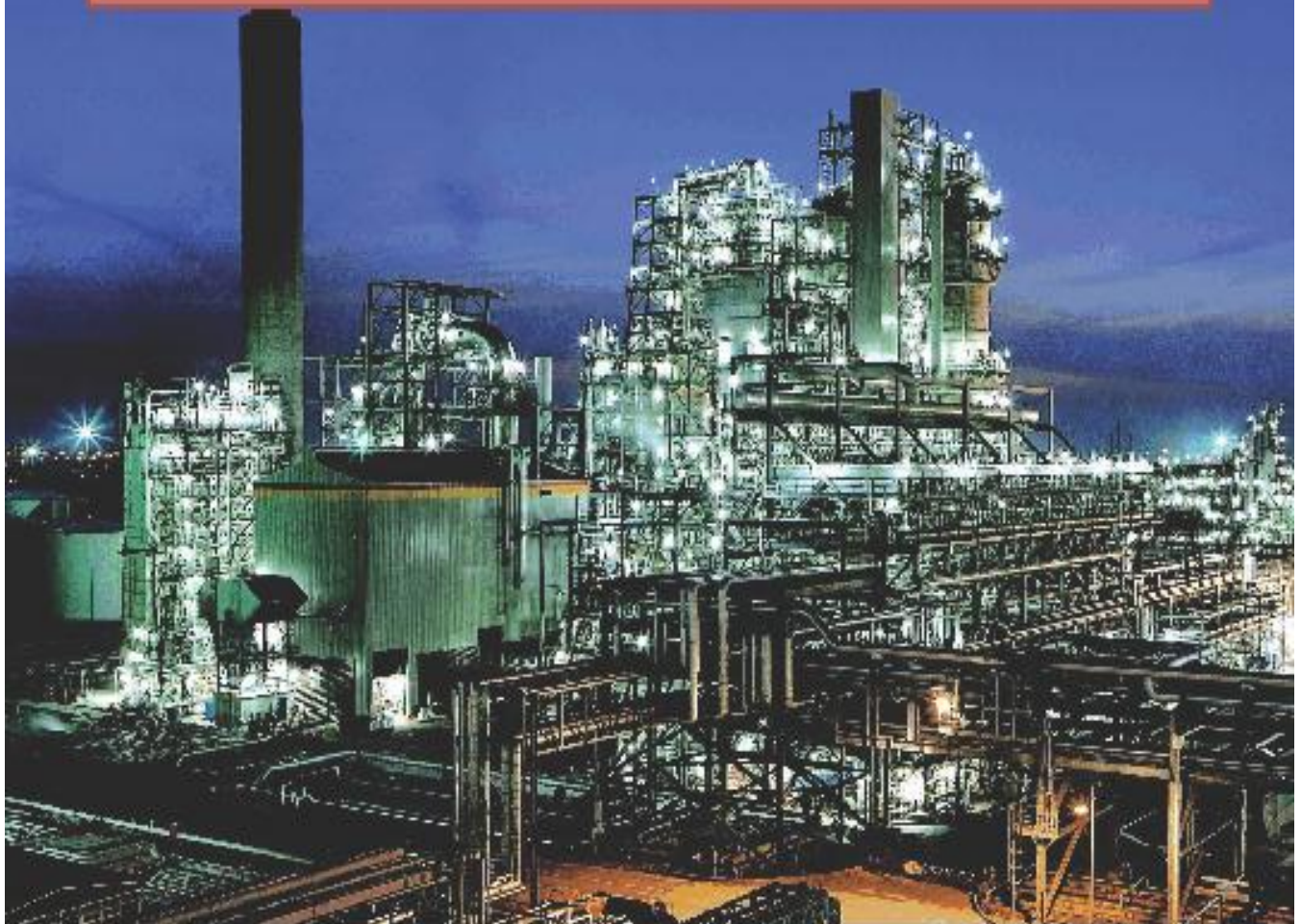


2012

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILO



Carolina Alonso Lara
Adrià Checa Aranda
Marc Giménez Soligó
Esther Martínez Font
Adela Paz Fernández

Tutor : Javier Lafuente Sancho

Agradecimientos

Agradecimientos de parte de todo el grupo:

En nombre de todo el grupo siete, nos gustaría señalar a ciertas personas que han sido un factor clave en el desarrollo de éste proyecto.

Estamos hablando de nuestro tutor, Javier Lafuente, cuya guía nos ha permitido avanzar sin grandes contratiempos, a Ángel Gil, por su ayuda desinteresada en darnos un repaso sobre AutoCAD, Catalina Cánovas, cuyos conocimientos y aportaciones sobre intercambio de calor fueron factores clave para el desarrollo de este proyecto, entre otros profesores que también han aportado su granito de arena para que este trabajo sea una realidad.

No podemos tampoco olvidarnos de gente como Javi, el tío de Carol, el cual nos proporcionó una ayuda inestimable a la hora de poder doblar los planos, de manera totalmente altruista. También queríamos mencionar al tío de Marc, Antonio, por su contribución en el ámbito de los servicios empleados en la planta, y a las compañeras de piso de Adela, por su paciencia y buen humor al tenernos ahí ocupando su salón, en medio de la temporada de exámenes, ya que sin un lugar de reunión tan fácilmente accesible y acogedor poner nuestros conocimientos en común habría sido una ardua tarea.

A Shakira, por su inestimable contribución con su música de gran calidad a hacer que nuestros tiempos más oscuros fueran un poco más claros, pudiéndose decir lo mismo de Desmadre 75. Saca el güisky, Cheli, que el proyecto al final ha acabado.

Finalmente, en un tono algo más serio, también agradecer encarecidamente la ayuda facilitada por otros grupos de proyecto, siempre dispuestos a compartir su información en tiempos de dificultades. Especialmente destacable es la contribución del grupo seis, Xavi, Irene, Sergio y Mar, los cuales nos ayudaron en todo momento y siempre estuvieron disponibles cuándo necesitamos de su ayuda. Muchas gracias, chavales!

MARC

Después de 48 horas sin dormir prácticamente, y pasarnos las últimas horas de la última noche dando formato a las tablas de la memoria, ya ha llegado la hora de decir... Que definitivamente estamos mal de la cabeza!!!! Y que por fin hemos acabado el proyecto!!!! Después de 4 meses de intensa faena y mucha cafeína (especialmente durante la última semana) por fin podemos decir que ya casi somos ingenieros químicos!!!!

Me gustaría hacer especial mención a mis padres y a Núria, por darme el apoyo necesario para superar los momentos difíciles y estar siempre a mi lado.

Otra mención muy especial va a mis compañeros del grupo 7, con los cuales he compartido muchísimas experiencias en estos 4 meses, y con los que solo me puedo quedar con buenos recuerdos. Muchas gracias a vosotros, Adela, Carol, Esther y Checa por haber sido tan buenos compañeros y por haber permitido que os conociera mejor durante el transcurso del proyecto. Es una experiencia que para mi ha sido muy enriquecedora y que seguro que no olvidaré por mucho tiempo que pase. Gracias a todos vosotros.

También me gustaría acordarme de la gente que ha estado a mi lado durante mi paso por la universidad y que espero que podamos seguir en contacto por mucho tiempo que pase. Gracias a Laia, Anabel, Dani y Gadea.

Por último, una mención a mi tío Antonio que nos ha ayudado enormemente en lo referente a los servicios de la planta, y se ha mostrado dispuesto siempre a ayudar en todo lo posible.

ESTHER

Llegados a este momento solo puedo pensar en una cosa: en una cerveza bien fresquita para celebrar que ya hemos terminado! Parecía muy largo el camino pero como todo, este proyecto también tiene un final. A mis compañeros de grupo decirles que he disfrutado mucho las mañanas, mediodías y tardes de trabajo junto a ellos, estos meses han estado llenos de buenos momentos y eso es en gran parte gracias a vosotros, gracias por ese pastel tan rico en mi cumpleaños. Agradecer a mi familia el apoyo recibido siempre, en especial a ti David por todas las noches de risas y las cenas, por tu paciencia en mis momentos de estrés. A mis compañeros de clase: Carol, Ana, Checa, Jordi, Xavi, Sílvia y Marc decir que han sido unos años de carrera geniales, que les voy a extrañar mucho el año que viene y que nos espera un viaje de final de carrera inolvidable. Agradecer el kebab de la última noche por proporcionarme uno de los paseos más extraños de mi vida, a ti por tu sonrisa de mañanas, a Jordi y Carol por animarme siempre a seguir y estar siempre a mi lado, espero no dejarme a nadie más...

ADELA

La verdad que no sé por dónde empezar, no me puedo creer que ya casi sea ingeniera química. Aún me acuerdo cuando empecé la carrera hace siete años, que pensaba que nunca iba a terminar, lo veía muy difícil, y sinceramente lo ha sido y mucho, pero gracias al apoyo de mucha gente, por fin he llegado hasta el final.

En primer lugar me gustaría agradecerse a toda mi familia, porque si no fuese por ellos, ni siquiera habría empezado la carrera, pero sin ninguna duda con especial mención a mi padre, a mi madre y a mi hermano, que siempre han estado ahí tanto en los momentos buenos como en los malos.

En segundo lugar al grupo 7, es decir mi grupo y el mejor de todos, la verdad que llegué aquí sin conocer a nadie, y el azar hizo que me tocara con cuatro personas increíbles, que además de ser mis compañeros de trabajo con los que he compartido agobios, estrés y risas sobre todo, ahora puedo decir que son mis amigos, y que gracias a ellos voy a recordar estos cuatro meses como una época muy buena de mi vida. Aunque el trabajo ha sido duro, lo hemos sabido llevar muy bien y he de decir que he aprendido mucho de cada uno de ellos, además de unas pequeñas dotes de catalá, “*como no diguis blat fins que sigui al sac y ben lligat*” y claro como no la mejor frase de todas y que nunca olvidaré, “*que pum*”, que aún hoy en día no sé en qué idioma es y ni si existe.

También se lo quería agradecer y mucho a Diego, porque puedo decir que es una de las pocas personas que me ha hecho desconectar y tranquilizar en mis momentos más críticos y probablemente la que más ha aguantado mis agobios y mi mal humor.

Y finalmente a todos mis compañeros de la XII promoción de ingeniería química de Santiago de Compostela, con especial mención a Elena, Candela, Carmen , Alba, Sara, Ricardo y Sofía.

Y también a mis compañeras de la resi, Tamara Cris, Ana , María y Carmen , y como no, a mis compañeros del Erasmus .

CAROL

¡Ya hemos acabado el proyecto! Después de los últimos cuatro meses de duro trabajo frente al ordenador; tras tediosas luchas con todos los programas habidos y por haber, durante las cuales a menudo te preguntabas si por algún motivo todas las fuerzas del mal se habían aliado solo para molestarte o si simplemente eras un completo inútil, por fin ya podemos decir que el proyecto está acabado.

Este trabajo me ha aportado muchas cosas, y la verdad es que ahora mismo me siento muy satisfecha por haberlo acabado, pero sobretodo me siento muy orgullosa de mis compañeros: Checa, Esther, Adela y Marc; sin los cuales todo esto no hubiese sido posible y que han hecho que esta difícil tarea esté llena de momentos divertidos y entrañables.

Quiero agradecerles también a mi familia y amigos por todo el apoyo y la ayuda que he recibido durante estos cinco años de carrera, en especial, a mis padres y mi hermano, por soportar todas mis crisis existenciales y por estar ahí siempre que los he necesitado. También quiero agradecerles a mi primo Javier y a mi tío Francisco Javier por toda la ayuda que me han brindado durante este proyecto, que me han facilitado mucho las cosas. Y también quiero darle las gracias a mi amiga Iris por su gran paciencia y por ayudarnos con la parte artística de nuestra empresa.

En estos agradecimientos no puedo olvidar tampoco a un grupo de siete grande personas que me han acompañado a lo largo de toda la carrera, que siempre me han ayudado y que me han aportado momentos geniales e inolvidables: Esther, Checa, Xavi, Ana, Silvia, Jordi y Marc.

Estoy segura de que me dejo por agradecer a mucha gente, pero ahora mismo solo tengo ganas de entregar este trabajo y tomarme un merecido descanso. ¡Muchas gracias a todos!

Bueno, me despido ya, con la ilusión de que dentro de unos días seré por fin Ingeniera y que me pondré tomar unas buenas vacaciones.

