

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLORURO DE VINILO

Trabajo Fin de Grado

Alba Ramírez

Eric López

Martin Moreno

Miguel Molina

Pol Serrano

Tutor: Marc Peris



VIMEPAM

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona

CAPÍTULO 1

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Trabajo Fin de Grado

Alba Ramírez

Eric López

Martin Moreno

Miguel Molina

Pol Serrano

Tutor: Marc Peris



VIMEPAM

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona

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, servicios y plano de la parcela	5
1.1.3.2. Comunicaciones de la planta.....	6
1.1.3.3. Características físicas de la zona	11
1.1.4. Nomenclatura de sustancias	13
1.2. Descripción del proceso de fabricación.....	14
1.2.1. Proceso de producción de Cloruro de Vinilo	14
1.2.2. Diagrama de bloques.....	16
1.2.3. Características fisicoquímicas de los compuestos.....	17
1.2.3.1. Materias primas	17
1.2.3.2. Catalizador	22
1.2.3.3. Productos.....	23
1.2.3.4. Subproductos / intermedios de reacción.....	25
1.2.3.5. Refrigerantes/Calentadores	26
1.2.4. Aplicaciones del Cloruro de Vinilo.....	28
1.2.5. Aplicaciones del 1,2-dicloroetano.....	28
1.2.6. Aplicaciones del ácido clorhídrico al 30%	29
1.3. Constitución de la planta.....	29
1.3.1. Áreas	29
1.3.1.1. Descripción detallada de las áreas.....	31
1.3.2. Planificación temporal.....	35
1.3.3. Plantilla de trabajadores	36
1.3.4. Construcción de la planta	39

1.4. Especificaciones y necesidades de servicios	41
1.4.1. Agua de red	41
1.4.2. Agua descalcificada.....	41
1.4.3. Agua desionizada	42
1.4.4. Agua de refrigeración.....	42
1.4.5. Vapor de agua	42
1.4.6. Nitrógeno.....	42
1.4.7. Aire comprimido	43
1.4.8. Electricidad	43
1.4.9. Gas natural	43
1.5. Balance de materia	44
1.6. Bibliografía	50

1.1. Definición del proyecto

En este primer apartado se presentan los datos a partir de los cuales se inició el proceso del diseño de la planta de producción de cloruro de vinilo. Además, se presenta la información referente al alcance del proyecto realizado e información sobre la localización de la planta. Por último, se ha dispuesto de un apartado donde se recoge la nomenclatura utilizada en la memoria.

1.1.1. Bases del proyecto

El objetivo principal del proyecto es el diseño y estudio de viabilidad de una planta de producción de cloruro de vinilo a partir de acetileno (C_2H_2) y cloruro de hidrógeno (HCl). Esta reacción es catalítica y el catalizador utilizado es el cloruro de mercurio (II) ($HgCl_2$).

El objetivo de producción de la planta está en las 16.500 Toneladas anuales de cloruro de vinilo que se almacenaran en tanques de 154.3 m^3 con una pureza molar del 99.98%. El producto es calificado como comercial ya que su contenido en cloruro de hidrógeno es del 0.02%, siendo completamente anhídrido.

Para alcanzar los requisitos la planta opera 300 días al año y se realizan dos paradas que coinciden con los periodos festivos, Navidades y Agosto. En periodo de operación normal la planta funciona en continuo, 24 horas al día y siete días a la semana. Hay cinco turnos distribuidos de lunes a domingo.

La planta se sitúa en el polígono industrial “Gasos Nobles” en el término municipal de Sabadell.

Todo el proyecto ha sido elaborado conforme el cumplimiento de la normativa sectorial, con especial atención en términos urbanísticos, medioambientales, protección contra incendios y seguridad e higiene.

1.1.2. Alcance del proyecto

A continuación, se muestran los puntos desarrollados durante todo este proyecto:

- Diseño y especificación de todos los equipos necesarios en el proceso de producción y purificación del cloruro de vinilo.
- Diseño y especificación de las áreas de almacenaje de materias primas, producto final y subproductos del proceso. Así como el área de carga y descarga.
- Diseño y especificación de las áreas de servicios.

- Diseño de los sistemas de control, seguridad e higiene y prevención contra incendios.
- Concepción y diseño de las áreas de las oficinas, laboratorios, vestuarios y áreas auxiliares como aparcamiento y control de accesos.
- Análisis del impacto medioambiental y estudio del tratamiento de los contaminantes generados.
- Evaluación económica y estudio de la viabilidad de la planta
- Elaboración de un plan de puesta en marcha y operación del proceso.

1.1.3. Localización de la planta

El proyecto se llevará a cabo en el polígono industrial ficticio “Gasos Nobles”, como ya se ha citado en el apartado **1.1.1. Bases del proyecto**. Está ubicado en el término municipal de Sabadell, el cual pertenece a la provincia de Barcelona, situada al noreste de España. Concretamente se encuentra a 25 km de la capital catalana. Este municipio es la co-capital de la comarca del Vallès Occidental, conjuntamente con Terrassa. En el pasado tenía un gran potencial en el sector textil, pero llegó la crisis de éste conjuntamente con el boom inmobiliario y desaparecieron una gran cantidad de naves textiles. En la figura 1.1-1 se muestra la localización.



Figura 1.1-1 Ubicación de Sabadell en España

Hay que resaltar que Sabadell es un punto estratégico para la construcción de la planta debido a que posee una amplia variedad en el mundo empresarial, cuyos sectores son los que destacan en ámbito autonómico y estatal. Hay un elevado número de empresas cuyos sectores más destacados son el textil (155 en total, incluyendo tales como Texfor o Artextil), la metalurgia y automoción (144 en total, incluyendo tales como Daunis o Superwagen) y la producción de materiales de

construcción, siendo esta última la predominante (267 en total, incluyendo tales como Artycla o Novatub). Hay que considerar este aspecto ya que el cloruro de vinilo se usa en gran parte para producir PVC (Policloruro de vinilo), el cual es un derivado plástico que se caracteriza por ser dúctil y tenaz, por lo tanto, nuestro producto podría ser vendido a las industrias de los alrededores de la planta. Aunque en estos últimos años ha incrementado considerablemente el sector de los servicios, siendo un 78% del total de centros de trabajo. Este hecho ha condicionado las dimensiones de las empresas, que se caracterizan por una estructura de empresa pequeña (no más grandes de 500m²) las cuales el 95.8% tienen menos de 25 puestos de trabajo.

Este territorio posee terrenos industriales a precios muy competitivos y una localización geográfica excelente que hacen de él un lugar perfecto para construir la planta diseñada. El hecho de que estos terrenos estén cerca del núcleo urbano crea una competitividad favorecedora en cuanto a la facilidad de transporte para llegar como a la cercanía de servicios.

En estos últimos años se ha construido un parque empresarial donde conviven la industria limpia, las oficinas, los centros comerciales y las zonas verdes. Sus inversores han sido dos promotoras inmobiliarias, Tesila,SL y Sòl Bages, y una entidad financiera, Caixa Sabadell. Este parque está envuelto por el aeropuerto de Sabadell, la autopista C-58 y las ciudades de Badia, Cerdanyola y Sant Quirze del Vallès. El objetivo de este parque empresarial es que se abarque desde la innovación tecnológica hasta la actividad financiera, pasando por las grandes superficies.

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

Los parámetros de edificación son de obligado cumplimiento, marcados por la normativa urbanística del polígono industrial “Gasos Nobles”. Dichos parámetros se presentan en la tabla 1.1-1.

Tabla 1.1-1 Parámetros de edificación de la planta

Edificabilidad	1.5 m ² techo/m ² suelo
Ocupación máxima de parcela	75%
Ocupación mínima de parcela	20% de la superficie de ocupación máxima
Retranqueos	5 m a viales y vecinos
Altura máxima	16 m y 3 plantas excepto en producción (justificando la necesidad por el proceso)
Altura mínima	4 m y 1 planta
Aparcamientos	1 plaza/150 m ² construidos
Distancia entre edificios	1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5 m

La parcela asignada donde se ubicará la planta de producción de cloruro de vinilo tiene una superficie de 70.095 m², una resistencia del terreno de 2 kg/cm² a 1.5 m de profundidad sobre gravas. Los servicios disponibles en este terreno se muestran en la tabla 1.1-2.

Tabla 1.1-2 Servicios disponibles en el terreno que se construirá la planta.

Energía eléctrica	Conexión desde la línea de 20 kV a pie de parcela
Gas natural	Conexión a pie de parcela a media presión (1.5 kg/cm ²)
Alcantarillado	Red unitaria en el centro de la calle a una profundidad de 3,5 m Diámetro del colector de 800 mm
Agua de incendios	La máxima presión es de 4 kg/cm ²
Agua de red	Acometida a pie de parcela a 4 kg/cm ² con un diámetro de 200 mm

El plano de la parcela donde se ubicará la planta de producción de cloruro de vinilo es el que se muestra en la figura 1.1-2.

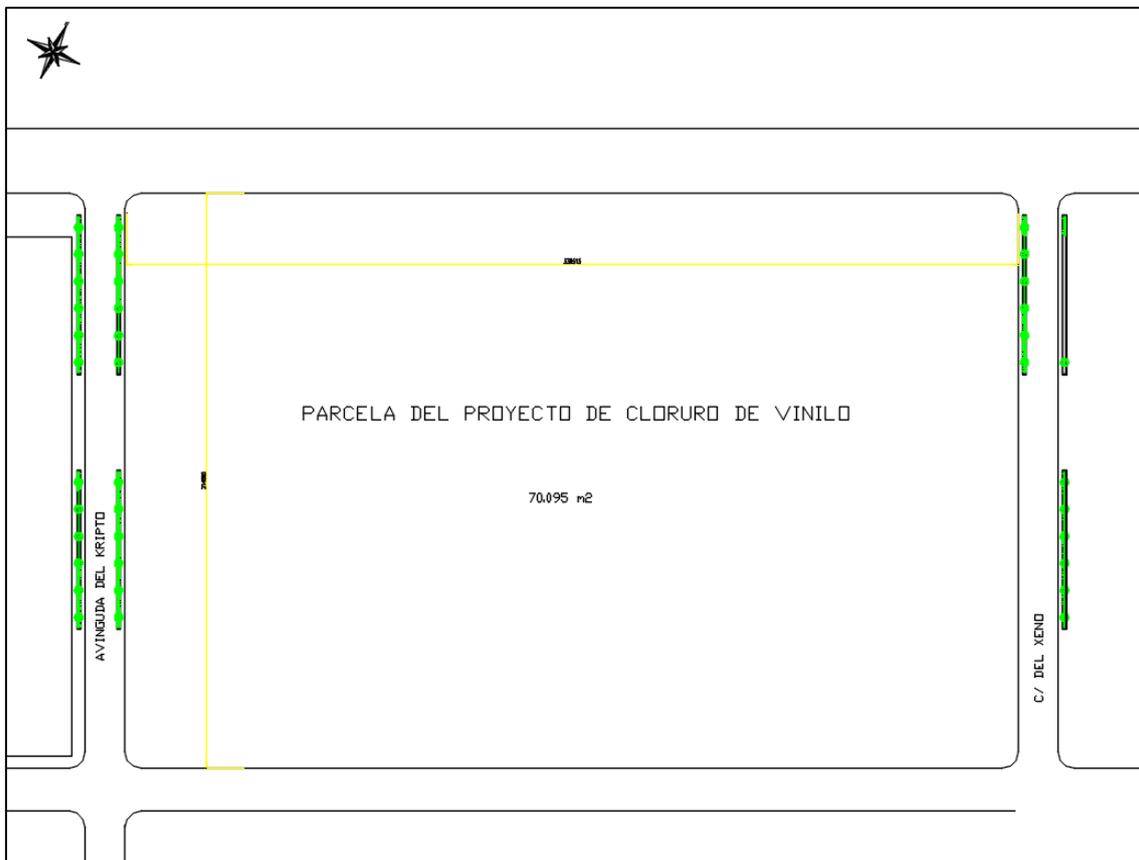


Figura 1.1-2 Plano de la parcela donde se ubicará la planta de producción de cloruro de vinilo.

1.1.3.2. Comunicaciones de la planta

En este apartado se evalúan los diferentes accesos e infraestructuras de comunicación que presenta la población donde se construirá la planta. Una buena comunicación de la planta facilitará tanto

el abastecimiento de materias primas, como la posterior distribución del producto para su comercialización.

- Transporte terrestre

El transporte terrestre es el más utilizado para el transporte de mercancías, ya sea por carretera o por línea ferroviaria.

En referencia al conjunto de carreteras que comunican Sabadell con localidades colindantes y ciudades de mayor importancia como Barcelona destaca la autopista C-58, más conocida como Autopista del Vallés, que comunica el noroeste de Barcelona con Terrassa pasando por Cerdanyola y Barberà del Vallés. Es la autopista con más circulación de vehículos de Cataluña y la primera en disponer de un carril Bus-VAO. Ésta vía conecta con el tramo La Jonquera-Barcelona de la autopista AP-7 (también conocida como E-15 o Autopista del Mediterráneo), carretera que conecta España con el resto de Europa.

