maximizar la absorción.

La solución será la que se recirculará en el proceso, pero antes se hace una destilación flash para separar el ácido clorhídrico que se ha disuelto en la absorción disminuyendo de esta manera la entrada de subproductos en el reactor. Para optimizar la separación se ha calentado el corriente previo hasta 55°C.

El líquido de salida será el recirculado al proceso i el corriente gas se unirá con la salida de gases del reactor.

Volviendo a la columna de absorción (CA-401), los gases de salida se dirigirán hasta la segunda columna de absorción (AFF-401) donde se absorberá el ácido clorhídrico con agua. Esta absorción es altamente exotérmica, por eso se opera con una columna de absorción con intercambio de calor adjuntada a una columna de absorción adiabática (CA-402) donde se hace una primera absorción del 5%, permitiendo conseguir de esta forma una dilución del 32.3% de ácido. Para realizar esta absorción se introduce el corriente gas a 10°C y se operara la columna a 1.3 bares.

De la columna CA-402 sale cloro gas que no se absorbido donde posteriormente se llevará a tratamiento de gases.

1.4 CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA

1.4.1 Descripción cualitativa de la planta

Como se ha comentado anteriormente en el apartado *1.1.3 Localización de la planta*, la planta de producción de MCB está proyectada sobre una parcela de 53.235m². La distribución de dicha planta comprenderá todos los elementos de instalación, ya sean, industriales o los auxiliares necesarios, como el lugar de trabajo de los empleados. Teniendo también en cuenta los espacios necesarios para los movimientos de material, almacenamiento, equipos o líneas de producción, equipos industriales, administración, servicios para el personal, etc.

La ubicación de las distintas áreas y zonas de la planta se han diseñado para hallar una ordenación de las áreas y de los equipos, para que sea lo más eficiente en costes (movimiento del material según las distancias mínimas, circulación del trabajo a través

de la planta y flexibilidad en la ordenación para facilitar reajustes o ampliaciones), al mismo tiempo que sea la más segura y satisfactoria para los empleados de la planta.

Una buena distribución de la planta, aporta ventajas que se ven reflejadas en una reducción de costes de fabricación, así como en la reducción de riegos de enfermedades y accidentes profesionales y de trabajo, también en la mejora de la satisfacción del trabajador, una optimización del espacio con la consecuente reducción del material de proceso i optimización de la vigilancia.

1.4.2 Distribución por áreas

La planta de producción está dividida en 8 áreas. Dos dedicadas al almacenamiento de materias primas y productos acabados, tres de ellas para la síntesis de los productos, dos auxiliares para los servicios de planta, seguridad y medio ambiente y una última dónde se emplazarán las oficinas y las distintas zonas para el personal contratado. En la **Tabla 1-9** se adjunta la descripción de las distintas áreas que constituyen la planta.

Tabla 1- 9: Distribución de las áreas y una breve descripción de cada una

| ÁREA | DESCRIPCIÓN |
|-------|---|
| A-100 | Almacenaje de materias primas |
| A-200 | Reacción de cloración |
| A-300 | Purificación MCB |
| A-400 | Purificación HCl |
| A-500 | Almacenaje de productos |
| A-600 | Servicios / Transformador eléctrico |
| A-700 | Seguridad / Medio Ambiente |
| A-800 | Oficinas / Laboratorios/Sala de control |

En la **Figura 1-12** se esquematiza la proyección de las áreas en la parcela. Tal como se puede comprobar, éstas están bien dispuestas, manteniendo la zona de producción y síntesis lo más alejada de las vías de acceso para preservar la instalación.

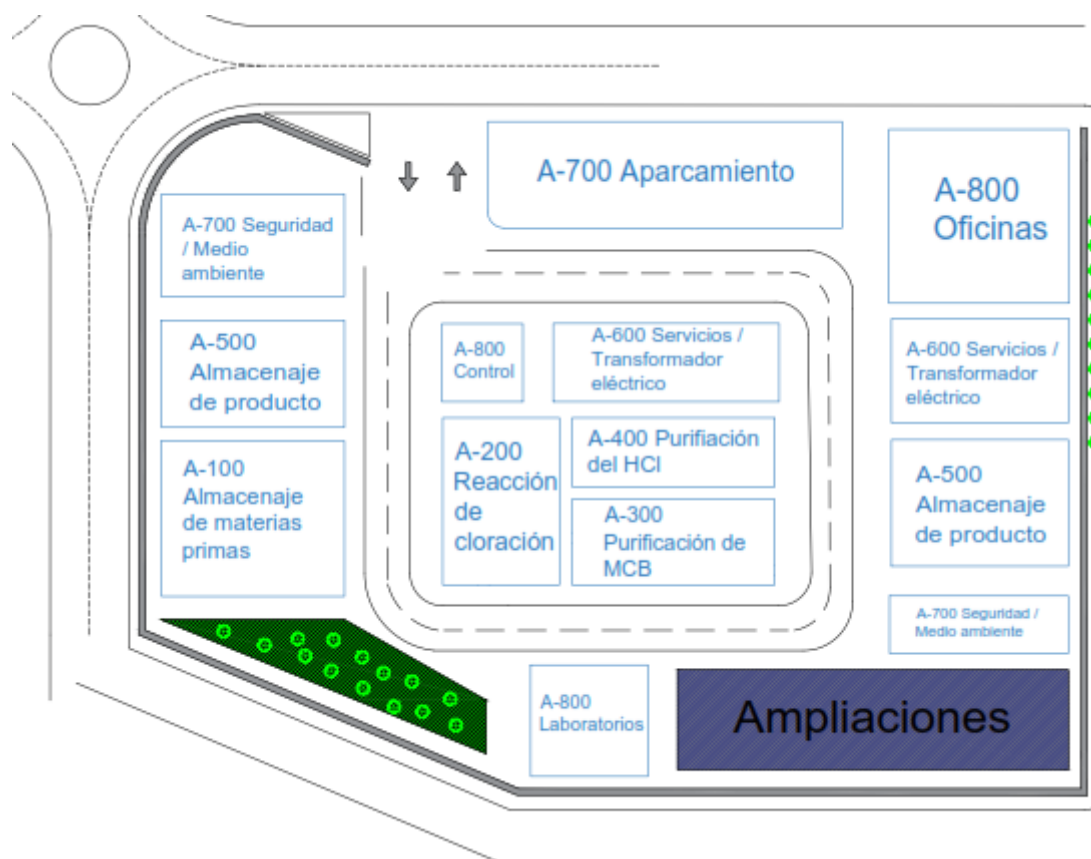


Figura 1- 12: Distribución de la parcela por áreas

Área 100: Almacenaje de materias primas

En esta área se almacenan las cuatro materias primas del proceso: C_6H_6 , Cl_2 , $FeCl_3$ y $NaOH$.

Los tanques se han diseñado para almacenar materia prima necesaria para dos días de producción normal. De tal forma que se ha duplicado el número de tanques necesarios, así poder cargar de materia prima la mitad de tanques que están vacíos y la otra mitad se va usando para la producción.

El benceno se almacena en 6 tanques atmosféricos de forma vertical diseñados con techo toriesférico, cuerpo cilíndrico y fondo plano, (3 para síntesis de producto y 3 cargando materia prima). Por otro lado se dispone de 8 tanques de cloro horizontales, diseñados a presión, de forma cilíndrica y ambos cabezales de forma toriesférica.

