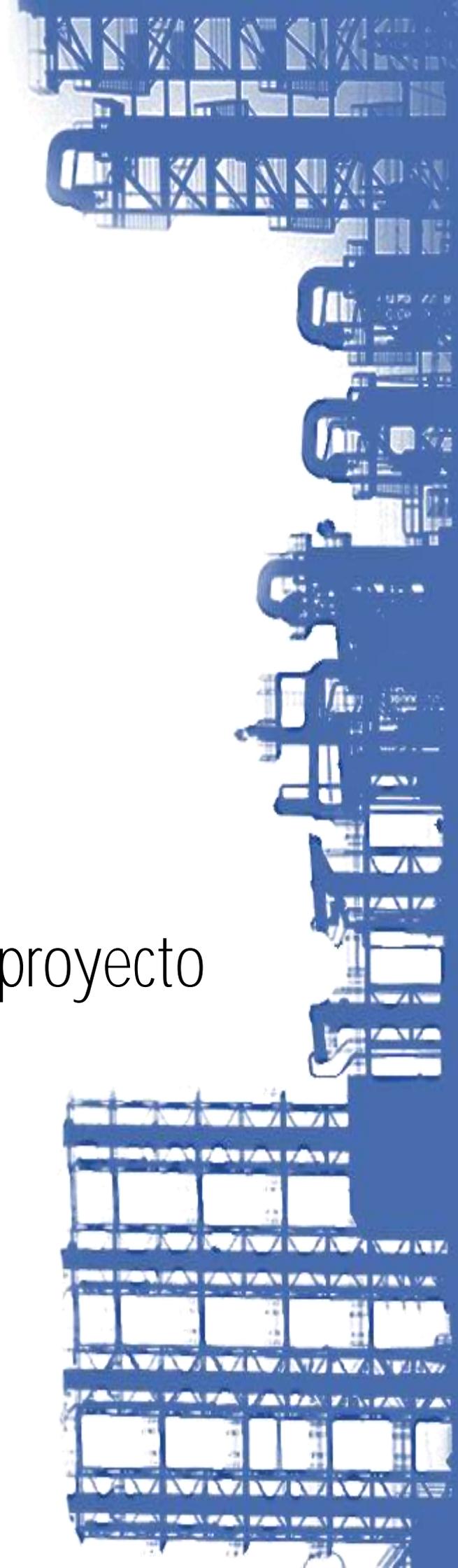




APARTADO

01

Especificaciones del proyecto



Índice

1.1. Definición del Proyecto	4
1.1.1. Objetivos.....	4
1.1.2. Alcance del proyecto.....	4
1.1.3. Bases del diseño	5
1.1.4. Especificación de la instalación	5
1.1.5. Localización de la planta	6
1.1.5.1. Parámetros de edificación y plano de la parcela.....	6
1.1.5.2. Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad de la planta.....	8
1.1.5.3. Características del medio físico de la zona	9
1.1.5.3.1. Climatología	9
1.1.5.3.2. Geología y geomorfología.....	10
1.1.5.3.3. Edafología	11
1.1.5.3.4. Hidrología	12
1.1.5.3.5. Sismología.....	13
1.1.6. Nomenclatura de la memoria	15
1.2. Métodos de obtención del acetato de vinilo.....	17
1.2.1. Base del diseño	17
1.2.2. Rutas de fabricación.....	18
1.2.2.1. Rutas de fabricación.....	19
1.3. Descripción del proceso de fabricación	19
1.4. Características de los reactivos y productos.....	23
1.4.1. Reactivos.....	23
1.4.2. Productos	25
1.5. Características del catalizador	26
1.5.1. Aplicaciones y mejoras	26
1.5.2. Acerca de la reacción.....	28
1.5.3. Acerca del catalizador utilizado en la Planta VAM Industry	32
1.6. Aplicaciones del acetato de Vinilo (VAM)	33
1.7. Balances de materia.....	34
1.8. Constitución de la planta	42
1.8.1. Plantilla de trabajadores.....	49
1.9. Programación temporal y montaje de la planta	52
1.10. Programación temporal y montaje de la planta	55
1.11. Servicios de la planta	55
1.11.1. Agua de red	55
1.11.2. Agua descalcificada	56

1.11.3.	Agua de la torre de refrigeración.....	57
1.11.4.	Agua contra incendios.....	59
1.11.5.	Aceite térmico.....	60
1.11.6.	Estación de bombeo.....	61
1.11.7.	Gas natural.....	62
1.11.8.	Gas natural.....	62
1.11.9.	Electricidad.....	63
1.11.9.1.	Estación transformadora.....	63
1.11.9.2.	Grupo electrógeno.....	64

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1. Definición del Proyecto

1.1.1. Objetivos

El objetivo de este proyecto es el diseño de una planta química para producir 70.000 toneladas al año de acetato de vinilo (polymerization-grade) a partir de la oxoacetilación del etileno en fase gas. Es decir, mediante ácido acético, etileno y oxígeno.

La finalidad del proyecto es estudiar la viabilidad de la construcción y operación de la planta siguiendo el cumplimiento de la normativa y legislación vigente.

1.1.2. Alcance del proyecto

El proyecto trata los siguientes apartados:

- Diseño y especificaciones de todas las unidades de reacción y proceso de producción y purificación.
- Diseño de todo el sistema de control necesario para un funcionamiento correcto de la planta.
- Diseño de todo el sistema de seguridad e higiene adecuado a la planta.
- Diseño para el mínimo impacto medioambiental y procesos de tratamiento de residuos.
- Diseño físico de la planta.
- Estudio de la puesta en marcha, parada y operación de la planta.

1.1.3. Bases del diseño

El proyecto contempla las siguientes áreas:

- Unidades de proceso y reacción para la producción del acetato de vinilo.
- Unidades de almacenamiento de materias primas y estación de carga y descarga.
- Almacenamiento del producto acabado.
- Áreas de servicios.
- Oficinas, laboratorios y vestuarios.
- Áreas auxiliares: aparcamiento, control de accesos, contra incendios, depuración de aguas y gases).

1.1.4. Especificación de la instalación

La fabricación de acetato de vinilo a partir de la oxoacetilación del etileno tiene los siguientes parámetros fijados:

- Capacidad: 70.000 tn/año
- Funcionamiento: 300 días/año de producción
- Presentación: Líquido en depósitos de almacenamiento

1.1.5. Localización de la planta

1.1.5.1. Parámetros de edificación y plano de la parcela

Este proyecto está pensado para la producción de VAM, tal y como se ha mencionado con anterioridad, en Martorell, Barcelona. Concretamente en el polígono industrial *Estels*.

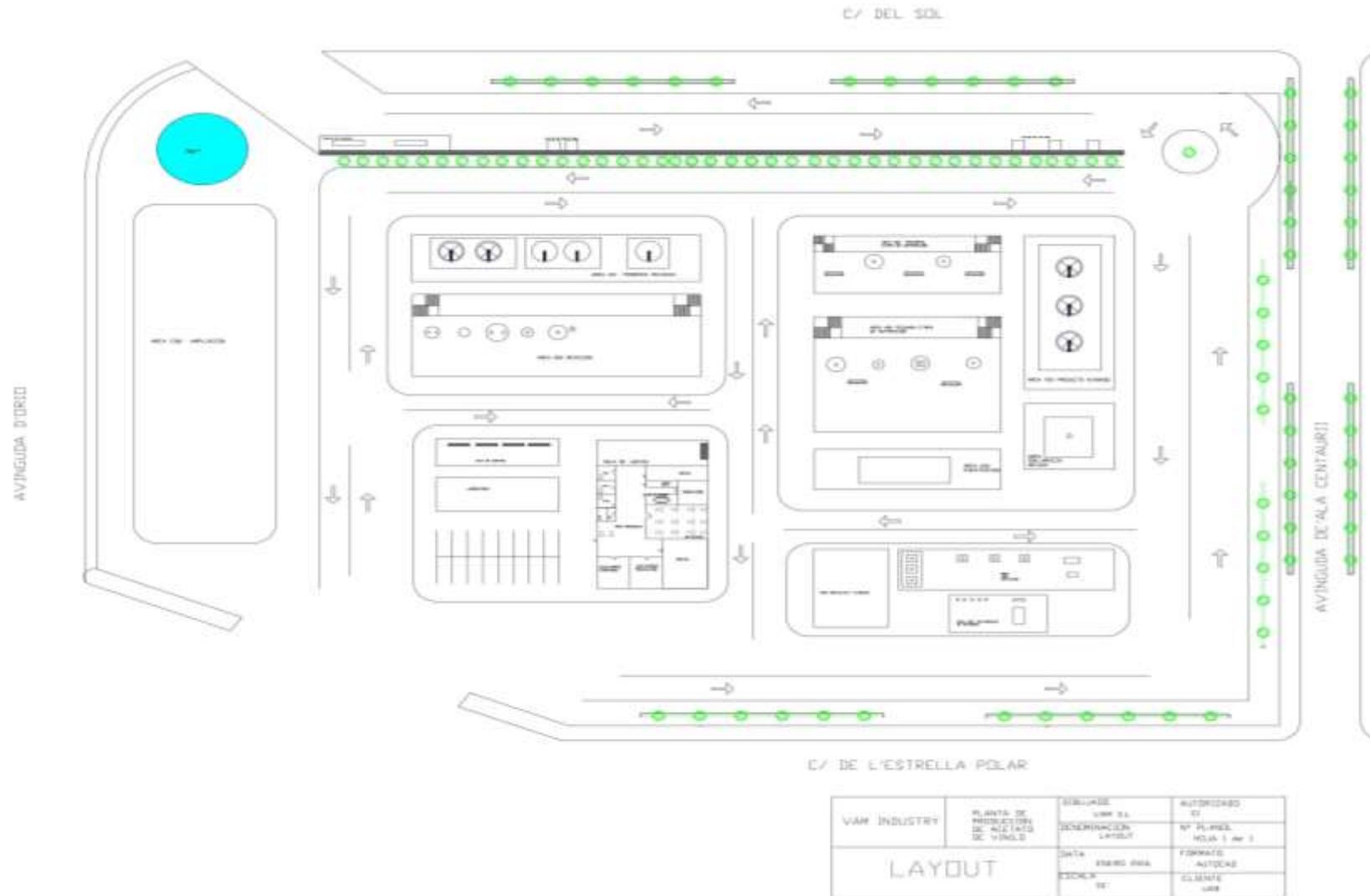
Sabiendo la ubicación donde se realizará la edificación de la planta se debe tener en cuenta unos determinados factores como las comunicaciones y accesibilidad de la planta, el medio físico de la zona, etc., que puede afectar a nuestra producción. De esta manera, tenemos en cuenta ciertas necesidades que se deben cubrir a la hora de diseñar los equipos de la planta VAM Industry.

Los parámetros de edificación que contempla el polígono industrial *Estels* son los siguientes:

Tabla 1: Parámetros de edificación

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

A continuaci3n se muestra el plano de la parcela donde queda emplazada la planta de fabricaci3n de acetato de vinilo:



1.1.5.2. Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad de la planta

Las comunicaciones y accesibilidad de la planta son de vital importancia a la hora de decidir el emplazamiento de ésta, ya que será el punto de conexión para la entrada y salida de las materias primas necesarias así como el producto final de la planta o los subproductos que se puedan producir en el proceso.

Cabe destacar que la planta JDNJSDJ dispone de unas condiciones óptimas para la comunicación y accesibilidad por vía terrestre, mediante carreteras y líneas ferroviarias, por vía aérea y por vía marítima.

- **Vía terrestre.** Como ya se ha mencionado, la situación geográfica de Martorell hace un nudo de comunicaciones de gran importancia. Por el municipio pasan la AP-2, la AP-7, la A-2. Así como también los Ferrocarriles de la Generalidad de Cataluña enlazando con las líneas de Barcelona a Manresa y a Igualada. Además de Renfe Cercanías de las líneas de Barcelona a Tarragona y Martorell-Hospitalet de Llobregat. Como infraestructura más reciente pasa el tren de alta velocidad; el AVE Madrid-Barcelona.



Figura 1: Red de comunicaciones terrestres

- **Vía aérea.** A una distancia de 30 km de Martorell se sitúa el Aeropuerto de Barcelona–El Prat, siendo uno de los aeropuertos más importantes de España, con lo cual supone una gran ventaja ya que es un punto de conexión con diferentes lugares, facilitando el transporte de personas, mercadería o maquinaria, etc.

Las vías de transporte para llegar desde el aeropuerto a Martorell son por carretera o tren.

- **Vía marítima.** El puerto de Barcelona se encuentra a tan solo 34 km de distancia, creando una vía útil de comunicación entre el sur de Francia, otros puertos de la península y el resto del mundo. También, a 85 km de Martorell se encuentra el puerto de Tarragona. Ambos son puertos comerciales de gran importancia en el mediterráneo y tienen una alta actividad en el transporte de mercaderías.

1.1.5.3. Características del medio físico de la zona

En este apartado se describen las características importantes a tener en cuenta de la zona donde se sitúa la planta química, en Martorell.

1.1.5.3.1. Climatología

El clima de Martorell es Mediterráneo Litoral, con una temperatura media de 16.3°C. La pluviosidad es bastante irregular, por lo que se considera una zona seca. Uno de los vientos que soplan en el municipio es la marinada, procedente de la costa que sigue el curso del río Llobregat y llega hasta Montserrat. Las áreas bajas de Martorell tienen un alto grado de humedad relativa en época invernal.

month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
mm	35	32	45	48	55	44	26	49	71	80	52	45
°C	9.3	10.4	12.2	14.4	17.7	21.4	24.1	24.1	21.7	17.4	13.1	10.2
°C (min)	6.1	6.9	8.6	10.4	13.6	17.4	20.2	20.3	18.2	14.1	9.9	7.2
°C (max)	12.6	13.9	15.9	18.5	21.8	25.5	28.1	27.9	25.3	20.8	16.3	13.2

Tabla 2: Temperaturas de los diferentes meses en Martorell

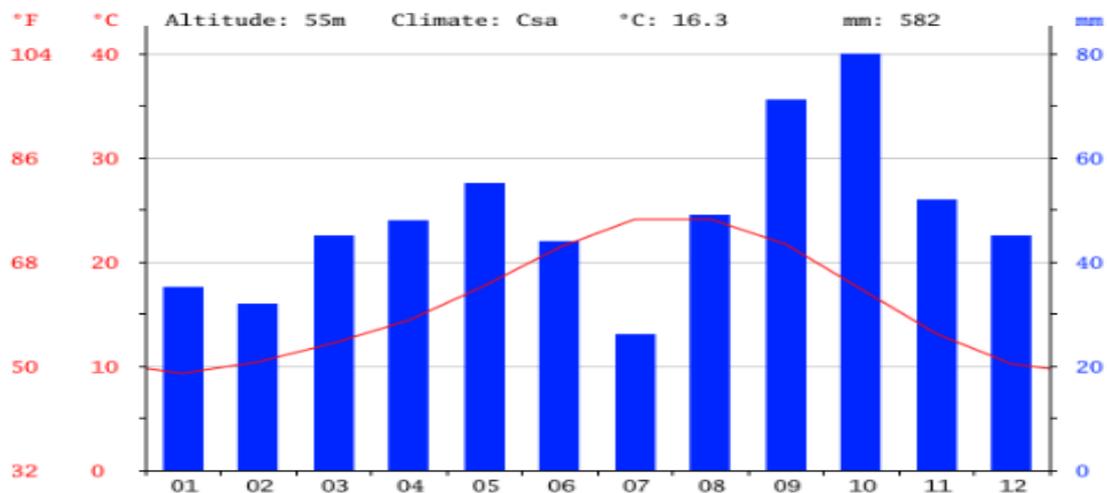


Figura 2: Gráfica del clima en los diferentes meses en Martorell

El mes más seco es julio, con 26 mm. 80 mm, mientras que octubre es el mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año.

1.1.5.3.2. Geología y geomorfología

El término municipal de Martorell se encuentra cerca de dos grandes unidades geológicas y morfoestructurales: los relevos del sur del municipio que forman parte de la vertiente NE de la Cordillera Litoral y todo el sector norte, más llano, situado en la fosa tectónica o depresión del Vallès - Penedès, también conocida como Depresión Prelitoral.