Además de éstas, también debe tenerse en cuenta la autopista C-16, más conocida como Eje del Llobregat, que comunica Barcelona, Manresa y Berga. Es la única carretera autonómica de España que se corresponde con la Red de Carreteras Europeas.

En la figura 1.1-3 se muestran las principales vías de carretera para acceder a Sabadell.



Figura 1.1-3 Mapa de las principales vías de transporte terrestre por carretera para acceder a Sabadell

(Fuente: Google Maps)

En relación con el medio de transporte de los empleados, es importante el acceso mediante transporte público que permita un desplazamiento rápido y sencillo para los que tengan el domicilio en los alrededores de la planta.

Desde la red de Ferrocarriles de la Generalidad de Catalunya (FGC) existe la línea S2 que conecta Barcelona con Sabadell pasando por municipios como Sant Cugat del Vallès o Sant Quirze. Además, en la red de Rodalies de Catalunya hay otra línea R4 que va desde Sant Vicenç de Calders hasta Manresa pasando por Barcelona y Sabadell también.

Otra alternativa sería la línea de autobús A1 de la compañía Moventis que también conecta Sabadell con Barcelona en un trayecto de unos 40 minutos. Cabe destacar que Sabadell tiene a disposición de la población una línea de autobuses municipales llamada TUS, que permite llegar a cualquier rincón del municipio.

- Transporte marítimo

El transporte marítimo es uno de los medios más utilizados para el transporte de mercancías hacia otros continentes. Sabadell se encuentra muy cerca del puerto de Barcelona y, aunque le quede más retirado también tiene acceso al puerto de Tarragona.

El puerto de Barcelona está a 15 kilómetros de la planta. Este puerto cuenta con 4 terminales especializadas en la recepción y envío de contenedores, además de una línea de amarre de 4,5 km que hace situarlo en la 3ª posición de España en el movimiento de mercancías y hace de este puerto uno de los más importantes de todo el Mediterráneo. Además, se encuentra situado en el 80º puesto del ranking de los principales puertos del mundo en tráfico de contenedores.

Concretamente, el año 2017 el puerto de Barcelona gestionó un total de 60.070.134 toneladas de mercancía, un 20.79% más que el año anterior. Un 9.6% de ésta mercancía entra dentro de la categoría de productos químicos, en la cual se encuentran los productos y materias primas que se transportarán desde y hacia la planta del presente proyecto.

El puerto de Barcelona dispone de excelentes conexiones y grandes rutas marítimas de transporte de mercancías internacionales. En la figura 1.1-4 se muestran las principales zonas geográficas de transporte marítimo desde éste puerto según su porcentaje del tonelaje total:

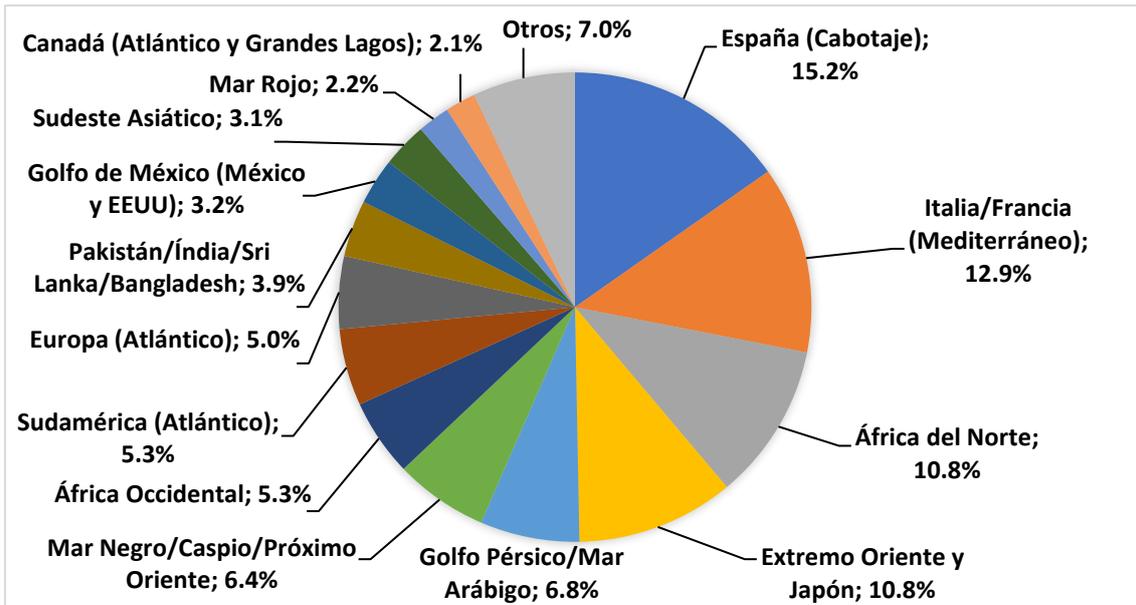


Figura 1.1-4 Principales zonas geográficas de transporte marítimo desde el Puerto de Barcelona según el porcentaje de tonelaje total (Fuente: estadísticas Puerto de Barcelona, año 2017)

El otro puerto más cercano a Sabadell es el de Tarragona, a una distancia de 101 kilómetros, es también uno de los más importantes de la costa mediterránea en el que una gran parte de su actividad está vinculada al transporte de mercancías. Se sitúa en el 4º puesto de puertos más importantes de España y, al igual que el de Barcelona, también es un punto clave en la distribución de productos químicos. Su tráfico anual en el 2017 fue de 33.631.604 toneladas, de las cuales un 5.16% corresponde a la categoría de productos químicos.

El puerto de Tarragona también dispone de transporte de mercancías internacionales. En la figura 1.1-5 se muestran las principales zonas geográficas de transporte marítimo desde éste puerto según su porcentaje del tonelaje total:

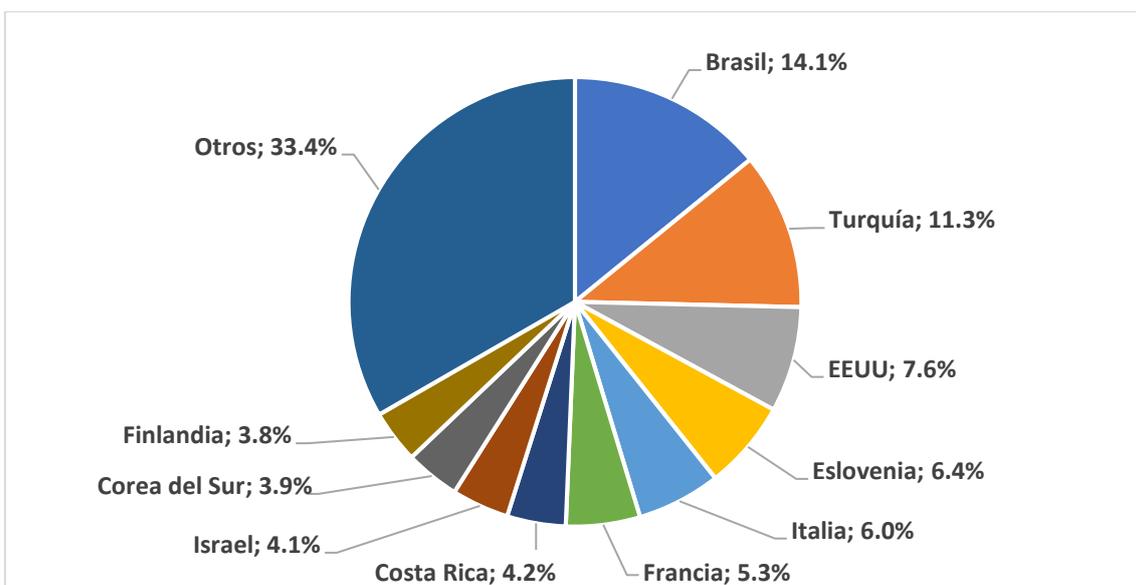


Figura 1.1-5 Principales zonas geográficas de transporte marítimo desde el Puerto de Tarragona según el porcentaje de tonelaje total (Fuente: estadísticas Puerto de Tarragona, año 2017)

- Transporte aéreo

En cuanto al transporte aéreo, se encuentra el aeropuerto de Barcelona - El Prat a 35 km. Éste es el segundo aeropuerto con mayor importancia estatal tanto por transporte de mercancías como de pasajeros, y es el séptimo en el ranking europeo.

A pesar de que éste medio de transporte no es muy utilizado en el transporte del tipo de mercancías que se manipulan en esta planta, sí que es importante para el desplazamiento de personas hacia ella ya que es una forma de viajar rápida y segura. Hay que añadir que desde el aeropuerto de Barcelona - El Prat hasta Sabadell se puede llegar mediante carretera o ferrocarril.

Este aeropuerto dispone de 217 destinos conectados con él, mayoritariamente dirigidos hacia Europa e incluyendo también África, Asia y América del Norte y del Sur, como se puede observar en la figura 1.1-6.



Figura 1.1-6 Mapa de destinos del aeropuerto de Barcelona - El Prat (Fuente: Aena)

Cabe destacar que el propio municipio de Sabadell dispone de aeropuerto, exactamente es un aeródromo destinado al tráfico de aviación general y en condiciones de vuelo visual (VFR). Un 30% de la actividad del aeropuerto es destinada a vuelos de publicidad, fotografía y aerotaxi, vuelos privados y servicios, y vuelos internacionales. En el año 2017 registró 41.260 operaciones de aeronaves, alrededor de un 13% de incremento respecto el año 2016.

Además, pertenece al Aeroclub Barcelona-Sabadell el cual fue creado en 1953 y es el mayor aeroclub de Europa. En el aeropuerto de Sabadell es dónde está la sede principal y dónde se desarrolla la mayor parte de la actividad (un 70%) de vuelo con motor en avión y helicóptero.

1.1.3.3. Características físicas de la zona

Este apartado es de gran importancia debido a que, según las características, condiciona de una manera u otra en el diseño de las áreas de la planta y en la elección de los materiales de construcción.

- Climatología

El clima de la zona donde se situará la planta de producción Vimepam se identifica, según el servicio meteorológico de Cataluña (Meteocat), como mediterráneo continental subhúmedo y está clasificado como Cfa en la clasificación climática de Köppen-Geiger. Hay una estación de medida de datos climatológicos en el mismo municipio de Sabadell, concretamente en el parque agrario que está situado en el noroeste.

Para hacer un estudio cuantitativo del clima en el municipio de Sabadell, se han tenido en cuenta los valores medios mensuales, de varios parámetros climatológicos, de los últimos siete años (2010-2017) según la base de datos de las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico de Cataluña.

Respecto a la temperatura, en la figura 1.1-7 se representan los datos medios mensuales de temperatura máxima (TMA), temperatura media (TME) y temperatura mínima (TMI).

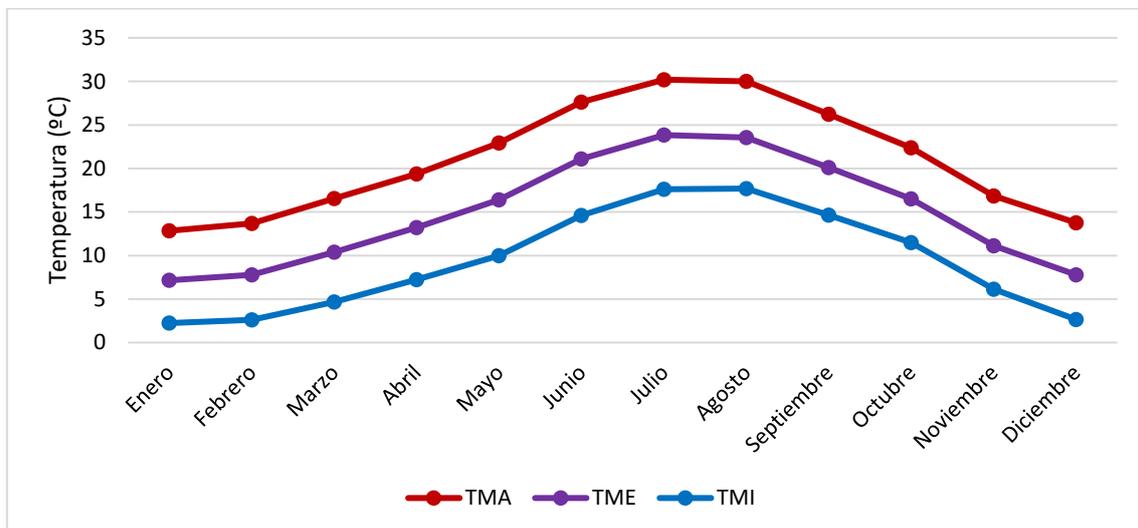


Figura 1.1-7 Datos térmicos registrados en la estación meteorológica del parque agrario de Sabadell durante el período 2010-2017 (Fuente: Servicio Meteorológico de Cataluña)

Como se puede observar en la figura 1.1-7, las temperaturas máximas en invierno no son superiores a los 15°C mientras que en verano estas llegan hasta los 30°C. En referencia a las temperaturas mínimas, en los meses de invierno se encuentran por debajo de los 5°C mientras que en verano no llegan a los 20°C. En conclusión, durante los meses de invierno hay una oscilación térmica de unos 10°C y, durante los de verano hay una oscilación térmica de unos 13°C.