Para el catalizador ($FeCl_3$) se dispone de 2 tanques en vertical, de cuerpo cilíndrico, techo toriesférico y fondo cónico.

Esta zona además esta provista de la zona de descarga correspondiente, accesible totalmente con vehículo terrestre, puesto que será con camión cisterna como se aprovisionará el área de materias primas. Como se ha mencionado anteriormente el almacenaje es de dos días de producción normal por lo que la frecuencia de camiones está establecida para abastecer reactivos será cada dos días, de tal forma que cada dos días se llenaras la mitad del número de cada tanque.

El área 100 se sitúa en la parte Este de la parcela, accesible fácilmente por la carretera habilitada, pero lejos del acceso del personal no cualificado por la peligrosidad que entraña el almacenamiento de productos químicos.

Área 200. Reacción de cloración

En esta área se da la reacción de cloración para la obtención del producto. Esta área está constituida por el reactor de cloración y por un mixer donde se solubilizará el catalizador en el benceno antes de la entrada del reactor. Además, en esta área se sitúa la columna de destilación del benceno-tolueno, para así tener nuestro reactivo puro.

También se ha introducido en esta zona la expansión y el calentamiento del cloro para alimentar los reactores, como también el equipo del mezclador del benceno con el catalizador y el corriente de benceno recirculado.

Área 300: Purificación Monoclorobenceno

Para purificar el monoclorobenceno, primero se tiene que separar el catalizador disuelto en la solución para que este no provoque incrustaciones en los posteriores equipos, es por esto que en esta área se encuentran el reactor de neutralización (R-301), la centrífuga y el decantador para poder separarlo.

Una vez se ha separado el catalizador de la solución, este corriente ya puede entrar en las posteriores columnas de destilación, obteniendo nuestro producto MCB y DCB como subproducto y benceno no reaccionado que se recirculara en el proceso.

Área 400: Purificación HCl

En esta área realizado la absorción del cloruro de hidrógeno en agua para formar ácido clorhídrico. Esta se ha realizado mediante una columna de absorción con intercambiador de calor para obtener un mayor porcentaje de absorción. Previamente, pero se ha reducido la concentración de los compuestos orgánicos con otra absorción a partir del recirculado de la columna de destilación. También se dispone de una columna flash para el corriente líquido de orgánicos procedente de la absorción ya que estos se recircularán al proceso y se intentara reducir la concentración de ácido clorhídrico que se haya podido solubilizar en él.

Área 500. Almacenaje de productos

Los productos almacenados en esta área son: el MCB, DCB (mezcla de isómeros *orto* y *para*), HCl 31.4% y tolueno 98.5% (% en peso).

El MCB se almacena en tanques verticales de a presión atmosférica, contienen la capacidad equivalente para dos días de producción.

El DCB, se almacena en un tanque vertical de cuerpo cilíndrico y fondo cónico, ya que en las condiciones de almacenaje éste se encuentra de forma sólida. Por lo que el – DCB se introducirá en el tanque mediante un aspersor, de tal forma que se solidificará en granos pequeños y así poder evitar posibles taponamientos.

Por lo que respecta al HCl, éste se almacena también en tanques verticales atmosféricos cilíndricos, con techo toriesférico y fondo plano. El material usado para este producto es el PTFE, compatible para el ácido en caso de que estuviera en contacto con agua, ya que así habría un efecto muy corrosivo.

Para el tolueno, se han diseñado tanques cilíndricos verticales, y a presión atmosférica para su almacenamiento. El material de estos tanques es de AISI 306L.

Toda la zona de expedición de productos acabados se sitúa cerca de la entrada para facilitar la logística de carga.

Área 600. Servicios y transformador eléctrico

Los servicios auxiliares necesarios para el proceso productivo se distribuyen desde el área 600. A partir de esta área, son canalizados los servicios de fluidos y energías hacia los puntos de uso de la planta. Estos están compuestos por 1 torre de refrigeración, una caldera de gas natural y otra caldera para aceite térmico, 2 chillers, un equipo de descalcificación de agua, un sistema de compresión de aire y una estación transformadora, así como un depósito de N₂ para mantener atmósferas inertes. Todos los servicios están detallados en el apartado **1.6 Especificaciones y necesidades de servicios a límite de planta.**

Área 700. Seguridad y medio ambiente

Todas las emisiones voluntarias o involuntarias son dirigidas hacia el área 800. Ésta se encuentra separada del proceso de producción y consta de distintas zonas según la tipología del residuo a tratar (sólidos, líquidos o gases). En esta área se incluyen las columnas de adsorción de los venteos normales de los tanques de almacenamiento de productos y materias primas al igual que la columna de absorción para los venteos de los tanques de HCl, Cl₂ y el corriente de cloro gas obtenido en el área 400, el tanque de almacenamiento de aguas residuales, los contenedores para los diferentes residuos sólidos y una balsa de agua para la prevención contra incendios.

Estará situada en una zona cercana a la entrada de camiones para facilitar la recogida de residuos necesarios.

Área 800: Oficinas, laboratorios y sala de control

Esta área incluye todas las zonas donde se realizará la gestión de la planta y se distribuyen en tres sub-zonas. Tanto la gestión administrativa como la operacional, y el control de la planta se realizarán desde el mismo edificio. Este tiene una extensión de 530 m² y está situado junto al área de reacción y las de purificación y se distribuye en una única planta.

Las oficinas se ubicarán al oeste de la parcela y constará de un edificio de 2500 m² de extensión.

Los laboratorios se ubican en la zona sud de la parcela y consta de 1024 m² de superficie.

1.4.3 Planificación temporal y plantilla de trabajadores

La planta de producción de MCB está operativa durante 300 días al año las 24 horas del día, con un total de 7200 horas al año. La única parada prevista se realizará durante los meses de julio y agosto, favoreciendo así, la eficiencia y ahorro energético de la planta.

Para la planificación temporal de la planta se han considerado tanto los días de operación continua como los que se dedican a la puesta en marcha y a las tareas de mantenimiento. Como se ha mencionado anteriormente, a lo largo del año se trabajarán 7200 horas. Según el XVII Convenio General de la Industria Química, los trabajadores de este sector tendrán una jornada laboral máxima anual de 1752 horas de trabajo efectivo. Así pues para poder cubrir las horas de producción se distribuirá el trabajo en cuatro turnos; el turno de mañana, tarde, noche y fines de semana.

Los trabajadores se encuentran divididos en diversos grupos profesionales y especialistas distribuidos por las diferentes áreas de la planta:

- **Directivos y técnicos:** los trabajadores de este grupo tienen como tarea planificar, organizar, dirigir, coordinar y controlar las actividades propias al desarrollo de la empresa. Asumen la responsabilidad de alcanzar los objetivos planificados y son responsables de la presa de decisiones.
- **Jefes de sección o especialistas:** este grupo lo constituyen un total de 15 personas tituladas como ingenieros químicos, industriales, de proceso... entre otros. Las funciones de este grupo consiste en integrar, coordinar y supervisar las tareas en las diversas secciones de la planta.