CHECA

Bueno, ya era hora! Tras cinco años de carrera y cuatro meses muy dificultosos pero a la vez en los que me he sentido altamente realizado, esto se acaba! No puedo pasar esta oportunidad para agradecer a toda mi familia el apoyo constante que me brindan por el mero hecho de estar ahí, especialmente, como es obvio, a mis padres, sin los que yo no estaría aquí, tanto físicamente como por el hecho de que han costeadado mi carrera y han aguantado mis mil y una impertinencias.

Mención aparte merecen todos aquellos que me han acompañado en este viaje de cinco años, todos mis compañeros de fatigas con los que he estudiado, trabajado, y sobre todo, reído. Entre ellos me merece destacar a todo mi grupo de proyecto, Carol, Esther, Adela, Marc. Sin ellos este trabajo no habría sido posible, o cuanto menos no habría sido posible con la gran cantidad de buenos ratos y momentos inolvidables que hemos vivido juntos. No podría haber caído en un grupo con tanta calidad personal y profesional ni en un millón de años! Pero sobre todo, en relación a mis compañeros de universidad, no puedo sino destacar a esas siete personas sin las cuales, sin un atisbo de duda, no habría llegado tan rápido y confortablemente dónde estoy, ni, por supuesto, en un ambiente tan genial y con tan buen rollo como el que hemos tenido durante estos 5 años. Ahí van los nombres:

Carol, Esther (repeees), Xavi, Jordi, Ana, Marc, Sílvia. Muchas gracias, sin vosotros hoy no estaría a punto de acabar una empresa tan importante como ésta, ya que vuestro apoyo y ayuda ha sido crucial desde el momento en que nos conocimos.

Finalmente no puedo dejar de agradecer a toda ésa gente ajena al proyecto que han puesto de su parte, aunque sea en pequeñas cantidades, para que éste proyecto llegue a buen puerto. Me refiero a gente como mi buen amigo Marcos sobretodo a Fernando y a D, por estar ambos siempre ahí, o mi perra (supongo), entre otros, los cuales ya saben quienes son (supongo)

En fin, dejémonos de ñoñerías, y despedámonos con un ¡Hasta lueeeeeego!

1. Especificaciones del proyecto

1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO	11
1.1.1. BASES DEL PROYECTO.....	11
1.1.2. ALCANCE DEL PROYECTO	11
1.1.3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	12
1.1.4. COMUNICACIONES	12
1.1.4.1. PUERTO DE TARRAGONA	12
1.1.4.2. ESTACIÓN DE TARRAGONA	15
1.1.4.3. RED DE ITINERARIOS PARA EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS.....	18
1.1.4.4. AEROPUERTOS.....	22
1.1.5. CLIMATOLOGÍA	23
1.1.5.1. CALIDAD DEL AIRE.....	24
1.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	26
1.2.1.- HISTORIA DEL ACRILONITRILO.....	26
1.2.2.- REACCIONES ALTERNATIVAS A LA PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILO	26
1.2.2.1.- PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILO A PARTIR DE LA CIANOHDIRINA DE ETILENO	26
1.2.2.2.- PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILO A PARTIR DE ACETILENO Y ÁCIDO HIDROCIANHÍDRICO.....	27
1.2.2.3.- PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILO A PARTIR DE OTROS COMPUESTOS	28
1.2.2.4.- PROCESOS FUTUROS	28
1.2.3.- PROCESO SOHIO PARA LA PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILO.....	28
1.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DEL PROCESO.....	30
1.3.1. ACRILONITRILO.....	30
1.3.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS.....	31
1.3.1.2. PROPIEDADES QUÍMICAS.....	36
1.3.2. ÁCIDO CIANHÍDRICO (CIANURO DE HIDROGENO).....	38
1.3.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS.....	38
1.3.2.2. PROPIEDADES QUÍMICAS.....	40
1.3.3. ACETONITRILO.....	41
1.3.3.1. PROPIEDADES FÍSICAS.....	41
1.4. ESTUDIO DE MERCADO	43
1.4.1. ANTECEDENTES.....	43
1.4.2. EL MERCADO EN LA ACTUALIDAD.....	45

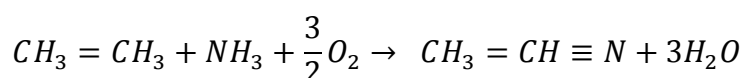
1.4.3. EL MERCADO EN EL FUTURO.....	46
1.4.4. APLICACIONES Y USOS	47
1.5. CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA	48
1.5.1. ÁREAS DE LA PLANTA.....	48
1.5.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA PLANTA POR ÁREAS	49
ÁREA 200: ZONA DE REACCIÓN.....	50
ÁREA 300: ZONA DE LAVADO DE GASES.....	50
ÁREA 400: ZONA DE EXTRACCIÓN	50
ÁREA 500: ZONA DE PURIFICACIÓN	51
ÁREA 600: ZONA DE SERVICIOS.....	51
ÁREA 700: ZONA DE TRATAMIENTO	51
ÁREA 900: ZONA DE PRODUCTO ACABADO	51
ÁREA 1300: ZONA DE SERVICIOS ESPECIALES.....	52
1.5.2. ABREVIATURAS.....	52
1.6. BALANCE DE MATERIA	55
1.7. ESPECIFICACIONES I NECESIDADES DE SERVICIOS EN LÍMITE DE PLANTA.....	59
1.7 SERVICIOS DE LA PLANTA	59
1.7.1 AGUA DE RED	59
1.7.2 AGUA DESCALCIFICADA.....	59
1.7.3 AGUA DE REFRIGERACIÓN	61
1.7.4 AGUA DE CHILLER.....	63
1.7.5 GAS NATURAL.....	66
EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ACRILONITRILLO SE DISPONE DE UNA CONEXIÓN A PIE DE PARCELA A MEDIA PRESIÓN (1,5 KG/CM ²) DE GAS NATURAL.....	66
ESTE SERVICIO DE UTILIZA PARA ALIMENTAR EL QUEMADOR DE LA CALDERA (3000 M ³ /H) Y PARA EL INCINERADOR CATALÍTICO (7 M ³ /H) QUE SE ENCUENTRA EN EL ÁREA 700 (A-700).	66
1.7.6 NITRÓGENO.....	66
1.7.7 ELECTRICIDAD	72
1.7.7.1 POTENCIA TOTAL REQUERIDA EN PLANTA.....	82
1.7.7.2 ESTACIÓN TRANSFORMADORA.....	86
1.7.8. CALDERA DE VAPOR.....	88
1.8. PERSONAL DE LA PLANTA	95

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1.1. Bases del proyecto

El objetivo de este proyecto es el diseño de una planta química de producción de acrilonitrilo partiendo de amoníaco y propileno, mediante el proceso Sohio.



La realización de este proyecto se centra en el estudio de la viabilidad técnica y económica de la planta a diseñar, así como a realización de los diseños (mediante cálculos y dimensionamiento) de los equipos que la componen (se incluyen los diagramas de proceso, y los planos de ingeniería y implantación oportunos). En este proceso también se contemplan la puesta en marcha y la operación en estado estacionario de la planta.

Además, la planta deberá cumplir con la normativa y la legislación vigentes, y también se deberán las especificaciones de medio ambiente y seguridad necesarias.

La planta de producción de acrilonitrilo deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- **Capacidad** □ 45.000 Tm/año
- **Funcionamiento** □ 300 días/año de producción (Se tienen que acordar las paradas de planta y mantenimiento)
- **Presentación del producto** Líquido fundido para llenar cisternas a granel

1.1.2. Alcance del proyecto

El diseño incluye las siguientes partes:

- Diseño y especificaciones de todas las unidades de reacción, así como de los equipos implicados en la recuperación y la purificación del acrilonitrilo.
- Realización de los planos de implantación e ingeniería de la planta y el diagrama de flujo del proceso realizado.
- Diseño y especificaciones relativas a los equipos implicados en el tratamiento medio ambiental de la planta.
- Estudio de las especificaciones relativas a la seguridad e higiene en la planta que deben ser cumplidas.
- Estudio de la viabilidad y rentabilidad económica de la planta a diseñar.

- Puesta en marcha y operación de la planta química realizada.

1.1.3. Localización de la planta

El proyecto se sitúa en el polígono industrial “Compositors”, que se encuentra en término municipal de Tarragona. La parcela tiene una superficie de 53.235 m². La parcela debe cumplir con las siguientes especificaciones urbanísticas:

Tabla 1.1.1. Especificaciones urbanísticas del terreno

Edificabilidad	2 m ² techo / m ² suelo
Ocupación máxima de la parcela	80 %
Ocupación mínima de la parcela	25 % de la superficie de ocupación máxima
Retranqueos	5 m a viales y vecinos
Altura máxima	15m y 3 plantas (excepto en producción justificando la necesidad por el proceso)
Altura mínima	4 m y 1 planta
Aparcamiento	1 plaza / 200 m ² construidos
Distancia entre edificios	1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5m

1.1.4. Comunicaciones

1.1.4.1. Puerto de Tarragona

El puerto de Tarragona es considerado uno de los principales del Mar Mediterráneo y ocupa una posición destacada entre los puertos de todo el planeta.

Está localizado en los 41° 5' de latitud norte y 1° 14' de longitud este. Posee un canal de entrada con 250 metros de anchura, una longitud de 1.050 metros y una profundidad

de 20 metros de calado, siendo el puerto de mayor calado de toda España, lo que hace posible que los más grandes buques y barcos puedan arrimar en sus dársenas.

Abarca una superficie general de 16.000.000 m², de los cuales 42.500.000 m² son de agua, perteneciendo de estos últimos 3.918.200 m² a la parte interior del puerto. La parte terrestre ocupa 3.278.260 m² de extensión territorial de las cuales 11.250 m² corresponden a sus 97 atracaderos y muelles.

Dispone de un servicio de remolque que cuenta con 7 remolcadores con una potencia que va desde los 2.500 hasta los 5270 HP. También dentro de sus instalaciones brindan su servicio 11 rampas tipo Ro-Ro., dársenas comerciales, almacenes, grúas, entre otros.

Los servicios portuarios del Puerto Comercial de Tarragona cuentan además con los servicios de contenedores, mercancía de categoría general y *short sea shipping*, que lo enlazan con el resto de los puertos del planeta.

Por otra parte, la accesibilidad interna terrestre del puerto está garantizada a través del Eje Transversal y las tradicionales entradas del muelle de Levante y el Serrallo, por una red de viales que permiten circular con facilidad a los vehículos rodados y por una red ferroviaria de 35 km que posibilita la llegada del tren a todos los muelles y explanadas. (Memoria corporativa Puerto de Tarragona, 2009)

En referencia a las comunicaciones terrestres, el Puerto de Tarragona está conectado a través de su Eje Transversal a toda la red viaria. Las autopistas A-7 y A-2, las autovías A-7 y T-11, las carreteras estatales N-241, N-240 y N-340 conforman un conjunto viario que conecta el puerto con el resto del territorio (figura 1.1). La autovía A-27, que unirá el Puerto de Tarragona con la población de Montblanc y las tierras de poniente, y la puesta en funcionamiento del tren de alta velocidad, AVE, (ancho europeo) y la Estación del Camp o el nuevo trazado del corredor mediterráneo mejorarán la accesibilidad del puerto de Tarragona.