Las estaciones de primavera y otoño, en cuanto a las temperaturas, son de transición entre las dos estaciones explicadas anteriormente. Por lo que respecta a la temperatura media anual es de 14.9°C.

Respecto a las precipitaciones, en la figura 1.1-8 se representan los datos de las precipitaciones medias mensuales.

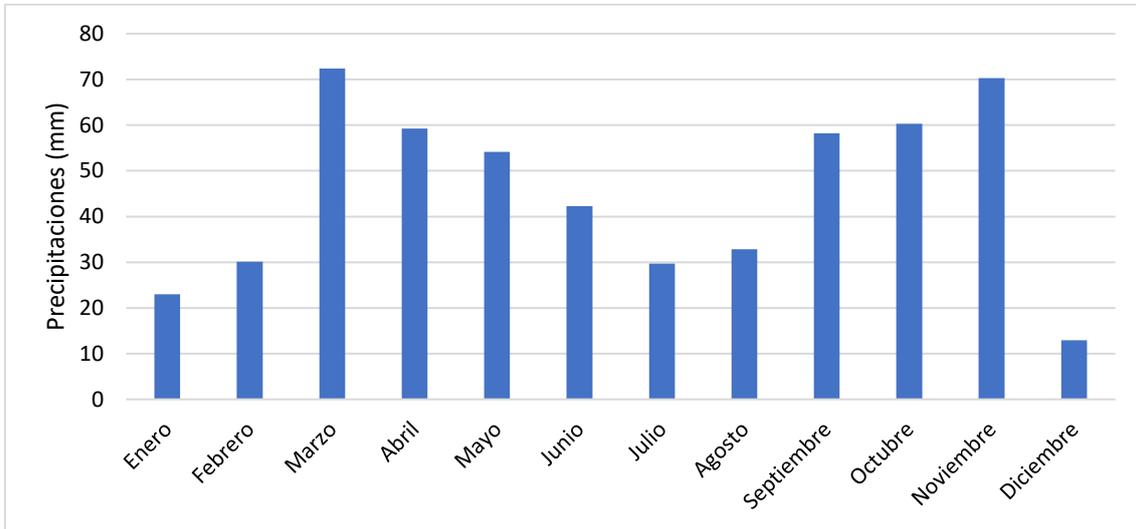


Figura 1.1-8 Datos pluviométricos registrados en la estación meteorológica del parque agrario de Sabadell durante el período 2010-2017 (Fuente: Servicio Meteorológico de Cataluña)

Como se puede observar en la figura 1.1-8, a pesar de haber precipitaciones durante todo el año, se registra un mayor volumen en las estaciones de primavera y otoño. La precipitación media anual es de 45.5 mm. Cabe añadir que durante el invierno pueden producirse heladas.

Respecto a la humedad relativa, en la figura 1.1-9 se representan los datos de las humedades relativas medias mensuales.

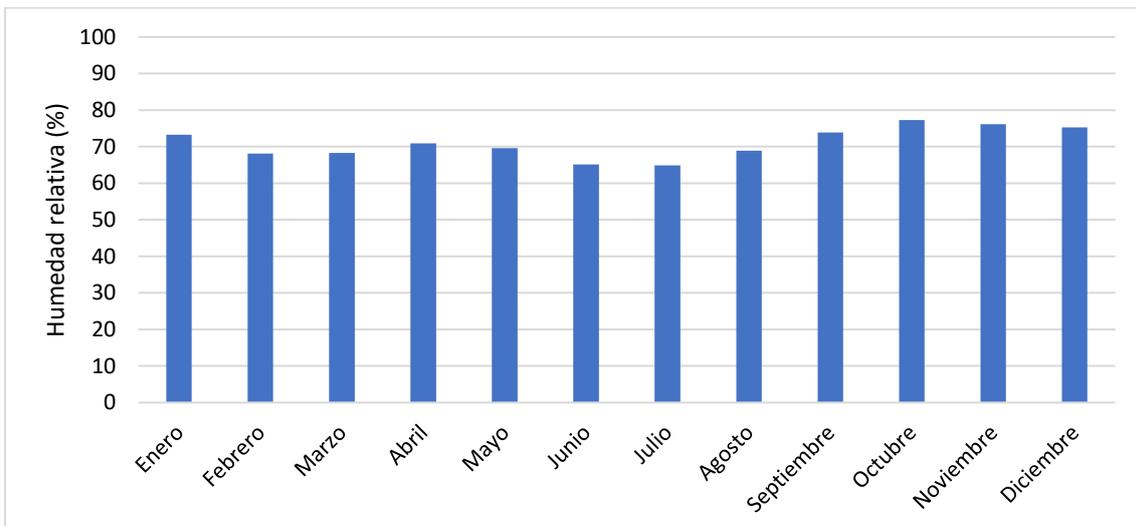


Figura 1.1-9 Datos de humedad relativa registrados en la estación meteorológica del parque agrario de Sabadell durante el período 2010-2017 (Fuente: Servicio Meteorológico de Cataluña)

Como se puede observar en la figura 1.1-9, la humedad relativa de la zona se encuentra en un rango entre el 65 y el 77%. El promedio anual es del 71% por lo que se clasifica la zona como húmeda. Este factor influirá seriamente en la elección de materiales ya que podrían corroerse y en el diseño de equipos que sean atmosféricos.

Por último, cabe nombrar las características del viento en la zona. La velocidad media del viento anual es de 2 m/s a 10 m, siendo la dirección dominante W en la gran mayoría de meses del año.

- Sismología

Según el estudio realizado por el Instituto Cartográfico i Geológico de Cataluña (IGC), Cataluña se considera una zona de actividad sísmica moderada, aunque existe la posibilidad de que se produzcan terremotos con un potencial de daño.

Concretamente, la zona de Sabadell se encuentra dentro de la zona sísmica 2 con una intensidad máxima de VI-VII en la escala MSK. A partir de esta clasificación, el IGC evalúa los daños que podrían reconocerse en la zona, clasificándola en la categoría de municipios moderadamente dañados que tendrían de un 20% a un 40% de sus edificios afectados.

La última actividad sísmológica que afectó al municipio fue en 2009 con una magnitud de 2.1, el cual tenía el epicentro en Sant Quirze del Vallès, un municipio vecino.

1.1.4. Nomenclatura de sustancias

A continuación, se muestra en una tabla todos los compuestos químicos que se encuentran en la planta de Vimepam junto con sus abreviaturas que se utilizaran en el transcurso de estos documentos. Ésta se presenta en la tabla 1.1-3.

Tabla 1.1-3 Nomenclatura de compuestos.

Compuesto	Nomenclatura
Acetileno	Ac
Cloruro de hidrogeno	HCl
Ácido clorhídrico	HCl 30%
1,2-Dicloroetano	DCE
Cloruro de vinilo	VCM
Nitrógeno	N
Cloruro de mercurio (II)	DCM
Agua	H ₂ O
N.N-Dimetilformamida	DFM

1.2. Descripción del proceso de fabricación

En este apartado se describe detalladamente en primer lugar el proceso diseñado para la obtención de cloruro de vinilo. La explicación ha sido redactada en base al diagrama de proceso que se encuentra en el apartado **1.5. Balance de materia** de este capítulo y en el **Capítulo 10. Diagramas y planos**. En segundo lugar, se presenta el diagrama de bloques que facilitará el entendimiento del proceso, conjuntamente con la información previa, y las diferentes áreas en las que este se divide.

Una vez definido el proceso de producción, se ha elaborado un apartado en el cual se mencionan y describen las características fisicoquímicas de todos los componentes implicados en dicho proceso. Por último, se comentan las principales aplicaciones del producto principal, cloruro de vinilo, y de los subproductos generados, que también se comercializarán.

1.2.1. Proceso de producción de Cloruro de Vinilo

El proceso de fabricación de este proyecto se basa en la formación de cloruro de vinilo a partir de acetileno y cloruro de hidrogeno, cuya reacción esta catalizada por cloruro de mercurio (II). El cloruro de hidrógeno estará en un 10% de exceso. Ambos reactivos son adquiridos por una empresa vecina del polígono con unas determinadas características. Cabe añadir que todas las composiciones nombradas durante la descripción del proceso serán en relación molar y los números entre paréntesis son los corrientes correspondientes en el diagrama de proceso.

En primer lugar, ambos reactivos al proceder de una empresa vecina no requieren de tanque de almacenamiento, aun así, se han incorporado unos tanques pulmón antes del acondicionamiento para asegurar un caudal estable de los gases, con un tiempo de residencia de dos minutos. El acetileno y el cloruro de hidrógeno llegan a la planta en forma de gas y sin impurezas, simplemente inertizados con nitrógeno al 0.3%. Ambos corrientes, (1) y (4) respectivamente, son presurizados y calentados para tener las condiciones adecuadas para la reacción, que son una presión de 2 bar y una temperatura de 120°C. Una vez acondicionados los reactivos se introducen en el reactor, corriente de acetileno (3) y de cloruro de hidrógeno (6), conjuntamente con un corriente de recirculación (28) que será explicado más adelante.

En este proyecto se ha optado por utilizar un reactor multitubular catalítico de lecho fijo para así poder refrigerar correctamente esta reacción tan exotérmica. Dentro de los tubos ya estará inmovilizado el carbón activo conjuntamente con el catalizador, el cloruro de mercurio (II). Para aumentar el rendimiento de producción se usarán tres reactores en paralelo que trabajarán en continuo y con las mismas condiciones de operación, de forma isoterma.

A la salida del reactor se obtiene un corriente (7) con una cantidad del producto deseado del 91%, el resto son reactivos que no han reaccionado, 1,2-dicloroetano y nitrógeno. Para poder obtener el cloruro de vinilo puro se deben extraer los demás compuestos. Para ello se comienza eliminando el 1,2-dicloroetano con una columna de destilación ya que es el compuesto que tiene una volatilidad menor, es decir, una presión de vapor más baja.

Antes de entrar en la columna (CD-301) se enfría el corriente para favorecer la separación. En el condensado (11) obtenemos el 1,2-dicloroetano puro que será almacenado en un tanque a presión atmosférica (TP-801). En el destilado (14) tenemos los componentes restantes que serán llevados a otra columna de destilación. Para ello hay que adecuar el corriente que está en fase gas. Mediante compresores, coolers y heaters se obtiene un corriente líquido (16).

Ahora ya se puede introducir a la columna (CD-401), la cual tiene como objetivo separar el cloruro de vinilo, que saldrá por el condensado (19). Éste será almacenado en un tanque pulmón y posteriormente en un tanque a una presión de 7 bar (T-601/602). Por el destilado (22) sale un corriente con un 22% de cloruro de vinilo, además de acetileno, cloruro de hidrógeno y nitrógeno.

Por lo consiguiente, con tal de recuperar el producto y los reactivos se hace pasar el corriente, previamente enfriado, por una columna de destilación flash (CF-401). El condensado deseado (25) obtenido de la flash es recirculado al reactor para así incrementar el rendimiento del proceso. Éste será acondicionado de tal manera que tenga las condiciones de temperatura y presión adecuadas para la reacción.

El destilado (29) pasará a tratamiento de gases ya que además de los restos de producto y reactivos, contiene la gran parte del nitrógeno que traían los reactivos. El primer paso de tratamiento será una columna de absorción de gases (CA-501) cuyo disolvente será la dimetilformamida, la cual arrastrará todos los componentes exceptuando el nitrógeno, que saldrá por el destilado (30) y será liberado a la atmosfera ya que la cantidad extraída no supera el límite de emisión. En cambio, el condensado (31) deberá pasar por una columna de destilación (CD-501) para poder recuperar la DFM y poder recircularla y usarla de nuevo en la absorción (CA-501). El condensado de la destilación (36) es el corriente que será enfriado y recirculado al tanque pulmón de DFM.

El destilado (41), cuyo corriente contiene ambos reactivos y el producto, es dirigido a un absorbedor de película descendente (CA-502). Se ha escogido este equipo debido a que la absorción del cloruro de hidrógeno en agua produce una gran cantidad de calor y de esta manera se extrae del sistema. Por el destilado (42) de este absorbedor sale ácido clorhídrico al 30%, que será almacenado en un tanque a presión atmosférica (TP-802). Finalmente, el condensado (43) será tratado con un filtro de carbón activo, el cual absorberá tanto el cloruro de vinilo como el acetileno.

1.2.2. Diagrama de bloques

A continuación, se muestra un diagrama de bloques donde se esquematiza toda la planta. Se muestra de forma general, sin equipos ni corrientes detallados, las fases del proceso de producción con tal de agilizar el entendimiento del proceso. En la figura 1.2-1 se muestra el diagrama de bloques.