- **Operarios y obreros:** son los encargados de estar a pie de planta, tanto en las secciones de producción como de mantenimiento. Este grupo estará compuesto por 50 trabajadores.
- **Personal de oficina:** los 10 trabajadores de esta sección son los que se encargaran del máquetin, recursos humanos, contabilidad, publicidad y administración.
- **Personal de laboratorio:** Se trata del personal de control de calidad i de I+D. los de control de calidad se encargan de analizar las muestras que se van tomando continuamente en la planta, y los de I+D se encargan de que la empresa este actualizada en el ámbito científico-técnico.
- **Personal externo:** Se contratan de manera externa los servicios de limpieza, seguridad y mantenimiento de equipos especiales. Esto supone un coste fijo al ser subcontratados.

1.5 BALANCE DE MATERIA

A continuación, se presentan los flujos volumétricos, molares y másicos de los distintos corrientes que corresponden al proceso de producción, además de sus características principales. Estos corrientes se detallan para el estado de operación normal de la planta, es decir en estado estacionario. Todo ello permite configurar el balance de materia del proceso general y de cada área o sistema, comprobando que la producción de MCB es la deseada.

Las **Tablas 1.10 a la – Tabla 1.15** se detalla la información para cada corriente en particular. La enumeración de cada corriente corresponde al diagrama de proceso adjuntado en el apartado *1.4.2 Diagrama de proceso*.



Tabla 1- 10: Balance de materia de los corrientes del proceso y sus características generales

| CORRIENTE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
| Fase | L | L | G | L | L | L | G | L | L | L |
| Temperatura (°C) | 25 | 108.9 | 110 | 110 | 75 | 35 | 80.09 | 80.08 | 80.09 | 60.08 |
| Presión (kPa) | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 |
| Densidad (kg/m ³) | 872.2 | 782.5 | 3 | 781.4 | 793.2 | 803.4 | 2.773 | 810.9 | 810.9 | 837.2 |
| Caudal másico (kg/h) | 6474.0 | 43110.0 | 43030.0 | 77.4 | 77.4 | 77.4 | 38380.0 | 31980.0 | 6396.0 | 18690.0 |
| Fracción másica | | | | | | | | | | |
| Cloro | | | | | | | | | | |
| Clorobenceno | | | | | | | | | | 0.0055 |
| Benceno | 0.9882 | 0.0355 | 0.0355 | 0.0355 | 0.0355 | 0.0355 | 1 | 1 | 1 | 0.9907 |
| Ácido clorhídrico | | | | | | | | | | 0.0037 |
| Agua | | | | | | | | | | |
| Dichlorobenceno | | | | | | | | | | 0.0001 |
| Hidróxido de sodio | | | | | | | | | | |
| Cloruro de hierro (III) | | | | | | | | | | |
| Hidróxido de hierro (III) | | | | | | | | | | |
| Cloruro de sodio | | | | | | | | | | |
| Tolueno | 0.0118 | 0.9645 | 0.9645 | 0.9645 | 0.9645 | 0.9645 | | | | |



Tabla 1- 11: Balance de materia de los corrientes del proceso y sus características generales

| CORRIENTE | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---------------------------|-------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Fase | L | L | L | L | G | G | G | L | L | L |
| Temperatura (°C) | 25 | 60.08 | 60.08 | -12.53 | 10 | 25 | 55 | 55 | 25 | 25 |
| Presión (kPa) | 101.3 | 101.3 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 101.3 | 240 |
| Densidad (kg/m3) | 2800 | 850.4 | 850.4 | 1504 | 7.468 | 7.061 | 6.373 | 946.6 | 1000 | 1000 |
| Caudal másico (kg/h) | 390.0 | 19080.0 | 19080.0 | 5956.0 | 5956.0 | 5956.0 | 5956.0 | 21260.0 | 5000.0 | 5000.0 |
| Fracción másica | | | | | | | | | | |
| Cloro | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| Clorobenceno | | 0.0054 | 0.0054 | | | | | 0.3908 | | |
| Benceno | | 0.9704 | 0.9704 | | | | | 0.5428 | | |
| Ácido clorhídrico | | 0.0037 | 0.0037 | | | | | 0.0141 | | |
| Agua | | | | | | | | | 1 | 1 |
| Dichlorobenceno | | 0.0001 | 0.0001 | | | | | 0.034 | | |
| Hidróxido de sodio | | | | | | | | | | |
| Cloruro de hierro (III) | 1 | 0.0204 | 0.0204 | | | | | 0.0183 | | |
| Hidróxido de hierro (III) | | | | | | | | | | |
| Cloruro de sodio | | | | | | | | | | |
| Tolueno | | | | | | | | | | |



Tabla 1- 12: Balance de materia de los corrientes del proceso y sus características generales

| CORRIENTE | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
|---------------------------|--------|--------|---------|-------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Fase | L | L | L | S | L | L | L | G | L | L | L | L |
| Temperatura (°C) | 25 | 25 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 80.12 | 80.09 | 80.09 | 55 | 30 |
| Presión (kPa) | 101.3 | 240 | 240 | - | 240 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 |
| Densidad (kg/m3) | 1525.3 | 1525.3 | 1131 | 3400 | 1097 | 1180 | 932.4 | 2.773 | 810.9 | 810.9 | 839.5 | 866.9 |
| Caudal másico (kg/h) | 1234.4 | 1234.4 | 27505.5 | 256.5 | 27249.0 | 6682.8 | 20570.0 | 28840.0 | 17300.0 | 11540.0 | 11540.0 | 11540.0 |
| Fracción másica | | | | | | | | | | | | |
| Cloro | | | | | | | | | | | | |
| Clorobenceno | | | 0.302 | | 0.305 | | 0.4039 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 | 0.0004 |
| Benceno | | | 0.419 | | 0.423 | | 0.561 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 | 0.9996 |
| Ácido clorhídrico | | | | | | | | | | | | |
| Agua | 0.5 | 0.5 | 0.209 | | 0.2115 | 0.8627 | | | | | | |
| Dichlorobenceno | | | 0.026 | | 0.026 | 0 | 0.0351 | | | | | |
| Hidróxido de sodio | 0.5 | 0.5 | | | | | | | | | | |
| Cloruro de hierro (III) | | | | | | | | | | | | |
| Hidróxido de hierro (III) | | | 0.00932 | 1 | 0 | 0 | | | | | | |
| Cloruro de sodio | | | 0.0333 | | 0.0336 | 0.1373 | | | | | | |
| Tolueno | | | | | | | | | | | | |

Tabla 1- 13: Balance de materia de los corrientes del proceso y sus características generales

| CORRIENTE | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Fase | L | L | L | G | L | G | L | L | L | L | L |
| Temperatura (°C) | 10 | 10 | 132.7 | 133.8 | 133.8 | 132.5 | 132.2 | 132.2 | 102.2 | 72 | 37 |
| Presión (kPa) | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 |
| Densidad (kg/m ³) | 888.2 | 888.2 | 981.3 | 3.5 | 987.0 | 3.5 | 977.2 | 977.2 | 1013.0 | 1046.0 | 1084.0 |
| Caudal másico (kg/h) | 11540.0 | 11540.0 | 49690.0 | 40660.0 | 9031.0 | 70630.0 | 62320.0 | 8309.0 | 8309.0 | 8309.0 | 8309.0 |
| Fracción másica | | | | | | | | | | | |
| Cloro | | | | | | | | | | | |
| Clorobenceno | 0.0004 | 0.0004 | 0.9609 | 0.9701 | 0.9193 | 0.9985 | 0.9985 | 0.9985 | 0.9985 | 0.9985 | 0.9985 |
| Benceno | 0.9996 | 0.9996 | 0.0023 | 0.0026 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 |
| Ácido clorhídrico | | | | | | | | | | | |
| Agua | | | | | | | | | | | |
| Dichlorobenceno | | | 0.0368 | 0.0273 | 0.08 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 | 0.0007 |
| Hidróxido de sodio | | | | | | | | | | | |
| Cloruro de hierro (III) | | | | | | | | | | | |
| Hidróxido de hierro (III) | | | | | | | | | | | |
| Cloruro de sodio | | | | | | | | | | | |
| Tolueno | | | | | | | | | | | |