El contacto entre ambas unidades es una falla importante, que es la que ha provocado el hundimiento de la depresión del Vallès-Penedès. La fosa tectónica del Vallès-Penedès es de edad alpídica, y se han depositado materiales miocenos, pliocenos y cuaternarios.

Hay que remarcar que la geomorfología del municipio de Martorell ha sido modelada por la dinámica fluvio-torrencial generada por la actividad erosiva de los ríos Llobregat y Anoia, y de sus afluentes.

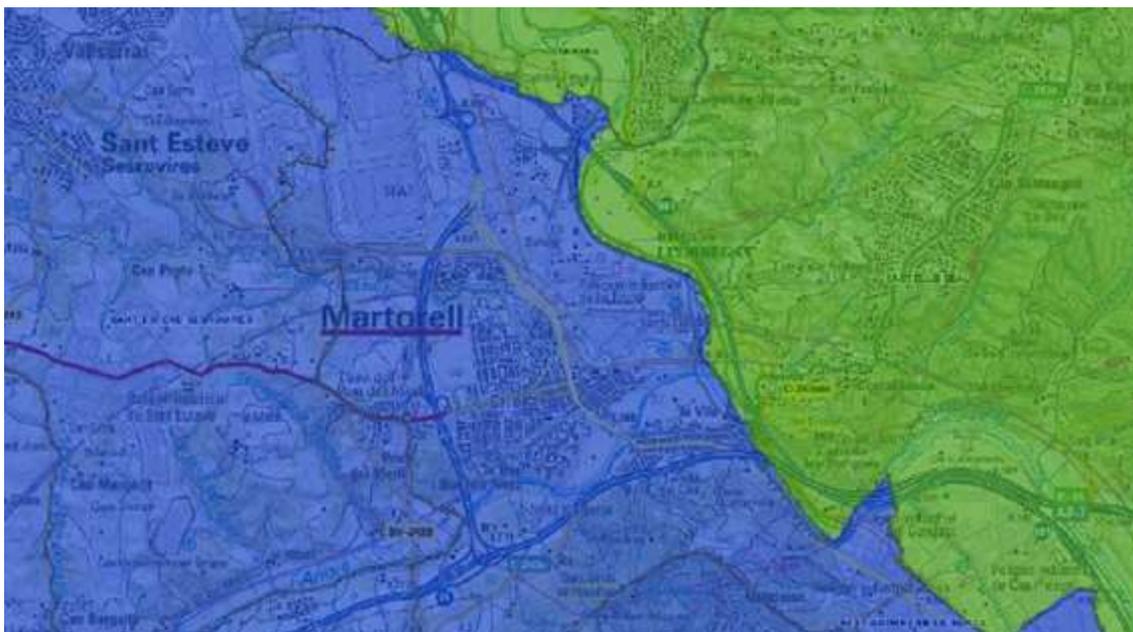


Figura 3: Plano de riesgo sísmico de Martorell

1.1.5.3.3. Edafología

El suelo edáfico común en toda la zona es del tipo de los Inceptisuelos *Ochrepts Xerochrepts*. Se caracterizan para ser suelos desarrollados sobre sedimentos calcáreos del terciario y cuaternario; donde se alternan areniscas, calizas y conglomerados. En las zonas de vertientes más erosionadas encontramos Entisuelos.

Los procesos erosivos son especialmente significativos en la zona de la Sierra de la Ataix. Esta zona presenta fuertes pendientes en el terreno y una escasa existencia de vegetación arbórea que actúe como protección del suelo. Estos dos hechos hacen que durante los periodos de lluvia intensa se produzcan importantes procesos de erosión de los materiales superficiales del suelo.

En las zonas cercanas a los ríos, se diferencia la unidad edáfica Fluviasuelos, suelos desarrollados a partir de depósitos aluviales recientes. Se localizan alrededor de los cursos fluviales y de los torrentes del centro de las depresiones. Se desarrollan básicamente sobre materiales calcáreos.

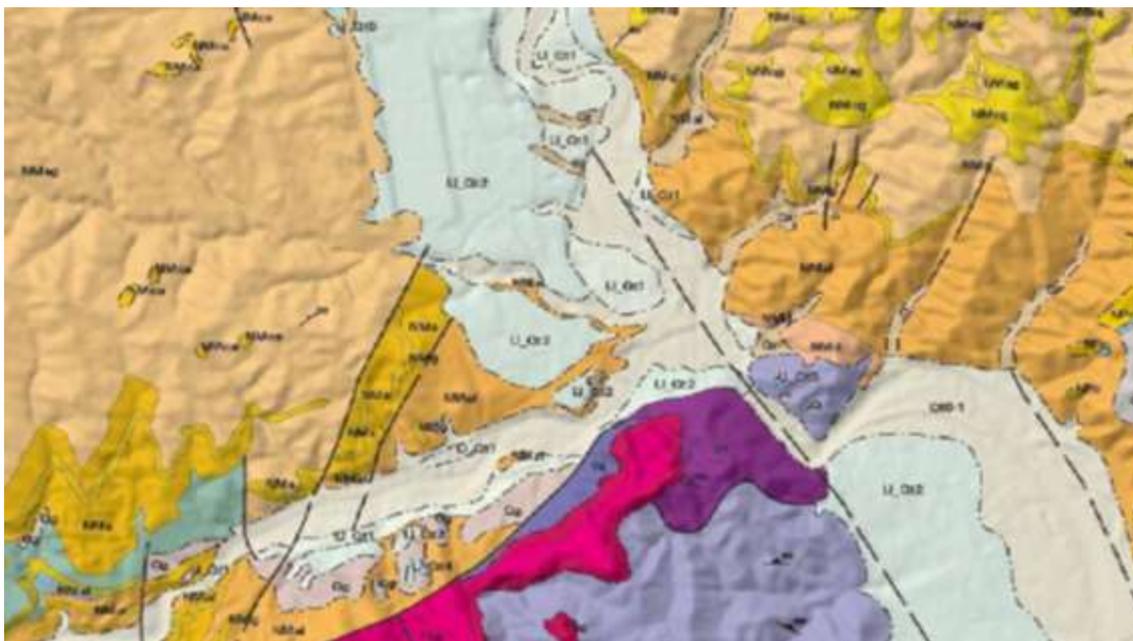


Figura 4: Edafología de la zona de Martorell

1.1.5.3.4. Hidrología

Martorell se sitúa a la confluencia entre el río Anoia y el río Llobregat. El Llobregat transcurre por el límite oriental del municipio atravesándolo de norte a sur, mientras que el Anoia transcurre de oeste a este por la parte sur del término municipal hasta su unión con el río Llobregat.

La del Llobregat es una de las principales cuencas internas de Cataluña, con una superficie de 4.948 km² y una longitud de 156,5 km. Se trata de un río con características típicamente mediterráneas: gran irregularidad de caudales y fuertes crecidas rápidas, a veces catastróficas, sobre todo a la primavera y en otoño.

El río Anoia es uno de los principales afluentes del río Llobregat, con una cuenca de 929 km² y de 66,5 km de longitud. Situado a la orilla derecha del Llobregat, confluye en la parte sur de la villa de Martorell. Los datos de la estación de aforo de la Agencia Catalana del agua (ACA) situada en Sant Sadurní d'Anoia muestran que la aportación mediana anual del río Anoia, durante los últimos 36 años, es de 74,7 hm³ y su caudal mediano de 2,37 m³/s.

Martorell también cuenta con dos canales principales, uno orientado a los usos agrícolas y el otro a usos industriales:

- **Canal Alegre.** Se trata de un canal de uso agrícola que transcurre paralelo al río Anoia por su margen izquierdo. Tiene su inicio a Santo Esteve de Sesrovires en la presa situada a Can Bargalló y su final unos 200 m antes de la desembocadura del río Anoia con el Llobregat, dentro del término de Martorell, junto al Molino Papelero. Actualmente se propiedad del Ayuntamiento de Martorell.
- **Canal de Can Bros.** De la presa de Can Bros situada al término de Abrera cerca del límite del término de Martorell, sale un canal de uso industrial que pasando por dentro del núcleo de Can Bros, se reincorpora en el Llobregat apenas pasado este.



Figura 5: Acuíferos y canales de agua protegidos en Martorell

1.1.5.3.5. Sismología

La zona de Martorell está considerada una zona densamente poblada y con un desarrollo industrial importante. El hecho de que haya terremotos en zonas de estas puede tener consecuencias catastróficas y por eso se debe de hacer un estudio de la sismología de la zona antes de empezar la edificación de la planta VAM Industry.

Los estudios de peligrosidad realizados por el Instituto Geográfico Nacional de España, junto con los análisis de vulnerabilidad de edificios e infraestructuras, definirán las

zonas más peligrosas y su riesgo sísmico. De esta manera, se podrá planificar las medidas a prevenir o atenuar los efectos destructores de los terremotos.

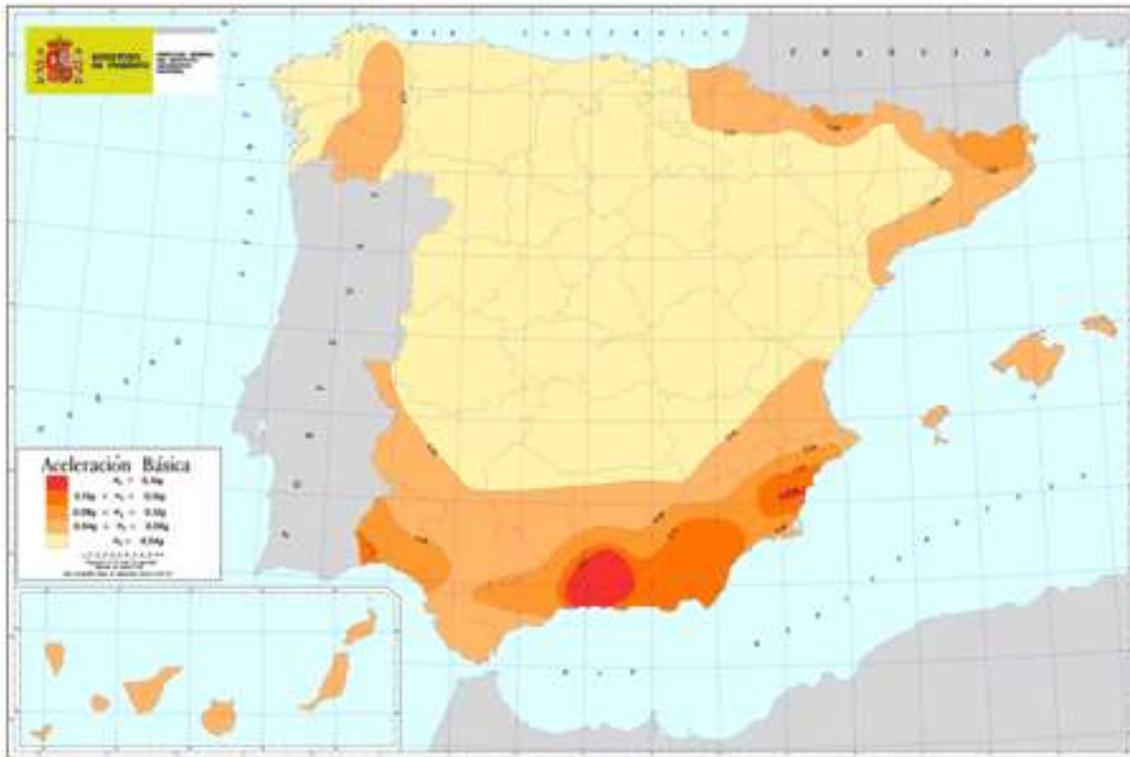


Figura 6: Mapa de peligrosidad sísmica de la Norma Sismorresistente actual NCSE-02

Cerca de Martorell está la estación sísmica VILA que registra toda la actividad sísmica de la zona. En dicha estación sísmica no ha habido ningún terremoto en los últimos dos meses desde la fecha de consulta (consultar bibliografía). Además, el terreno donde se planea construir la planta VAM Industry, no está considerado zona de riesgo sísmico alto.

Así que podemos considerar que Martorell no es una zona con riesgo de peligrosidad sísmica que pueda afectar a la edificación de la planta VAM Industry.



Figura 7: Mapa de la estaciones sísmicas de España

A modo de recurso, es interesante tener en cuenta que el Instituto Geográfico Nacional de España cuenta con un mapa a tiempo real donde se puede visualizar la sismicidad reciente tanto en España, en lugares próximos a ésta e incluso mundiales.

1.1.6. Nomenclatura de la memoria

En este apartado se especifica la nomenclatura utilizada durante todo el proyecto para nombrar reactivos, productos, equipos, etc.. En la tabla 3, podemos encontrar la nomenclatura para los equipos, mientras que en la tabla 4 encontramos la nomenclatura para los compuestos.

La nomenclatura que se ha seguido para denominar a los diferentes equipos presentes en el proceso es la siguiente:

Tabla 3: Nomenclatura de los equipos

Equipo	Símbolo
M	Mezclador
E	Intercambiador de calor
R	Reactor
CR	Compresor
F	Caudalímetro
T	Tanque de almacenamiento
SG	Generador de vapor
RP	Válvula limitadora de Presión
B	Black-Box
TP	Tanque pulmón
D	Decantador
TR	Tratamiento de Residuos
CO	Caldera
DS	Descalcificadora
ES	Estación transformadora
GE	Grupo electrógeno
TR	Torre de refrigeración

La nomenclatura que se ha seguido para denominar a los diferentes compuestos presentes en el proceso es la siguiente:

Tabla 4: Nomenclatura de los equipos

Equipo	Símbolo
AA	Ácido Acético
ET	Etileno
DC	Dióxido de Carbono
O	Oxígeno
VAM	Acetato de Vinilo
AR	Agua de Reacción
AREF	Agua/Vapor Refrigerante
ME1	Mezcla de etileno, Dióxido de Carbono, Oxígeno y Ácido Acético
ME2	Mezcla completa
ME3	Agua, Dióxido de Carbono, Oxígeno y ácido acético
ME4	Etileno, dióxido de carbono, oxígeno, acetato de vinilo y ácido acético
ME5	Dióxido de Carbono y Acetato de Vinilo
ME6	Acetato de Vinilo, Ácido acético y Agua
ME7	Dióxido de Carbono, Ácido acético y Agua
ME8	Etileno, Dióxido de Carbono, Oxígeno, Ácido Acético y Agua

1.2. Métodos de obtención del acetato de vinilo

1.2.1. Base del diseño

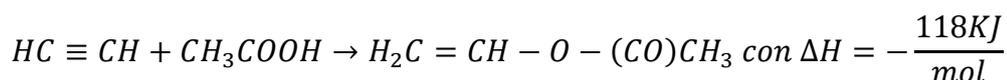
El VAM es un producto químico básico manufacturado a gran escala que se utiliza para la fabricación de polivinilo acetato, el ingrediente básico en las pinturas acrílicas. Otras aplicaciones son los recubrimientos para las industrias textiles y de papel, vidrio laminado de seguridad, empaquetado, tanques de combustible de automoción y fibras acrílicas.

1.2.2. Rutas de fabricación

Actualmente, hay tres rutas principales, que son las más utilizadas, para la fabricación de acetato de vinilo.

- **Mediante ácido acético y acetileno.**

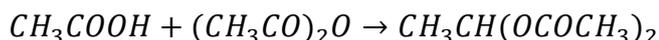
El proceso se basa en la siguiente reacción:



Las condiciones de operación son en fase gas a una temperatura de 170-250°C con $Zn(OAc)_2$, como catalizador, e impregnado en carbón. La conversión es de un 93% de acetileno y un 99% de ácido acético. El alto coste del acetileno y los problemas de seguridad que comporta este proceso, hacen que este tipo de producción sea menos competitiva hoy en día.

- **Mediante acetaldehído y anhídrido acético.**

El proceso se lleva a cabo en dos etapas. Primero, el acetaldehído y ácido anhídrido del diacetato de etilideno en fase líquida a una temperatura de 120-140°C con $FeCl_3$ como catalizador:



En la segunda etapa, el compuesto intermedio se descompone a 120°C con un catalizador ácido:



Este proceso depende completamente de materias primas renovables.

- **Mediante ácido acético, etileno y oxígeno.**

Este proceso es el que se utilizará en este proyecto y que, por lo tanto, explicaremos con detenimiento a continuación.