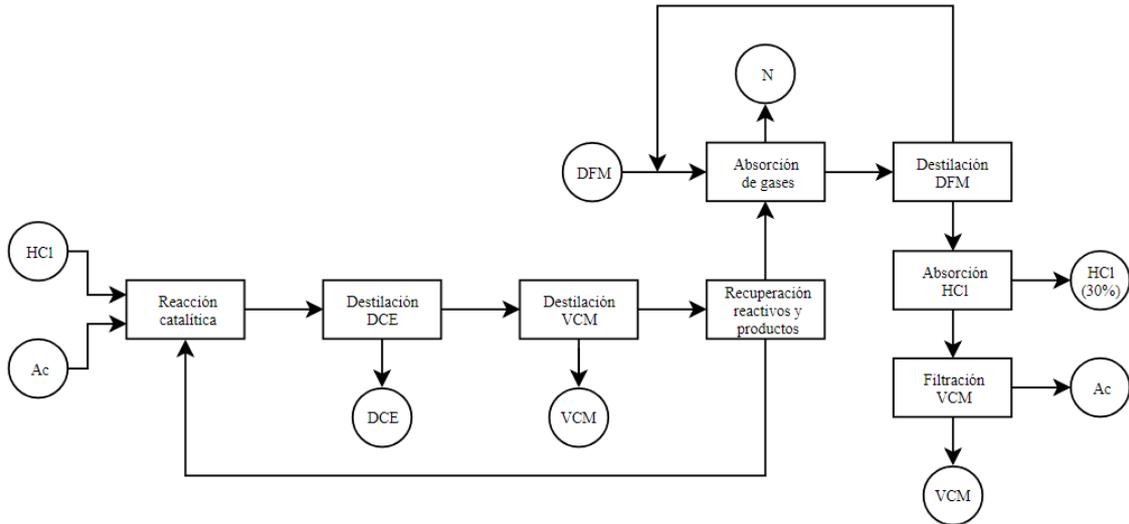


Figura 1.2-1 Diagrama de bloques del proceso de producción de cloruro de vinilo.

1.2.3. Características fisicoquímicas de los compuestos

1.2.3.1. Materias primas

1.2.3.1.1. Acetileno

El acetileno es un compuesto orgánico e hidrocarburo, además de ser el compuesto alquino más simple que existe. Está formado por dos átomos de carbonos unidos entre sí mediante un enlace triple y sus consiguientes átomos de hidrogeno asociados. En condiciones normales (1 atm y 25°C) su apariencia es la de un gas incoloro e inodoro, aunque tiene un ligero olor a ajo.

Es un gas sumamente inflamable y la llama puede retroceder fácilmente a la fuente de la fuga, por lo que se debe mantener alejado de zonas con riesgo de incendios. Su descomposición deriva a una reacción exotérmica, con un poder calorífico de 12.000 kcal/kg. Aun así, su síntesis requiere elevadas temperaturas en determinadas etapas. Si reacciona con agua forma humos tóxicos de amoníaco.

El uso principal de acetileno es para el corte y la soldadura de metales mediante su combustión con el oxígeno ya que alcanza elevadas temperaturas, de hasta 3000 °C. También es usado para hacer disolventes. Antiguamente se utilizaba como fuente de iluminación y de calor.

En la tabla 1.2-1 se recogen las propiedades más importantes del acetileno:

Tabla 1.2-1 Propiedades del acetileno.

Fórmula molecular	C ₂ H ₂
Masa molecular (g/mol)	26.016
Punto de ebullición (°C)	-57
Punto de fusión (°C)	-81
Densidad relativa vapor respecto al aire	0.907
Solubilidad en agua (g/100 ml a 20°C)	0.12
Presión de vapor (kPa a 20 °C)	4460
Temperatura autoignición	305°C
Límites de explosividad (%volumen en aire)	2.5-100

1.2.3.1.2. *Cloruro de hidrógeno*

A temperatura ambiente el cloruro de hidrógeno es un gas incoloro o ligeramente amarillo con un olor fuerte y penetrante. A temperaturas inferiores a -85 °C es un líquido color ámbar. En su forma anhidra, no ataca a metales ni aleaciones. Pero en presencia de humedad produce vapores que son corrosivos y atacan a la mayoría de los metales. El vapor de este compuesto es más pesado que el aire por lo tanto si un escape de vapor se diese en la planta este iría a ras de suelo siendo aún más peligroso. Esta sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto digestivo.

El cloruro de hidrógeno está presente en la naturaleza en las erupciones volcánicas; puede producirse en procesos de cloración y descloración, en plantas químicas y tratamientos superficiales. Además, constituye la mayoría del ácido gástrico, el líquido digestivo humano.

Su uso está muy extendido en síntesis químicas, en organoclorados, polimerización, alquilación y nitrosado. También se suele usar en la fabricación de fertilizantes y colorantes.

En la tabla 1.2-2 se recogen las propiedades más importantes del cloruro de hidrogeno:

Tabla 1.2-2 Propiedades del cloruro de hidrógeno.

Fórmula molecular	HCl
Masa molecular (g/mol)	36.458
Punto de ebullición (°C)	-85
Punto de fusión (°C)	-114
Densidad relativa vapor respecto al aire	1.3
Solubilidad en agua (g/100 ml a 30°C)	67.3
Presión de vapor (kPa a 25°C)	4.72

1.2.3.1.3. Nitrógeno

El nitrógeno elemental es incoloro, inodoro e insípido. Es inerte en condiciones estándar del gas (tiene una gran estabilidad) y no es tóxico. Tiene los puntos de ebullición y fusión muy bajos. Constituye el 78% del volumen de aire que hay en la atmosfera de la tierra. Además, constituye la fuente principal de los elementos aminoácidos y de las proteínas. El nitrógeno se encuentra en las estructuras químicas de casi todos los neurotransmisores.

Sus usos principales son para la manufactura de el amoniaco, ácido nítrico, nitratos, etc.; también para el procesamiento de comida, en sistemas refrigerantes y presurizadores. Bajo una larga exposición al fuego los contenedores de estos pueden explotar violentamente.

En la tabla 1.2-3 se recogen las propiedades más importantes del nitrógeno:

Tabla 1.2-3 Propiedades del nitrógeno.

Formula molecular	N ₂
Massa molecular (g/mol)	28.014
Punto de ebullición (°C)	-196°C
Punto de fusión (°C)	-210°C
Densidad relativa vapor respecto al aire	0.97
Solubilidad en agua	Escasa
Viscosidad (25°C) (μPa·s)	17.9

1.2.3.1.4. *N,N-Dimetilformamida*

La dimetilformamida es un compuesto formado por la sustitución del grupo hidroxilo del ácido fórmico con un grupo dimetilamino. Es un líquido incoloro e inodoro pero el para el uso industrial (degradada) tiene un olor a pez debido a que contiene impurezas de dimetilamina. Reacciona violentamente con el ácido sulfúrico y con el ácido nítrico. Es de baja toxicidad, pero puede causar efectos congénitos.

Este compuesto es ampliamente utilizado en las industrias como disolvente, aditivo o intermedio de reacción química debido a su gran miscibilidad con el agua y los disolventes orgánicos más comunes. También es usado como crioprotector intracelular para la crioconservación de tejidos, órganos y embriones.

En la tabla 1.2-4 se recogen las propiedades más importantes de la N,N-Dimetilformamida:

Tabla 1.2-4 Propiedades de la N,N-Dimetilformamida.

Formula molecular	HCON(CH ₃) ₂
Massa molecular (g/mol)	73.095
Punto de ebullición (°C)	153
Punto de fusión (°C)	-61
Densidad líquido (g/mL a 20°C)	0.948
Densidad relativa vapor respecto al aire	2.5
Solubilidad	Miscible en agua
Presión de vapor (kPa a 25°C)	0.492
Temperatura de autoignición (°C)	445
Límites de explosividad (%volumen en aire)	2.2-16
Punto de inflamación (°C)	58

1.2.3.1.5. Agua

El agua es un compuesto inorgánico formado por un átomo de oxígeno unido a dos átomos de hidrógeno. En condiciones normales el agua es un color inodoro, incoloro e insípido. Es una molécula polar debido a la electronegatividad que se forma entre los átomos de hidrógeno con el átomo de oxígeno.

Entre sus propiedades químicas se destaca como un disolvente muy versátil (disuelve gran variedad de compuestos). El agua tiene un elevado calor específico debido a la polaridad que tiene. Este calor específico alto conlleva a que el agua se utilice como fluido térmico.

En la tabla 1.2-5 se recogen las propiedades más importantes del agua:

Tabla 1.2-5 Propiedades del agua.

Formula molecular	H ₂ O
Massa molecular (g/mol)	18.015
Punto de ebullición (°C)	100
Punto de fusión (°C)	0
Densidad líquido (g/cm³)	1
Presión de vapor (kPa a 25°C)	3.17
Calor específico (J/g·K)	4.184

1.2.3.2. Catalizador

1.2.3.2.1. Cloruro de mercurio (II)

El Cloruro de mercurio (II) en condiciones normales es un sólido cristalino blanco inodoro. Es ligeramente soluble en agua y ligeramente volátil. Debido al calentamiento intenso éste se descompone produciendo humos tóxicos de mercurio y vapores de cloro, hecho que hace que en este proceso deba estar muy controlada la temperatura ya que se trata de una reacción exotérmica.

Es corrosivo en mucosas, extremadamente tóxico por inhalación, ingestión y absorción por piel. Puede ser descompuesto por la luz solar. Es incompatible con sulfitos, fósforos, arsénico, bromos, carbonatos, sales alcaloides, amoníaco y solución de hidrógeno de calcio. Este compuesto puede ser explosivo por el efecto del calor, la fricción, el contacto con metales alcalinos, etc.

Su principal uso es como catalizador en la conversión de acetileno y cloruro de hidrógeno en cloruro de vinilo, reacción que se lleva a cabo en este proyecto. En soluciones diluidas se emplea como antiséptico para el control de enfermedades fungosas e insectos. Antiguamente se usaba como aditivo en el tabaco.

En la tabla 1.2-6 se recogen las propiedades más importantes del cloruro de mercurio (II):

Tabla 1.2-6 Propiedades del cloruro de mercurio (II).

Fórmula molecular	HgCl ₂
Masa molecular (g/mol)	271.492
Punto de ebullición (°C)	302
Punto de fusión (°C)	276
Densidad (g/cm³)	6.5
Densidad relativa (agua=1)	5.44
Solubilidad en agua (g/100 ml a 20°C)	7.4
Presión de vapor (Pa a 20 °C)	0.1
Temperatura autoignición (°C)	390
Límites de explosividad (%volumen en aire)	7.3-19
Punto de inflamación (°C)	5

1.2.3.3. Productos

1.2.3.3.1. Cloruro de vinilo

El cloruro de vinilo fue descubierto el año 1835 por Justus Von Liebig, químico alemán considerado pionero en el estudio de la química orgánica. Se obtuvo a partir del tratamiento de 1,2-dicloroetano con una solución de hidróxido de potasio en etanol. Pero no fue hasta el año 1912 que otro químico alemán, Fritz Klatte, patentó un proceso para obtener este compuesto a partir de acetileno y ácido clorhídrico usando como catalizador el cloruro mercuríco. Este método fue utilizado hasta 1940 y desde entonces ha sido reemplazado por otros procesos más económicos.

El cloruro de vinilo, también conocido como cloroetano, cloroetileno y monocloroetileno, en condiciones normales es un gas incoloro, se quema fácilmente y no es estable a altas temperaturas. El cloruro de vinilo puede existir en forma líquida a muy baja temperatura o presión muy alta. Este producto tiene un olor dulce que se puede notar a partir de las 3000 ppm.

Este compuesto es un producto estable, pero puede ser fotosensible. Puede autopolimerizarse en ciertas condiciones y es incompatible con agentes oxidantes fuertes, metales químicamente activos. Es un producto altamente inflamable, tiene riesgos serios de explosión a concentraciones del 3%. Se tiene constancia que sofocar grandes fuegos de este producto es prácticamente imposible. Forma peróxidos poliméricos en contacto con el aire que estos son explosivos. También puede reaccionar con agua muy caliente para formar humos tóxicos. La inhalación de este compuesto en grandes concentraciones puede causar mareamiento, anestesia e irritación. El contacto de este compuesto en fase líquida produce congelación.

Su principal aplicación es para producir cloruro de polivinilo, más conocido como PVC, el cual se usa para fabricar una gran variedad de plásticos.

En la tabla 1.2-7 se recogen las propiedades más importantes del cloruro de vinilo:

Tabla 1.2-7 Propiedades del cloruro de vinilo.

Fórmula molecular	H ₂ C=CHCl
Masa molecular (g/mol)	62.496
Punto de ebullición (°C)	-13
Punto de fusión (°C)	-154
Densidad (g/cm³)	1.41
Densidad relativa vapor respecto al aire	2.2
Solubilidad en agua	ninguna
Presión de vapor (kPa a 20 °C)	343
Temperatura autoignición (°C)	472

Límites de explosividad (%volumen en aire)	3.6-33
Punto de inflamación (°C)	-78

1.2.3.3.2. Ácido clorhídrico al 30%

El ácido clorhídrico es un líquido incoloro o ligeramente amarillento. Su olor es irritante agudo y sofocante. Es un líquido fuertemente ácido con un PH inferior a 1.