Tabla 1- 14: Balance de materia de los corrientes del proceso y sus características generales

| CORRIENTE | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 |
|-------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|
| Fase | L | G | L | L | L | G | G | L | L | G |
| Temperatura (°C) | 172.4 | 173.5 | 173.5 | 100 | 60 | 55 | 62.02 | 35.46 | 55 | 49.54 |
| Presión (kPa) | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 101.3 | 240 | 240 | 240 | 240 | 101.3 |
| Densidad (kg/m ³) | 1097 | 4.117 | 1098 | 1188 | 1233 | 3.8 | 3.8 | 865.5 | 834.2 | 2.0 |
| Caudal másico (kg/h) | 82990.0 | 82260.0 | 721.9 | 721.9 | 721.9 | 3772.0 | 4224.0 | 12750.0 | 12750.0 | 451.8 |
| Fracción másica | | | | | | | | | | |
| Cloro | | | | | | 0.007 | 0.0063 | | | |
| Clorobenceno | 0.0199 | 0.0201 | 0.0077 | 0.0077 | 0.0077 | 0.0261 | 0.0234 | 0.0081 | 0.0081 | 0.0007 |
| Benceno | | | | | | 0.2192 | 0.2532 | 0.9699 | 0.9699 | 0.5372 |
| Ácido clorhídrico | | | | | | 0.7472 | 0.7167 | 0.0219 | 0.0219 | 0.4621 |
| Agua | | | | | | | | | | |
| Dichlorobenceno | 0.9801 | 0.9799 | 0.9923 | 0.9923 | 0.9923 | 0.0005 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0001 | |
| Hidróxido de sodio | | | | | | | | | | |
| Cloruro de hierro (III) | | | | | | | | | | |
| Hidróxido de hierro (III) | | | | | | | | | | |
| Cloruro de sodio | | | | | | | | | | |
| Tolueno | | | | | | | | | | |



Tabla 1- 15: Balance de materia de los corrientes del proceso y sus características generales

| CORRIENTE | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 |
|---------------------------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|------|--------|-------|--------|
| Fase | G | L | G | G | L | L | G | L | L | 1 | 0 |
| Temperatura (°C) | 111.3 | 49.54 | 18.44 | 46.5 | 6 | 30 | 25 | 41 | 41.78 | 18 | 17.31 |
| Presión (kPa) | 240 | 101.3 | 240 | 240 | 101.3 | 101.3 | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| Densidad (kg/m3) | 3.9 | 847.7 | 3.8 | 3.5 | 1001.0 | 998.0 | 999.0 | 3.0 | 1005.8 | 3.1 | 1165.8 |
| Caudal másico (kg/h) | 451.8 | 12300.0 | 3011.0 | 3011.0 | 45846.4 | 45846.4 | 5752.5 | 31.3 | 6055.2 | 334.1 | 8732.1 |
| Fracción másica | | | | | | | | | | | |
| Cloro | | | 0.0088 | 0.0088 | | | | 1 | | 0.094 | |
| Clorobenceno | 0.0007 | 0.0084 | | | | | | | | | |
| Benceno | 0.5372 | 0.9858 | 0.0785 | 0.0785 | | | | | | | 0.027 |
| Ácido clorhídrico | 0.4621 | 0.0057 | 0.9127 | 0.9127 | | | | | 0.05 | 0.906 | 0.314 |
| Agua | | | | | 1 | 1 | 1 | | 0.95 | | 0.659 |
| Dichlorobenceno | | 0.0001 | | | | | | | | | |
| Hidróxido de sodio | | | | | | | | | | | |
| Cloruro de hierro (III) | | | | | | | | | | | |
| Hidróxido de hierro (III) | | | | | | | | | | | |
| Cloruro de sodio | | | | | | | | | | | |
| Tolueno | | | | | | | | | | | |

1.6 ESPECIFICACIONES Y NECESIDADES DE SERVICIOS A LÍMITE DE PLANTA

Los servicios de planta se entienden como aquellas operaciones auxiliares al proceso de producción principal encargados de hacer funcionar y regular dicho proceso. Los servicios requeridos por la planta pueden ser constantes como intermitentes. El principal objetivo de los servicios es realizar un trabajo o aportar/retirar materia y/o energía al proceso.

La mayor parte de los costes de operación de la planta provienen de estos servicios, por tanto deben ser fiables, de calidad constante y siempre disponible en exceso.

1.6.1 Servicios requeridos por la planta

Como se ha mencionado, los servicios de planta son un punto muy importante para el buen funcionamiento de la planta, cada fluido de servicio solicitado por la planta requiere de unos equipos y unos requisitos para poder disponer de estos a las condiciones adecuadas. Estos equipos serán comprados a las empresas especializadas en la construcción de cada uno de ellos, según las necesidades de la planta en cada servicio determinado se escogen un modelo adecuado para poder suplir en exceso su demanda.

A continuación, se hace una introducción de cada uno de los servicios requeridos en planta con una especificación del equipo y sus requisitos necesarios.

1.6.1.1 Agua de torre a 20°C

Función en planta: Enfriar o condensar fluidos de proceso

Equipos necesarios: Torre de refrigeración

Requisitos: Agua de red y electricidad

Con las necesidades energéticas que presenta nuestra industria, el papel del agua de torre es muy importante i esto se refleja en las cantidades de agua que se requieren para los intercambiadores en las líneas de proceso, y los condensadores de las torres de destilación. En este servicio llega una corriente de agua a 40 °C y el conjunto de equipos baja su temperatura hasta los 20°C.

A continuación, se presenta la **Tabla 1-16** donde están registradas las necesidades de agua del proceso y el equivalente a la energía que debe aportar la torre de refrigeración.

Tabla 1- 16: Listado de equipos que requieren agua de torre

| EQUIPO | CAUDAL MÁSICO (kg/h) | CAUDAL VOLUMETRICO (m ³ /h) | CALOR INTERCAMBIADO (KW) | TEMPERATURA SALIDA (°C) |
|---------------|----------------------------|--|--------------------------------|----------------------------|
| E201-A | 42.12 | 0.042 | 7.1 | 55 |
| E301-A | 6602.4 | 6.602 | 297.2 | 80 |
| E301-B | 7917.8 | 7.918 | 296.4 | 50 |
| E304-A | 176.04 | 0.176 | 126.7 | 80.87 |
| E304-B | 2100.24 | 2.100 | 122.2 | 70 |
| C-101 | 61456.68 | 61.457 | 4290.9 | 75 |
| C-102 | 50466.24 | 50.466 | 3232.4 | 80 |
| C-001 | 19900.8 | 19.901 | 1852.3 | 80 |
| R- 301/303 | | | | |
| TOTAL | 148662.4 | 243.662 | 10205.2 | 71.35 |

Calculando el valor porcentual del caudal de cada corriente respecto al caudal total multiplicado por la temperatura de salida, se ha calculado la temperatura mediana de llegada a la torre de refrigeración.