1.2.2.1. Rutas de fabricación

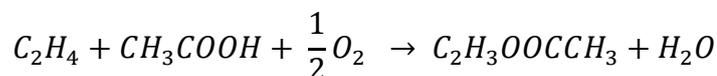
La ruta adoptada en este proyecto es la más utilizada hoy en día en la industria química: la de la producción de acetato de vinilo mediante ácido acético, etileno y oxígeno.

Dentro de este proceso, la fabricación se puede realizar en fase líquida, a 110-130°C y 30-40 bar en presencia de un catalizador redox PdCl₂/CuCl₂, o en fase gas, que opera con un catalizador de Pd/Au. El problema del proceso en fase líquida es la corrosión y, por lo tanto, es una de las razones por las que se opera en fase gas.

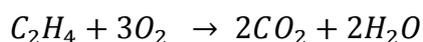
1.3. Descripción del proceso de fabricación

Como se ha mencionado en el apartado anterior, el mejor método para la producción de acetato de vinilo es mediante la oxoacetilación del etileno en fase gas. Por lo tanto, se sigue el proceso utilizado por compañías como Bayern y DuPont.

La fabricación de acetato de vinilo se describe mediante la siguiente reacción estequiométrica:



La combustión del etileno a CO₂ es una reacción secundaria no deseada:



El proceso se estructura de la siguiente manera:

1. El ácido acético estará contenido en estado líquido en 2 tanques con forma cilíndrica y con el fondo superior en cono. Éste llegará a la planta por tubería a la presión de 2.7 bar y con una temperatura de 20°C, el cual será almacenado en estas condiciones antes de entrar al proceso.
2. El oxígeno estará contenido en estado líquido en un tanque criogénico con forma cilíndrica y con fondo superior e inferior torisférico colocado en posición vertical, almacenado como un líquido licuado.

3. El etileno estará contenido en estado líquido en dos tanques criogénicos de forma cilíndrica con el fondo superior e inferior toriesférico colocados en posición vertical, suministrados a la planta por tubería.
4. Del tanque de ácido acético saldrá un corriente en estado líquido que será mezclado homogénea con un segundo corriente de recirculación de ácido acético proveniente del área 400, en concreto de la columna C402, en el mezclado M201.
5. Debido a las diferentes temperaturas de los dos corrientes, el corriente de recirculación entra al mezclado con una temperatura de 123°C mientras que el corriente proveniente del tanque su fluido está a unos 20°C, será necesario introducir el fluido de salida del mezclador a un intercambiador de calor (evaporador) E201, por el cual circulará Therminol 66 en contracorriente a modo de fluido térmico y con la finalidad de calentar el fluido de proceso.
6. Mediante el uso de un compresor, se aumentará la presión del ácido acético en fase gas hasta conseguir una presión de 10.1 bar.
7. El etileno y el oxígeno pasarán por unos compresores para aumentar la presión de los correspondientes corrientes hasta 10.1 bar.
8. Todos los corrientes serán mezclados en un mezclador sin agitación M202 con el objetivo de conseguir una mezcla homogénea de todos los reactivos durante un tiempo de residencia establecido y así conseguir que la entrada al reactor de dichos reactivos tenga unas condiciones de operación óptimas.
9. A la salida del mezclador, el fluido de proceso se introducirá en un intercambiador de calor que trabaja con Therminol 66 para conseguir una temperatura de operación de 150°C.
10. El corriente de salida, será introducido, finalmente, en un reactor multitubular de lecho fijo R201 donde se dará la reacción especificada en el apartado anterior.
11. El reactor cuenta con un sistema de generación de vapor (SG201) debido a que la producción de VAM es una reacción exotérmica y sus condiciones de operación se deben mantener constantes. Se utilizará agua a modo de fluido refrigerante con la intención de que ésta ceda su calor latente al fluido del

proceso y salga del reactor en fase gas. A su vez, en el SG201, circulará agua líquida en contracorriente que cederá el calor latente a los gases de salida del reactor.

12. Una vez se ha dado la reacción, se procederá a realizar diferentes etapas de separación con el fin de separar el producto deseado de la mezcla obtenida. Es por ello que el corriente de salida del reactor se introducirá en un intercambiador de calor E301 con el objetivo de disminuir la temperatura de la mezcla hasta la temperatura de rocío 144.6°C.
13. Con las condiciones de trabajo óptimas para entrar en la columna de absorción C301, se procederá a realizar la primera separación del producto recuperándose mayoritariamente ácido acético por los fondos de la columna y por la parte superior una mezcla de gases compuesta de VAM, etileno, dióxido de carbono, oxígeno y agua.
14. El corriente del destilado constará de una válvula limitadora VR301 para ajustar la presión del fluido a la de operación y por un segundo intercambiador de calor E302.
15. El corriente de salida del E302, será introducido a un decantador trifásico D301 donde se producirá una segunda separación que constará de tres fases: una fase gas, una fase orgánica que constara básicamente de VAM y será recirculada a la columna C301 a modo de alimento, y una fase acuosa que constará básicamente de agua.
16. La corriente de gases de salida del D301 pasará por un compresor CR301 y un intercambiador E303 para ajustar la temperatura y la presión del fluido de proceso a unas condiciones de trabajo óptimas (54°C y 8.03 bar) para ser introducidas a la columna de absorción C401.
17. En la columna de absorción de platos C401, se lleva a cabo la separación de gases, los cuales, una parte de ellos, serán recirculados posteriormente al mezclador M202 después de haber pasado por la blackbox B501.
A la columna C401, entra un corriente de alimento de ácido acético ya que es fluido más adecuado para realizar la transferencia de materia con el fluido de proceso.

18. El corriente de salida por la parte superior de la columna de absorción de platos C401 entrará a una blackbox B501 denominada zona de tratamiento de gases. En la B501, se encuentra comprendida una columna de absorción que trabaja en contracorriente con agua. El líquido de reflujo se enviará a la columna C401, mientras que los gases del proceso sin reaccionar como el etileno, el oxígeno y el dióxido de carbono, se recircularán al proceso pasando por un compresor CR501 para que la mezcla tenga las condiciones de operación del proceso del M202.
19. Para la eliminación del exceso de dióxido de carbono, previamente se procede a realizar un proceso de lavado de gases con aminas o soluciones de carbonato de potasio.
20. El corriente de fondos de la columna C401, pasará con una válvula limitador para ajusta su presión y se introducirá a un mezclador con agitador M401 junto con el corriente de fondos de la columna C301 con el objetivo de obtener un corriente de salida del M401 homogéneo. El corriente de salida de la columna C301, consta de una bomba para aumentar la presión del corriente 31.
21. El corriente de salida del M401, se introduce en un intercambiador de calor que utiliza agua a modo de refrigerante con la intención de enfriar el fluido de proceso hasta una temperatura de 56°C.
22. El fluido de proceso, una vez enfriado, se introduce en una columna de destilación C402 donde se obtiene una corriente de destilado a una temperatura de -142.4°C y un residuo de 123.1°C.
23. El corriente de destilado de la columna de destilación C402 consta básicamente de VAM y una mezcla de otros gases que no se ha conseguido separar aún en el proceso de absorción. Éste corriente se introduce en un intercambiador de calor para aumentar la temperatura hasta 10°C para posteriormente ser introducido a un decantador trifásico D401.
24. El corriente obtenido por colas de la columna de destilación C402, se introduce a una blackbox B401 donde se realizan determinadas operaciones de purificación del ácido acético con la finalidad de que éste sea recirculado al proceso entrado al mezclador M201.

25. El corriente introducido en el decantador trifásico D401, lo hace a una condiciones de presión y temperatura de 1.29 bar y 10°C. En él se lleva a cabo la separación de las tres fases de la mezcla: una fase gaseosa, una orgánica y otra acuosa. La fase gaseosa compuesta básicamente de dióxido de carbono se expulsa a la atmosfera y la fase acuosa compuesta básicamente de agua se recoge para su posterior envío a la EDAR.
- A su vez, la fase orgánica se introduce a una blackbox B601 donde se comprende la zona de purificación del producto.
26. La black box B601 comprende dos columnas de separación. Una columna de destilación que tiene como alimento la corriente de la fase orgánica del decantador. De ésta salen los componente ligeros por la parte superior de la columna, mientras los pesados salen por la parte inferior. Entre los componentes pesados se encuentra el VAM junto con otras impurezas que son introducidos a una segunda columna a modo de alimento donde las impurezas salen por el corriente superior de la columna y el VAM purificado sale por la parte inferior de ésta. Obteniendo una producción de VAM de 9647 kg/h.
27. Finalmente, el VAM purificado se almacena en tres tanques de almacenamiento con forma cilíndrica y con el fondo cónico situados verticalmente a unas condiciones de temperatura y presión de 20°C y 2.7 bar.

1.4. Características de los reactivos y productos

1.4.1. Reactivos

A continuación se muestran las propiedades de todos los reactivos de la reacción para la producción de acetato de vinilo:

Tabla 5: Propiedades físicas y químicas del etileno

Propiedades del etileno	Valor
Estado físico (a T ^a ambiente)	Gas
Peso Molecular	28.05 g/mol
Punto de Fusión	-169°C
Punto de Ebullición (a 700 mmHg)	-102.4 °C
Punto de Inflamación	-136.1 °C TCC
Temperatura crítica	9.6 °C
Temperatura de autoignición	450°C
Inflamabilidad (sólido, gas)	2.7-36% vol.
Presión crítica	5041 kPa

Densidad de vapor	0.969 g/ cm ³
Densidad relativa del líquido (Agua=1)	0.57 g/cm ³
Densidad relativa del gas (Agua=1)	0.975 g/cm ³
Solubilidad en agua	130 mg/l

Tabla 6: Propiedades físicas y químicas del ácido acético

Propiedades del ácido acético	Valor
Estado físico (a T ^a ambiente)	Líquido
Peso Molecular	60.05 g/mol
Punto de Fusión	16.7 °C
Punto de Ebullición	118 °C
Punto de Inflamación	39 °C TCC
Temperatura crítica	231.6 °C
Temperatura de autoignición	485 °C
Inflamabilidad	4-17% vol.
Presión de vapor (a 20°C)	1.54 kPa
Presión crítica	5720 kPa
Densidad relativa (líquido)	1.05 g/cm ³
Densidad de vapor	2.07 g/cm ³
Solubilidad en agua	Miscible en agua
Viscosidad (a 25°C)	1.22 mP

Tabla 7: Propiedades físicas y químicas del oxígeno

Propiedades del oxígeno	Valor
Estado físico (a T ^a ambiente)	Gas
Peso molecular	32 g/mol
Punto de Fusión	-218.8 °C
Punto de Ebullición	-183 °C
Punto de Inflamación	No inflamable
Temperatura de autoignición	No inflamable
Temperatura crítica	-118.57 °C
Presión crítica	5043 kPa
Densidad	1,423 g/cm ³
Densidad relativa del gas	1.11 g/cm ³
Solubilidad en agua	39 mg/L

1.4.2. Productos

A continuación se muestran las propiedades de todos los productos de la reacción para la producción de acetato de vinilo:

Tabla 8: Propiedades físicas y químicas del acetato de vinilo industrial

Propiedades del acetato de vinilo	Valor
Estado físico (a T ^a ambiente)	Líquido
Peso molecular	86.09 g/mol
Temperatura de ebullición	72 °C
Temperatura de fusión	-92.8 °C
Temperatura de inflamación	-8 °C TCC
Temperatura de autoignición	427 °C
Densidad (a 25 °C)	0.925 g/cm ³
Densidad de vapor	2.97 g/cm ³
Presión de vapor (a 20 °C)	12 kPa
Rango de destilación (101,3 KPa)	72-73 °C
Punto de Congelación	-93 °C
Agua	Máx. 400 ppm
Contenido ácido (ácido acético)	Máx. 50 ppm
Acetaldehído	Máx. 100 ppm
Contenido inhibidor	Máx. 3-5 ppm
n _D ²⁰	1.369
d ₂₀ ²⁰	0.93
Viscosidad del líquido a 20°C	0.41 cP
Solubilidad VAM-agua/agua-VAM a 25°C	0.9%/2,3%
Solubilidad en solventes orgánicos	Completa
Límite de explosividad superior e inferior en aire a 20°C	2.6/13.4% vol.

Tabla 9: Propiedades físicas y químicas del dióxido de carbono

Propiedades del dióxido de carbono	Valor
Estado físico (a Tª ambiente)	Gas
Peso molecular	44 g/mol
Punto de Fusión	-56.6 °C
Punto de Ebullición	-88.11 °C
Punto de Inflamación	No aplica
Temperatura de autoignición	No aplica
Temperatura crítica	30.98 °C
Presión de vapor	5777.81 kPa
Presión crítica	7377 kPa
Densidad del gas	1.832 g/cm ³
Densidad relativa de vapor	1.5 g/cm ³
Densidad crítica	467.6 g/cm ³
Solubilidad en agua (a 0°C)	0.759 cm ³ /cm ³ Agua

Tabla 10: Propiedades físicas y químicas del agua

Propiedades del agua	Valor
Estado físico (a Tª ambiente)	Líquido
Peso molecular	18 g/mol
Punto de Ebullición	100 °C
Temperatura crítica	374 °C
Presión de vapor	2.3 kPa
Presión crítica	22038.19 kPa
Densidad (líquido)	1 g/cm ³
Densidad de vapor	0.62g/cm ³

1.5 Características del catalizador

1.4.3. Aplicaciones y mejoras

En la década de 1930 el procedimiento tradicional de la síntesis de VAM industrial se basaba en la conversión en fase gaseosa de ácido acético y acetileno y sobre un catalizador de acetato de zinc de carbono compatible. Desde el descubrimiento del

proceso extendieron esta operación para hacer VAM mediante el empleo de etileno y ácido acético catalizada a través de sales de paladio. Debido a este nuevo enfoque, acetileno cada vez más ha sido sustituido por el correspondiente alqueno y económicamente más favorable.

Variando en componentes y métodos de preparación, en 1968 se diseñaron catalizadores de un soporte de sílice esférico de 5 mm de diámetro con paladio, cadmio y potasio acetatos. Según la patente de Estados Unidos 3.658.888, el acetato de paladio se redujo en un segundo paso a su estado metálico. En contraste con este método de síntesis se crearon esferas de catalizador de cáscara de la aplicación de cloruros de paladio y oro, con la consiguiente reducción seguida por impregnación de todo el precursor del catalizador con acetato de potasio.

Además, la revista y bibliografía de patentes muestran que el oro como un aditivo mejora la selectividad intrínseca de catalizadores de VAM, lo que resulta en un aumento de la tasa de producción. Preparación de catalizadores de paladio y aleaciones de paladio-oro en alta área superficial de sílice. Se introduce oro en la superficie de las partículas de aleación a través de microscopía electrónica de transmisión incluyendo espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (TEM-EDS) y por difracción de rayos X (XRD). Las variaciones en los datos de adsorción se asignaron a la disminución de la cobertura de etileno para los catalizadores de aleación. Por tanto, un aumento en la capacidad coexistente superficie para el oxígeno se propuso para ser responsable de la reactividad en estos catalizadores bimetálicos. Debido a las propiedades mejoradas después de la adición de oro para catalizadores de paladio para la síntesis de VAM, modificación de la configuración electrónica, así como los efectos geométricos fueron asumidos para influir en el comportamiento del catalizador. Por ejemplo, mejoras en la selectividad de 94% y dos veces más alta tasa de formación de VAM se podrían lograr en comparación con el análogo ausente oro.

En este proceso, se utiliza un catalizador de paladio y oro soportado sobre sílice. La composición de la superficie del sistema bimetálico se estudió mediante la dispersión de iones de baja energía espectroscópica (LEISS), con preferencial enriquecimiento en oro. Este elemento juega un papel importante en el aislamiento de los sitios de paladio con el fin de facilitar el acoplamiento de las especies de superficie de formación VAM. Por lo tanto, la adición de oro podría mejorar la selectividad catalítica mediante la inhibición de subproductos indeseables como el monóxido y dióxido de carbono, así como de carbono superficie.