En contacto con metales desprende hidrógeno. Reacciona con hipocloritos, cloritos, cloratos, cianuros o sulfuros, desprendiendo gases tóxicos. Sometido a gran temperatura genera gases de cloruro de hidrógeno que es corrosivo y tóxico.

Es usado como ácido barato, fuerte y volátil. Su aplicación más conocida es el de desincrustante de residuos de caliza (carbonato de calcio). También se suele usar para la regeneración de resinas de intercambio iónico con el fin de producir agua desmineralizada.

En la tabla 1.2-8 se recogen las propiedades más importantes del ácido clorhídrico al 30%:

Tabla 1.2-8 Propiedades de ácido clorhídrico al 30%.

Fórmula molecular	Solución 30% de HCl en H ₂ O
Masa molecular (g/mol)	36.5
Punto de ebullición (°C)	90°C
Punto de fusión (°C)	-52
Solubilidad en agua	Muy soluble
Solubilidad en disolventes	Soluble en alcohol, éter, acetona, ácido acético y cloroformo.
Presión de vapor (kPa a 20 °C)	1.4
Densidad (g/cm³)	1.149
Viscosidad (cPs)	1.70

1.2.3.4. Subproductos / intermedios de reacción

1.2.3.4.1. 1,2-Dicloroetano

El 1,2-dicloroetano, llamado también dicloruro de etileno, es una sustancia química manufacturada que no ocurre de forma natural en el medio ambiente. Es un líquido viscoso, transparente y tiene un olor dulce agradable, parecido al cloroformo. Puede oscurecerse por exposición al aire, a la humedad y a la luz.

En el aire, el 1,2-dicloroetano se degrada al reaccionar con otros compuestos formados por la luz solar. Puede permanecer en el aire por más de 5 meses antes de ser degradado. A elevadas temperaturas emite humos tóxicos de ácido clorhídrico hasta su completa descomposición.

Principalmente es usado para la producción de PVC mediante su crackeo, que libera un cloro de sus enlaces e introduce un hidrógeno. También se usa como disolvente e intermedio para compuestos químicos orgánicos. Antiguamente se utilizaba como plaguicida, pero fue prohibido ya que es dañino para la salud humana y el medio ambiente.

En la tabla 1.2-9 se recogen las propiedades más importantes del 1,2-dicloroetano:

Tabla 1.2-9 Propiedades del 1,2-dicloroetano.

Fórmula molecular	$\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$
Masa molecular (g/mol)	98.954
Punto de ebullición (°C)	83.5
Punto de fusión (°C)	-35.7
Densidad (g/cm³)	1.25
Densidad relativa (agua=1)	1.235
Solubilidad en agua (g/100 ml a 20°C)	0.87
Presión de vapor (kPa a 20 °C)	8.7
Temperatura autoignición (°C)	413
Límites de explosividad (%volumen en aire)	6.2-16
Punto de inflamación (°C)	13

1.2.3.5. Refrigerantes/Calentadores

1.2.3.5.1. Dowtherm A

El dowtherm A es una mezcla eutéctica de bifenilo (25% mezcla) y óxido de bifenilo (75% mezcla), dos compuestos muy estables los cuales tienen las mismas presiones de vapor por lo que la mezcla se puede tratar como un solo compuesto. El fluido no es corrosivo para metales comunes y aleaciones. Tiene un color marrón de claro a oscuro y es aromático. Es inflamable, pero tiene un punto de inflamabilidad relativamente alto.

Su principal aplicación es para la transferencia de calor en sistemas que emplean calentamiento en fase líquida o vapor. Su baja viscosidad en el rango de operación proporciona una transferencia de calor eficiente por lo que los problemas de arranque y bombeo se minimizan.

En la tabla 1.2-10 se recogen las propiedades más importantes del dowtherm A:

Tabla 1.2-10 Propiedades del dowthermA.

Formula molecular	Mezcla de C ₁₂ H ₁₀ y C ₁₂ H ₁₀ O
Massa molecular (g/mol)	324.423
Punto de ebullición (°C)	257
Punto de fusión (°C)	12
Densidad líquido (g/cm³)	1.06
Solubilidad en agua	Insoluble
Presión de vapor (Pa a 25 °C)	10.65
Temperatura autoignición (°C)	599
Límites de explosividad (%volumen en aire)	0.6-6.8
Punto de inflamación (°C)	113

1.2.3.5.2. Agua glicolada

El agua glicolada es una mezcla de agua con un 40% de etilenglicol que tiene como objetivo disminuir el punto de congelación del agua. Es una mezcla incolora, inodora, y bastante viscosa ya que contiene gran cantidad de etilenglicol. La inhalación de este compuesto a corto plazo puede causar irritación en las vías respiratorias y daños neuronales.

Es empleada para prevenir la formación de hielo en los equipos de refrigeración como puede ser un intercambiador. También ejerce la función de refrigerante. Además, es el precursor del polietilenglicol (PEG) que tiene aplicaciones desde la fabricación industrial hasta la medicina.

En la tabla 1.2-11 se recogen las propiedades más importantes del agua glicolada:

Tabla 1.2-11 Propiedades del agua glicolada.

Formula molecular	Mezcla de C ₂ H ₆ O ₂ y H ₂ O
Massa molecular (g/mol)	80.038
Punto de fusión (°C)	-23.3
Densidad líquido (g/cm³)	1.063
Solubilidad en agua	Muy soluble
Presión de vapor (kPa a 20 °C)	1.96
Viscosidad (20°C) (μPa·s)	1669

1.2.4. Aplicaciones del Cloruro de Vinilo

La aplicación principal de este producto es para la formación de policloruro de vinilo (PVC), que consiste en la polimerización del monómero de cloruro de vinilo. El PVC es el derivado del plástico más versátil, tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama, es dúctil y tenaz, presenta estabilidad dimensional y resistencia ambiental.

El PVC es utilizado para hacer una amplia variedad de productos hechos de plástico incluyendo tuberías, recubrimientos de cables, materiales de empaquetado entre otras muchas funciones. Hay que añadir que, en un porcentaje mucho menor, también se usa para sintetizar hidrocarburos clorados específicos como el 1,1,1-tricloroetano, el 1,1,2-tricloroetano y el cloruro de vinildieno.

En el pasado el cloruro de vinilo se utilizó como refrigerante, como propelente en latas de aerosol y en algunos cosméticos. Pero a partir de los años 70 se ha utilizado mayoritariamente en la manufacturación del PVC.

1.2.5. Aplicaciones del 1,2-dicloroetano

La aplicación principal es para la producción del monómero de cloruro de vinilo (VCM), que a su vez se utiliza en la producción de PVC. Más del 95% de producción de DCE se utiliza en la fabricación de PVC, que se emplea en una amplia variedad de industrias. La sustancia no se vende o utiliza para uso directo del consumidor.

También se utiliza en la industria farmacéutica como un compuesto intermedio para otros compuestos químicos orgánicos, como disolvente en algunas reacciones específicas. Forma azeótropos con muchos otros disolventes, incluso el agua (punto de ebullición 70.5 °C) y otros organoclorados.

Anteriormente fue un plaguicida, pero ahora está prohibido en todas sus formulaciones y usos por ser dañino para la salud humana y el medio ambiente. Fue aprobado por el convenio de Róterdam entre 2004 y 2006, el cual preparó un documento de orientación para ayudar a los gobiernos a evaluar los riesgos asociados a la manipulación y utilización del producto químico en cuestión y a adoptar decisiones más fundamentales sobre su importación y utilización en el futuro, teniendo en cuenta las condiciones locales.

1.2.6. Aplicaciones del ácido clorhídrico al 30%

El ácido clorhídrico se utiliza sobre todo como ácido barato, fuerte y volátil. Tiene una fuerte presencia en tratamiento de aguas, materia prima en la industria química, textil, alimenticia y farmacéutica.

Su uso más conocido es el de desincrustante para eliminar residuos de caliza (CaCO_3). En esta aplicación se transforma el carbonato cálcico en cloruro cálcico, más soluble, y se liberan dióxido de carbono y agua.

Otra importante aplicación del ácido clorhídrico de alta calidad es en la regeneración de resinas de intercambio iónico. El intercambio catiónico suele utilizarse para eliminar cationes como Na^+ y Ca^{2+} de disoluciones acuosas, produciendo agua desmineralizada.

En la industria alimentaria se utiliza por ejemplo en la producción de la gelatina disolviendo con ella la parte mineral de los huesos. En metalurgia, a veces se utiliza para disolver la capa de óxido que recubre un metal, previo a procesos como galvanizado, extrusión, u otras técnicas. También es un producto de partida en la síntesis de policloruro de aluminio o de cloruro férrico (FeCl_3).

1.3. Constitución de la planta

En este apartado se describe la distribución de las diferentes áreas que se han creado dentro de la parcela del polígono industrial, la plantilla del personal que se llevará a cabo cuando la planta esté operativa y, por último, la planificación temporal tanto de los trabajadores como de la construcción de la planta. Todo ello se ha organizado para garantizar un correcto funcionamiento de la empresa de forma segura, que sea eficiente técnica y económicamente y, además respetuosa con el medio ambiente.

1.3.1. Áreas

La planta de producción de cloruro de vinilo se ha distribuido en trece áreas. Dicha distribución se ha hecho siguiendo un conjunto de factores que se han considerado de obligado cumplimiento. Principalmente se ha tenido en cuenta la seguridad ya que al tratarse de una planta química hay que respetar las distancias mínimas entre los compuestos que se manipulan durante el proceso además de velar por la seguridad del personal que operará en la planta. Por consiguiente, se ha minimizado la circulación dentro de ella con tal de reducir los movimientos tanto de personas como del transporte de productos, indirectamente se consigue un ámbito de trabajo más eficiente.

Y finalmente, pero no menos importante, tener en cuenta las posibles mejoras que se hagan durante la vida útil de la planta para decidir las zonas dónde se podrían implantar de forma que no suponga una redistribución de las áreas y se sigan garantizando el resto de factores.

En la tabla 1.3-1 se muestran las áreas que constituyen la planta de producción con una breve descripción individual.

Tabla 1.3-1 Clasificación de las áreas de la planta.

Área	Descripción
A-100	Pulmón de reactivos
A-200	Reacción
A-300	Purificación del producto I
A-400	Purificación del producto II
A-500	Tratamiento de gases
A-600	Almacenamiento de producto
A-700	Servicios
A-800	Almacenamiento de efluentes
A-900	Medio ambiente y seguridad
A-1000	Oficinas y laboratorios
A-1100	Vestuarios y comedor
A-1200	Almacén y taller
A-1300	Sala de control

En la figura 1.3-1 se muestra la distribución definitiva de las áreas que se ha diseñado para el terreno disponible de edificación:

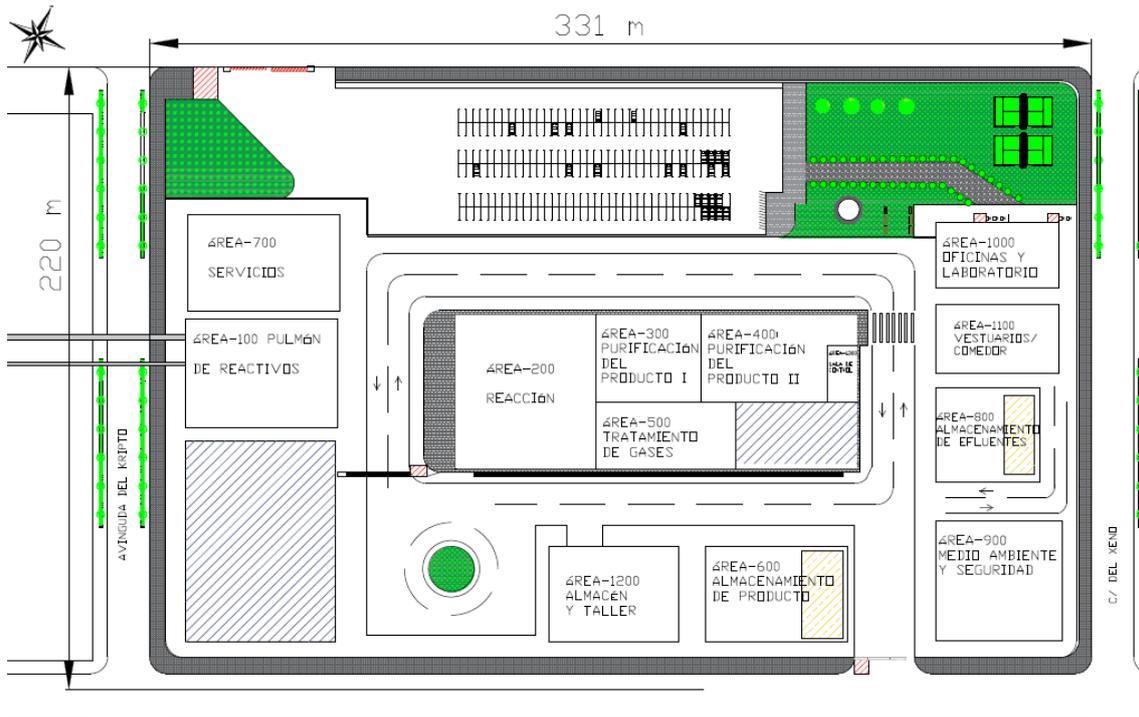


Figura 1.3-1 Distribución de las áreas en la parcela.