Las torres de refrigeración son dispositivos que ponen en contacto una masa de aire frío y seco en contracorriente con la masa de agua caliente que proviene de los equipos de planta que lo requieren. Una parte de esta agua se evapora enfriando el

resto, con este fenómeno se disipan 0.814 KW/L en una hora. Así se produce agua fría que se revuelve al proceso para absorber más calor y comenzar un nuevo ciclo. Por lo tanto, habrá una entrada de agua para suplir la pérdida de esta.

Se requiere una torre que establezca la necesidad de retirar 10205.2 kW del agua, de un caudal total de 243.7 m³/h. para cubrir esta demanda se ha escogido una torre de refrigeración de la marca EWK con las prestaciones indicadas en la **Tabla 1-17**:

Tabla 1- 17: Especificaciones de la torre de refrigeración

| EQUIPO | Torre de refrigeración |
|------------------------------|--|
| Proveedor | EWK© Torres de refrigeración |
| Modelo | EWB 7200 |
| Longitud/anchura/altura (mm) | 12422 / 6372 / 5564 |
| Peso/Peso en operación (Kg) | 14525 / 20535 |
| Calor disipada (kW) | 11512 |
| Consumo eléctrico (kWh) | 241 |
| Precio estimado (€) | 315000 |
| Extras | Separador de gotas GEA 2H SANIPACKING® |

En la Figura 1-1 se puede observar un ejemplo de conjunto de torres de refrigeración para suplir las necesidades en planta, en nuestro caso por eso solo será necesaria una.



Figura 1- 13: Torre de refrigeración de la marca EWK (Modelo EWB)

La torre de refrigeración presenta pérdidas por evaporación, por purgas debido al aumento de la concentración de sales de una parte del agua y por el arrastre del

separador de gotas. Todas estas pérdidas se reflejan en la siguiente tabla y se traducen en una necesidad de aportar un caudal de agua de red para suplirlas.

Tabla 1- 18: Balance de pérdidas de agua en la torre de refrigeración

| | |
|---|----------|
| Pérdidas por evaporación (m³/h) | 15.72 |
| Pérdidas por arrastre (m³/h) | 0.001219 |
| Pérdidas por purgas (m³/h) | 18.279 |
| Pérdidas totales por torre (m³/h) | 34.0 |

1.6.1.2 Agua glicolada (-20°C)

Función en la planta: Enfriar el fluido de proceso a una temperatura inferior a 10°C.

Equipos necesarios: Chiller

Requisitos: Agua-propilenglicol y electricidad

Una de las dificultades que tiene el agua de torre es su temperatura de congelación. Para enfriar a temperaturas inferiores a 10 °C y tener un salto térmico elevado para reducir el caudal necesario de refrigerante no se puede usar agua normal porque su temperatura de congelación se encuentra a 0°C, por lo que deja poco margen de salto térmico, aumentando así el caudal de agua necesaria, y a la vez encareciendo los gastos para tener que enfriar una mayor cantidad de fluido. La solución se ha encontrado con una mezcla muy común usada en las industrias, una solución de agua glicolada (30%).

Se trata de una mezcla de agua y propilenglicol, dependiendo de la concentración de propilenglicol la temperatura de congelación de la solución varia. Para nuestra solución se ha escogido como proveedor la empresa **Quimacer**, que prepara la solución al porcentaje escogido que en nuestro caso como se ha mencionado es del 30% en peso de propilenglicol y permite llegar a una temperatura de -20°C.

A continuación, se presentan las necesidades de la planta respecto al agua glicolada, observando el caudal de refrigerante requerido y la calor que aporta en los intercambiadores que después se deberá restaurar mediante un chiller.

Tabla 1- 19: Listado de equipos que requieren agua glicolada

| EQUIPO | CABAL MÁSICO (kg/h) | CABAL VOLUMETRICO (m ³ /h) | CALOR INTERCAMBIADO (kW) | TEMPERATURA SALIDA (°C) |
|--------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| E201-B | 73.08 | 0.071 | 1.9 | 20 |
| E301-C | 13206.2 | 12.833 | 213 | 5 |
| E304-C | 4597.9 | 4.468 | 137 | 25 |
| TOTAL | 17877.2 | 17.312 | 351.9 | 10.21 |

Como se puede observar la planta requiere de un equipo que pueda retirar 352 kW de agua glicolada con un caudal de 17.312 m³/h. Para abastecer esta necesidad se ha confiado en el equipo que se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1- 20: Especificaciones del chiller

| EQUIPO | Chiller |
|------------------------------|-------------------|
| Proveedor | Euro Cold, Inc. |
| Modelo | LTW-200 |
| Longitud/Anchura/Altura (mm) | 1410 / 750 / 1380 |
| Peso/Peso en operación (kg) | 320 / 340 |
| Precio (€) | 150000 |



Figura 1- 14: Chiller de la marca Euro Cold

Teniendo en cuenta las especificaciones del chiller y las necesidades de refrigeración del agua glicolada se ha optado por la siguiente configuración:

Tabla 1- 21: Configuración de chillers

| | |
|--|-------------|
| Número de equipos | 1 |
| Capacidad de disipación máxima (kW) | 2400 |
| Potencia en operación | 85% |
| Consumo energético (kWh) | 280 |

1.6.1.3: Vapor de agua

Función en planta: Calentar o evaporar los corrientes del proceso.

Equipos necesarios: Caldera de vapor completamente equipada

Requisitos: Agua de red, gas natural y electricidad

En la planta, todos los reboilers termosifones obtienen el calor para evaporar del vapor de agua. En la planta se podrá encontrar dos tipos de vapor de 3 y 10 bars, dependiendo de las necesidades térmicas del equipo. Para temperaturas superiores a 140°C se usa el vapor de 10 bares para aprovechar el calor latente de este, en el caso del vapor de 3 bares su punto de burbuja es a 135°C, es decir que debería ser vapor sobrecalentado y no se aprovecharía el calor latente de este.

En la **Tabla 1-22** se registra un listado de todos los equipos que usan vapor de agua, ya sea de la línea de 3 o 10 bares de presión.

Tabla 1- 22: Listado de equipos que requieren vapor de agua

| EQUIPOS | FLUIDO | CAUDAL MASICO (kg/h) | CALOR INTERCAMBIADO |
|----------------|---------------|-----------------------------|----------------------------|
| E404 | Vapor 3 bar | 398.16 | 1239 |
| RB-101 | Vapor 10 bar | 7674.12 | 4345.9 |
| RB-001 | Vapor 3 bar | 7126.92 | 4473.3 |
| TOTAL | | 15199.2 | 10058.2 |

En resumen se requiere de un total de 15.2 toneladas de vapor para abastecer todos los intercambiadores, reboilers y sistemas de calefacción del proceso. Para suplir esta necesidad se ha optado por el siguiente modelo de caldera especificada en la tabla con su configuración pertinente.

Tabla 1- 23: Especificaciones de la caldera

| EQUIPO | Caldera de vapor |
|--|-------------------------|
| Proveedor | VTC Industrial, S.A. |
| Modelo | ZFR-IE-30000 |
| Longitud / Anchura / Altura (mm) | 10214 / 4324 / 5419 |
| Peso / Peso en operación (Tn) | 58.3 / 93.83 |
| Presión media de servicio (bar) | 10 |
| Caudal máximo de vapor (kg/h) | 35000 |
| Calor que aporta (kW) | 10592 |
| Consumo de gas natural (Nm³/h) | 960 |
| Precio (€) | 675000 |

Listado de equipos complementarios para tener la caldera completamente equipada (incluido en el precio mencionado en la tabla).