1.4.4. Acerca de la reacción

La síntesis de el monómero de acetato de vinilo (VAM) sobre catalizadores Pd-Au es una reacción industrial importante que se ha estudiado ampliamente. Sin embargo, no hay consenso sobre el mecanismo de la reacción, el sitio activo, los intermedios claves y el papel del Au. La síntesis de VAM es estructuralmente sensible, que depende del tamaño de la partícula Pd-Au. El papel del Au es aislar la superficie de los átomos de Pd en sitios monoméricos de Pd, mejorando así la tasa de formación de VAM y la selectividad.

Las aleaciones Au-Pd son completamente miscibles, con calores de formación a 300 K, siendo negativo durante todo el intervalo de composición; la máxima estabilidad se produce en un 60% de Au. Las grandes entalpías negativas observadas son un indicativo de una interacción atractiva entre los componentes de la aleación y una tendencia a la orden.

Es probable que un mecanismo gas-sólido esté involucrado en esta reacción. Sin embargo, existe una fuerte evidencia que muestra que un mecanismo de fase líquido también se produce en virtud de las condiciones de reacción. En condiciones típicas de funcionamiento industrial, la absorción de ácido acético y agua sobre el soporte puede ser sustancial. Una capa de líquido absorbido ácido acético, con aproximadamente tres monocapas de espesor a temperaturas comparables a las condiciones industriales sobre catalizadores Pd / Cd / sílice y Pd / Au. La presencia de Pd y acetato de metal alcalino (KOAc en particular) mejora la adsorción de ácido acético. KOAc, conocido para formar una especie de dímero con ácido acético, es esencial para una fase líquida en la inmovilización del ácido acético, que, a su vez, aumenta la velocidad de reacción para el acetato de vinilo y suprime la combustión directa de etileno.

La adición de Au mejora la actividad para la síntesis y selectividad de acetato de vinilo en aproximadamente un factor de 2 y 5% respectivamente. Estudios cinéticos comparativos de la síntesis de VAM se llevaron a cabo por Pd (1,0% en peso.) / SiO₂ y Pd (1,0% en peso.) - Au (. 0,5% en peso) /catalizadores de SiO₂, con las partículas metálicas altamente dispersos (Pd y Pd Au). Para catalizadores Pd-Au, los órdenes de reacción con respecto a C₂H₄ y el oxígeno son ambos positivos. Los resultados muestran que la adición de aproximadamente 20% de Au mejora la tasa de formación de VAM por un factor de 16, como se muestra en la figura 8.

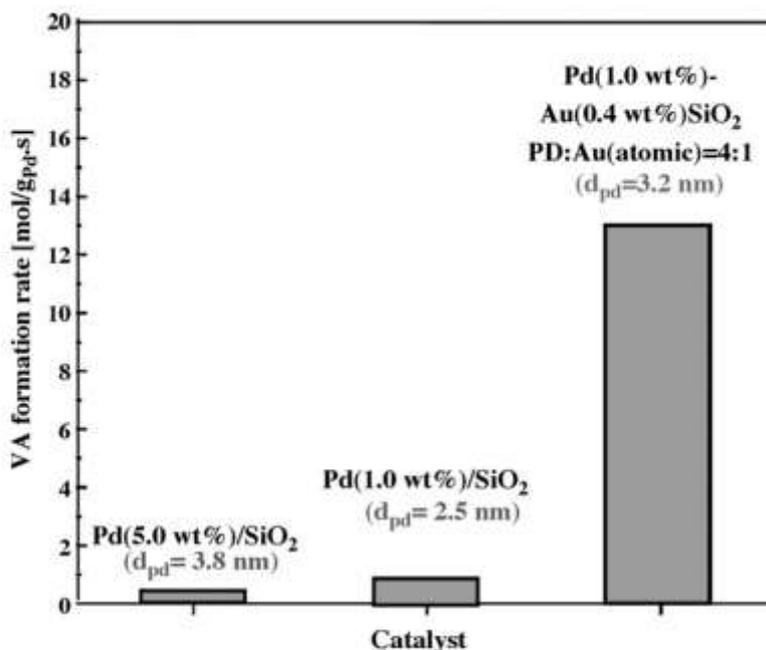


Fig. 2. VA synthesis on Pd(5.0 wt.%)/SiO₂, Pd(1.0 wt.%)/SiO₂ and Pd(1.0 wt.%)-Au(0.4 wt.%)/SiO₂ catalysts. $p_{O_2} = 7.6$ Torr; $p_{C_2H_4} = 57.0$ Torr; $p_{AcOH} = 12.0$ Torr; the remainder N₂; flow rate: 30–60 ml/min; temperature = 413 K; catalyst weight: 0.1–1.6 g

Figura 8: Formación del VAM en función del tipo de catalizador utilizado

Este cambio en los parámetros cinéticos se atribuye a un cambio en las propiedades electrónicas y geométricas de Pd sobre aleación con Au. Una reducción en la concentración de Pd conduce a un aumento en la concentración de Au en la superficie.

La formación de carburo de Pd (PdCx) durante la síntesis de VA también se investigó sobre un catalizador de Pd-Au / SiO₂ mixta de metal, pero los datos mostraron ninguna especie PdCx en la superficie del Pd-Au catalizador, es decir, la aleación de Au con Pd es muy eficaz en la prevención de la formación de PdCx en los catalizadores basados en Pd para la síntesis de VAM. También se observa que, con la adición de Au, la formación de CO se suprime a través de la combustión del ácido acético.

Otro punto a destacar, es la estructura molecular de nuestro catalizador. La formación de VAM depende de si la molécula es Pd-Au(1 0 0) o Pd-Au(1 1 1). Un incremento en la formación de reacción se observa con una disminución de Pd en la superficie. La diferencia aparente en las tasas de formación de VAM para estas dos moléculas, nos indica que un par no contiguo de sitios de Pd, en lugar de un solo sitio aislado, se requiere para la formación de VAM, tal y como se muestra en la figura 9.

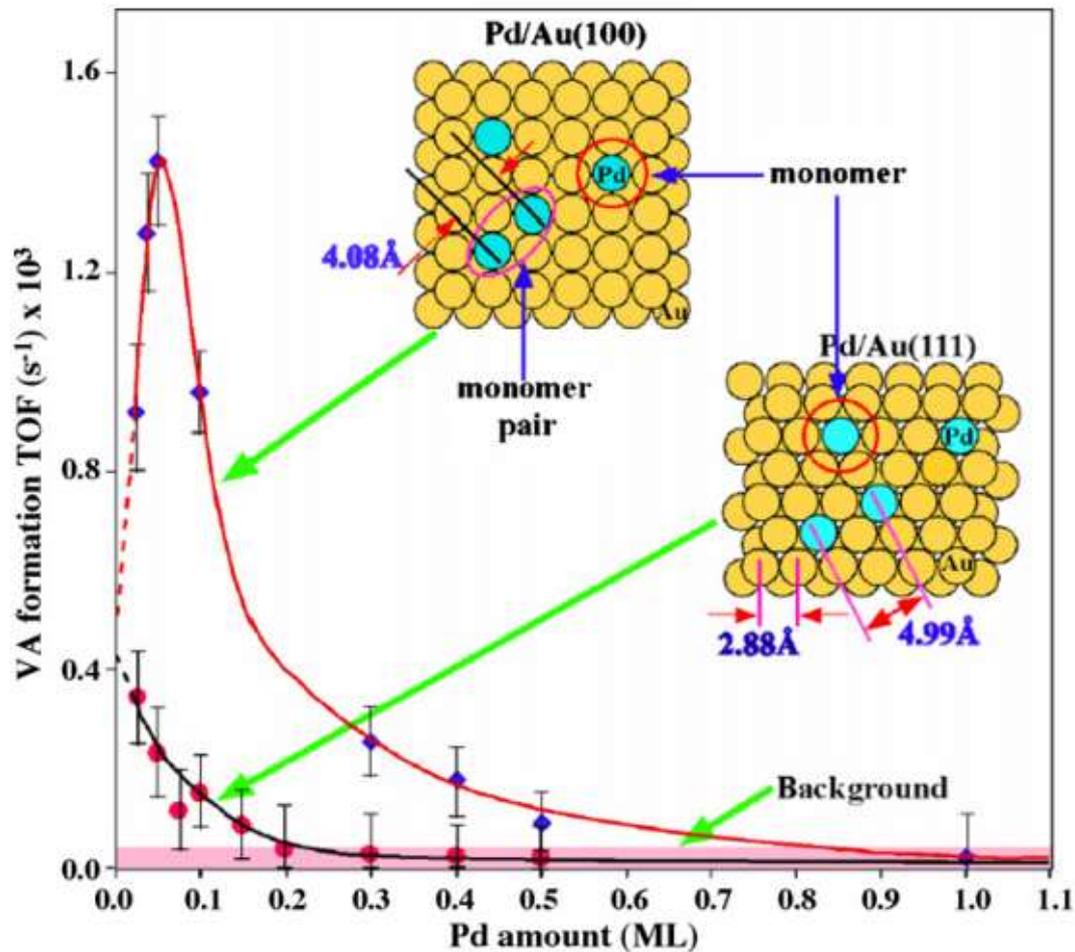


Figura 9: Tasas de formación de monómero de acetato de vinilo (VAM en función de la cobertura de Pd. Los TOF se calculan con respecto a la concentración de átomos de Pd. [Treacción=453 K; tiempo reacción: 3h]

Otra razón para explicar el menor rendimiento de la molécula Pd-Au (1 1 1) es la distancia entre dos sitios activos. Teniendo en cuenta las longitudes de enlace de las especies de etileno y acetato adsorbidos, la distancia óptima entre dos sitios activos de 3,3 Å. Mientras la distancia entre un par de monómeros en Pd-Au(1 0 0) es de tan solo 4,08 Å, la distancia de Pd-Au(1 1 1) es de 4,99 Å, una distancia demasiado larga para el acoplamiento de estos dos intermedios reactivos. Así pues, con desplazamiento lateral, el acoplamiento de un polímero de etileno y acetato de especies en un par monómero Pd es posible en el Au (1 0 0), pero poco probable en el Au (1 1 1). Ver figura 10.

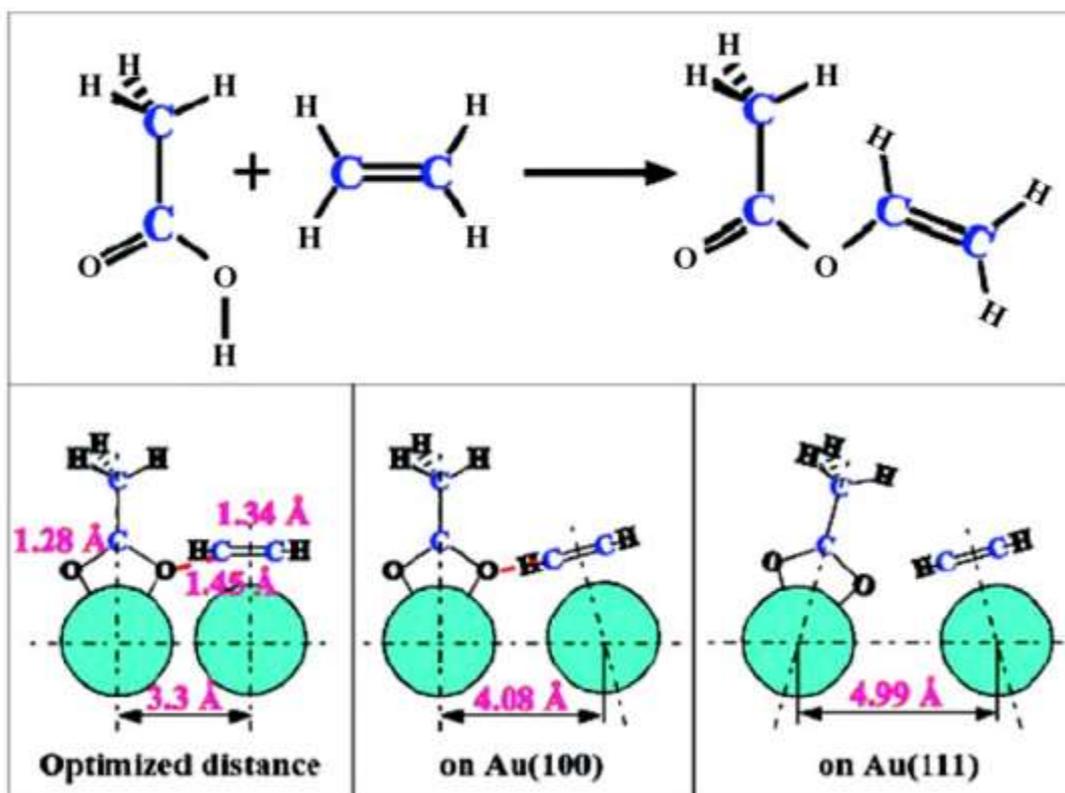


Figura 10: Esquema para la síntesis de VAM a partir de ácido acético y etileno

Mientras que el par de sitios aislados de Pd ayudan en la formación de VAM proporcionando el espaciado óptimo requerido en la superficie para el acoplamiento de las especies de acetato y etileno, también suprime la formación de subproductos de la reacción, tales como CO y CO₂, por lo tanto, también mejora la selectividad global. Dado que CO se une más fuertemente a los sitios que contienen átomos contiguos de Pd en comparación a un sitio de Pd aislado, el CO es un subproducto que envenena a grandes conjuntos de Pd y consecuentemente envenena a nuestro catalizador. Por lo tanto, el catalizador Pd-Au, además de suprimir significativamente la disposición de carbono a través de reactivo y la descomposición del producto, conduce a una reducción en las tasas de deshidrogenación que favorecen a la selectividad.

En conclusión, la reacción ha demostrado ser sensible a la estructura del catalizador, incluyendo una fuerte dependencia del tamaño de partícula de metal.

Además, la adición de Au a un catalizador de Pd mejora significativamente la tasa de formación de VAM al tiempo que reduce la cantidad de carbono formado en la superficie. Au ha demostrado servir para aislar la superficie de Pd en sitios monoméricos que se han propuesto para ser el sitio activo para la formación de VAM.

Se requiere un par de tales monómeros aislados de Pd para la adsorción de ácido acético y etileno, con la distancia entre los monómeros constituyentes siendo crítico.

Por lo tanto, mientras que la separación de átomos de Pd sobre la superficie en sitios de monómero, Au también reduce la formación de especies y productos superficiales indeseables.

1.4.5. Acerca del catalizador utilizado en la Planta VAM Industry

El catalizador utilizado en la reacción para la producción de acetato de vinilo consiste de un 0,15-1,5 wt% Pd, 0,2-1,5 wt% Au y un 4-10 wt% KOAc en partículas esféricas de sílica de unos 5 mm de diámetro. Esto nos permite que la reacción suceda de forma rápida y hace que el catalizador tenga una papel importante en la reacción.

A continuación se muestran las condiciones de operación:

Tabla 11: Condiciones de operación del catalizador de la reacción

Temperatura de operación	150°C
Presión de operación	10 bar
Conversión	0.25
Peso del catalizador	30730, 84 kg de catalizador

Un posible mecanismo de reacción del catalizador podría ser el siguiente:



Se debe de tener en cuenta que la vida activa de un catalizador es de 1-2 años y que, para esta reacción, a una temperatura de 200°C se produce la desnaturalización del catalizador. Por lo tanto, debe de haber un control riguroso de la temperatura durante la reacción.

A su vez, la concentración de oxígeno en la mezcla de reacción por debajo de un 8% para evitar posibles explosiones. De esta manera, se deberá poner un control de la concentración de oxígeno en la entrada del reactor.

1.5. Aplicaciones del acetato de Vinilo (VAM)

El acetato de vinilo se utiliza principalmente para la producción de polímeros y copolímeros, por ejemplo:

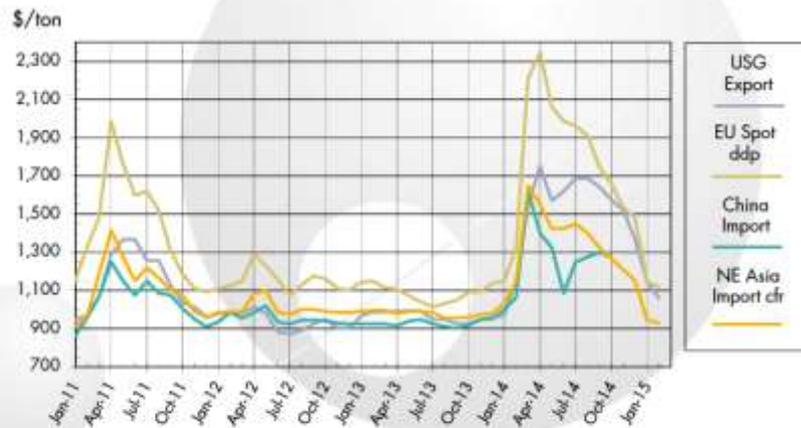
- Pinturas
- Adhesivos
- Textiles
- Papel procesado
- Chicles
- Producción de alcohol de polivinilo
- Butiral de polivinilo.