1.3.1.1. Descripción detallada de las áreas

- **Área 100: Pulmón de reactivos**

En el área 100 se almacenan en tanques pulmón las dos materias primas del proceso, acetileno y cloruro de hidrógeno. El acetileno se almacena a una presión de 1.4 bar en un tanque de 18.9m³ (TP-101) y el cloruro de hidrógeno también a una presión de 1.4 bar pero en un tanque de 26.2m³ (TP-102). Se requiere más cloruro de hidrógeno porque en la reacción está en exceso un 10%.

Dichos tanques pulmón se han diseñado para asegurar un caudal estable en la entrada del proceso, con un tiempo de residencia de los reactivos de dos minutos. Estarán situados lo más cerca de la empresa vecina para así reducir metros de las tuberías que subministran los reactivos. Además, ésta área se encuentra lo más alejada del personal debido a la peligrosidad que conlleva el almacenamiento del acetileno.

- **Área 200: Reacción**

En el área 200 se encuentran todos los equipos necesarios para llevar a cabo la producción de VCM. Por lo tanto, en esta área se situarán los cuatro reactores tubulares de lecho fijo (R-201/202/203/204), tres de los cuales trabajarán en continuo y el restante se usará como comodín en caso de limpieza o mantenimiento de alguno de ellos. También se situarán los equipos auxiliares como compresores e intercambiadores de calor.

Esta área se sitúa cerca del área 100 (pulmón de reactivos) con tal de reducir metros de tuberías que transportan las materias primas, de esta manera se disminuye el coste de tuberías además de evitar posibles accidentes.

- **Área 300: Purificación del producto I**

En el área 300 se encuentran todos los equipos necesarios para llevar a cabo la primera purificación del VCM, por lo que incluye una columna de destilación (CD-301), la cual separa el subproducto DCE formado durante la reacción, con el reboiler termosifón (RB-301) y el condensador parcial (CP-301). También están incluidos los equipos auxiliares como compresores e intercambiadores de calor, además del tanque de condensados (TD-301) de 0.129 m³.

Esta área se sitúa contigua al área 200 (reacción) y al área 400 (purificación del producto II), de esta manera también se reduce la distancia de tuberías, así como el coste y el riesgo de accidentes.

- **Área 400: Purificación del producto II**

En el área 400 se encuentran todos los equipos necesarios para llevar a cabo la segunda purificación del VCM, por lo que incluye otra columna de destilación (CD-401) que ya separa nuestro producto de interés, el VCM. También están incluidos los equipos auxiliares como compresores e intercambiadores de calor, además del tanque de condensados (TD-401) de 0.05m³.

Además, se dispone de una destilación flash (CF-401) que separa todo el nitrógeno posible del corriente de destilado de la columna anterior (CD-401) con tal de poder recircular los reactivos y el producto para así aumentar el rendimiento del reactor.

Esta área, además de situarse contigua al área 300, se sitúa lo más cerca posible del área 600 (almacenamiento de producto) por los mismos motivos del área 100 (pulmón de reactivos).

- **Área 500: Tratamiento de gases**

En el área 500 se encuentran todos los equipos necesarios para poder tratar los gases de salida de la producción. Dentro de los cuales están la columna de absorción (CA-501), donde se separa el nitrógeno de los demás componentes, la columna de destilación (CD-501), donde se recupera el DFM para su recirculación, y el absorbedor de película descendente (SC-501), del cual se obtiene el HCl al 30%. También están incluidos los equipos auxiliares como compresores e intercambiadores de calor, además del tanque de condensados (TD-501).

Esta área está rodeada por las áreas de producción, el área 200 (reacción), el área 300 (purificación del producto I) y el área 400 (purificación del producto II).

Se dispone de un filtro de carbón activo el cual absorberá los componentes del corriente de destilados del absorbedor, el cloruro de vinilo y el acetileno. Este proceso está más detallado en el **Capítulo 6. Medio ambiente**.

- **Área 600: Almacenamiento de producto**

En el área 600 se almacena el producto principal de la planta, el VCM, el cual se almacenará en dos tanques de 154.3 m³ a una presión de 7 bar. Dichos tanques serán vaciados dos veces al día por camiones cisterna de 30 m³ que tardarán en llenarse una hora aproximadamente.

Esta área, además de situarse relativamente cerca del área 400 (purificación del producto II), se sitúa cerca de la entrada de camiones cisterna para evitar que estas, cargadas de producto, circulen por la planta y así prevenir posibles accidentes.

- **Área 700: Servicios**

En el área 700 se encuentra la distribución de todos los servicios auxiliares necesarios para el proceso de producción diseñado, detallados en el apartado **1.4. Especificaciones y necesidades de servicios**.

Esta área está situada al lado del área 100 (pulmón de reactivos) y cerca de la zona de producción para así poder distribuir fácilmente los servicios a toda la planta.

- **Área 800: Almacenamiento de efluentes**

En el área 800 se almacenan en tanques atmosféricos los dos subproductos del proceso de producción, el DCE en un tanque de 22.64 m³ y el HCl al 30% en un tanque de 13.55 m³. Además, se dispone de un tanque pulmón para el suministro de DFM para el tratamiento de gases.

Esta área se sitúa lo más cerca posible del área 500 (tratamiento de gases) que es de dónde provienen dos de las sustancias almacenadas y, también, por los mismos motivos del área 100 (pulmón de reactivos).

- **Área 900: Medio ambiente y seguridad**

En el área 900 se encuentran todos los espacios necesarios para comprobar que se cumplen todas las medidas medioambientales de la planta y la legislación correspondiente. Además de la zona donde se asegurará el cumplimiento de las normas de seguridad. Esta área se sitúa al lado del área 600 (almacenamiento del producto) y del área 800 (almacenamiento de efluentes).

- **Área 1000: Oficinas y laboratorio**

En el área 1000 se encuentran todos los espacios necesarios para la gestión administrativa de la planta como las oficinas, la sala de reuniones, etc. Además, incluye los laboratorios donde se realizará el control de calidad del producto.

Esta área dispone de dos vías de acceso: una desde la zona de producción por la cual podrán acceder el personal de planta, y otra desde la zona de aparcamientos por la cual podrán acceder las personas ajenas a la empresa.

- **Área 1100: Vestuarios y comedor**

En el área 1100 se encuentran todos los espacios necesarios para los trabajadores como el vestuario, las taquillas, el comedor, etc. Esta área es anexa al área 1000 (oficinas y laboratorios) y con acceso a la zona de producción para que el personal de planta pueda acceder a ella fácilmente.

- **Área 1200: Almacén y taller**

En el área 1200 se encuentran todos los utensilios necesarios para el mantenimiento de la planta, así como los recambios de equipos, válvulas, tuberías, herramientas, etc. Esta área es de fácil acceso para los vehículos ya que serán necesarios para transportar objetos pesados por la planta para realizar las tareas de mantenimiento requeridas.

- **Área 1300: Sala de control**

En el área 1300 se encuentra la sala de control de la planta, dónde se realizan las tareas de gestión de producción y el control de toda la planta. Se ha situado anexo a la producción para que el personal de control pueda acceder a las áreas de producción rápidamente en caso necesario.

1.3.2. Planificación temporal

La planta diseñada en este proyecto ha sido ideada para operar durante trescientos días al año. Con la finalidad de lograr los objetivos de producción, la planta operará los siete días de la semana durante las veinticuatro horas del día. Por tanto, se han dispuesto cinco turnos rotatorios mensualmente que funcionan según los datos mostrados en la tabla 1.3-2.

Tabla 1.3-2 Planificación de los turnos de trabajo.

Turno	Horario
Lunes a viernes	
1	06:00 a 14:00
2	14:00 a 22:00
3	22:00 a 06:00
Sábado y domingo	
4	06:00 a 18:00
5	18:00 a 06:00

Además de dichos turnos de producción, se añade un turno para el personal de oficinas que trabajará de lunes a viernes des de las nueve de la mañana hasta las seis de la tarde, con una pausa para comer de una hora a las dos del mediodía.

En cuanto al tiempo en la que la planta no se encuentre en periodo de producción, que son sesenta y cinco días al año, se aprovechará para realizar tareas de limpieza, recambio de equipos, tareas de supervisión de las instalaciones y se aprovechará para realizar posibles cambios que se deban implantar en el proceso y que hayan sido acordados por el equipo directivo de la empresa. Además

de la realización de la parada y la puesta en marcha del proceso, las cuales duraran aproximadamente tres días cada una. Dicho tiempo de no producción será repartido en dos periodos, ya que el catalizador deberá ser substituido cada seis meses, que corresponden a los meses de Enero y Agosto, coincidiendo con los periodos festivos de Navidad y vacaciones respectivamente.

1.3.3. Plantilla de trabajadores

Para alcanzar los objetivos de esta empresa, es necesario un grupo de personas profesionales que gracias a su trabajo y cooperación hagan de Vimepam una de las potencias en su sector. Dicho grupo de profesionales estará jerarquizado debidamente con tal de mantener una correcta organización dentro de la empresa. En la figura 1.3-2 se muestra el organigrama de nuestra empresa.

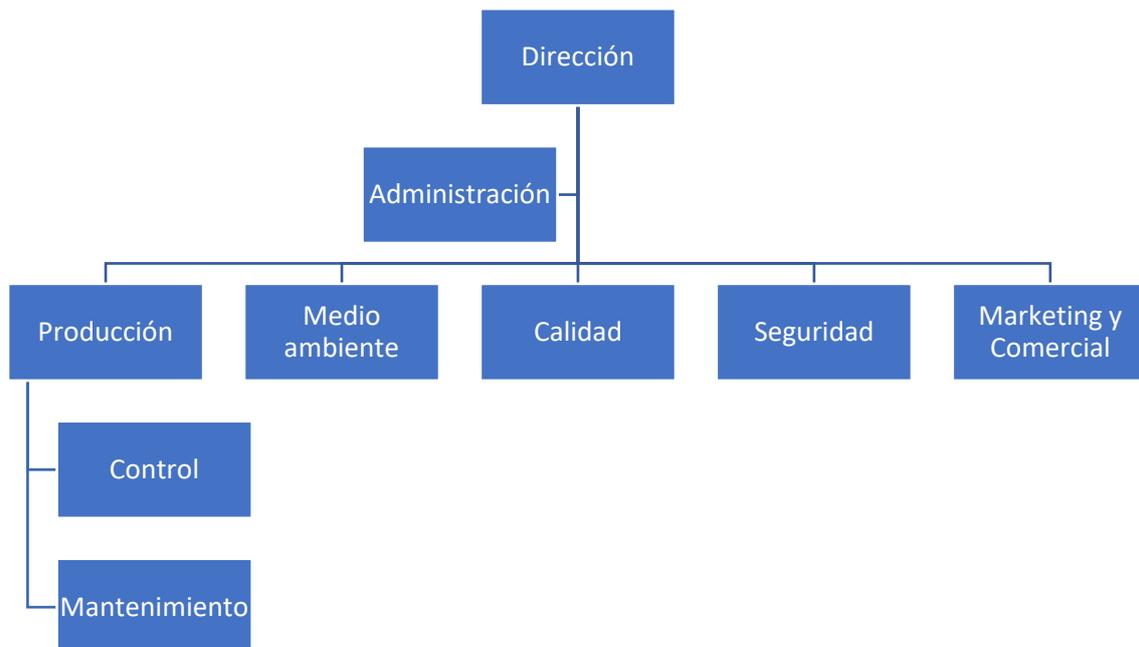


Figura 1.3-2 Organigrama de la empresa.

El personal se dividirá en diferentes departamentos, los cuales son explicados a continuación:

- **Departamento de administración**

Se encarga de supervisar económicamente el resto de departamentos de la empresa, así como de reducir los costes e invertir. Además, contará con el departamento de finanzas que se encarga de realizar la contabilidad de la planta.

- **Departamento de producción**

Se encarga de supervisar los aspectos técnicos del proceso y de realizar mejoras en él en caso de que sea necesario. Además, supervisará los departamentos de control y mantenimiento, los cuales se aseguran de que el sistema de control y la maquinaria funcionan correctamente.

- **Departamento de medio ambiente**

Se encarga de asegurar el cumplimiento de todas las medidas medioambientales de la planta y de la legislación correspondiente (ambas especificadas en el *Capítulo 6. Medio Ambiente*).

- **Departamento de calidad**

Se encarga de asegurar que los productos, especialmente el cloruro de vinilo ya que es nuestro producto principal, se producen correctamente, cumpliendo los requisitos de calidad establecidos.