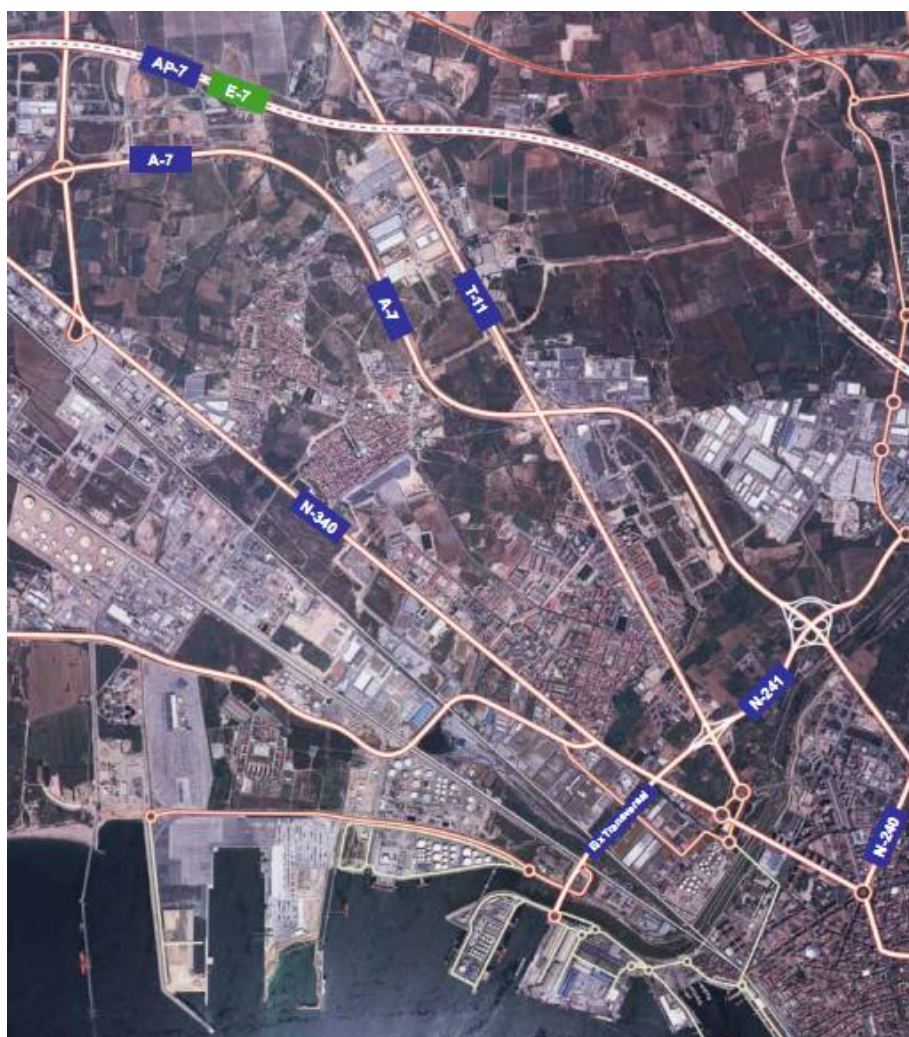


Figura 1.1.1. Imagen del Puerto de Tarragona con los distintos accesos terrestres que dispone.

Finalmente, cabe mencionar que el aeropuerto de Reus, a 8 km de Tarragona, y el aeropuerto del Prat (Barcelona), a 82 km, son dos infraestructuras que completan las comunicaciones del Puerto con su hinterland ("tierra posterior", en alemán, es una región o distrito interno situado tras un puerto o río, donde se recogen las exportaciones y a través del cual se distribuyen las importaciones).

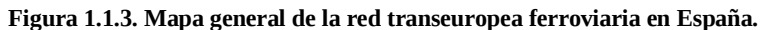


Figura 1.1.2. Mapa de las comunicaciones del puerto de Tarragona con los diferentes aeropuertos y redes ferroviarias.

1.1.4.2. Estación de Tarragona

La estación de Tarragona está situada al lado del Puerto de Tarragona. Dispone de 7 vías con andén que son usadas por trenes regionales y de largo recorrido. A causa de su situación tiene un gran tráfico de mercancías proveniente del puerto, por lo que cuenta con una estación de mercancías y varias vías para estacionar trenes. Los trenes de Alta Velocidad no circulan por esta estación, sino que lo hacen por la estación de Camp de Tarragona situada a unos 10km de Tarragona.

Los cinco corredores transeuropeos de España, son el Corredor Mediterráneo, el Atlántico, el Central, el Cantábrico-Mediterráneo y el Atlántico-Mediterráneo. De ellos, los dos primeros serán prioritarios ya que pertenecen a ejes ferroviarios a nivel europeo.



Por lo general, todas las líneas serán intermodales (permitirán tráfico de viajeros y mercancías) salvo en donde no sea posible por tratarse de una LAV (Línea de Alta Velocidad) construida sólo para viajeros. No obstante, todas deberán de contar con criterios de interoperabilidad; es decir, ancho internacional y el sistema ETCS (ERTMS y GSM-R). Para ello será necesaria la construcción de nueva infraestructura o la adaptación de las líneas convencionales, en principio con la instalación de un tercer carril.

Utilizará en su mayor parte infraestructura de nueva construcción, salvo en Andalucía, en donde se adaptarán algunas de las líneas ya existentes.

El corredor Mediterráneo que une Tarragona-Portbou permite la conexión con Europa (Vintimiglia, Metz, Angola-Antwerpen).



Figura 1.1.4. Mapa del Corredor Mediterráneo y sus conexiones.



Figura 1.1.5. Mapa de la red ferroviaria en España que incluye las longitudes máximas de los trenes de mercancías.

1.1.4.3. Red de itinerarios para el transporte de mercancías peligrosas.

La regulación de las comunicaciones terrestres para el transporte de mercancías peligrosas en Tarragona está gestionada por la Generalitat de Catalunya (Resolución de regulación del tráfico para las carreteras de Cataluña durante el 2012) que al igual que en Euskadi, no es competencia del Estado Español.



Figura 1.1.6. Red de Itinerarios para Mercancías Peligrosas de España

La red de itinerarios obligatorios que tienen que seguir los vehículos de transporte de mercancías peligrosas en Catalunya (RIMP o XIMP en catalán) está constituida por:

- Autopista AP-2.
- Autopista AP-7.
- Carretera C-58 y C-16, desde Cerdanyola del Vallès, enlace con la AP-7, hasta Manresa, y viceversa.
- Carretera N-240/A-22, desde el enlace de la autovía A-2 hasta el límite provincial con Huesca.
- Carretera N-241, en toda su extensión.
- Carretera C-44, desde el PK 1,000 (enlace 38 L'Hospitalet de l'Infant) al pk 26,500 (Móra la Nova, enlace con la C-12).
- Carretera C-12 desde el pk 60,600 (enlace con la C-44) hasta el enlace con la N-420 (Móra d'Ebre).

Red de rutas concretas

- De la autopista AP-7 a Flix y viceversa: Por la C-44 y C-12.
- De la autopista AP-2 a Flix y viceversa: Por la C-12.

En ningún caso, para enlazar Lleida y Tarragona se puede utilizar el itinerario por las carreteras C-12 y C-44, es necesario circular por la AP-2 y la AP-7.

- Para dar continuidad a la ruta entre Flix y la AP-2 (por la C-12), y que a la vez comunique la autopista AP-2 con los dos principales polígonos industriales de Lleida, se establece la siguiente ruta: AP-2 peaje de Lleida, enlace con LL-12 (antigua N-236), continuación por la C-13, enlace con N-240 hasta polígonos industriales «Els Frares» y «El Segre» y viceversa.
- Autovía A-2, desde el enlace con la A-22/N-240 (salida 458 de la autovía A-2/pk 458+600 aproximadamente) hasta Cornellà (Nudo del Llobregat) y viceversa, teniendo en cuenta la prohibición de circulación por el túnel del Bruc donde se tendrá que realizar por el Coll del Bruc. Esta ruta permitirá el transporte de mercancías peligrosas entre Cornellà y Lleida, como origen y destino, como máximo, siempre que se pueda documentar de forma suficiente.

Red RIMP específica para la zona de Tarragona

1. Vías restringidas total o parcialmente a la circulación de vehículos o conjunto de vehículos en régimen ADR.
 - N-240 en toda su extensión.
 - N-340 en toda su extensión, salvo el tramo del pk 1.157,000 hasta el enlace con la
 - A-7, pk 1154,500.
 - A-7, desde su inicio provisional, L'Almadrava, pk 1121,600, hasta su final provisional (enlace sin solución de continuidad) La Mora, pk 1.171, salvo el tramo entre los enlaces con la carretera C-14 y la carretera N-241, pk 1151, 200 al pk 1.160,900. N-420 entre los enlaces con la C-12 y su final (inicio de la T-11 enlace sin solución de continuidad), pk 824,700 a 868,999. C-31B entre su inicio (rotonda con C-14 pk 0) y el enlace con la TV-3148, pk 0 a 5,400 y los enlaces con el polígono industrial Entrevies y su final (N-340 pk 1.159,500), pk 9,500 a 10,380. C-12 desde su inicio (N-340 pk 1.080,200) hasta el cruce con la C-44, pk 0 a 60,600.
 - C-14 en toda su extensión, salvo el tramo de autovía variante de Reus y sus enlaces con las T-11 y N-420.
 - T-11 (anteriormente N-420, que no es autovía en toda su extensión), entre los accesos a la A-7 y la rotonda con la calle Carretera Vieja de Valencia (N-340a), pk 15,200 a pk 18,300.
 - N-340a, calle Carretera Vieja de Valencia, de la zona urbana de Tarragona, en toda su extensión.

- TV-7211 entre los pk 5,500 (aprox.) enlace con el polígono industrial Constantí, y pk 7,800 (aprox.) rotonda de enlace con la carretera T-721.
- TV-7211 entre la dos rotondas de enlace con la carretera T-721, pk 7,800 y pk 9,200.

Esta prohibición se aplica a los siguientes vehículos: camiones cisterna y articulados cargados con productos que en su código de peligro figuren los números de identificación de peligro 2 y/o 6 y/o la combinación «33» (en cualquier posición) o la letra «x». Vehículos transportando contenedores cuando la cantidad del producto transportado supere los límites indicados en el apartado 1.10.5 del vigente ADR o que en el código de peligro del producto figuren los número de identificación de peligro 2 y/o 6 y/o la combinación «33» (en cualquier posición) y/o la letra «x». Y cualquier tipo de vehículo que transporte mercancías de las clases 1 o 7.

- C-44 entre los enlaces con la N-340 y los enlaces 37 de la autopista AP-7.
 - C-422 entre la rotonda de enlace con TP-7225 y la rotonda de enlace con C-14, pk 9 (aprox.) a pk 11,970.
 - TP-7225 entre la rotonda de enlace con C-422 pk 4,900 (aprox.) y su final.
 - TV-3022, El Perelló-Rasquera, en toda su extensión.
 - TV-7222 en toda su extensión.
2. Hay tres grupos de itinerarios obligatorios de acuerdo con las diferentes localizaciones (el polígono industrial en el que se encuentran) de las empresas existentes en la provincia, así como por los destinos fuera de estas. (BOE-A-2012)

Planta de producción de acrilonitrilo

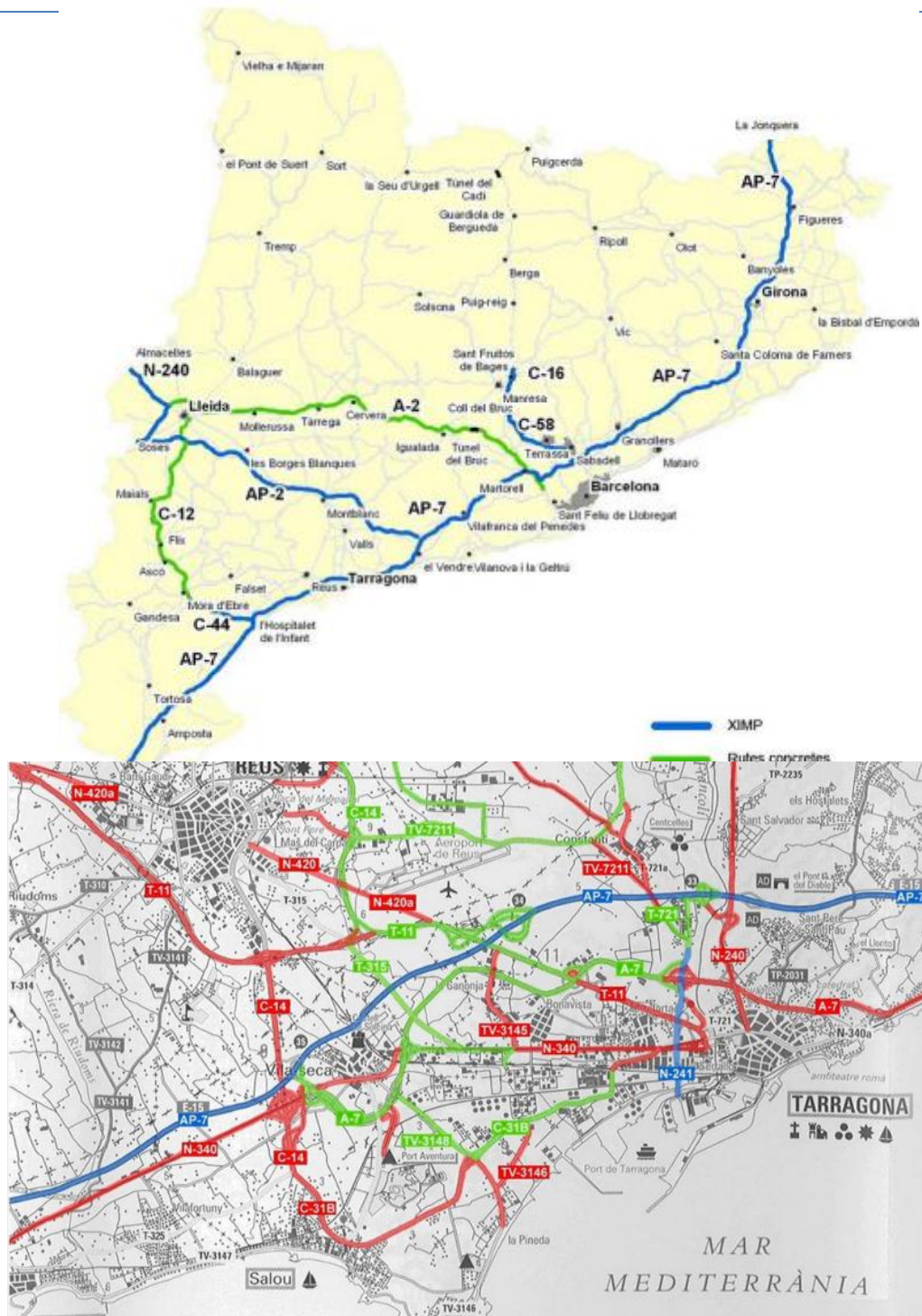


Figura 1.1.7. Red de Itinerarios para Mercancías Peligrosas en Cataluña.