La FDA, Administración de Drogas y Alimentos de Estados Unidos, ha determinado que el VAM puede ser utilizado para revestimiento (coating) o parte del revestimiento utilizado en láminas plásticas para el empaque de alimentos y como agente modificador del almidón en alimentos.

Dependiendo del país, el acetato de vinilo se utiliza, en grandes cantidades, para diferentes producciones. Por ejemplo, en Japón, el 70% del VAM se utiliza para la producción de alcohol de polivinilo, mientras que en Estados Unidos y Europa, más de la mitad de la producción de VAM se utiliza para producir acetato de polivinilo. También cabe destacar que uno de los países emergentes que más ha contribuido a la exportación de acetato de vinilo en los últimos años, ha sido China.

Desde enero de 2011, el precio del monómero de acetato de vinilo ha ido fluctuando. No obstante, a partir de abril de 2014, hubo una caída en el precio del producto que podría afectar a la planta VAM Industry. A continuación se muestra un gráfico de la diferencia del precio del acetato de vinilo en los últimos años.

APIC 2015 VINYL ACETATE MONOMER SPOT PRICES 2011 - 2015



Source: Tecnon OrbiChem

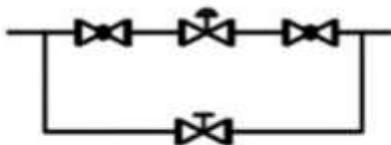
Figura 11: Precios del monomero de acetato de vinilo desde 2011 a 2015

1.6. Balances de materia

Antes de hacer el diseño de los equipos, se ha tenido que hacer los balances de materia de todo el proceso y de cada corriente de la planta.

La planta VAM Industry consta de 47 corrientes en su proceso. No obstante, hay que tener en cuenta que en los corrientes que correspondan al proceso en continuo y donde haya equipos considerados como críticos, se deberá duplicar el corriente mediante un bypass (ver figura 12).

*En caso de que haya una válvula en una zona crítica en el proceso en continuo, se pondrá un bypass como se muestra en la siguiente figura:



*En caso de que haya una bomba en una zona crítica en el proceso en continuo, se pondrá un bypass como se muestra en la siguiente figura (ejemplo):

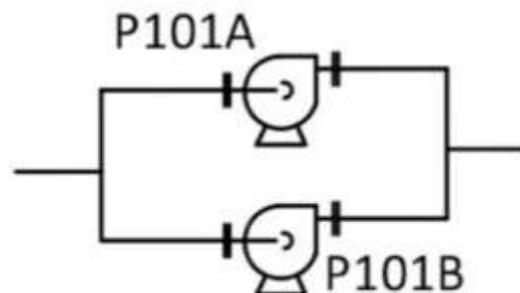


Figura 12: Leyenda del diagrama P&ID

Tabla 12: Balances de materia de la producción de VAM

CORRIENTE	1	2	3	4	5	6	7
Fase	L	L	L	V	V	V	V
Fracción de vapor	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Temperatura (°C)	20	20,0800	97,3200	149.0100	243.7000	15	194.6000
Presión (kPa)	101.3000	200	200	185.2600	1010	101,3000	1010
Entalpia (kJ/kg)	-7677	-7677	-7554	-7088	-6944	1850	2173
Densidad (kg/m ³)	1066	1066	971.5000	3.1650	14.1100	1.1860	7.2860
Peso molar	60.0500	60.0500	60.0500	60.0500	60.0500	28.0500	28.0500
FRACCIÓN MOLAR (%)							
Etileno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000
CO ₂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Oxígeno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Acetato de Vinilo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ácido Acético	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
Agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
CAUDAL MÁSSICO (kg/h)							
Etileno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3454.4768	3454.4768
CO ₂	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Oxígeno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Acetato de Vinilo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ácido Acético	6781.7716	6781.7716	25685.6268	25685.6268	25685.6268	0.0000	0.0000
Agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TOTAL	6781.7716	6781.7716	25685.6268	25685.6268	25685.6268	3454.4768	3454.477

Tabla 13: Balances de materia de la producción de VAM

CORRIENTE	8	9	10	11	12	13	14
Fase	V	V	V	V	V	L	L
Fracción de vapor	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
Temperatura (°C)	15	350.3000	144.5000	150	145	144.7000	145
Presión (kPa)	101.3000	1010	1010	1000	420	419.9000	420
Entalpia (kJ/kg)	-9,098	312.6000	-3816	-3808	-1.32E+04	-1.53E+04	-1.53E+04
Densidad (kg/m ³)	1.3530	6.2360	11.2100	10.9600	2.2000	921.6300	921.6300
Peso molar	32	32	38.5400	38.5400	18.0200	18.0200	18.0200
FRACCIÓN MOLAR (%)							
Etileno	0.0000	0.0000	0.5021	0.5021	0.0000	0.0000	0.0000
CO ₂	0.0000	0.0000	0.2277	0.2277	0.0000	0.0000	0.0000
Oxígeno	1.0000	1.0000	0.0638	0.0638	0.0000	0.0000	0.0000
Acetato de Vinilo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0,0000
Ácido Acético	0.0000	0.0000	0.2065	0.2065	0.0000	0.0000	0.0000
Agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000
CAUDAL MÁSSICO (kg/h)							
Etileno	0.0000	0.0000	30932.9621	30932.9620	0.0000	0.0000	0.0000
CO ₂	0.0000	0.0000	22004.8504	22004.8504	0.0000	0.0000	0.0000
Oxígeno	2391.0655	2391.0655	4480	4480	0.0000	0.0000	0.0000
Acetato de Vinilo	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ácido Acético	0.0000	0.0000	27227.2285	27227.2285	0.0000	0.0000	0.0000
Agua	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	13291.2000	13291.2000	13291.2000
TOTAL	2391.0655	2391.0655	84645.0410	84645.0410	13291.2000	13291.2000	13291.2000

Tabla 14: Balances de materia de la producción de VAM

CORRIENTE	15	16	17	18	19	20	21
Fase	V	V	V	V	V/L	L	L
Fracción de vapor	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.7704	0.0000	0.0000
Temperatura (°C)	150	140.0400	68.7100	50.6400	12	12	12
Presión (kPa)	1000	984.5200	180	110	108	108	108
Entalpia (kJ/kg)	-4134	-4148	-3541	-3564	-3802	-1.59E+04	-4644
Densidad (kg/m ³)	11.2500	11.5200	2.84600	1.8280	2.6870	1017	959.2000
Peso molar	39.5600	39.5600	44.2500	44.2500	44.2500	18.0200	78.7100
FRACCIÓN MOLAR (%)							
Etileno	0.4597	0.4597	0.4511	0.4511	0.4511	0.0000	0.0116
CO ₂	0.2394	0.2394	0.2355	0.2355	0.2355	0.0002	0.0093
Oxígeno	0.0305	0.0305	0.0298	0.0298	0.0298	0.0000	0.0001
Acetato de Vinilo	0.0528	0.0528	0.2027	0.2027	0.2027	0.0000	0.7891
Ácido Acético	0.1591	0.1591	0.0327	0.0327	0.0327	0.0001	0.1573
Agua	0.0585	0.0585	0.0482	0.0482	0.0482	0.9997	0.0326
CAUDAL MÁSSICO (kg/h)							
Etileno	27592.7514	27592.7514	27727.0526	27727.0526	27727.0526	0.0000	141.2314
CO ₂	22538.6410	22538.6410	22702.3703	22702.3703	22702.3703	0.7032	176.4898
Oxígeno	2089.8114	2089.8114	2091.0466	2091.0466	2091.0466	0.0002	1.3180
Acetato de Vinilo	9728.2834	9728.2834	38225.9461	38225.9461	38225.9461	0.0001	29440.9383
Ácido Acético	20441.3863	20441.3863	4301.1494	4301.1494	4301.1494	0.1186	409.9735
Agua	2254.2102	2254.2102	1902.1995	1902.1995	1902.1995	1255.7796	254.6041
TOTAL	84645.0837	84645.0837	96949.7645	96949.7645	96949.7645	1256.6017	34109.5551

Tabla 15: Balances de materia de la producción de VAM

CORRIENTE	22	23	24	25	26	27	28
Fase	V	V	V	L	L	V	V
Fracción de vapor	1.0000	1.0000	1.00000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000
Temperatura (°C)	12	165.3000	54	20	20.5800	62.1000	20
Presión (kPa)	108	805	803.7000	101.3000	800	800	101.3000
Entalpia (kJ/kg)	-3088	-2884	-3045	-7677	-7676	-2945	-8128
Densidad (kg/m ³)	1.7080	8.1930	11.2800	1066	1066	9.7290	1.9800
Peso molar	36.4900	36.4900	36.4900	60.0500	60.0500	33.9000	47.6500
FRACCIÓN MOLAR (%)							
Etileno	0.5826	0.5826	0.5826	0.0000	0.0000	0.6203	0.0000
CO ₂	0.3033	0.3033	0.3033	0.0000	0.0000	0.3216	0.9135
Oxígeno	0.0387	0.0387	0.0387	0.0000	0.0000	0.0413	0.3266
Acetato de Vinilo	0.0605	0.0605	0.0605	0.0000	0.0000	0.0005	0.0865
Ácido Acético	0.0020	0.0020	0.0020	1.0000	1.0000	0.0163	0.0000
Agua	0.0129	0.0129	0.0129	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
CAUDAL MÁSSICO (kg/h)							
Etileno	27585.8211	27585.8211	27585.8211	0.0000	0.0000	27478.4853	0.0000
CO ₂	22525.1773	22525.1773	22525.1773	0.0000	0.0000	22350.5345	345.6841
Oxígeno	2089.7284	2089.7284	2089.7284	0.0000	0.0000	2088.9345	0.0000
Acetato de Vinilo	8785.0078	8785.0078	8785.0078	0.0000	0.0000	64.0143	64.0143
Ácido Acético	206.0574	206.0574	206.0574	24020.6802	24020.6802	1541.6017	0.0000
Agua	391.8158	391.8158	391.8158	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TOTAL	61583.6078	61583.6078	61583.6078	24020.6802	24020.6802	53523.5703	409.6984

Tabla 16: Balances de materia de la producción de VAM

CORRIENTE	29	30	31	32	33	34	35
Fase	V	V	L	L	L	V/L	V/L
Fracción de vapor	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0139	0.0084
Temperatura (°C)	62.1000	81.7800	93.7100	93.7300	64.3500	62.6300	74.9200
Presión (kPa)	800	1010	180	200	800	200	200
Entalpia (kJ/kg)	-2905	-2879	-7623	-76.23	-6713	-6714	-7082
Densidad (kg/m ³)	9.7070	11.5800	965.7000	965.7000	975.5000	244.2000	975.4000
Peso molar	33.8200	33.8200	57.0700	57.0700	63.0800	63.0700	60.5000
FRACCIÓN MOLAR (%)							
Etileno	0.6237	0.6237	0.0007	0.0007	0.0075	0.0075	0.0046
CO ₂	0.3184	0.3184	0.0008	0.0008	0.0078	0.0078	0.0048
Oxígeno	0.0416	0.0416	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Acetato de Vinilo	0.0000	0.0000	0.0289	0.0289	0.1992	0.1992	0.1261
Ácido Acético	0.0163	0.0163	0.8816	0.8816	0.7427	0.7427	0.8023
Agua	0.0000	0.0000	0.0881	0.0881	0.0428	0.0428	0.0622
CAUDAL MÁSSICO (kg/h)							
Etileno	27478.4853	27478.4853	7.0042	7.0042	107.3358	107.3358	114.3400
CO ₂	22004.8504	22004.8504	12.8121	12.8121	174.6428	174.6428	187.4549
Oxígeno	2088.9345	2088.9345	0.0825	0.0825	0.7939	0.7939	0.8764
Acetato de Vinilo	0.0000	0.0000	950.9882	950.9882	8720.9935	8720.9935	9671.9817
Ácido Acético	1541.6017	1541.6017	20231.3678	20231.3678	22685.1360	22685.1360	42916.5038
Agua	0.0000	0.0000	606.3737	606.3737	391.8158	391.8158	998.1895
TOTAL	53113.8719	53113.8719	21808.6285	21808.6285	32080.7178	32080.7178	53889.3463

Tabla 17: Balances de materia de la producción de VAM

CORRIENTE	36	37	38	39	40	41	42
Fase	V/L	L	L	L	L	V/L	V/L
Fracción de vapor	0.0066	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0,0002	0.0304
Temperatura (°C)	56	123.1000	123.1000	123.1000	123.2000	-142.4000	10
Presión (kPa)	198	130	130	130	200	130	129
Entalpia (kJ/kg)	-7115	-7625	-7515	-7510	-7510	-5120	-4807
Densidad (kg/m ³)	398.5000	934	4.9350	937.4000	937.4000	1101	116.2000
Peso molar	60.5000	58.0700	56.5900	60.0500	60.0500	71.9600	71.9600
FRACCIÓN MOLAR (%)							
Etileno	0.0046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0262	0.0262
CO ₂	0.0048	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0274	0.0274
Oxígeno	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002
Acetato de Vinilo	0,1262	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.7211	0.7211
Ácido Acético	0.8021	0.9527	0.9173	1.0000	1.0000	0.0921	0.0921
Agua	0.0622	0.0472	0.0826	0.0000	0.0000	0.1330	0.1330
CAUDAL MÁSSICO (kg/h)							
Etileno	114.3400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	114.3400	114.3400
CO ₂	187.4549	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	187.4549	187.4549
Oxígeno	0.8764	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.8735	0.8735
Acetato de Vinilo	9671.9817	5.2331	5.2331	0.0000	0.0000	9666.7486	9666.7486
Ácido Acético	42916.5038	42055.1592	23151.3040	18903.8552	18903.8552	861.3446	861.3446
Agua	998.1895	625.0339	625.0339	0.0000	0.0000	373.1556	373.1556
TOTAL	53889.3463	42685.4262	23781.5710	18903.8552	18903.8552	11203.9172	11203.9172

Tabla 18: Balances de materia de la producción de VAM

CORRIENTE	43	44	45	46	47
Fase	L	V	L	V/L	L
Fracción de vapor	0.0000	1.0000	0.0000	0.1777	0.0000
Temperatura (°C)	10	10	10	20	20
Presión (kPa)	129	129	129	101.3000	101.3000
Entalpia (kJ/kg)	-1.59E+04	-4322	-4503	-7905	-4131
Densidad (kg/m ³)	1019	2.1070	955.8000	11.2500	932
Peso molar	18.0300	37.7500	79.8900	48.5400	86.0900
FRACCIÓN MOLAR (%)					
Etileno	0.0000	0.5023	0.0126	0.0765	0.0000
CO ₂	0.0004	0.4331	0.0164	0.0992	0.0000
Oxígeno	0.0000	0.0053	0.0000	0.0001	0.0000
Acetato de Vinilo	0.0000	0.0487	0.8348	0.0000	1.0000
Ácido Acético	0.0000	0.0011	0.1068	0.6467	0.0000
Agua	0.9996	0.0096	0.0293	0.1775	0.0000
CAUDAL MÁSSICO (kg/h)					
Etileno	0.0000	66.7667	47.5732	47.5732	0.0000
CO ₂	0.3009	90.3152	96.8388	96.8388	0.0000
Oxígeno	0.0000	0.8043	0.0692	0.0692	0.0000
Acetato de Vinilo	0.0000	19.8656	9646.8830	0.0000	9646.8830
Ácido Acético	0.0183	0.3090	861.0174	861.0174	0.0000
Agua	301.4586	0.8180	70.8791	70.8791	0.0000
TOTAL	301.7778	178.8788	10723.2607	1076.3777	9646.8830

1.7. Constitución de la planta

La planta VAM Industry se constituye en diferentes áreas que han ayudado a la distribución de los equipo. A continuación se mencionarán las diferentes áreas que se pueden encontrar y una breve explicación de éstas.