- **Departamento de seguridad**

Se encarga de asegurar el cumplimiento de todas las medidas de seguridad de la planta y de la legislación correspondiente (ambas especificadas en el *Capítulo 5. Seguridad*).

- **Departamento de marketing y comercial**

Se encarga de las compras y ventas de la planta, tanto de materias primas y productos como de equipos, instrumentos, servicios y demás. Además, también se encarga de la publicidad e imagen de la empresa.

Una vez definidos los diferentes departamentos, se especificarán los diferentes cargos que hay en la planta.

- **Director de planta**

Es la máxima autoridad de la planta, encargada de gestionar el conjunto de la planta y de tomar las decisiones más importantes.

- **Director de fabricación**

Se encarga de supervisar que el proceso de fabricación se realice correctamente.

- **Director de turno**

Se encarga de dirigir el turno que le corresponda, uno de los 5 turnos mencionados en el apartado anterior.

- **Jefe de departamento**

Se encarga de gestionar el departamento que le corresponda, mencionados anteriormente.

- **Operario**
Personal que trabaja en el proceso de producción.
- **Técnico de laboratorio**
Personal que trabaja en el departamento de calidad, concretamente en los laboratorios.
- **Contable y administrativo**
Personal que trabaja en el departamento de administración.
- **Comercial**
Personal del departamento de marketing y comercial.

Ahora que se han definido tanto los cargos como los departamentos, se estima la cantidad de personal necesaria para operar la planta. Para ello se ha creado la plantilla de trabajadores que formaran los turnos de producción y el personal de oficina. En la tabla 3.3-1 se muestran los diferentes departamentos con el número de personas que requieren.

Tabla 3.3-1 Plantilla de trabajadores

Departamento	Personas
Producción	15
Control y Mantenimiento	20
Medio ambiente y Seguridad	10
Calidad	5
Marketing y Comercial	6
Administración	4

Altos cargos	Personas
Director de planta	1
Director de fabricación	1
Director de turno	5
Jefe de departamento	4

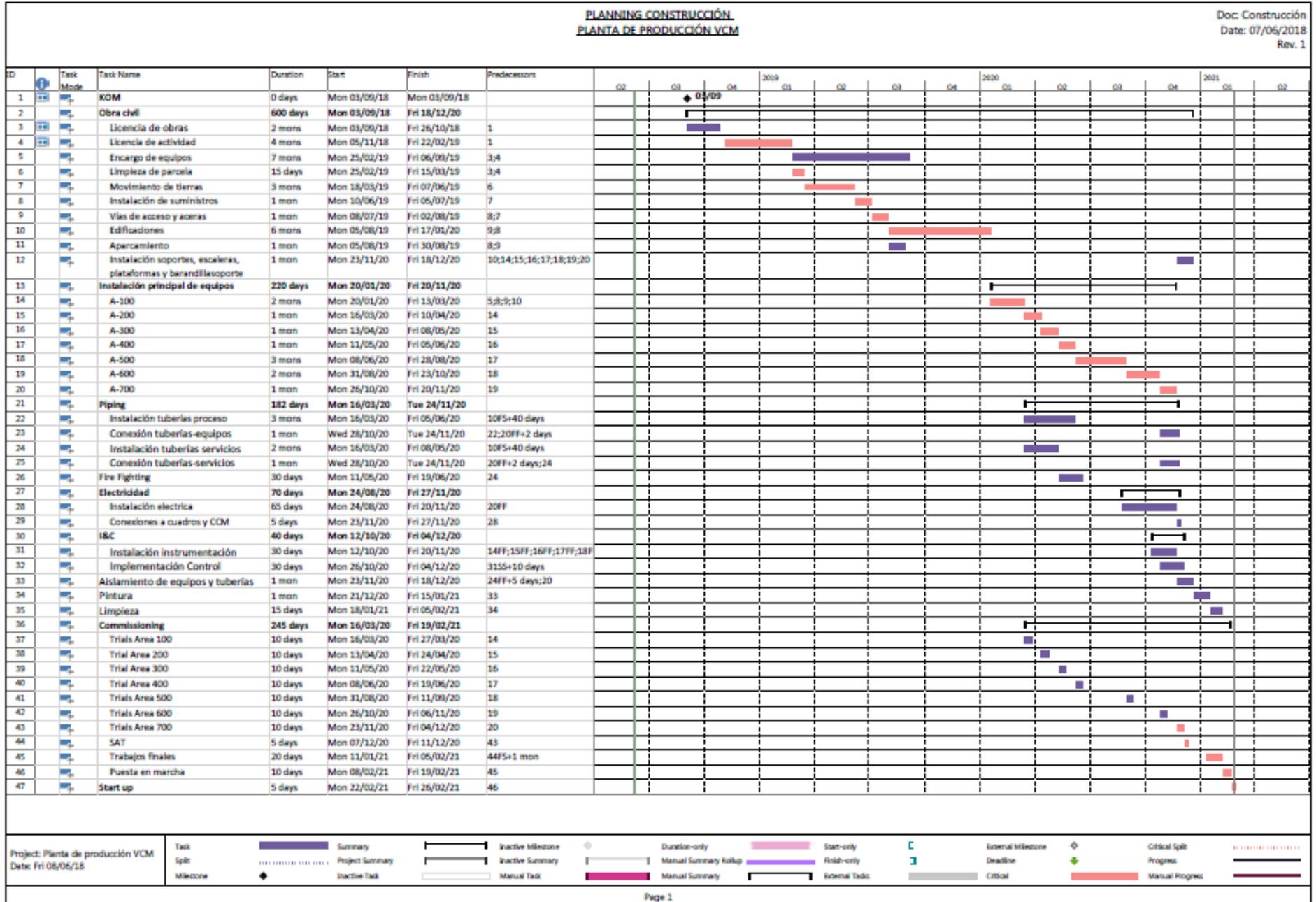
Hay que añadir que, los diferentes procesos que se llevan a cabo durante la producción se realizan de forma automatizada y controlada por diferentes lazos de control, definidos en el **Capítulo 3. Instrumentación y control**. Por lo tanto, el personal de planta es más reducido, pero no excluye que tengan una buena formación y sean capaces de intervenir ante cualquier adversidad de forma rápida y segura.

1.3.4. Construcción de la planta

En este apartado se presenta la planificación temporal de las tareas que se llevarán a cabo durante la construcción de la planta. Se ha elaborado también un diagrama de Gantt con el objetivo de facilitar la visualización de las fases de construcción. En él se representa la duración de las tareas y así mismo el tiempo de construcción total, y en la tabla se nombran las tareas, su duración, la fecha de inicio y fin, y el orden de precedencia. El camino crítico son las tareas de color rojo.



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CLORURO DE VINILO
CAPITULO 1-Especificaciones del proyecto



1.4. Especificaciones y necesidades de servicios

En este apartado se realiza la especificación y un pequeño resumen de cada uno de los servicios requeridos para el correcto funcionamiento de la planta, tanto a nivel de producción como de oficinas. Por lo tanto, los servicios deben tener un buen diseño de suministro con tal de evitar fugas o complicaciones que obliguen a parar la planta y evitar derroches de energía y dinero.

Los servicios requeridos para esta planta de producción son el agua, ya sea de red, descalcificada, desionizada o en forma de vapor, el nitrógeno, el aire comprimido, el gas natural y la electricidad. Como se ha nombrado anteriormente, los servicios disponibles a pie de planta se especifican en la tabla 1.1-2 del apartado **1.1.3.1. Parámetros de edificación, servicios y plano de la parcela.**

1.4.1. Agua de red

Este servicio suministrará agua potable a las zonas de vestuarios, oficinas y laboratorios. En la planta se dispone de una conexión de agua de red a una presión máxima de 4 kg/cm², tal y como se ha mencionado antes, por lo que solo será necesario diseñar las tuberías que la distribuirán por la planta ya que es una presión suficiente para su uso y distribución. Además, esta agua será tratada para obtener diferentes calidades, descalcificada y desionizada.

1.4.2. Agua descalcificada

Este servicio es de gran importancia ya que disponer en el proceso de agua descalcificada, sin durezas, evita posibles incrustaciones y contaminaciones en equipos y tuberías, de este modo se prolonga la vida útil de todos ellos. Se usará en equipos como calderas e intercambiadores.

Para obtener agua de estas condiciones, se hace pasar el agua de red por un descalcificador el cual tiene una resina que crea un intercambio catiónico entre los cationes de sodio (Na⁺) de la sal y el calcio (Ca⁺) y el magnesio (Mg²⁺) presentes en el agua. Dicha resina hay que regenerarla debido a que se satura de iones.

Hay que añadir que es el proceso más utilizado para eliminar la dureza del agua ya que tiene un gran rendimiento y resulta económico y fácil de usar.

1.4.3. Agua desionizada

Además del agua descalcificada, en el proceso se requiere de otra de más calidad, una que apenas tenga impurezas. Para ello se hace pasar el agua descalcificada por un equipo de ósmosis inversa y filtros los cuales mediante un intercambio de iones atrapan todo tipo de sales inorgánicas, incluyendo los cloruros. Este servicio se requiere únicamente para la torre de absorción de HCL al 30%.

1.4.4. Agua de refrigeración

En este proyecto se decanta por el uso de torres de refrigeración para el enfriamiento del agua usada en los intercambiadores ya que es la forma más económica de enfriarla, siempre que se encuentre a temperaturas entre la temperatura ambiente y unos 35-40°C. En la torre, una parte del agua sufre una evaporación al entrar en contacto con aire seco, el cual se convierte en aire húmedo y se enfría el agua restante, que será recirculada a los equipos correspondientes. Para este servicio se usará agua descalcificada.

También se usará un chiller, el cual enfría el fluido a temperaturas bajo 0°C, para refrigerar el agua glicolada al 40% a una temperatura de -15°C que será enviada hacia los intercambiadores de calor que requieran de ella.

1.4.5. Vapor de agua

El vapor de agua es uno de los fluidos térmicos más utilizados para realizar el suministro de calor a aquellos equipos que requieran calentarse. Para obtener este vapor utilizado en equipos como los reboilers o intercambiadores de calor, se utilizan calderas. El agua utilizada será descalcificada por los mismos motivos anteriormente nombrados, evitar posibles incrustaciones en los sistemas.

1.4.6. Nitrógeno

Para realizar la inertización de los tanques de almacenamiento, como el de nuestro producto cloruro de vinilo, se suele usar nitrógeno. El proceso de inertización se utiliza para proporcionar una capa protectora que evita que la inflamabilidad del compuesto forme una mezcla explosiva con el aire.

1.4.7. Aire comprimido

El aire comprimido es un servicio indispensable para toda planta que cuente con elementos automáticos, debido a que es necesario para el accionamiento de todas las válvulas neumáticas.

Por consiguiente, se dispone de un compresor, el cual se encarga de elevar la presión del gas o vapor mediante un tornillo rotativo con inyección de aceite GA. Este modelo de compresor es de menor coste energético y de propiedad que los demás. Además, dispone de un filtro para evitar la entrada de partículas sólidas en el circuito, y de un pequeño tanque pulmón que estabiliza la presión del circuito.

1.4.8. Electricidad

El servicio eléctrico es uno de los más importantes ya que debe abastecer electricidad a toda la planta, tanto en la zona de producción como en las zonas de oficina, laboratorios, sala de control y demás que no son estrictamente de producción. Por lo tanto, se requiere una estación transformadora que nos permita convertir el voltaje de entrada a pie de parcela, de 20 kV, al que se necesite para la alimentación de cada uno de los equipos.

En caso de fallada en el suministro eléctrico se dispondrán de generadores eléctricos, los cuales usan gas natural como combustible, capaces de abastecer las necesidades eléctricas de la planta durante unas horas.

1.4.9. Gas natural

El gas natural es una fuente de energía fósil constituida por una mezcla de hidrocarburos, principalmente está formada por metano, ocupando éste un 90% de la mezcla. Los demás componentes son el etano, propano, butano, nitrógeno entre otros. Entre todas las fuentes de energía fósil es la más limpia en cuanto a residuos y emisiones atmosféricas.

Éste es necesario para dar suministro principalmente a las calderas para producir vapor, que irá hacia diferentes equipos. En la planta de producción de cloruro de vinilo se dispone de una conexión de gas natural a pie de parcela con una presión de 1.5 kg/cm² (media presión), tal y como se ha mencionado antes.

1.5. Balance de materia

En este apartado se presenta el balance de materia que se ha realizado de toda la planta de producción de cloruro de vinilo. Se presenta la información de fracción de vapor, temperatura, presión, cabal molar y másico, cabal volumétrico, entalpia molar y densidad.

El diagrama presentado en la figura 1.5-1 es el diagrama de proceso, este diagrama ha sido el que se ha utilizado para realizar el apartado **1.2.1. Proceso de producción de Cloruro de Vinilo**. En este se muestran los equipos principales de la planta y se identifican los corrientes que posteriormente se definen en las tablas 1.5-1 hasta 1.5-4.