1.1.4.4. Aeropuertos

En Tarragona para el transporte aéreo de mercancías, tanto a nivel nacional como internacional, se emplean el aeropuerto de Reus, a 8 km de Tarragona, y el aeropuerto del Prat (Barcelona), a 82 km, aunque también es utilizado para esta actividad, en menor medida, el aeropuerto de Girona (figura 1.2).

La Generalitat de Cataluña pretende mediante el pacto nacional para las infraestructuras que los aeropuertos coordinen las acciones para convertir-se en grandes centros de concentración y distribución de cargas, ampliando su área de influencia, su hinterland, al conjunto de la península Ibérica, a la Euro-Región y al corredor central europeo.

Para ello la Generalitat de Cataluña ha puesto en marcha las siguientes acciones:

- Gestión, promoción y mejora del aeropuerto de Barcelona.
- Traspaso y mejora de los aeropuertos de Girona y Reus.
- Compleción de la red de aeropuertos de Cataluña con la construcción del aeropuerto de Lleida-Alguaire.
- Mejora del acceso a los aeropuertos en transporte colectivo.

Cabe destacar que para la industria química destinada a la producción de productos de bajo valor añadido, la presencia de aeropuertos en las proximidades no es demasiado importante.

1.1.5. Climatología

La planta de producción de acrilonitrilo se encuentra en Tarragona, un municipio perteneciente a la comarca del Tarragonès. Esta comarca presenta un clima Mediterráneo Litoral Sud. Este tipo de clima presenta precipitaciones irregulares pero escasas a lo largo del año. Siendo otoño la estación más lluviosa y verano la menos.

Las heladas son de baja frecuencia concentrándose en los meses de invierno, siendo considerado el resto del año libre de heladas. Como rango térmico general de la comarca se contemplan: inviernos moderados y veranos calurosos.

A continuación se presenta la figura 1 donde se aprecia tanto la temperatura media (TMm) como la precipitación acumulada (PPT) durante el año 2010. Y la tabla 1, donde se muestra un resumen de los datos climatológicos del año 2010. Estas pretenden dar una visión más clara del tipo de clima de la comarca.

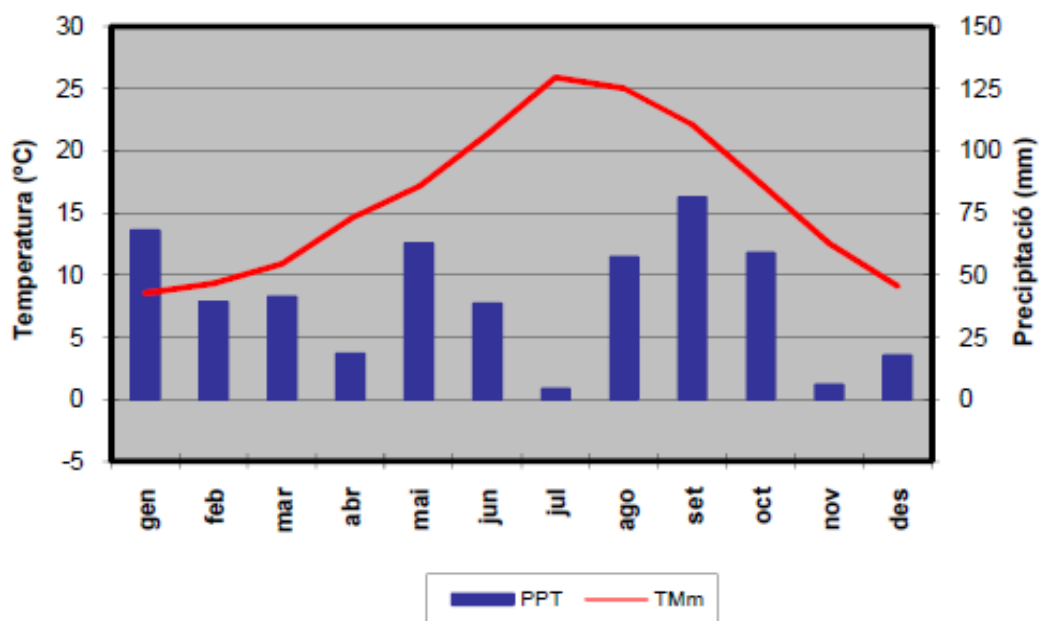


Figura 1.1.8. Temperatura media y precipitación acumulada para la comarca del Tarragonès durante el 2010.

Planta de producción de acrilonitrilo
Especificación del proyecto

Tabla 1.1.2. Resumen de los datos climatológicos de la comarca del Tarragonès del año 2010

Precipitación acumulada	490.8 mm
Temperatura mediana	16.2 °C
Temperatura máxima mediana	21.2 °C
Temperatura mínima mediana	11.6 °C
Temperatura máxima absoluta	39.9 °C
Temperatura mínima absoluta	-2.8 °C
Velocidad mediana del viento (a 10m)	2.5 m/s
Dirección dominante (a 10m)	N
Humedad relativa mediana	66%

1.1.5.1. Calidad del aire

Tarragona se encuentra dentro de la zona de calidad del aire 4. Camp de Tarragona. De esta zona se conocen los datos referentes al año 2010, éstos son los que se muestran en la tabla 1.2.

Tabla 1.1.3. Datos sobre la calidad de aire en la zona de Tarragona

	Valor medio anual de concentración	Límite legislación vigente	Punto de toma de medidas
Arsénico (As)	0.5 ng/m ³	6 ng/m ³ *	Vila-seca

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

Benceno (C₆H₆)	1.8 µg/m ³	5 µg/m ³	Universitat laboral
Cadmio (Cd)	0.1 ng/m ³	5 ng/m ³ *	Vila-seca
Cloro (Cl₂)		50 µg/m ³ **	
Cloruro de hidrogeno (HCl)		50 µg/m ³ **	
Dióxido de azufre (SO₂)		20 µg/m ³	Vila-seca
Monóxido de carbono (CO)	0.3 mg/m ³	10 mg/m ³	Universitat laboral
Níquel (Ni)	5.8 ng/m ³	20 ng/m ³ *	Vila-seca
Óxidos de nitrógeno (NO_x)	22 µg/m ³	30 µg/m ³	Vila-seca
Ozono (O₃)	56 µg/m ³	120 µg/m ³	Vila-seca
Plomo (Pb)	4.7 ng/m ³	500 ng/m ³	Vila-seca
Sulfuro de azufre (H₂S)	1.7 µg/m ³	40 µg/m ³ **	Vila-seca
Partículas en suspensión diámetro inferior a 10 micras (PM10)	27 µg/m ³	40 µg/m ³	Vila-seca

Partículas en suspensión diámetro inferior a 2.5 micras (PM2.5)	16 µg/m ³	28.6 µg/m ³	Vila-seca
--	----------------------	------------------------	-----------

*Valor límite objetivo para el 2013

** Valor medio límite diario

Los puntos de toma de medidas que se observan en la tabla 2, han sido escogidos por ser los más semejantes a la situación de la planta que se describe en este proyecto.

1.2.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

1.2.1.- Historia del acrilonitrilo

El acrilonitrilo fue sintetizado por primera vez en 1893, por Charles Moueru. Este químico francés consiguió sintetizar el acrilonitrilo juntamente con otros compuestos, por deshidratación de la acrilamida o de la cianohidrina de etileno con un pentaóxido de fósforo. Aunque este compuesto no fue importante hasta 1930; cuando la industria empezó a usar éste producto en nuevas aplicaciones tales como en las fibras acrílicas para la industria textil y la producción de caucho sintético.

Aunque a finales de los años 40, la utilidad del acrilonitrilo fue cuestionado, porque los métodos de manufactura eran muy caros, i multietapa; por lo que parecía un proceso reservado para las empresas más punteras del mundo (American Cyanamid, Union Carbide, Dupont y Monsanto). Debido a éstos elevados precios, el acrilonitrilo podría haber quedado como un producto de química fina, con aplicaciones muy limitadas.

Pero a finales de los años 50; la investigación llevada a cabo por Sohio en la oxidación catalítica selectiva, supuso un gran avance en la fabricación de acrilonitrilo. La gente que inventó, desarrolló y comercializó el proceso, mostró una gran habilidad tanto en marketing, como en química. El resultado fue una reducción drástica de los costos de producción con respecto a los otros procesos de producción de acrilonitrilo, que hasta el momento era sintetizado a partir del acetileno (y que se convertiría en obsoleto en poco tiempo).

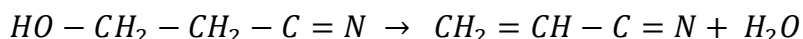
1.2.2.- Reacciones alternativas a la producción de acrilonitrilo

1.2.2.1.- Producción de acrilonitrilo a partir de la cianohidrina de etileno

Alemania y los Estados Unidos, fueron los primeros países que produjeron acrilonitrilo a escala industrial a principio de los años 40. Estos procesos estaban basados en la

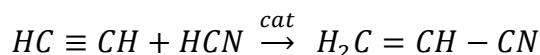
deshidratación catalítica de la cianohidrina de etileno (que se producía a partir del óxido de etileno y el ácido hidrocianhídrico a 60°C y un catalizador básico). El intermedio era deshidratado en una fase líquida a 200°C en presencia de carbonato de magnesio i álcali, o con sales básicas de ácido fórmico.

Una ventaja de este proceso es que genera pocas impurezas, aunque no era un proceso competitivo. American Cyanamid y Union Carbide cerraron plantas basadas en esta tecnología en los años 60.



1.2.2.2.- Producción de acrilonitrilo a partir de acetileno y ácido hidrocianhídrico

Antes del desarrollo del proceso de oxidación del propileno con amoníaco, una de las mayores rutas de producción de acrilonitrilo era una adición catalítica de ácido hidrocianhídrico al acetileno.



La reacción comercial, se llevaba a cabo a unos 80°C en una disolución de ácido clorhídrico que contenía cloruro de cobre. El acetileno que no había reaccionado, era reciclado. La conversión en éste proceso era correcta, aunque los reactivos eran relativamente caros, y se producían algunas impurezas no deseadas (divinilacetileno, y metilvinilcetona); que eran difíciles de eliminar y el catalizador requería de regeneraciones muy frecuentes. Éste proceso fue utilizado por Dupont, American Cyanamid y Monsanto utilizaron este proceso hasta 1970.