Área 100

En esta área encontramos principalmente los tanques de almacenamiento de las materias primas. Por lo tanto, esta área es conocida como el área de almacenamiento.

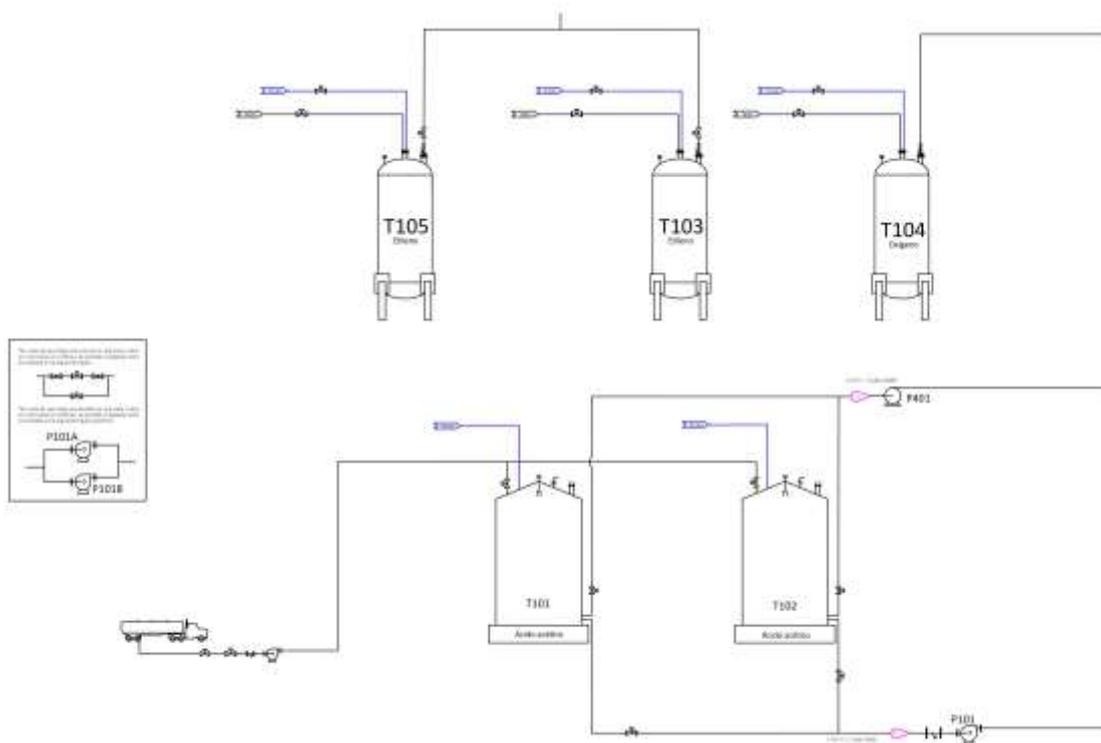


Figura 13: Diagrama de proceso del área 100

Área 200

En esta área encontramos principalmente todos los equipos necesarios para la preparación de los reactivos y el reactor con su sistema de generación de vapor. Esta zona se conoce como el área de reacción.

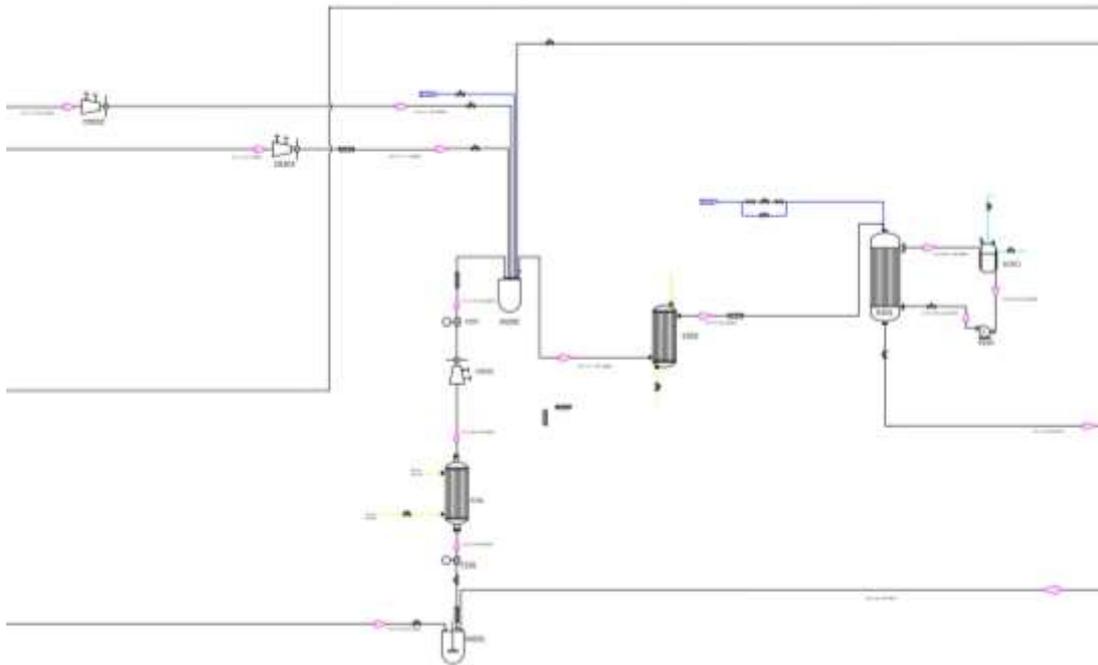


Figura 14: Diagrama de proceso del área 200

Área 300

Es el área conocida como la primera etapa de separación. En ella encontramos todos los equipos que conforman la zona de regeneración energética; una de las mejoras que hemos aplicado a la Planta VAM Industry.

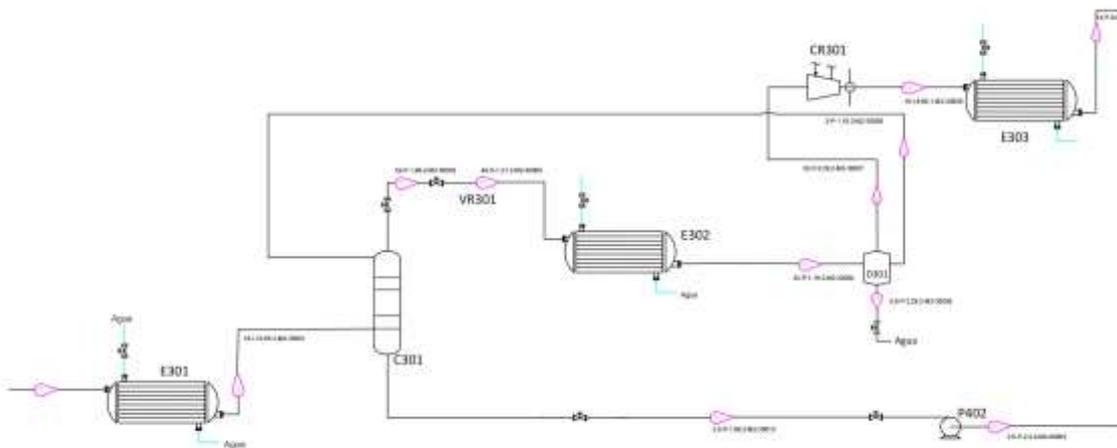


Figura 15: Diagrama de proceso del área 300

Área 400

Es el área conocida como la segunda etapa de separación. En ella encontramos la torre de absorción y la de rectificación, importantes para la separación de los productos de la reacción, junto con todos los equipos de acondicionamiento del producto.

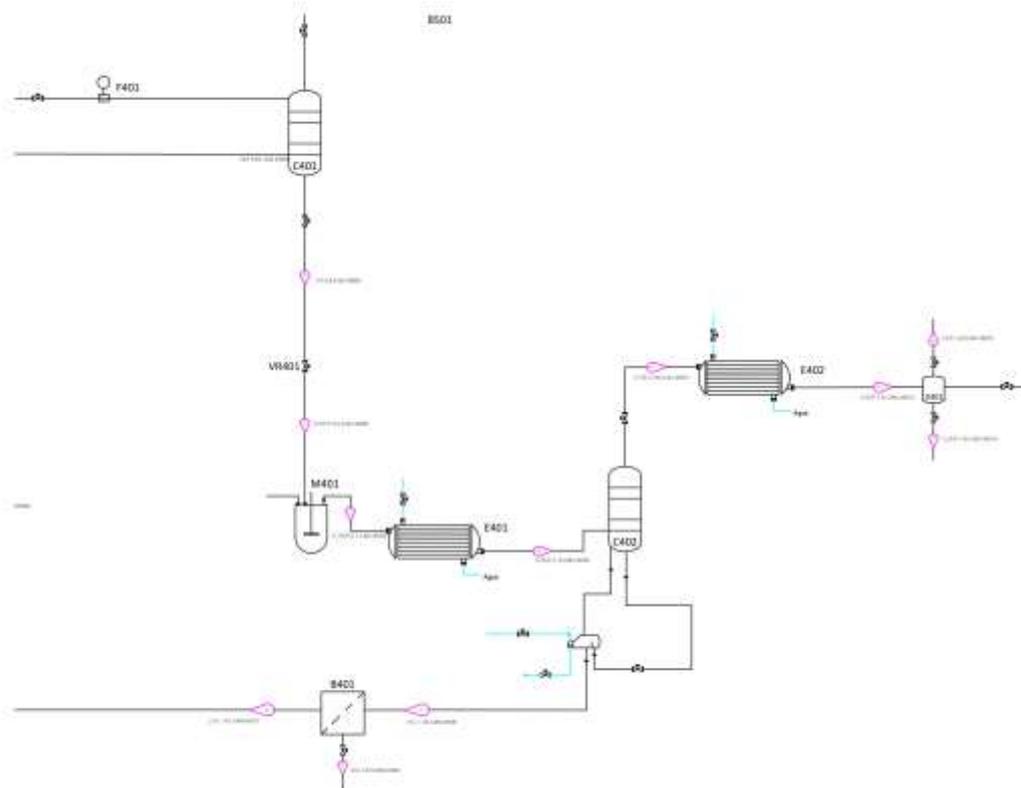


Figura 16: Diagrama de proceso del área 400

Área 500

Es el área conocida como la zona de tratamiento de gases o de separación de gases. En ella encontramos una black-box que hace referencia a todos los equipos que conforman esa zona.

El objetivo de esta zona es purificar los gases obtenidos en la columna de absorción con la finalidad de recircular el etileno al proceso.



Figura 17: Diagrama de proceso del área 500

Área 600

Es el área conocida como la zona de purificación del producto. En ella encontramos una black-box que hace referencia a todos los equipos que conforman esa zona.

El objetivo de esta zona es purificar el producto para aumentar su valor bruto a la vez que se recirculan todos los corrientes de salida posibles en el proceso.

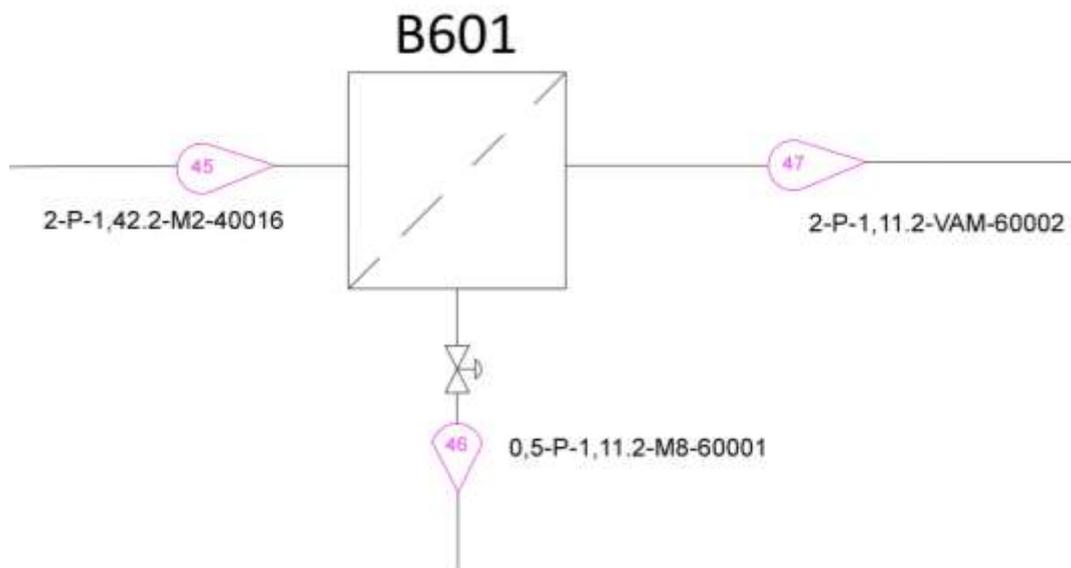


Figura 18: Diagrama de proceso del área 600

Área 700

Es el área conocida como la zona de almacenamiento del producto final. En ella encontramos principalmente los tres tanques de almacenamiento del acetato de vinilo purificado.

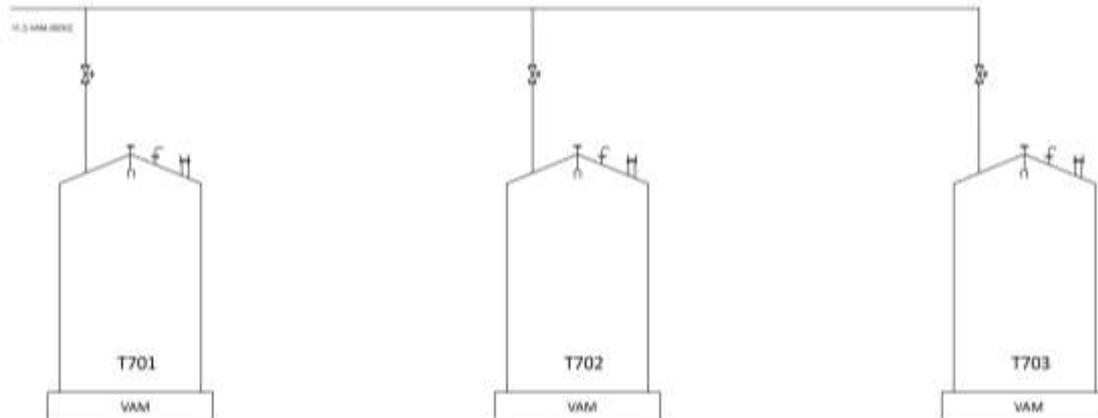


Figura 19: Diagrama de proceso del área 700

Área 800

En esta área encontramos las oficinas de la planta VAM Industry, los lavabos, vestuarios, dirección de la empresa, sala de reuniones, etc. Es por su contenido, que esta área está considerada el área social.