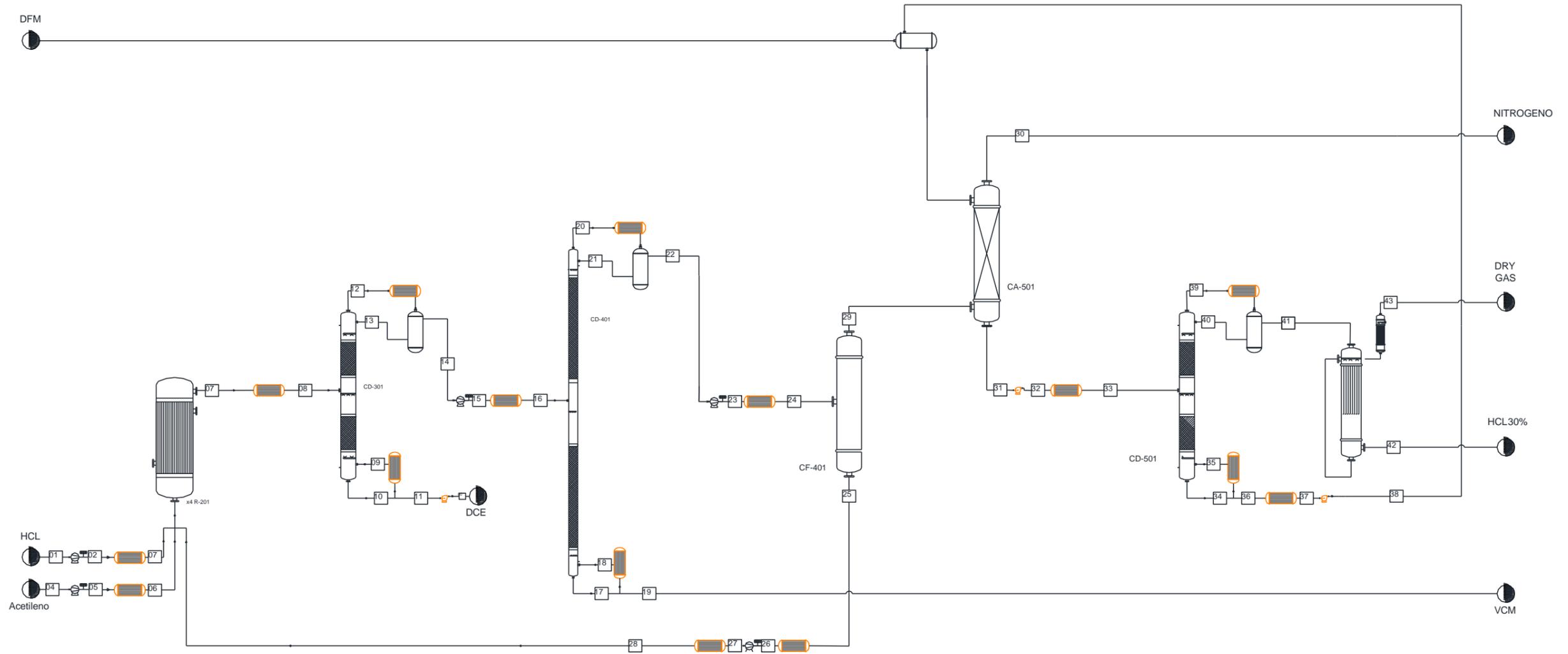


Figura 1.5-1-1 Diagrama de proceso de producción de cloruro de vinilo.

Tabla 1.5-1 Información de los corrientes en el balance de materia.

Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fracción vapor	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
Temperatura (°C)	5.00	45.93	120.00	5.00	31.56	120.00	120.00	36.56	109.30	109.40	109.40
Presión (kPa)	141.30	205.00	205.00	141.30	205.00	205.00	197.60	197.60	197.00	197.00	197.00
Cabal molar (kmol/h)	40.44	40.44	40.44	38.88	38.88	38.88	42.61	42.61	11.20	10.61	0.58
Cabal másico (kg/h)	1473.00	1473.00	1473.00	1013.00	1013.00	1013.00	2598.00	2598.00	1108.00	1050.00	57.73
Cabal volumétrico (m³/h)	655.00	518.10	641.30	628.70	474.10	616.30	692.90	536.80	1.00	163.60	0.05
Entalpia molar (kJ/kmol)	-92740	-91540	-89330	225200	226400	230700	30940	26020	-154600	-123100	-154600
Densidad (kg/m³)	2.25	2.84	2.30	1.61	2.14	1.64	3.75	4.84	1108.00	6.42	1108.00

Fracción Molar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HCl	0.9970	0.9970	0.9970	0	0	0	0.0629	0.0629	0	0	0
C₂H₂	0	0	0	0.9970	0.9970	0.9970	0.0049	0.0049	0	0	0
C₂H₃Cl	0	0	0	0	0	0	0.9127	0.9127	0.0002	0.0002	0
C₂H₄Cl₂	0	0	0	0	0	0	0.0137	0.0137	0.9998	0.9998	1.0000
N	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0058	0.0058	0	0	0
H₂O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DFM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1.5-2 Información de las corrientes en el balance de materia.

Número de corriente	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Fracción vapor	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1
Temperatura (°C)	1.13	0.45	0.45	148.50	18.52	89.22	89.28	89.28	58.82	29.27	29.27
Presión (kPa)	197.00	197.00	197.00	1800.00	1800.00	1800.00	1800.00	1800.00	1800.00	1800.00	1800.00
Cabal molar (kmol/h)	63.05	21.02	42.03	42.03	42.03	69.12	31.09	38.03	12.01	8.00	4.00
Cabal másico (kg/h)	3850.00	1310.00	2541.00	2541.00	2541.00	4318.00	1942.00	2376.00	595.00	8.01	164.50
Cabal volumétrico (m³/h)	695.90	1.40	463.10	35.84	906.70	5.68	39.07	3.13	15.17	0.49	4.79
Entalpia molar (kJ/kmol)	28530	12620	26280	33630	8110	21880	36650	21920	-13240	-15870	-42920
Densidad (kg/m³)	5.53	15.07	5.49	70.89	2802.00	12.17	49.71	760.00	39.21	16.26	34.35

Fracción Molar	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
HCl	0.0445	0.0060	0.0638	0.0638	0.0638	0.0005	0.0008	0.0002	0.4233	0.3013	0.6672
C₂H₂	0.0035	0.0005	0.0050	0.0050	0.0050	0	0	0.9998	0.0326	0.0227	0.0525
C₂H₃Cl	0.9481	0.9935	0.9253	0.9253	0.9253	0.9995	0.9992	0	0.5221	0.6740	0.2184
C₂H₄Cl₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0.0039	0	0.0059	0.0059	0.0059	0	0	0	0	0.0020	0.0619
H₂O	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0220	0	0
DFM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1.5-3 Información de los corrientes en el balance de materia.

Número de corriente	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Fracción vapor	1	0.2655	0	1	0	1	1	1	0	0	0
Temperatura (°C)	29.27	-10.73	-36.44	123.60	89.28	120.00	-36.44	20.20	30.45	30.45	110.50
Presión (kPa)	1800.00	1800.00	700.00	700.00	18.00	205.00	700.00	700.00	700.00	1300.00	1300.00
Cabal molar (kmol/h)	4.00	4.00	2.52	2.52	38.03	2.52	1.48	0.23	10.35	10.35	10.35
Cabal másico (kg/h)	164.50	164.50	112.50	112.50	2376.00	112.50	51.98	6.49	710.80	710.80	710.80
Cabal volumétrico (m³/h)	4.79	1.26	0.11	11.53	3.13	39.86	3.88	0.80	0.75	0.75	0.75
Entalpia molar (kJ/kmol)	-42920	-55060	-53950	-30930	21920	-30870	-56940	-292.1	-218600	-218500	-206700
Densidad (kg/m³)	34.35	130.70	1000.00	9.76	760.00	2.82	13.39	8.07	943.60	943.60	943.60

Fracción Molar	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
HCl	0.6672	0.6672	0.6182	0.6182	0.0002	0.6182	0.7507	0	0.1075	0.1075	0.1075
C₂H₂	0.0525	0.0525	0.0476	0.0476	0.9998	0.0476	0.0608	0	0.0087	0.0087	0.0087
C₂H₃Cl	0.2184	0.2184	0.3325	0.3325	0	0.3325	0.0242	0	0.0035	0.0035	0.0035
C₂H₄Cl₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0.0619	0.0619	0.0017	0.0017	0	0.0017	0.1644	1.0000	0.0012	0.0012	0.0012
H₂O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DFM	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8792	0.8792	0.8792

Tabla 1.5-4 Información de los corrientes en el balance de materia.

Número de corriente	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Fracción vapor	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
Temperatura (°C)	273.50	273.50	273.50	19.92	19.92	22.07	-14.41	-14.42	30.00	20.00
Presión (kPa)	1150.00	1150.00	1150.00	1150.00	700.00	1300.00	1300.00	1300.00	1300.00	1300.00
Cabal molar (kmol/h)	36.11	27.01	9.10	9.10	9.10	33.64	32.39	1.25	1.11	0.19
Cabal másico (kg/h)	2640.00	1974.00	665.30	665.30	665.30	1421.00	1375.00	45.51	135.22	3.95
Cabal volumétrico (m³/h)	3.91	85.95	0.99	0.99	0.99	55.75	1.46	1.80	0.12	0.48
Entalpia molar (kJ/kmol)	-194000	-163800	-194000	-239400	-194000	-45030	-60400	-66770	-	-
Densidad (kg/m³)	674.70	22.97	673.60	673.60	673.60	25.48	943.70	25.22	1150.00	8.18

Fracción Molar	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
HCl	0	0	0	0	0	0.7023	0.6950	0.8896	0.3000	0
C₂H₂	0	0	0	0	0	0.0538	0.0531	0.0721	0	0.4733
C₂H₃Cl	0	0	0	0	0	0.2433	0.2516	0.0286	0	0.1880
C₂H₄Cl₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	0	0	0	0	0	0.0006	0.0002	0.0097	0	0.0616
H₂O	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7000	0
DFM	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0	0	0.2777

1.6. Bibliografía

- 1) Directorio de empresas y Soluciones Globales de Información Kompass Spain. Localización de la planta e industria [en línea]. Consulta: 10 Mayo 2018.
https://es.kompass.com/v/sabadell/es_09_08_08187/
- 2) Ajuntament de Sabadell. Localización de la planta e industria [en línea]. Consulta: 10 Mayo 2018.
<http://www.sabadell.cat>
- 3) Oficina d'atenció a l'empresa i l'autònom/a de Sabadell. Industria [en línea]. Consulta: 10 Mayo 2018.
<http://www.sabadellempresa.cat/industria/poligons-industrials>
- 4) Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya. Transporte terrestre [en línea]. Consulta: 20 Marzo 2018.
<https://www.fgc.cat/es/>
- 5) Rodalies de Catalunya. Transporte terrestre [en línea]. Consulta: 20 Marzo 2018.
<http://rodalies.gencat.cat/es/inici/>
- 6) Transports Urbans de Sabadell. Transporte terrestre [en línea]. Consulta: 20 Marzo 2018.
<http://www.tus.es/index.php/es/>
- 7) Port de Barcelona. Transporte marítimo [en línea]. Consulta: 10 Mayo 2018.
<http://www.portdebarcelona.cat/es>
- 8) Port de Tarragona. Transporte marítimo [en línea]. Consulta: 10 Mayo 2018.
<https://www.porttarragona.cat/es/>
- 9) Aena. Transporte aéreo [en línea]. Consulta: 10 Mayo 2018.
<http://www.aena.es/es/pasajeros/pasajeros.html>
- 10) Servei Meteorològic de Catalunya. Características físicas de la zona [en línea]. Consulta: 21 Marzo 2018.
<http://www.meteo.cat/>

- 11) Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Características físicas de la zona [en línea].
Consulta: 21 Marzo 2018.
<http://www.icgc.cat/>
- 12) Chemical Book. Propiedades fisicoquímicas de los compuestos [en línea]. Consulta: 20
Marzo 2018.
www.chemicalbook.com
- 13) Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Propiedades fisicoquímicas de los
compuestos, fichas de seguridad [en línea]. Consulta: 20 Marzo 2018.
<http://www.insht.es>
- 14) Open chemistry database at the National Institutes of Health (NIH). Propiedades
fisicoquímicas de los compuestos [en línea]. Consulta: 20 Marzo 2018.
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
- 15) Dow Chemical Company. Propiedades fisicoquímicas del Dowtherm A [en línea]. Consulta:
25 Marzo 2018.
[http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0030/0901b803800303cd.p
df](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_0030/0901b803800303cd.pdf)
- 16) Celsius, fabricante de equipos para la industria de procedimientos. Propiedades
fisicoquímicas del agua glicolada [en línea]. Consulta: 25 Marzo 2018.
http://www.celsius-process.com/_es/pdf/MEG%2040.pdf
- 17) Personal para el proceso de producción.
Timmerhaus, Klaus D., Peters, Max S., (1991), 4th edition, *Plant design and economics for
chemical engineers*, University of Colorado, McGraw Hill international editions.