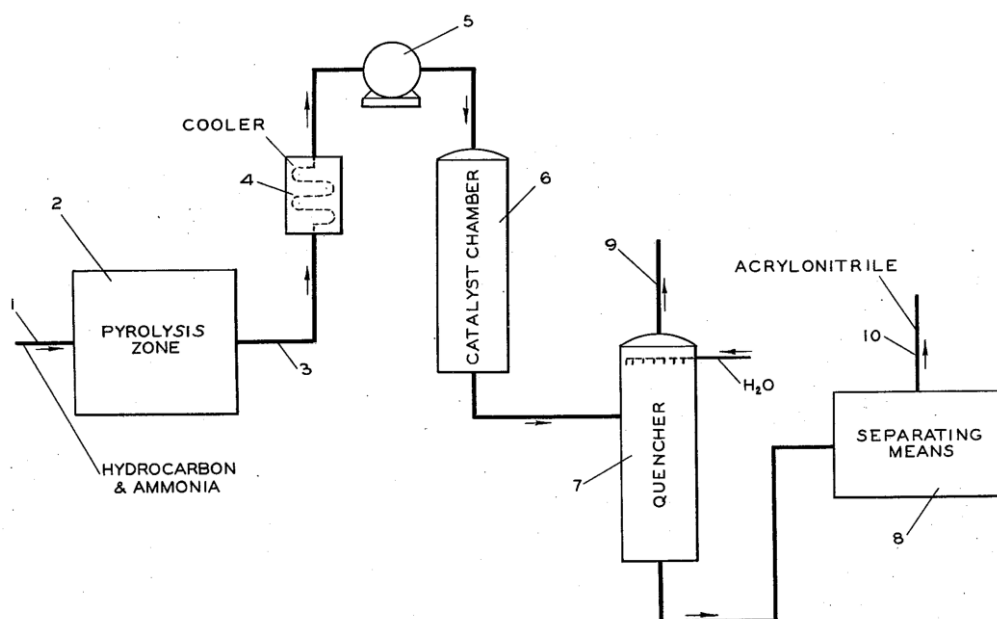
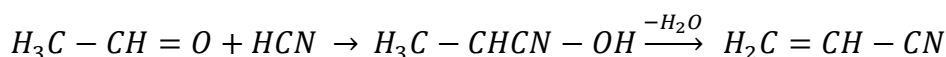
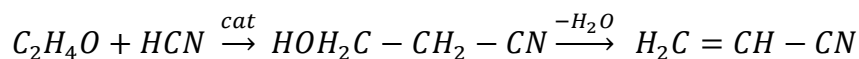


Figura
a

1.2.1. Proceso de producción de acrilonitrilo partiendo de acetileno.

1.2.2.3.- Producción de acrilonitrilo a partir de otros compuestos

Se han intentado muchos más procesos para producir acrilonitrilo, incluyendo la nitrificación del propileno, la amoxidación de propionaldehído, o la reacción del ácido cianhídrico y el acetaldehído. Ninguno de éstos procesos ha conseguido un estatus comercial de los procesos que se han descrito anteriormente.

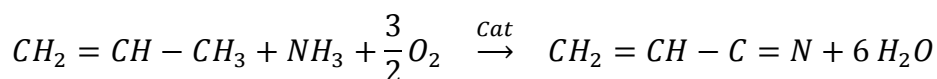


1.2.2.4.- Procesos futuros

Actualmente se están probando otros reactivos como posibles alternativas a los precursores del acrilonitrilo. El etileno, el propano y el butano reaccionan con el amoníaco a elevadas temperaturas (750-1000°C) para obtener acrilonitrilo. Algunas empresas como Monsanto, Dupont i ICI han desarrollado un proceso de amoxidación catalítica basado en el propano. El propano tiene un interés particular porque tiene una ventaja de coste con respecto al propileno. Aunque, esta diferencia de precios no es la suficiente para producir un cambio en el proceso de producción. También se han obtenido a escala laboratorio elevadas conversiones de acrilonitrilo partiendo el etileno, el ácido cianhídrico con oxígeno y un catalizador de paladio.

1.2.3.- Proceso Sohio para la producción de acrilonitrilo

En el proceso Sohio, el propeno, el oxígeno (que proviene del aire) y amoníaco producen una conversión catalítica directa hacia el acrilonitrilo usando un lecho fluidizado operado a temperaturas entre 400°C y 500°C y a unas presiones de entre 30 KPa y 200 KPa (0,3-2 bar).



Aproximadamente las cantidades estequiométricas de los reactivos iniciales se pasan a través del reactor con un tiempo de residencia de unos pocos segundos. El proceso es altamente selectivo, y no requiere una recirculación para producir una elevada conversión de producción a acrilonitrilo (entre el 0,8-0,9 Kg de acrilonitrilo por cada Kg de propileno). El calor liberado en la reacción puede ser recuperado como vapor a elevada presión (usando un intercambiador de calor dentro del reactor).

El catalizador usado en los primeros procesos Sohio era una combinación de bismuto y fosfomolibdato. Desde entonces se han realizado multitud de investigaciones relacionadas con el catalizador con el objetivo de encontrar alternativas a éste catalizador que permitan obtener mayores conversiones, que han resultado en más de treinta patentes de diferentes compañías. Sohio introdujo el catalizador 21 (Antimonio y

uranio) en 1967; el catalizador 41 (ferrobismuto i fosfomolibdato) en 1972; i el catalizador 49 (no se dispone de la composición) en 1978. Todos estos cambios fueron introducidos para mejorar la eficiencia y la reducción de los subproductos.

El efluente del reactor es enfriado y tratado con agua en absorbedor en contracorriente. El gas saliente, que consiste mayormente en nitrógeno, es ventilado. Los productos de la reacción quedan en solución acuosa. El acetonitrilo es eliminado con una destilación extractiva. El acrilonitrilo crudo y el ácido cianhídrico son destilados y extraídos por la parte alta de la columna, y el agua y el acetonitrilo son eliminados por la parte baja de las columnas. En las siguientes destilaciones, el ácido cianhídrico es separado del acrilonitrilo húmedo. El contenido en agua es reducido y finalmente se eliminan las impurezas no volátiles.

Los subproductos mayoritarios de este proceso son el ácido cianhídrico y el acetonitrilo, normalmente son incinerados, ya que hay un exceso de producción con relación a las cantidades demandadas. El amoníaco que no se ha usado puede ser recuperado como sulfato de amonio que después es precipitado; aunque normalmente es expulsado a la atmósfera. Los residuos acuosos que contienen cianitas, sulfatos y algunos subproductos orgánicos deben ser incinerados o pretratados para un tratamiento biológico posterior.

Sohio process

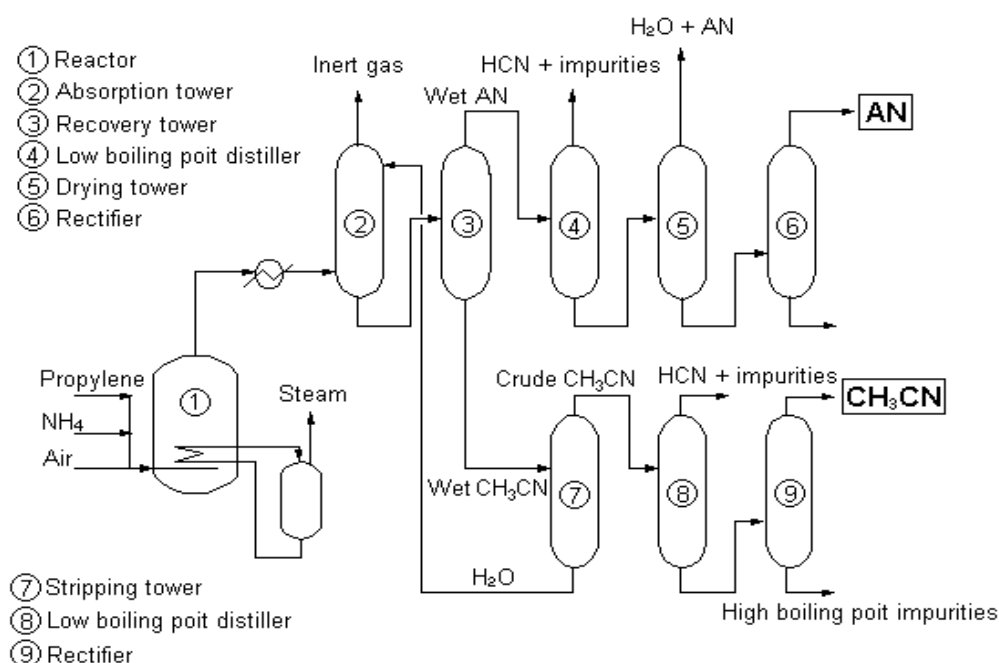


Figura 1.2.2. Esquema del proceso Sohio para la producción de acrilonitrilo

1.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DEL PROCESO

1.3.1. Acrilonitrilo

El acrilonitrilo es un líquido de incoloro a amarillo pálido y volátil. Puede disolverse en agua y se evapora rápidamente. Es una molécula insaturada que tiene un doble enlace conjugado carbono-carbono con un grupo nitrilo. Es polar debido a la presencia del heteroátomo de nitrógeno. Su estructura molecular se presenta en la Figura 1.11.

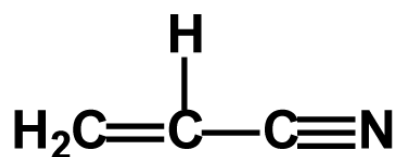


Figura 1.3.1. Estructura molecular del acrilonitrilo

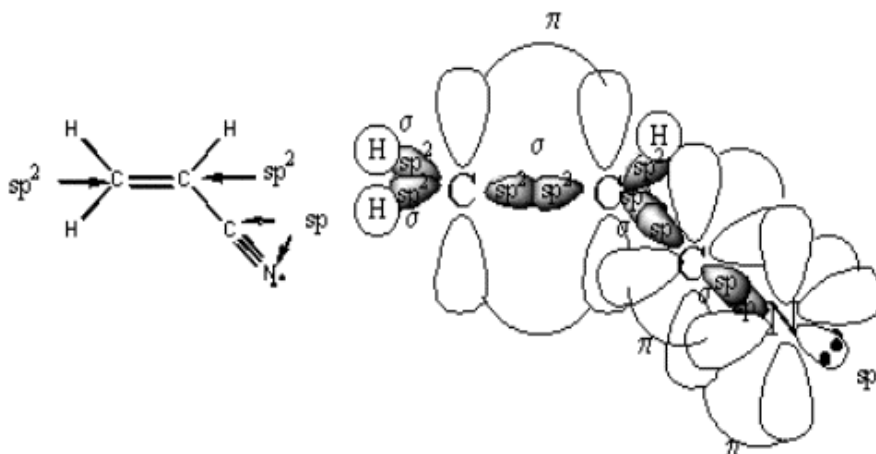


Figura 1.3.2. Estructura de Lewis del acrilonitrilo

Hay una atracción de los electrones de enlace hacia el átomo de nitrógeno, átomo más electronegativo, tal como se representa por las estructuras de resonancia en la figura 3.

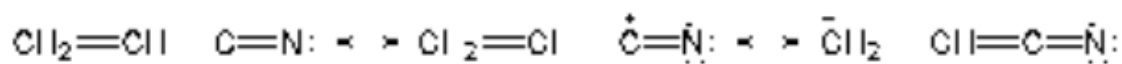


Figura 1.3.3. Estructuras de resonancia del acrilonitrilo

1.3.1.1. Propiedades físicas

Tabla 1.3.1 Propiedades Físicas

PROPIEDADES	VALOR
Fórmula	C ₃ H ₃ N
Peso Molecular (g/mol)	53,064
Punto de ebullición (°C)	77,3
Punto de fusión (°C)	-83,5
Densidad, 20°C (g/cm ³)	0,806
Volatilidad,78° (%)	>0,99
Presión de vapor,20°C (Kpa)	11,5
Densidad de vapor (aire=1)	1,8
Solubilidad en agua, 20°C (wt%)	7,3
PH (5% solución acuosa)	6,0-7,5
Valores Críticos	
Temperatura (°C)	246
Presión (Mpa)	3,54

Volumen (cm ³ /g)	3,798
Indice de refracción (N ²⁵ _D)	1,3888
Constante dieléctrica (33.5 MHz)	38
Potencial de ionización(eV)	10,75
Refracción molar (D line)	15,67
Tensión de superficie, 25°C (mN/m)	26,6
Momento Dipolar (C.m ^c)	
Líquido	1,171.10 ⁻²⁹
Vapor	1,2941.10 ⁻²⁹
Viscosidad, 25°Cn (mPa.s=cP)	0,34

Tabla 1.3.2. Propiedades termodinámicas

PROPIEDADES	VALOR
Flash point (°C)	0
T ^a autoignición (°C)	481
Límites de inflamabilidad en el aire, 25°C	

(%Vol)	
Inferior	3
Superior	17
Energía libre de formación ΔG^0 , 25°C, (Kj/mol)	195
Entalpía de formación, 25°C (Kj/mol)	
ΔH_g^0	185
ΔH_l^0	150
Calor de combustión, líquido, 25°C, (Kj/mol)	1761,5
Calor de vaporización, 25°C, (Kj/mol)	32,65
Capacidad calorífica molar (Kj/(Kg.K))	
Líquido	2,09
Gas 50°C, 101,3KPa	1,204
Calor molar de fusión (Kj/mol)	6,61
Entropía S, gas 25°C, 101.3KPa, (Kj/(mol.k))	274

El acrilonitrilo es miscible en una amplia gama de disolventes orgánicos, incluyendo acetona, benceno, tetracloruro de carbono, éter dietílico, etilo acetato, cianhidrina de etileno, éter de petróleo, tolueno, algunos querosenos, y metanol.