- Desgasificador total del agua de alimentación
- Intercambiador de calor de gases de escape
- Módulo de suministro de agua WSM-V
- Dispositivo de purga de lodos, de expansión y de enfriamiento BEM.

La empresa VYK Industrial, S.A. se encarga de producir las calderas de las marcas reconocidas BOSCH, CERTUSS i HTT.



Figura 1- 15: Caldera de vapor de la marca VYK (Modelo ZFR)

Las calderas citadas generan vapor a una presión de 10 bares, este caudal de vapor va dirigido a unos colectores presentes en cada área de la planta y estos equipos se encargan de distribuir la cantidad de vapor necesario para cada intercambiador o reboiler a la presión deseada mediante válvulas de expansión.

El caudal de agua que circulara por dentro de la caldera tiene que haber pasado por la descalcificadora para eliminar las sustancias presentes en el agua que pueden malmeter el equipo. Al tratarse de un circuito cerrado este proceso solo se deberá llevar a cabo en la puesta en marcha con el caudal total del circuito y después para suplir las pérdidas que pueden haber a lo largo del circuito, por esta razón se ha incluido un equipo exclusivo para el tratamiento de aguas de caldera.

1.6.1.4 Aceite térmico (200°C)

Función en planta: Calentar corrientes hasta un máximo de 195°C

Equipos necesarios: Caldera de fluido térmico

Requisitos: Gas natural y electricidad

Este servicio acepta aceite térmico a aproximadamente 175°C y lo entrega a 200°C para el aporte de energía. Se ha elegido un aceite térmico, DOWTHERM J, como transmisor de calor por la incompatibilidad del proceso con agua. En caso de fugas el

contacto del aceite con la corriente de proceso no tendría mayores consecuencias que la contaminación del producto.

El aceite térmico caliente se consigue con una caldera de fluido térmico, que se basa en quemar un combustible y poner en contacto los gases de combustión con un serpentín por el que circula un aceite térmico. A diferencia de una caldera de vapor, esta trabaja a baja presión y sin cambio de fase, por eso también se le puede llamar calentador de fluido térmico. Debido a la disponibilidad de servicio de gas natural la caldera funcionara con dicho combustible, que además es menos contaminante que otras opciones como el carbón o gasoil.

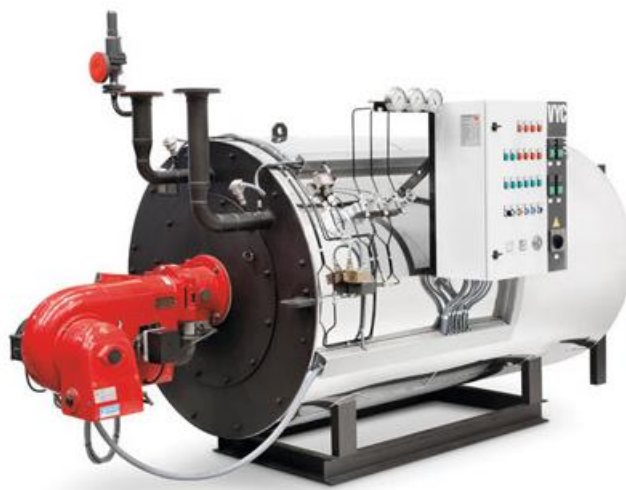


Figura 1- 16: Calentador de fluido térmico del proveedor Fulton

La lista de equipos consumidores en planta de este servicio se detalla en la siguiente Tabla.

Tabla 1- 24: Listado de equipos consumidores de aceite térmico de caldera

| EQUIPO | CAUDAL MASICO (kg/h) | CAUDAL VOLUMETRICO (m ³ /h) | POTENCIA (kW) | TEMPERATURA SALIDA (°C) |
|--------------|----------------------|--|---------------|-------------------------|
| E206-C | 894.6 | 0.96 | 26.5 | 150 |
| E405 | 913.68 | 0.98 | 21.2 | 180 |
| RB-102 | 124164 | 152.5 | 1918.3 | 180 |
| TOTAL | 125972.3 | 154.44 | 1966 | 179.8 |

El servicio requiere de 1966 kW de potencia y 155 m³/h de aceite térmico en circulación a 1 bar. Para cubrir esta demanda se ha escogido el equipo descrito en la siguiente tabla.

Tabla 1- 25: Especificaciones básicas de la caldera de aceite térmico

| EQUIPO | Caldera de aceite térmico |
|---|---------------------------|
| Proveedor | Fulton |
| Modelo | ELICOIL 2000 |
| Aporte de calor (kW) | 2673 |
| Caudal estándar /mínimo (m ³ /min) | 205 / 103 |
| Potencia bombas (kW) | 35/18.5 |
| Consumo de gas (m ³ /h) | 253 |
| Longitud / Anchura / altura (mm) | 4080 / 2090 / 1800 |
| Peso / Peso en operación (kg) | 5500 / 8620 |
| Precio (€) | 25 000 |

La distribución del aceite térmico caliente se hará mediante tuberías aisladas térmicamente, con un espesor mínimo de 60 mm de lana de roca mineral.

1.6.1.5 Agua descalcificada

Función en planta: Alimentar el decantador y la torre de absorción del ácido clorhídrico.

Equipos necesarios: Descalcificadora

Requisitos: Agua de red y electricidad

El agua que entra en el decantador y en la torre de absorción debe estar limpia, es decir tiene que haber pasado por un tratamiento previo para eliminar las impurezas que puedan estar disueltas en esta. En continuo hay una entrada de agua del exterior, que juntamente con el agua de las recirculaciones, se dirigirá hacia estos equipos. El agua que tiene que entrar en el proceso se hará pasar por una descalcificadora para eliminar parte de los iones disueltos en el agua y que pueden malmeter las instalaciones y los equipos que participen en el proceso de producción de clorobenceno.

El caudal de agua necesario para la neutralización en la línea de tratamiento del catalizador es de 50 m³/h. Para escoger la descalcificadora adecuada primero se debe conocer las características del agua de Igualada. Según la base de datos de la compañía encargada de gestionar y suministrar el agua a los municipios de la provincia de la Anoia, la dureza del agua se encuentra entre 502-510 ppm de CaCO₃ y una salinidad de 500ppm.

Para las necesidades que hay en la planta y teniendo en cuenta las propiedades del agua de red de Igualada se ha escogido dos descalcificadoras iguales con las especificaciones citadas en la **Tabla 1-23**

Tabla 1- 26: Especificación de las descalcificadoras

| EQUIPO | Descalcificadora |
|---|--------------------------------------|
| Proveedor | Waterfilters |
| Modelo | Descalcificadora BI-BLOC Volumétrico |
| Unidades | 2 |
| Capacidad (m³ a 25°C) | 112 |
| Consumo de sal (kg) | 130 |
| Diámetro / Altura (mm) | 931 / 2478 |
| Precio (€/unidad)/ Precio Total | 13430 / 26860 |

Este sistema permite trabajar de forma continua, cuando las resinas de los tanques se agota el sistema de control corta la circulación y la dirige hacia un tanque de descalcificación gemelo. Una vez cambiada la dirección del corriente a tratar, en el tanque agotado empieza la regeneración de su resina usando la sal que contiene un tanque con una capacidad de 130 kg de almacenaje de sal que viene con las descalcificadoras.