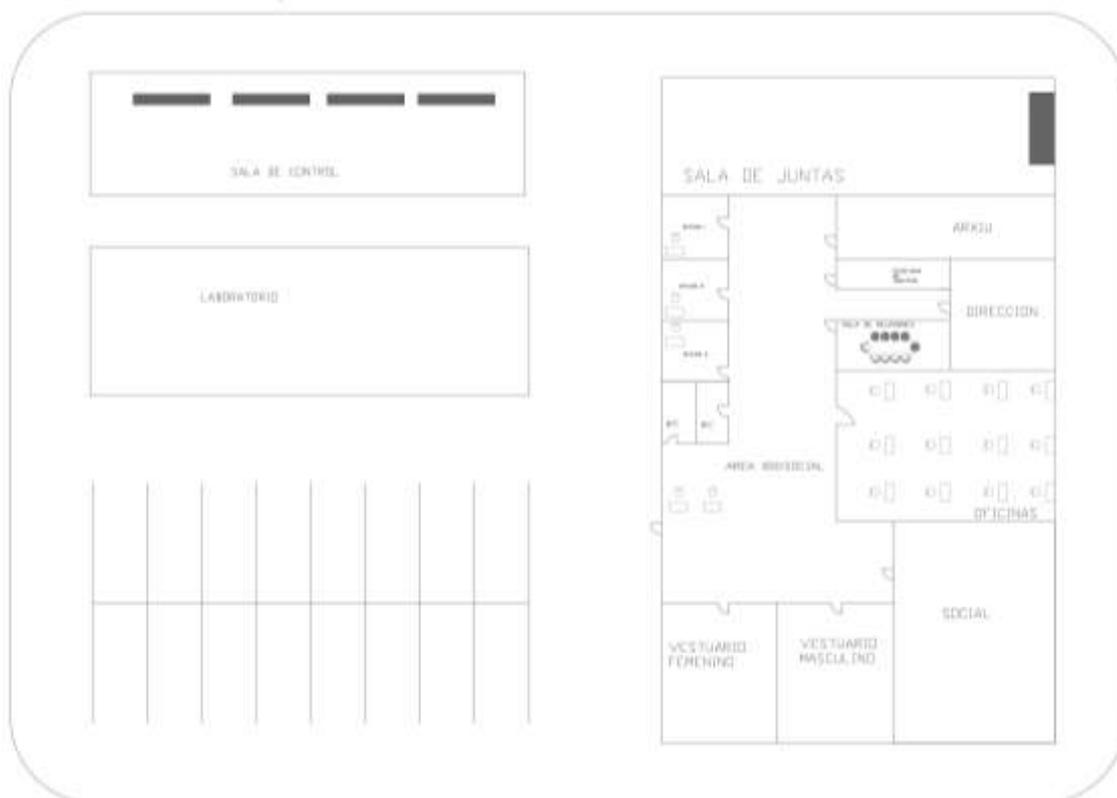


Figura 20: Plano de la distribución del área 800 y del área 1200

Área 900

En esta área encontramos el taller de la empresa, donde se llevaran a cabo los trabajos de mantenimiento y las reparaciones de los equipos que se pudiesen hacer sin subcontratar a una empresa externa, y el almacén, donde se podrá encontrar todo tipo de recambios y suministros necesarios.

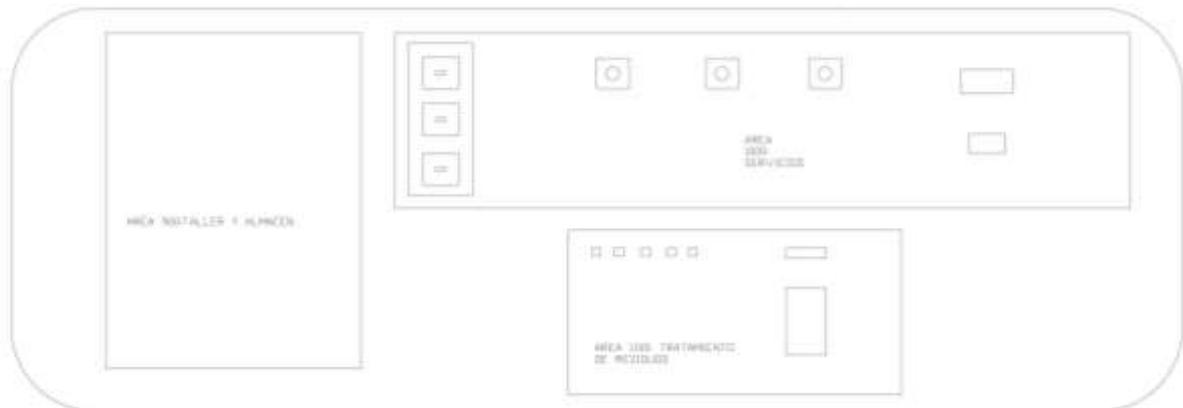


Figura 21: Plano de la distribución del área 900, del área 1000 y del área 1100

Área 1000

En esta área encontramos todos los equipos necesarios para abastecer la planta VAM Industry de energía, agua y demás. Es decir, esta área es la destinada a los servicios de la planta. En el apartado 1.11, se hace referencia a todos los servicios disponibles en la planta VAM Industry. En caso de necesitar una explicación más detallada se deberá ir al apartado de Servicios de este trabajo.



Figura 22: Plano de la distribución del área 1000

Área 1100

En esta área encontramos todos los equipos necesarios para el tratamiento de residuos originados a la hora de producir el acetato de vinilo. En el apartado de Medio Ambiente se especifica qué se deberá hacer con éstos.



Figura 23: Plano de la distribución del área 1100

Área 1200

En esta área encontramos únicamente la sala de control del proceso con todos sus equipos necesarios.

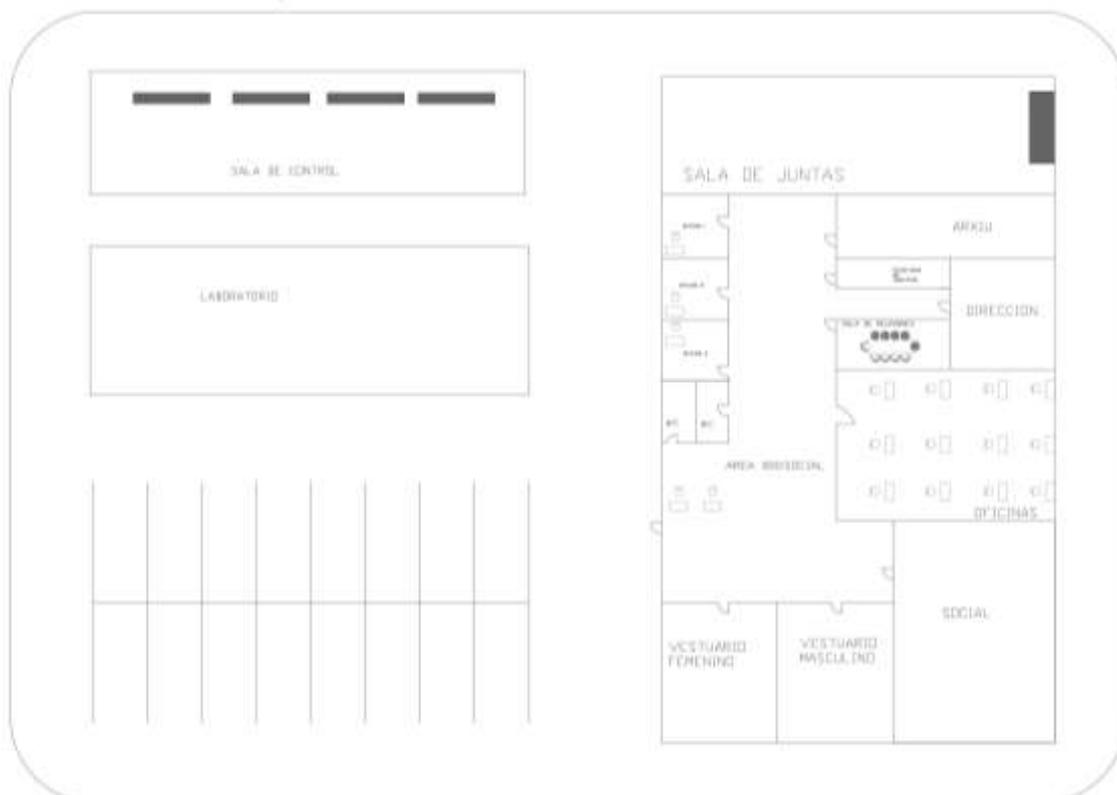


Figura 24: Plano de la distribución del área 800 y del área 1200

Área 1300

Esta área es el espacio reservado para las posibles y futuras mejoras de la planta. Éstas están especificadas en el apartado de Futuras Mejoras de este trabajo.

Para una detallada descripción de esta zonas, ir al apartado de Operación de la Planta.

1.7.1. Plantilla de trabajadores

Debido a que la planta trabaja 300 días al año, las 24 horas del día, tenemos un total de 7200 horas productivas al año. Por lo tanto, tenemos 2 meses, aproximadamente, para realizar las tareas de mantenimiento y limpieza de la planta.

Se ha pensado en aprovechar los meses cuando hay menos trabajadores para hacer las paradas de producción para que, de este modo, no tener ningún trabajador en la zona de operaciones sin hacer nada. Como consecuencia, realizar las paradas en el mes de Agosto y a mitad de Diciembre y principio de Enero.

No es viable realizar la limpieza y el mantenimiento en dos meses consecutivos ya que esto supondría no tener producción durante dos meses y esto repercutiría en el aspecto económico de la planta.

Para que la empresa funcione, se necesita un número determinado de profesionales en las diferentes áreas de la empresa. A continuación, se describe la plantilla de trabajadores necesaria, el número de trabajadores de cada sección y la tarea a desempeñar:

- **Directivos y técnicos:**
Son los encargados de tomar decisiones que deberán ser ejecutadas por el resto del personal, así como relacionar otras funciones como las relaciones internacionales, conferencias, reuniones, presentación de mejoras, etc. La empresa tendrá dos directivos y cuatro técnicos. No tienen un horario fijo debido a las funciones a desempeñar.
- **Jefes de sección:**
Constará de un total de 12 personas encargadas de la supervisión de las diferentes áreas de la planta, asegurándose del correcto funcionamiento y la seguridad de los trabajadores.

Realizarán un horario similar al de oficinas, pero deberá haber un tercer turno de guardia en caso de que sucediera algún incidente o problema importante.

- **Operarios:**

Son los encargados del correcto funcionamiento y mantenimiento de la planta. La plantilla constará de 50 trabajadores y se realizarán tres turnos rotatorios (mañana, tarde y noche) de 8h.

- **Personal de oficina:**

Entre el personal que trabajará en las oficinas de la empresa encontramos diferentes departamentos:

- Departamento de Marketing: consta de 6 trabajadores encargados de manejar y coordinar estrategias de venta.
- Departamento de Calidad, Seguridad y Medio Ambiente: consta de 2 trabajadores encargados de que se cumplan todas las normativas tanto de calidad (marcado CE, ISO 9001, etc.), como de seguridad (EPIs adecuados, formaciones, etc.), como de Medio Ambiente (ISO 14001, tratamiento de residuos), así como las auditorías de la empresa.
- Departamento de Publicidad: consta de 5 trabajadores encargados de la imagen corporativa institucional de la empresa y de desarrollar las campañas publicitarias y de marketing que la empresa pueda decidir llevar a cabo.
- Departamento Administrativo: consta de 12 trabajadores encargados de gestionar los procesos estratégicos de la empresa.
- Departamento de Recursos Humanos: consta de 2 trabajadores encargados de seleccionar, contratar, emplear y retener al personal de la empresa.
- Departamento de Contabilidad: consta de 5 trabajadores encargados de instrumentar y operar las políticas, normas sistemas y procedimientos de las operaciones financieras de la empresa.

- Departamento Informático: consta de 3 trabajadores encargados de dar soporte al resto de Departamentos, así como implementar programas y/o aplicaciones que permitan una gestión empresarial adecuada.

Los empleados deben trabajar unas 40 horas semanales distribuidas de lunes a viernes de 8h a 17h (horas de descanso incluidas). Los trabajadores pueden distribuirse las horas como quieran, dando un margen de entrada a oficina entre las 8h y las 9h, con la opción de quedarse hasta las 19h, como máximo. Esto dependerá del trabajador de las horas de descanso empleadas.

- **Personal de laboratorio:**

Con un total de 10 trabajadores con diferentes titulaciones (ingenieros, químicos, técnicos de laboratorio) se encargarán del área de I+D en busca de mejoras del proceso (tanto de automatismos y sistemas, como de proceso) y de los controles de calidad a nivel de planta, asegurándose de que todo funcione correctamente.

Se realizarán turnos rotatorios de series horas: cinco trabajadores de 8h a 14h y otros cinco trabajadores de 14h a 22h.

- **Personal de mantenimiento:**

Es el personal encargado del buen funcionamiento de la planta y en solucionar cualquier pequeño incidente que se pueda producir. Este equipo estará constituido por 4 trabajadores con horarios de mañana, tarde, noche y festivos.

- **Personal de limpieza:**

Se destinará 4 trabajadores encargados de la limpieza e higiene de la planta, 2 personas a la limpieza e higiene de las oficinas y otras dos personas encargadas de la limpieza e higiene de los diferentes almacenes.

En caso de tener árboles alrededor de la planta, en el exterior, se contrataría dos trabajadores de una empresa externa para realizar los trabajos de jardinería.

- **Personal de recepción:**

Es el encargado/a de toda la mensajería de la empresa, las llamadas, el material de oficina y de la atención al público en caso de recibir a un cliente. Constará de dos trabajadores, uno hará el turno de mañana y otro el turno de tarde) con un horario de 8h a 13h y de 14h a 19h.

- **Personal de seguridad:**

Encargados de la vigilancia de la planta, constará de tres trabajadores en el turno de mañana, tres trabajadores en el turno de noche que trabajarán 12 horas en días alternativos y dos días festivos.

1.8. Programación temporal y montaje de la planta

Una vez se haya planteado el proyecto y éste se haya aprobado, se deberá proceder a la planificación de la planta, teniendo en cuenta las diferentes actividades a realizar.

Tal y como se puede observar en la tabla 19, se ha procedido a la distribución la programación de las diferentes actividades que se deberán realizar para edificar la planta VAM Industry. Para ayudarnos con la distribución, hemos utilizado el programa OpenProj.

Siguiendo el orden especificado en la tabla 19 y empezando el proyecto el día 29 de Enero del 2016, se ha calculado que la finalización de la edificación será en el 28 de Febrero de 2019 en caso de que se cumplan todos los plazos acordados.

En la figura 23, se puede ver el Diagrama de Gantt de todas las tareas programadas.

Tabla 19: Duración de las tareas a realizar durante el proceso de construcción y montaje

Actividad	Subactividad	Procedencia	Duración (días)
Ingeniería: Desarrollo del proyecto	-	0:1	110
Licencia de obras y actividades	-	1:2	124
Urbanización	Limpieza de terrenos	2:3	112
	Excavaciones y cimientos		
	Instalación de suministros		
	Viales y aceras		
Edificación de oficinas y aparcamiento	Instalación de soportes, escaleras, plataformas y barandillas	3:4	101
	Edificio de oficinas		
Aparcamiento	Edificio de oficinas	3:4	101
	Aparcamiento		
Instalación de tuberías	Instalación de tuberías de proceso	2:5	41
	Instalación de tuberías de servicio		
Conexión de las tuberías	Conexión de tuberías y equipos	5:6	20
	Conexión de tuberías de servicios y equipos		
Instrumentación	Instalación de la instrumentación	6:7	170
	Conexión de la instrumentación con los equipos		
Aparatos eléctricos	Instalación de aparatos eléctricos	7:8	125
	Conexión eléctrico con los equipos		
Aislamientos	Aislamientos de conductos	7:8	184
	Aislamientos de tuberías		
	Aislamientos de equipos	10:9	
Instalación de equipos	-	8:10	122
Calibración de equipos	-	9:11	12
Pruebas de equipos	Puesta en marcha (probar señales, alarmas, etc.)	1-11:13	12
Pintura	-	1-11:13	14
Señalizaciones obligatorias	-	13:14	1