Las composiciones de algunos azeótropos comunes de acrilonitrilo se dan en la tabla 1.5.

En la tabla 1.6 se presenta la solubilidad del acrilonitrilo en agua en función de la temperatura.

La presión de vapor de acrilonitrilo sobre soluciones acuosas se presenta en la tabla 1.7.

Tabla 1.3.3. Azeótropos del acrilonitrilo

Azeótropo	Punto de ebullición, °C	Concentración de acrilonitrilo, wt%
Tetraclorosilano	51,2	89
Agua	71	88
Alcohol isopropílico	71,6	56
Benceno	73,3	47
Metanol	61,4	39
Tetracloruro de carbono	63,2	21
Clorotrimetilsilano	57	7

Tabla 1.3.4. Solubilidades del acrilonitrilo en agua (en función de la temperatura)

Temperatura (°C)	Acrilonitrilo en agua (%wt)	Agua en acrilonitrilo (%wt)
-50	0	0,4
-30	0	1
0	7,1	2,1
10	7,2	2,6
20	7,3	3,1
30	7,5	3,9
40	7,9	4,8
50	8,4	6,3
60	9,1	7,7
70	9,9	9,2
80	11,1	10,9

Tabla 1.3.5. Presión de vapor del acrilonitrilo en disoluciones acuosas

Acrilonitrilo (%wt)	Presión de vapor (KPa)
------------------------	---------------------------

Especificación del proyecto

1	1,3
2	2,9
3	5,3
4	6,9
5	8,4
6	10
7	10,9

1.3.1.2. Propiedades químicas

El acrilonitrilo es un producto químico muy versátil debido a la presencia de dos grupos químicamente muy activos, el grupo nitrilo y el doble enlace carbono-carbono. La presencia de ambos grupos permite una gran variedad de reacciones.

El grupo nitrilo puede sufrir hidrólisis, hidrogenación, esterificación y reducción. Por ejemplo la hidratación con ácido sulfúrico para formar sulfato de acrilamida, este sulfato de acrilamida puede ser transformado en acrilamida por neutralización con una base y completada la hidrólisis se obtiene ácido acrílico. La acrilamida también se puede obtener del acrilonitrilo mediante una hidrólisis parcial basada en catalizadores de cobre, esta es hoy en día la ruta preferida para la obtención comercial de la acrilamida.

Esteres acrílicos industrialmente importantes, se pueden formar por reacción de sulfato de acrilamida con alcoholes orgánicos. El metilacrilato ha sido producido comercialmente por la alcoholisis de sulfato de acrilamida con metanol.

Las reacciones en el enlace doble activado del acrilonitrilo incluyen polimerización, copolimerización, cianoetilación, ciclación y halogenación. Por ejemplo hidrogenación sobre catalizadores de metal para dar propionitrilo y propilamina además de la hidrodimerización industrialmente importante para producir el adiponitrilo.

Otras reacciones incluyen la adición de halógenos a través del doble enlace para producir dihalopropionitriles, y por cianoetilación de acrilonitrilo alcoholes, aldehídos, ésteres, amidas, nitrilos, aminas, sulfuros, sulfonas, y haluros.

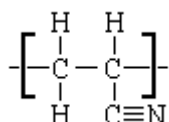
El acrilonitrilo se polimeriza fácilmente en ausencia de una hidroquinona inhibidora, especialmente cuando se expone a la luz. La polimerización se inicia por radicales libres, catalizadores redox, o bases y puede ser llevada a cabo en la fase líquida, sólida o gaseosa. Homopolímeros y copolímeros son más fáciles de producir utilizando polimerización en fase líquida.

La tendencia a polimerizar del acrilonitrilo en estado líquido puede prevenirse con la adición de fenoles o también con aminas estabilizadoras o cantidades pequeñas de agua.

Mediante la adición de ácido sulfúrico alcalino cáustico concentrado, la polimerización puede ser acelerada hasta tal punto que puede asumir una naturaleza explosiva.

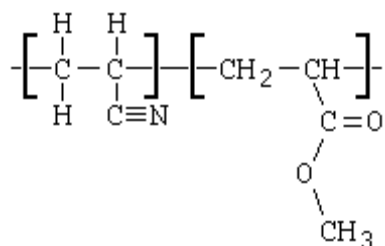
De las propiedades químicas del acrilonitrilo proceden sus usos más importantes que son la obtención de adiponitrilo, resinas ABS/SAN, fibras acrílicas, acrilamida, elastómeros de nitrilo, polímeros y fibra de carbono.

Así por ejemplo el acrilonitrilo se polimeriza a poliacrilonitrilo cuyo monómero es:

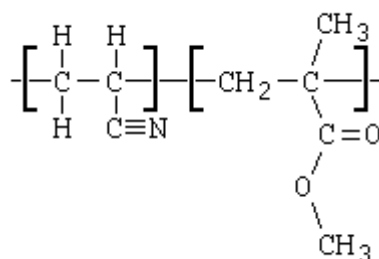


El poliacrilonitrilo se utiliza para fabricar fibra de carbono. Los copolímeros que contienen principalmente poliacrilonitrilo se utilizan como fibras para hacer tejidos (medias, suéteres, etc.) y también productos expuestos a la intemperie (carpas, cubiertas, etc.). Si en la etiqueta pone "acrílico" es que el producto está hecho con algún copolímero del acrilonitrilo. En general son copolímeros de acrilonitrilo y metil acrilato o acrilonitrilo y metil metacrilato.

El poli(acrilonitrilo-co-metil acrilato) está compuesto por el siguiente comonómero:



El comonómero del poli(acrilonitrilo-co-metil metacrilato) es:



Las mezclas de acrilonitrilo con el aire son inflamables.

El acrilonitrilo no tiene ningún efecto corrosivo sobre los metales, por lo que los tanques de almacenamiento pueden ser de acero inoxidable, acero al carbono, aluminio o magnesio. Por razones de calidad del producto, evitar el contacto con cobre o aleaciones de cobre.

1.3.2. Ácido cianhídrico (Cianuro de hidrogeno)

El cianuro de hidrogeno es un líquido incoloro, venenoso, poco viscoso y con el característico olor a almendras amargas. Su estructura molecular se muestra en la figura 1.13.

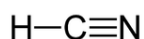


Figura 1.3.4 Estructura molecular del cianuro de hidrogeno.

El cianuro de hidrogeno se usa en la producción de muchos productos químicos como es el nylon, el metacrilato de metilo para la producción de plásticos transparentes acrílicos, las triazinas para herbicidas agrícolas, la metionina como suplemento alimenticio para animales, entre otros.

1.3.2.1. Propiedades físicas

Algunas de sus propiedades físicas se muestran en la tabla 1.8 a continuación.

Tabla 1.3.6. Propiedades físicas del cianuro de hidrogeno

PROPIEDADES	VALOR
Fórmula	HCN
Peso Molecular (g/mol)	27,03
Punto de ebullición (°C)	25,70

Punto de fusión (°C)	13,24
Densidad, 20°C (g/cm³)	0,6884
Presión de vapor (kPa)	
0°C	35,24
27,2°C	107,6
29,5°C	6,697
Viscosidad del líquido, 20,2°C (cP)	0,2014
Calor específico (J/mol)	
-33,1°C, líquido	56,36
16,9°C, líquido	70,88
27°C, gas	36,03
Calor de fusión, -14°C (kJ/mol)	71·103
Calor de combustión (kJ/mol)	642
Calor de vaporización (kJ/mol)	25,2
Calor de polimerización	42,7

(kJ/mol)	
Temperatura crítica (°C)	183,5
Presión crítica (MPa)	5,4
Densidad crítica (g/ml)	0.195
Momento Dipolar del gas, 3-15°C (C·m)	7,0·10-30
Conductividad (S/cm)	3,3·10-6
Flash point (°C)	-17,8
Limites explosivos en aire, 100kPa y 20°C (%Vol)	6-41
Temperatura de autoignición (°C)	538
Constante de ionización, 25°C (K)	7,2·10 ¹⁰

1.3.2.2. Propiedades químicas

El cianuro de hidrogeno (HCN) es un ácido débil. Tiene una constante de ionización de igual magnitud que los aminoácidos. Como nitrilo del ácido fórmico que es, el cianuro de hidrógeno se caracteriza por las típicas reacciones de los nitrilos. El HCN normalmente no es corrosivo, excepto por dos situaciones: primero, una solución acuosa diluida de HCN puede causar la aparición de grietas en acero al carbono bajo presión a temperatura ambiente y segundo, una solución acuosa de HCN que contenga ácido sulfúrico como estabilizador, puede corroer el acero a temperaturas superiores a los 40°C y en caso de ser acero inoxidable, temperaturas superiores a los 80°C.

1.3.3. Acetonitrilo

El acetonitrilo es un líquido incoloro de olor dulce. Es el nitrilo orgánico más simple, su estructura molecular se muestra en la figura 1.14.

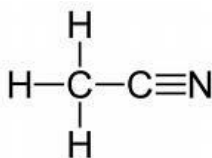


Figura 1.3.5 Estructura molecular del acetonitrilo

1.3.3.1. Propiedades físicas

Algunas de sus propiedades físicas se muestran en la tabla 1.3.6 a continuación.

Tabla 1.3.6 Propiedades físicas del acetonitrilo.

PROPIEDADES	VALOR
Fórmula	C ₂ H ₃ N
Peso Molecular (g/mol)	41,05
Punto de ebullición (°C)	81,6
Punto de fusión (°C)	-45,7
Densidad, 20°C (g/cm ³)	0,786
Viscosidad, 20°C (cP)	1,3441
Calor de vaporización, 80°C (J/kg)	72,7·10 ⁶
Calor de fusión, -45,7°C (J/kg)	21,8·10 ⁶

Calor de combustión, 25°C (J/kg)	31,03·106
Capacidad calorífica, 20°C (J/kg·K)	22,59·102
Momento Dipolar (C·m)	10,675·1030
Limites de inflamabilidad en el aire, (%Vol)	
Superior	16,0
Inferior	4,4

Es un compuesto miscible en agua además de ser un excelente disolvente para compuestos inorgánicos (CaCl_2 , KMnO_2 , entre otros) y orgánicos, incluyendo polímeros, debido a su alta resistencia dieléctrica y a su momento dipolar. Muchos gases también son solubles en acetonitrilo como por ejemplo HCl , SO_2 , H_2S .

Con compuestos orgánicos forma azeótropos de bajo punto de ebullición, mientras que con compuestos como el BF_3 , SiCl_4 y el $(\text{CH}_3)_4\text{Pb}$ forma azeótropos de alto punto de ebullición. La tabla 1.10 muestra algunos de estos azeótropos.

Tabla 1.3.7. Azeótropos binarios del acetonitrilo

Azeótropo	Punto de ebullición (°C)	Concentración de acrilonitrilo (%wt)
Benceno	73	34
Tetracloruro de carbono	65	17
1,2-dicloroetano	79	79

Etanol	73	44
Acetato de etilo	75	23
Metanol	63	81
Agua	77	84

El acetonitrilo es uno de los nitrilos más estables, aun así este sufre las típicas reacciones de los nitrilos y por eso se utiliza para producir diversos compuestos que contienen nitrógenos como amidas, aminas, acetonas, isocianatos, heterociclos y piridinas entre otros.

Para el almacenamiento y la circulación en tuberías a temperatura y presión normales se puede utilizar tanto el aluminio como el acero al carbono.