1.6.1.6 Agua de red

Función en planta: alimentar los equipos y los servicios de la planta de clorobenceno con agua potable, incluyendo las necesidades de las instalaciones ajenas a las áreas de producción.

Equipos necesarios: conexión a la red de aguas y la red de distribución.

Requisitos: agua de red.

El agua de red tiene la función de alimentar con agua potable cualquier área de la planta, desde las áreas de producción y servicios hasta las áreas donde se encuentran el comedor, vestuarios o zonas de jardines. Habrá una conexión con la red de agua externa a la planta para abastecer las necesidades, esta conexión será de 200mm y proporcionará agua potable a una presión alrededor de 4 bares.

Se ha estimado que se requerirá un caudal volumétrico de 5 m³/h para abastecer las necesidades de agua de las zonas de oficinas, vestuarios, etc.

También será necesaria agua de red a una temperatura de 6°C para introducirla en la absorción de gases. Esta agua será enfriada en un chiller de la empresa PIOVAN.

Tabla 1- 27: Especificación del equipo de chiller para enfriar agua de red

| EQUIPO | Chiller para agua a 6°C |
|---------------------------------|-------------------------|
| Proveedor | PIOVAN ® Costumers. |
| Modelo | CA 0921 HT |
| Longitud /Anchura / Altura (mm) | 2850 /1500 / 2230 |
| Calor absorbida (kW) | 23 |
| Peso (kg) | 1230 |
| Precio (€) | 26000 |

1.6.1.7 Nitrógeno

Función: formar una atmósfera sin presencia de aire en determinados equipos.

Equipos necesarios: tanque criogénico de nitrógeno y gasificador.

Requisitos: Nitrógeno

La parte de servicios de nitrógeno se encarga de inertizar los equipos donde la presencia del aire puede ocasionar problemas. Sustancias como el benceno, usados en la planta tiene puntos de inflamación muy bajos y a temperaturas ambientes son inflamables. Por seguridad se inertizan los tanques de almacenaje y los tanques pulmón por donde puedan circular cualquier componente de estas características, con el nitrógeno se crea una atmosfera sin oxígeno eliminando el comburente del triángulo del fuego.

En el caso de los tanques de almacenaje de cloro líquido se introduce el nitrógeno para poder controlar la presión en el interior de este, ya que se ha almacenado el cloro bajo presión.

Como se explica en el apartado **11.14. Tanque de nitrógeno** del **Capítulo 11. MANUAL DE CÁLCULOS** se han seguido una serie de métodos y suposiciones para estimar un caudal de nitrógeno necesario para los equipos, a partir de este valor y de los días de stock, se obtienen un volumen de nitrógeno gas para pasarlo a nitrógeno líquido, que será el estado en el que se almacenara en el tanque criogénico. Hay equipos que trabajan a 10 bar, el nitrógeno se encontrara almacenado en un tanque de 18 bar para garantizar la presión del servicio.

Tabla 1- 28: Necesidades de nitrógeno y su almacenaje

| CAUDAL NECESARIO DE N ₂ (Nm ³ /h) | VOLUMEN DE N ₂ LÍQUIDO (m ³) |
|---|---|
| 235.91 | 43 |

Con las necesidades citadas en la tabla, se ha escogido el tanque criogénico de nitrógeno con las características siguientes:

Tabla 1- 29: Especificaciones del tanque criogénico de nitrógeno

| EQUIPO | Tanque criogénico |
|---------------------------------|-------------------|
| Proveedor | Lapesa |
| Modelo | LCC 46 V |
| Diámetro / Altura (mm) | 3000 / 11350 |
| Peso / Peso operación (kg) | 22500 / 48300 |
| Capacidad (m ³) | 46.0 |
| Capacidad de descarga (kg/h) | 950 |
| Pérdidas por vaporización (%/d) | 0.03 |
| Presión de operación (bar) | 18 bar |
| Precio (€) | 20000 |



Figura 1- 17: Tanque criogénico de nitrógeno (Modelo LCC 46 V)

1.6.1.8 Aire comprimido

Función en planta: Suministrar el aire a las válvulas neumáticas para su accionamiento.

Equipos necesarios: Tanque de aire comprimido y compresor

Requisitos: Aire y electricidad

La principal función del aire comprimido es la de proporcionar la presión necesaria para accionar las válvulas neumáticas que hay a lo largo de la planta.

Aproximadamente se han contado 503 válvulas que requieran aire comprimido para su correcto funcionamiento. Con la estimación realizada en el **Capítulo 11. MANUAL DE CÁLCULOS** se ha calculado que, para la situación más desfavorable donde todas las válvulas a la vez requieran el máximo caudal del aire, se requerirán un caudal de 1509 m³/h para abastecer la planta.

Con las necesidades citadas, se ha escogido dos compresores capaces de suplir toda la necesidad de aire comprimido con las siguientes especificaciones:

Tabla 1- 30: Especificaciones del compresor de aire comprimido

| EQUIPO | Compresor de aire comprimido |
|---|-------------------------------------|
| Proveedor | PUSKA ® Aire comprimido |
| Modelo | DRE 120 a 8.5 CE |
| Unidades | 2 |
| Caudal máximo de aire comprimido (L/min) | 15780 |
| Presión de operación (bar) | 8.5 |
| Potencia del motor (HP) | 120 |
| Nivel de ruido (dB) | 74 |
| Longitud / Anchura /Altura (mm) | 1860 / 1060 / 1630 |
| Peso / peso operación (kg) | 1570 |
| Precio (€/ud)/ Precio total | 45500 /91000 |



Figura 1- 18: Compresor de aire comprimido (Modelo DRE 120)

1.6.1.9 Electricidad

Función en planta: Suministrar energía a todos los equipos eléctricos

Equipos necesarios: Conexión a la red eléctrica, transformador y generador.

Requisitos: Electricidad y gas natural

El servicio eléctrico debe abastecer las necesidades de energía eléctrica a todos los equipos de la planta que la requieran. Se dispone de una conexión a la red eléctrica de 200000V. Por tanto, hará falta un transformador para convertir este voltaje a las especificaciones de alimentación eléctrica de los distintos equipos.

La suma de los consumos eléctricos de los servicios de planta es de 1436 kW/h valor al que se le debe sumar los requisitos de otros aparatos de la planta haciendo un total de 1650 kW/h.

En caso de haber un corte en el suministro eléctrico habrá disponible un conjunto de generadores para suplir las necesidades de electricidad y no parar la producción. Estos generadores eléctricos funcionarán con gas natural y abastecerán la electricidad a todos los equipos al completo para el total funcionamiento de la planta.

Las especificaciones de los equipos se pueden encontrar en las hojas de especificaciones del **apartado 2.4.8 del CAPÍTULO 2: Equipos**

1.6.1.10 Gas natural

Función en planta: Alimentar las calderas de vapor y aparatos que requieran gas natural.

Equipos necesarios: Conexión a la red de gas natural

Requisitos: Gas natural

La principal función del gas natural será alimentar las calderas para producir el vapor necesario y alimentar los generadores eléctricos en caso de un corte de electricidad en la planta, como se ha dicho en el apartado anterior. Para alimentar la planta se dispone de una conexión externa a la red de gas natural que lo proporciona a una presión media, es decir de 1.5 bar.