Limpieza	-	13:14	5
----------	---	-------	---

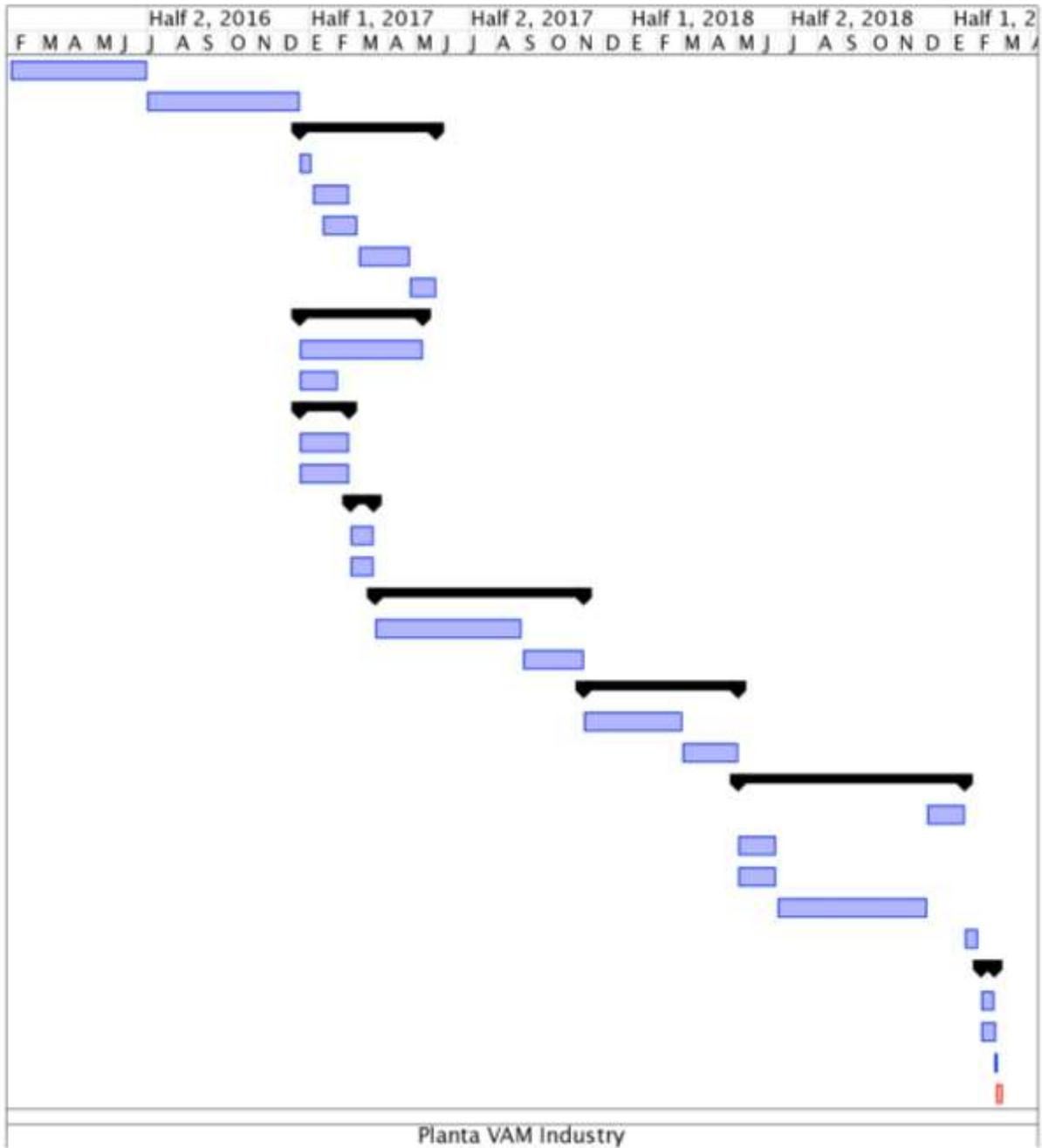


Figura 25: Diagrama de Gantt de la programación temporal para la construcción de la planta VAM Industry

1.9. Programación temporal y montaje de la planta

La planta de producción de acetato de vinilo, debe tener los siguientes servicios disponibles:

- Energía eléctrica: conexión desde la línea de 20kV a pie de parcela, con estación transformadora presente.
- Gas natural: conexión a pie de parcela a media presión (1,5 kg/cm²).
- Alcantarillado: red unitaria en el centro de la calle a una profundidad de 3,5m (diámetro del colector de 800 mm).
- Agua de incendios: la máxima presión es de 4kg/cm², teniendo en cuenta que se dispone de una estación de bombeo y reserva del agua.
- Agua de red: acometida a pie de parcela a 4kg/cm² con un diámetro de 200 mm.
- Terreno: resistencia del terreno de 2kg/cm² a 1,5m de profundidad sobre gravas.

A continuación, teniendo en cuenta los servicios de planta descritos en este apartado, se procede a la descripción de todos los servicios necesarios para la planta de producción de VAM.

1.10. Servicios de la planta

La planta VAM Industry requerirá de unos servicios que permitan su correcto funcionamiento, y de esta manera se pueda garantizar todas las necesidades del proceso.

1.10.1. Agua de red

El agua de red suministrada se utilizará para satisfacer las necesidades sanitarias de las oficinas, tales como duchas, limpieza, lavabos, etc. También tiene otras utilidades como agua contra incendios y en la planta, concretamente para el caudal de reposición de las torres de refrigeración aunque previamente tratadas.

Las condiciones en las que se suministra corresponden a una presión máxima de servicio de 4 kg/m² mediante una tubería de 200 mm de diámetro.

1.10.2. Agua descalcificada

Como se ha comentado en el apartado anterior, el agua que requieren los equipos necesitan ser tratadas previamente mediante una descalcificadora ya que de no ser así, el riesgo de sufrir incrustaciones o acumulaciones indeseadas en los equipos o tuberías podría suponer un grave problema en el proceso, aumentando los costes de mantenimiento y como consecuencia disminuir la vida útil de la planta.

Por tal motivo, se lleva a cabo un proceso de descalcificación del agua, ya que además es el más utilizado en la eliminación de la dureza del agua, aporta un factor de prevención importante para la corrosión ya que el agua directamente suministrada de red es normalmente más corrosiva.

La descalcificación se basa en la utilización de resinas de intercambio iónico generalmente constituidas por co-polímeros de estireno y divinilbenceno con grupos sulfonados que incluyen el ion sodio. Cuando el agua atraviesa estas resinas, se intercambian los iones calcio y magnesio por el ión sodio de tal forma que los primeros quedan retenidos en la resina y este último se incorpora al agua.

Este proceso continúa hasta que la mayor parte de los iones sodio de la resina se han intercambiado, en cuyo momento la resina ya no es capaz de retener por completo los iones calcio y magnesio y es preciso proceder a su regeneración.

Según las necesidades de caudal de reposición en las torres de refrigeración, corresponde a un valor de 3 m³/h de agua descalcificada. El equipo utilizado para dicha descalcificación es de la casa "Erie Aquatecnic", concretamente el modelo V250, con las siguientes especificaciones:

Equipos descalcificadora de 2 cuerpos formados por:

- Programador de regeneración por volumen. Tanque fabricado en poliamida (100% reciclable) y liner interior de copolimer (P.E.)
- Resina de alto poder de intercambio..
- Depósito de polietileno con falso fondo y válvula de salmuera.
Presión min./máx. de trabajo: 1.5-6 bar
- Temperatura de trabajo: 5-40°C
- Bypass durante la regeneración
- Caudal de agua: 9m³/h



Figura 26: Descalcificadora V250

1.10.3. Agua de la torre de refrigeración

La planta requiere de 3 torres de refrigeración (TR-1001, TR-1002, TR-1003) para enfriar las corrientes de agua procedentes de los intercambiadores de calor. Dichas torres proporcionan agua al proceso a una temperatura de 20°C.

Las torres de refrigeración son dispositivos exclusivamente de conservación y recuperación de aguas de refrigeración de procesos. Se basan en el enfriamiento que experimenta el agua cuando se evapora una pequeña cantidad de ella al ser pulverizada en el aire.

La capacidad de enfriamiento de la torre es directamente proporcional a la superficie de contacto aire-agua y al tiempo de contacto. A continuación se presenta un esquema de una torre de refrigeración.

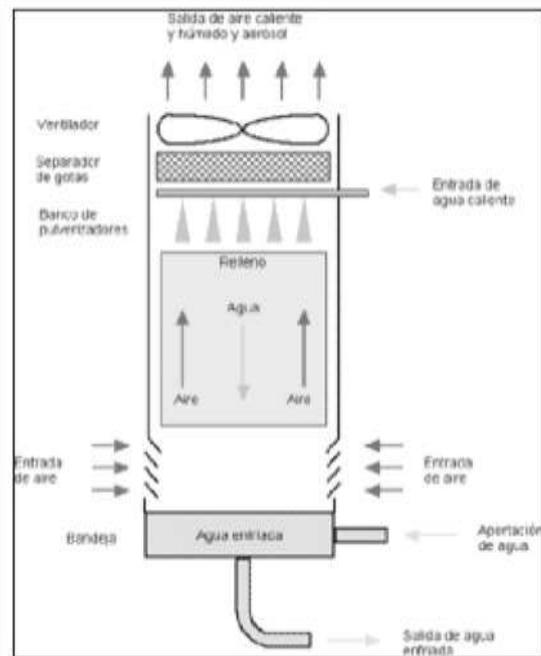


Figura 27: Esquema de una torre de refrigeración

A continuación se presenta una tabla con las necesidades de agua a 20°C.

Equipo	Temperatura de entrada agua (°C)	Temperatura de salida agua (°C)	Caudal agua (kg/s)
E-301	80	20	1,293
E-303	53	20	18,37
E-401	50	20	4,468

Figura 28: Listado de los equipos con requerimientos de agua a 20°C

Las siguientes torres de refrigeración trataran el agua de los siguientes equipos:

- TR-1001 i TR-1002: E-301
- TR-1003: E-303, E-401

Para la planta VAM Industry se han elegido torres de la casa EWK. Dos del modelo EWK-I 225 para la torre TR-1001 Y T-1002, y una del modelo EWB-2875/03 para la torre TR-1003, ya que las necesidades de potencia son diferentes.

A continuación se muestran los dos tipos de torres elegidas.



Figura 29: Torre EWK-I de circuito cerrado con intercambiador externo



Figura 30: Torre EWB de gran caudal en circuito abierto

1.10.4. Agua contra incendios

En la planta se dispone de agua de red como medida de seguridad contra incendios, todos los equipos de extinción que lo requieran tendrán conexión directa de agua exceptuando los hidrantes, que se subministraran a partir de las conexiones subterráneas conectadas a la piscina contra incendios para garantizar la presión y el caudal necesario en caso de incendio.

1.10.5. Aceite térmico

Las necesidades de calor de la planta se satisfacen con calderas de fluido térmico; las cuales calientan el aceite térmico, para la planta VAM Industry se dispone de Therminol 66 debido a su gran rango de temperaturas que permite abarcar mejor las necesidades del proceso. A continuación se presenta una tabla con las necesidades de aceite térmico a altas temperaturas.

Figura 31: Listado de los equipos con requerimiento de Therminol 66

Equipo	Temperatura de entrada aceite (°C)	Temperatura de salida aceite (°C)	Caudal aceite térmico (kg/s)
E-201	160	290	19.59
E-202	200	250	1,88
C-402B	230	280	108.9

Las siguientes calderas tratarán el aceite térmico de los siguientes equipos:

- CO-1001: E-201
- CO-1002: E-202(a partir de un intercambiador), C-402B
- CO-1003: E-202(a partir de un intercambiador), C-402B

Como se puede observar en la tabla X.4, el caudal de aceite térmico que necesita el equipo C-402B es bastante alta, por ello se opta por poner dos calderas en serie para esta corriente trabajando a saltos térmicos menores y así poder conseguir un mejor rendimiento de la máquina. Esta corriente crea un circuito primario que sirve de fluido calefactor para el equipo E-202, el cual necesita temperaturas de salida inferiores. Se consigue mediante un intercambiador de calor y así también se aprovecha mejor la energía.

Las calderas de aceite térmico son calentadores tipo serpentín de múltiples pasos con un funcionamiento de alta eficiencia. El fluido térmico circula en un serpentín calentado por la llama del quemador y esto produce los gases de combustión. Sobre el circuito de retorno, un vaso de expansión/desgasificador, atmosférico o cubierto con gas inerte, asegura la eliminación de aire de entrada, vapor y fracciones de luz antes de que el fluido térmico vuelva a entrar al calentador.

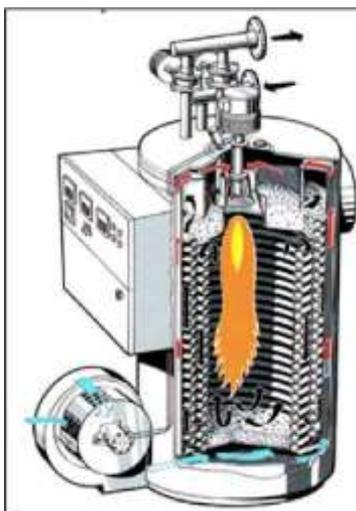


Figura 32: Caldera de aceite térmico

Para satisfacer las necesidades de aceite térmico a 280 y 290 °C se dispone de 3 calderas de la casa ATTSU, concretamente los modelos FT-6000, FT-7000 y FT-9000, con potencias térmicas de 6977, 8140, 10466 respectivamente.



Figura 33: Caldera de aceite térmico ATTSU

1.10.6. Estación de bombeo

En la planta se dispone de una piscina contra incendios subministrada a través de agua de red que abastecerá en caso de ser necesario todos los hidrantes distribuidos por la planta a través de tuberías subterráneas. Para abastecer dichos hidrantes se dispone de una estación de bombeo de la marca PENTAIR, concretamente el modelo NFPA 20

Diesel capaz de suministrar una presión de 9.5 atm. La estación de bombeo suministrará un caudal de 341 m³/h con una altura máxima de 98m.

1.10.7. Gas natural

El gas natural es una mezcla de gases compuesta principalmente por metano. Se trata de un gas combustible que proviene de formaciones geológicas, por lo que constituye una gran fuente de energía.

En la planta VAM industry el gas requerido viene dado por el consumo de las calderas de aceite térmico. El consumo de las calderas está detallado en el apartado de “manual de cálculo”, obteniéndose un total de 753.3 m³/h.

Para el suministro del gas natural, se dispone de una conexión a pie de parcela a media presión (1.5 kg/cm²) diseñado a partir de la normativa BOE núm 243.

1.10.8. Gas natural

El servicio de nitrógeno es imprescindible en la planta, para inertizar los tanques de almacenaje y los equipos. Además, en el proceso de producción de acetato de vinilo, concretamente en la zona del reactor, la composición de oxígeno es un factor importante a tener en cuenta, habiéndose diseñado para que la composición de este no supere el 8%, como medida de seguridad en caso que se rebasara el límite se añadiría una cantidad de nitrógeno para poder mantener las concentraciones y evitar posibles explosiones.

Cabe destacar que el consumo más importante de nitrógeno en fase líquida viene dado por el condensador C-402B de la columna de rectificación C-402, ya que al trabajarse con grandes caudales, tratándose de un condensador total para una mezcla que aun contiene mezcla de gases con muy bajas temperaturas de condensación, los valores de consumo de nitrógeno ascienden a 5.98·10⁵ kg/h.

Por este motivo se opta por abastecer la planta mediante tubería.

1.10.9. Electricidad

La energía eléctrica será el elemento necesario para el funcionamiento de los equipos, bombas, instrumentación, equipos electrónicos, iluminación de la planta, entre otras.

El consumo energético de la planta de los equipos más importantes está detallado en el apartado “manual de cálculo”, obteniéndose un consumo total de 494.1 kW.

Para satisfacer estas necesidades de electricidad se dispone de una conexión de 20 kV a pie de parcela que cuenta con una estación transformadora que reduce esta tensión a 380/220 V ya que la tensión que necesitan los equipos es pequeña; en caso contrario podrían estropearse. Las líneas de corriente eléctrica estarán hechas de cobre recubiertas de PVC, el cual servirá como aislamiento. Para las zonas clasificadas estarán recubiertas con una protección especial dependiendo de las condiciones de peligrosidad especificada.

Des de la estación transformadora se distribuirán las diferentes líneas trifásicas a toda la planta.

El diseño de la instalación eléctrica se ha hecho en base a la potencia requerida por cada equipo en cada zona, sobredimensionando el valor obtenido ya que en este proyecto hay zonas que no han sido diseñadas, por lo tanto no se dispone de datos exactos para el cálculo.

1.10.9.1. Estación transformadora

La planta VAM Industry cuenta con una estación transformadora de la casa GEDELSA S.A, concretamente el modelo 24kV, el cual es un transformador de distribución con aislante dieléctrico líquido para redes de hasta 24kV y una potencia de 630 kVA.



Figura 34: Transformador de distribución de 24 kV

1.10.9.2. Grupo electrógeno

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna.

La planta VAM Industry dispone de un grupo electrógeno en caso de cualquier avería en la red eléctrica. El grupo electrógeno tendrá que disponer de la potencia suficiente para asegurar la continuidad del suministro eléctrico a los equipos, la sala de control y todos los dispositivos necesarios para mantener la planta en operación.

Se elige el grupo electrógeno de la casa FGWilson, concretamente el modelo P715-3 con una capacidad eléctrica de 715 kVA.



Figura 35: Grupo electrógeno FGWilson P715-3