Los usos del acetonitrilo en la industria son varios. Su mayor uso es en la purificación del butadieno en la destilación extractiva que se lleva a cabo en las refinerías. También se ha propuesto para la separación de olefinas como el propileno o el isopreno de las corrientes de hidrocarburos. En la preparación de productos farmacéuticos es utilizado como medio de reacción debido a su bajo punto de ebullición y a que es un buen solvente. Es también un disolvente para polímeros, fibras y para moldear plásticos.

Es usado en espectrofotometría y electroquímica. El acetonitrilo puro no absorbe la luz ultravioleta, por esta razón se usa como disolvente en cromatografías líquidas de alta presión (HPLC).

El acetonitrilo también se usa como catalizador o como componente de catalizadores complejos de metales de transición; como reactivo para la preparación de otros compuestos; en la industria fotográfica; para la extracción y refinado de cobre y subproductos de sulfato de amonio. Es un estabilizador para disolventes clorados, en concreto en presencia de aluminio. También se utiliza para teñir tejidos y en la fabricación de perfumes.

1.4. ESTUDIO DE MERCADO

1.4.1. Antecedentes

El acrilonitrilo fue sintetizado por primera vez en 1893 por parte del químico francés Charles Moureau, si bien hubo que esperar hasta 1930 para poder encontrar las producciones a nivel industrial, en forma de creación de fibras acrílicas o caucho

sinéptico. Sin embargo, los procesos de obtención por aquel entonces, basados principalmente en su síntesis a partir de acetileno, eran multietapa y muy caros, lo que propició que sólo las grandes empresas, American Cyanamid, Union Carbide, DuPont y Monsanto pudieran permitirse el costo de fabricación.

Todo esto cambió cuando, a finales de los años 50, la empresa Sohio desarrolló un novedoso método, el conocido como método Sohio, el cual constaba tan solo de una etapa y era mucho más barato que cualquiera de los anteriores. Eso motivó a que las grandes empresas se vieran obligadas a obtener una licencia de Sohio para usar su proceso y así seguir competitivos, propiciando a la vez que otras empresas menores también se licenciaran y, por tanto, la capacidad de producción mundial empezó a aumentar, posibilitando así satisfacer su creciente demanda. En 1973 hubo otro momento clave en la producción de acrilonitrilo; la empresa Sohio se convierte en la primera protagonista la primera transacción entre una empresa estadounidense y China desde que ésta abriera las puertas al comercio con Norteamérica, y lo hace licenciando a la República del Pueblo China para producir acrilonitrilo a través del proceso Sohio, propiciando el gran auge en producción mundial de éste.

Se estima que la demanda a inicios de los años 60 era de unas 118 mil toneladas al año, mientras que para el año 2010 se obtuvo una demanda aproximada de 5 millones de toneladas al año, lo que muestra el rápido crecimiento de la industria del acrilonitrilo. Se calcula que más del 90% de la producción mundial se realiza en base al proceso Sohio, si bien hay otras empresas que prefieren realizarlo por medio de otros métodos menos populares.

Hacia finales de la década de los 90, Europa y Estados Unidos se sitúan como las principales productoras de acrilonitrilo a nivel mundial, produciendo la primera aproximadamente unas 1165 kilotoneladas al año. En la tabla 1.11 se muestran la producción de las siete plantas europeas, entre las que se encuentra la española:

Tabla 1.4.1. Producción de las fábricas europeas de acrilonitrilo

Country	Location	Nameplate capacity (kt/yr)
Germany	Worringen	280
	Schwedt	70
Italy	Gela	105
	Assemini	85
Spain	Tarragona	125
The Netherlands	Geleen	200
UK	Seal Sands	300
Total EU		1165

La demanda de acrilonitrilo en Europa por aquel entonces se mantiene a la alza, siendo ésta de aproximadamente 1126 kilotoneladas al año, con una demanda media de 401 Euros por tonelada.

1.4.2. El mercado en la actualidad

Actualmente, el mercado está recuperándose de la caída en la demanda propiciada por la crisis mundial que se inició ese año. No obstante, debido a la gran demanda por parte de Asia (principalmente China) de acrilonitrilo la demanda ha vuelto a aumentar, si bien no al ritmo deseado, y se estima que seguirá creciendo en los años venideros a un ritmo cercano al 4%. Éste incremento en la demanda se debe, principalmente, a la producción de resinas ABS/SAN, ya que la demanda de fibra acrílica permanece estable debido al a dura competencia por parte de otras fibras sintéticas.

Por lo tanto, estamos delante de un mercado que, si bien ha sufrido un pequeño retroceso durante el año 2008, sigue prosperando lentamente y en el que el mayor demandante se trata de Asia. No tan solo es el mayor demandante, sino que también se trata del mayor productor de acrilonitrilo, produciendo aproximadamente 1750 millares de toneladas al año, pero demandando más de 2.200.

En el resto del mundo sobresalen los mercados norteamericano y de Europa occidental, que combinados producen más de la mitad del acrilonitrilo mundial. El otro productor significativo es Japón, con una producción alrededor de los 750 millares de toneladas por año. La demanda y producción del resto de mercados se puede considerar marginal al lado de estos cuatro grandes, tal y como se puede observar con más perspectiva en la figura 1.15:

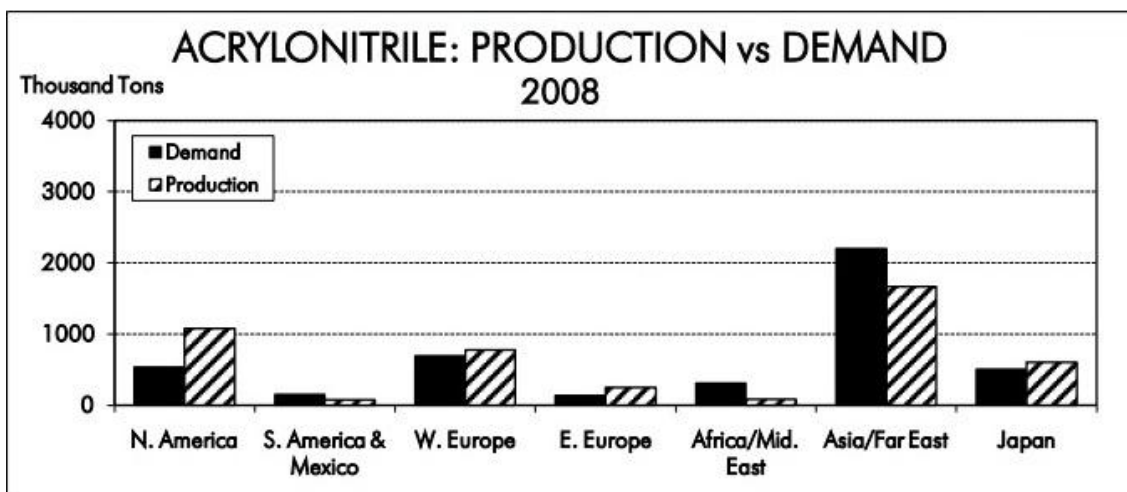


Figura 1.4.1. Producción y demanda de acrilonitrilo para los diferentes mercados mundiales para el año 2008

Hay que tener en cuenta, pero, que estos datos referencian al año 2008, y, tal como se ha comentado, en ese año la demanda sufrió una reducción, y, por tanto, también la producción. Sin embargo, cabe esperar que las relaciones entre los diferentes mercados se mantengan relativamente estables en los siguientes años, si bien las previsiones estiman que el mercado que experimentará mayor crecimiento será el asiático, al cual se le presupone que para el 2013 habrá alcanzado una demanda de 3000 millares de toneladas métricas por año.

1.4.3. El mercado en el futuro

Tal y como se ha comentado previamente, el auge de productos electrodomésticos (así como de automóviles y otros productos en menor medida) creados en Asia propicia las estimaciones de que el mercado asiático tenderá al alza, creciendo tanto en su demanda como en su producción de acrilonitrilo. No obstante, los demás mercados tienen previsiones menos esperanzadoras, pues se espera que de todos los mercados restantes tan solo el norteamericano y el africano experimentaran un aumento significativo, mientras que los demás se estancaran hasta cierto punto. Esto se puede comprobar en las figuras siguientes, donde se muestran las previsiones de cara al 2018 (figura 1.16), así como una gráfica de la evolución de la producción y demanda de resinas ABS/SANS (figura 1.17), que son las principales responsables del aumento de la demanda global de acrilonitrilo, hasta el punto de que algunos expertos lleguen a estimar crecimientos cercanos al 14% en esta franja de mercado.

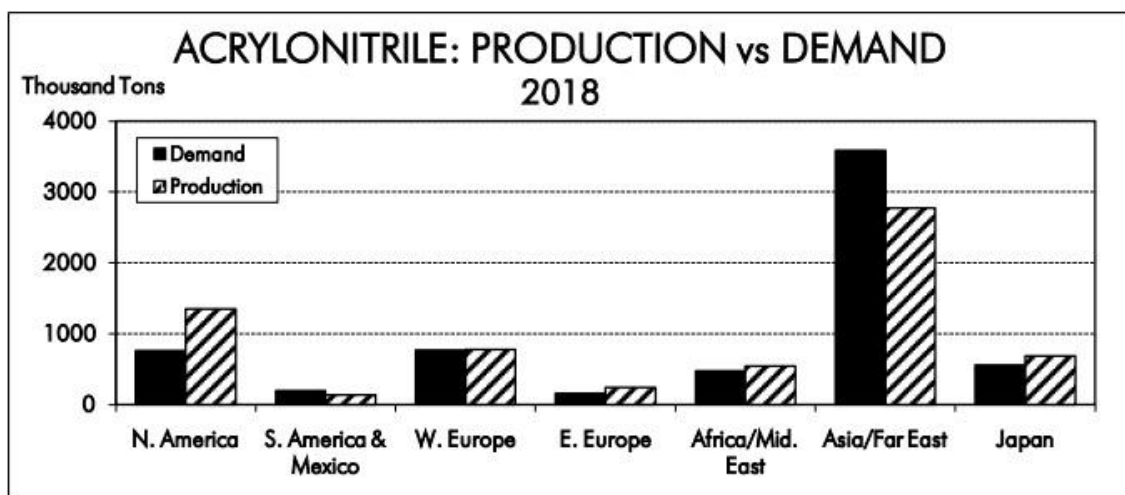


Figura 1.4.2. Producción y demanda de acrilonitrilo para los diferentes mercados mundiales estimadas para el 2018

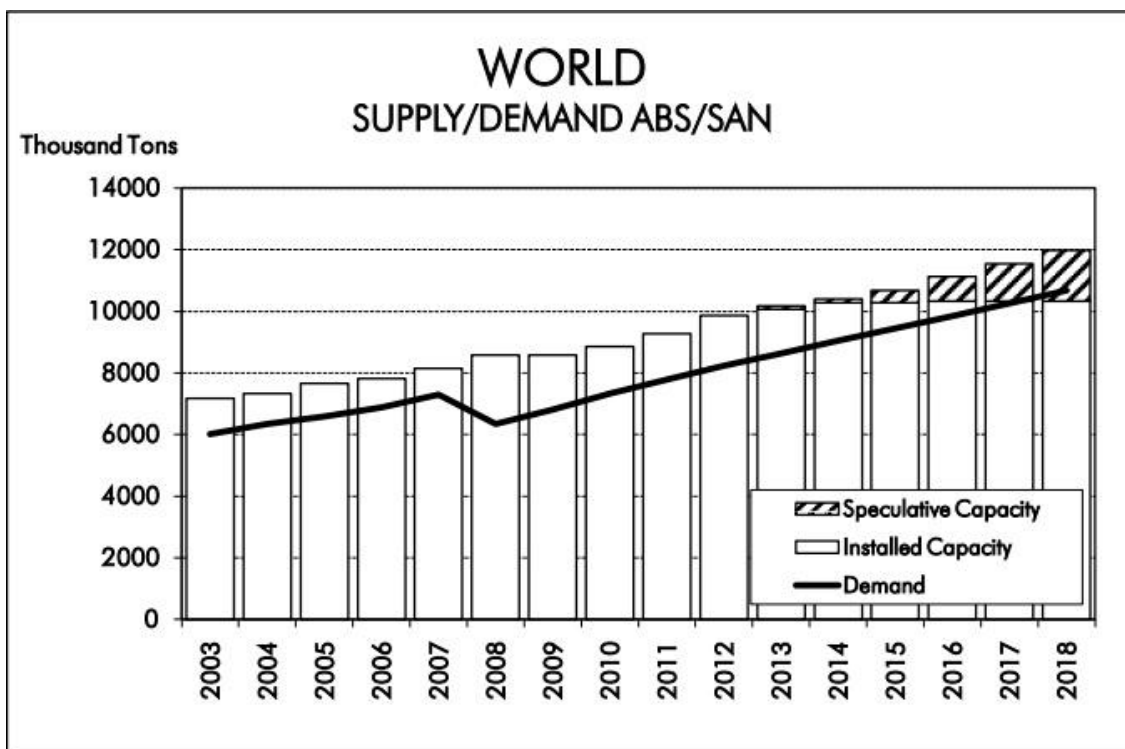


Figura 1.4.3. Evolución de la demanda y la capacidad instalada para la producción de ABS/SAN desde 2003 y estimación para los siguientes años

Si bien la figura 1.4.2 no merece más comentario que el ya realizado con anterioridad, es interesante observar la figura 1.4.3, pues muestra el retroceso en la demanda y la paralización del aumento de la capacidad instalada debido a la crisis mundial, y como el mercado ha reaccionado al año posterior con un incremento, hecho que invita a pensar que ésta seguirá aumentando en próximos años, hecho que provocará de nuevo el aumento de la capacidad instalada global, llegando incluso al punto de que se estima que las expansiones o creación de nuevas plantas deberán ser reajustadas al alza para poder acoger la demanda de resinas.