Se requerirá gas natural en las calderas de vapor, generadores eléctricos y en las instalaciones civiles de la planta. El consumo más elevado de gas natural es en las calderas con 1213 m³/h.

1.7 PROGRAMACION TEMPORAL Y MONTAJE DE LA PLANTA

En este apartado se presenta un modelo esquemático de la planificación temporal y montaje de la planta de MCB una vez sea aceptado el presente proyecto. Para ello es necesario definir previamente las tareas necesarias para llevar a cabo la obra, con sus correspondientes duraciones y ordenes de ejecución. En la **Tabla 31** se muestra dicha información necesaria.

Tabla 1- 31: Duración de las tareas a realizar durante la construcción y montaje de la planta de MCB

| NÚMERO DE TAREA | DESCRIPCIÓN TAREAS | DURACION | PRECEDENCIA |
|-----------------|--|-----------|-------------|
| 1 | Ingeniería del detalle | 4 meses | 0:01 |
| 2 | Licencia de obras y actividades | 6 meses | 0:02 |
| 3 | Pedido de equipos | 6 meses | 1:03 |
| | URBANIZACIÓN | 5 meses | |
| 4 | Limpieza de terrenos | 1 mes | 1:04 |
| 5 | Excavaciones y cimientos | 2 meses | 4:05 |
| 6 | Instalación de suministros | 1 mes | 5:06 |
| 7 | Viales y aceras | 1 mes | 5:07 |
| | EDIFICACION DE OFICINAS Y APARCAMIENTOS | 4 meses | |
| 8 | Edificación de oficinas | 3 meses | 6:08 |
| 9 | Vestuarios | 1 mes | 6:09 |
| 10 | Aparcamiento | 1 mes | 5,7:10 |
| | INSTALACIÓN DE EQUIPOS | 12 meses | |
| 11 | Área de almacenaje MP | 1 mes | 3,6:11 |
| 12 | Área de producción | 3 meses | 3,6:12 |
| 13 | Área de purificación | 1 mes | 11:13 |
| 14 | Área de almacenaje de productos | 1 mes | 3,6:14 |
| 15 | Área de servicios | 1 mes | 6:15 |
| 16 | Calibración de equipos | 3 meses | 11-15:16 |
| 17 | Área de seguridad y Medioambiente | 1 mes | 11:17 |
| 18 | Soportes, escaleras, plataformas y barandillas | 1 mes | 11-17:18 |
| | INSTALACIÓN DE TUBERÍAS | 3 meses | |
| 19 | Instalación de tuberías de proceso | 1.5 meses | 11-17:19 |
| 20 | Instalación de tuberías de servicio | 1.5 meses | 15:20 |
| | INSTRUMENTACIÓN | 1.5 meses | |
| 21 | Instalación instrumentación | 1 mes | 19,20:21 |
| 22 | Conexión instrumentos-equipos | 0.5 meses | 21:22 |
| | AISLAMIENTOS | 2 meses | |
| 23 | Aislamientos de equipos | 1 mes | 22:23 |
| 24 | Aislamientos tuberías | 1 mes | 22:24 |
| | ACABADOS | 1.5 mes | |
| 25 | Pruebas de equipos | 1 mes | 23-24:25 |
| 26 | Pintura | 0.5 meses | 25:26 |
| 27 | Limpieza | 0.5 meses | 26:27 |

En la **Figura 1.19** se muestra el diagrama de Gantt, una representación gráfica del tiempo dedicado al montaje de la planta detallado anteriormente. Éste método permite visualizar la duración total que tendrás la ejecución de dicho proyecto. Según el esquema temporal que se propone, la duración total no llega a cuatro años.

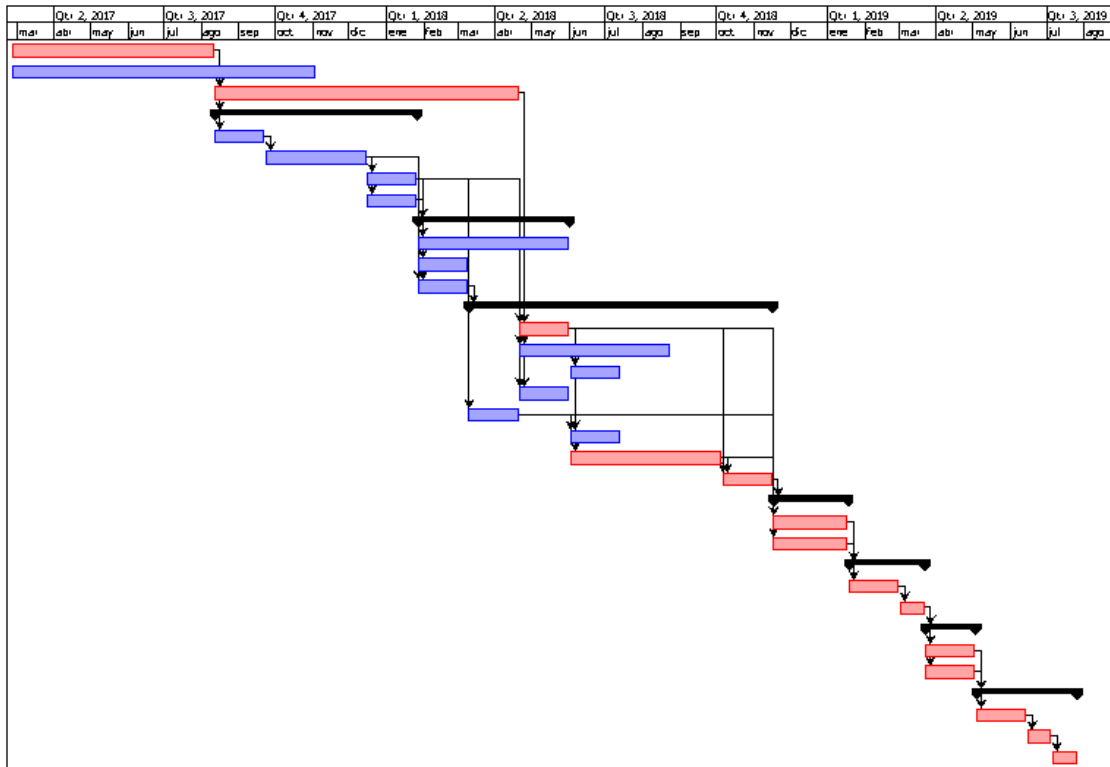


Figura 1- 19: Diagrama de Gantt para las tareas a realizar de la construcción de la planta

1.8 BIBLIOGRAFIA

- (1) **Catalunya, S. (2017).** *Peticions de dades / Meteocat.* [Online] Meteo.cat. Available at: <http://www.meteo.cat/wpweb/serveis/peticions-de-dades/> [Accessed 10 Jun. 2017].
- (2) **Green, D. (2008).** *Perry's chemical engineers' handbook.* 1st ed. New York [etc.]:McGraw-Hill.
- (2) **Ullmann, F. (n.d.).** *Ullmann's renewable resources.* 1st ed.
- (3) **Belfiore, L. (2003).** *Transport phenomena for chemical reactor design.* 1st ed. Hoboken: Wiley.
- (4) **LASBER.** Compatibilidad química. *Tabla de compatibilidades de sustancias químicas.*