1.4.4. Aplicaciones y usos

El acrilonitrilo se emplea para muchas y distintas funciones. En el gráfico mostrado en la figura 1.4.4 se pueden observar cuales son las principales finalidades de la producción de acrilonitrilo a nivel mundial:

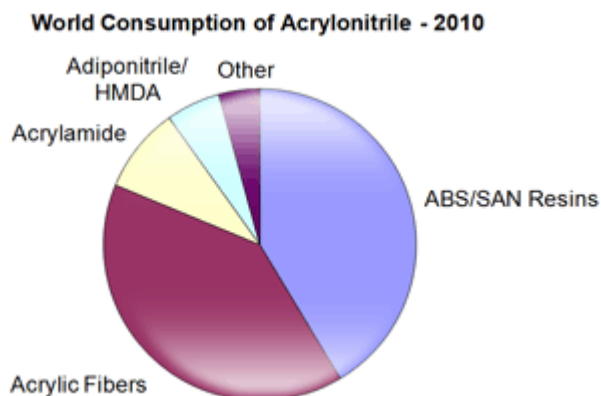


Figura 1.4.4. Consumo a nivel global del acrilonitrilo para el año 2010

Se puede observar cómo predomina el uso para producción de fibras acrílicas y Resinas ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno)/SAN (estireno-acrilonitrilo), consumiendo un 40% de la producción global cada una de ellas.

El resto del consumo se divide principalmente en la producción de acrilamida, casi un 10%, Adiponitrilo y HMDA (hexametilendiamina) en aproximadamente un 5% y el resto en diversos compuestos sin especificar.

Las funciones primarias de estos compuestos son:

- Fibras acrílicas: Producción de telas similares a la lana
- Resinas ABS/SAN: Tienen usos muy variados, desde su empleo en tuberías a su uso en el sector automovilístico o el de los electrodomésticos, pasando por usos más innovadores como en las recientes impresoras 3-D.
- Acrilamida: Formación de poliacrilamida, que más tarde se usará como floculante en el tratamiento de aguas, o como lentillas blandas, entre otros.
- Adiponitrilo/HMDA: El adiponitrilo se hidrogena para formar HDMA, el cual se usa para la polimerización del nylon 66.

1.5. CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA

1.5.1. Áreas de la planta

La tabla 1.5.1, muestra la distribución de las áreas de la planta de producción de acrilonitrilo, más adelante se explicaran en detalle las más relevantes.

Tabla 1.5.1. Distribución de las áreas de la planta.

Nomenclatura	Descripción del área
--------------	----------------------

A-100	Área de almacenamiento de reactivos
A-200	Área de reacción
A-300	Área de lavado de gases
A-400	Área de extracción
A-500	Área de purificación
A-600	Área de servicios
A-700	Área de tratamiento
A-800	Área de sala de calderas
A-900	Área de almacenamiento de producto acabado
A-1000	Área de oficinas, laboratorios y vestuarios
A-1100	Área de parking
A-1200	Área contraincendios
A-1300	Área de servicios especiales

1.5.1.1. Caracterización de la planta por áreas

Área 100: Almacenamiento de reactivos

Éste área está compuesta por los 6 tanques que almacenan todos los reactivos necesarios para la producción de acrilonitrilo. Se encuentran 2 tanques de propileno, 4 de amoníaco. Hay que tener en cuenta que la mayoría de productos son inflamables, por lo que será necesaria la inertización. Los tanques de propileno (T-101 y T-102), se

encuentran a temperatura ambiente y a una presión de 15 bar. Por otro lado, los 4 tanques de amoníaco se encuentran a 14 bar, y también a temperatura ambiente. Por lo tanto se necesitaran servicios de Nitrógeno gas (para inertizar los tanques).

Área 200: Zona de reacción

En éste área se produce la reacción entre los reactivos y aire, produciendo acrilonitrilo, acetonitrilo, cianhídrico, óxidos de carbono y agua. Previamente a los dos reactores, situados en paralelo, se encuentran los kettle-reboiler utilizados para la vaporización de el propileno y el amoníaco, además de dos intercambiadores que permitirán subir la temperatura de los reactivos hasta la temperatura de entrada al reactor. Los Kettle-reboiler y los intercambiadores se calentarán aprovechando los gases de salida del reactor. En esta área, se encuentra también el soplador que impulsa el aire necesario para que se produzca la combustión en el reactor y se formen los productos, el aire también se deberá calentar con otro intercambiador de calor, que también aprovecha los gases de salida del reactor. Este es el último paso de los gases antes de llegar al área 300.

Área 300: Zona de lavado de gases

La finalidad principal de éste área es eliminar el amoníaco sobrante de la reacción que se encuentra en el corriente de producto, para evitar problemas de corrosión en los equipos posteriores. También se cristaliza el sulfato de amonio formado para su comercialización. Se enfrían los gases de salida del reactor hasta los 232°C, momento en el que son introducidos en dos quench paralelos, donde, recirculando ácido sulfúrico diluido en contracorriente, se consigue eliminar el amoníaco que aún queda presente en la corriente. Se purga cierta cantidad del líquido circulante, para posteriormente ser sobresaturada y cristalizada, obteniendo así los cristales de sulfato de amonio.

Área 400: Zona de extracción

En éste área se absorbe el producto en agua para posteriormente extraer los componentes más pesados de la mezcla. Consta de un separador de fases, que separa los condensados creados por el intercambiador de refrigeración previo de los gases, los cuales son enviados al absorbedor, donde son absorbidos en agua refrigerada de proceso. Posteriormente el fluido líquido resultante es calentado para ser enviado a la columna extractiva, donde se separa por el medio el acetonitrilo, saliendo por arriba la mayoría del acrilonitrilo y del cianhídrico, y principalmente agua por colas. El corriente lateral pasa a una segunda columna de destilación, donde se separa el acetonitrilo del agua y demás componentes pesados , obteniendo pues acetonitrilo purificado. Se necesitaran por lo tanto servicios tanto de agua glicolada como de refrigeración, así como vapor para operar el kettle-reboiler. También utilizará el agua de proceso para la absorción.

Área 500: Zona de purificación

En éste área se purifican los corrientes resultantes del área 300. Se emplean tres columnas de destilación. En la primera, se separa el acrilonitrilo del cianhídrico, el cual sale por cabezas para ser purificado en la torre final de cianhídrico. Las colas de estas dos columnas se mezclan en un mixer, y el corriente resultante es enviado a una columna final, donde se extrae el acrilonitrilo purificado por cabezas. Los servicios requeridos para ésta zona son vapor y refrigeración.

Área 600: Zona de servicios

Aquí se encuentran todos los servicios de la planta, a excepción de la caldera, que se encuentra en un área aislada. En esta zona se encuentran las columnas de descalcificación de agua (3), dos torres de refrigeración, y 5 chillers. También habrá dos tanques de almacenamiento que se usarán para almacenar el agua ya descalcificada a la espera de su entrada hacia el circuito de las torres de refrigeración, o de los chillers.

En esta área, también se encuentran la estación transformadora, que es la encargada de suministrar electricidad de baja intensidad al resto de la planta; y también el grupo electrógeno, que será el encargado de suministrar electricidad en caso de que haya algún fallo eléctrico en la planta durante su ciclo de producción.

Área 700: Zona de tratamiento

En este área, se tratan tanto los líquidos residuales que derivan del proceso de producción de acrilonitrilo, como de los gases de deshecho que salen del absorbedor, así como las purgas puntuales de los equipos y tanques que trabajan a presión. Aquí se encuentra el reactor de oxidación catalítica que oxidará todos los gases que se desprendan en el absorbedor y que no sean productos del proceso a dióxido de carbono. Los efluentes líquidos que se tratan son los de las columnas C-402, C-502 y C-503, que en su mayor parte llevan agua, acrilonitrilo, acetonitrilo y ácido cianhídrico. Aquí se encuentran los tanques de reactivos necesarios para llevar a cabo el proceso Fenton, así como los dos reactores necesarios y el sedimentador.

Área 900: Zona de producto acabado

En esta zona hay los 9 tanques de almacenamiento de producto y subproducto acabado. En ella se encuentran 4 tanques de acrilonitrilo, 2 tanques de acetonitrilo, 2 tanques de ácido cianhídrico y un tanque pequeño para almacenar hidroquinona, que sirve para estabilizar el acrilonitrilo y asegurar que las condiciones en las que se encuentra son las óptimas. Cabe remarcar que los tanques de ácido cianhídrico, se encuentran a 2 bar de presión, puesto que el ácido cianhídrico es gas a temperatura ambiente. Se requerirá servicio de nitrógeno en esta zona, puesto que los compuestos almacenados son inflamables, y por esto, se deberán inertizar los tanques de productos.

Área 1300: Zona de servicios especiales

En éste área, se encuentran los tanques de ácido sulfúrico y agua descalcificada necesarios para alimentar el mixer 301 (M-301). Esta zona se encuentra muy próxima al área 300, puesto que la necesidad de los compuestos aquí almacenados, es continua y de vital importancia para el proceso. El agua descalcificada viene del área 600, desde las columnas de descalcificación del agua. El ácido sulfúrico se deberá traer en camiones, en una mezcla al 35% en peso (diluido con agua).

1.5.2. Abreviaturas

La tabla 1.5.2, muestra las abreviaciones utilizadas durante toda la memoria

Tabla 1.5.2. Abreviaciones usadas

T	Tanque de almacenamiento / proceso
E	Intercambiador de calor
K	Kettle
P	Bomba
CP	Compresor
M	Mixer
CR	Cristalizador
C	Columna
R	Reactor

Especificación del proyecto

A	Absorbedor
----------	------------

Q	Quench
----------	--------

TF	Torre de refrigeración
-----------	------------------------

CH	Chiller
-----------	---------

SD	Sedimentador
-----------	--------------

RC	Oxidador catalítico
-----------	---------------------

SF	Separador de fases
-----------	--------------------

TR	Turbina
-----------	---------

AR	Aerorefrigerantes
-----------	-------------------

S	Soplante
----------	----------

1.6. BALANCE DE MATERIA

PROPIEDADES	1	2	3	4	5	6//7	8	9//°10
Temperatura [°C]	35	150	35	150	60	60	150	150
Presión [atm]	14	2,8	15	2,8	2,2	2,2	2,8	2,3
Densidad [kg/m3]	584,6	1,4	489,2	3,4	0,9	0,9	2,1	2,1
Estado fluido	L	V	L	V	V	V	V	V
CAUDALES [kg/h]								
P	-	-	7308	7308	-	-	7308	3654
AM	2952	2952	-	-	-	-	2952	1476
O2	-	-	-	-	8352	4176	-	-
N2	-	-	-	-	27468	13734	-	-
W	-	-	-	-	396	198	-	-
AN	-	-	-	-	-	-	-	-
ACN	-	-	-	-	-	-	-	-
HCN	-	-	-	-	-	-	-	-
CO	-	-	-	-	-	-	-	-
CO2	-	-	-	-	-	-	-	-
H2SO4	-	-	-	-	-	-	-	-
(NH4)2SO4	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	2952	2952	7308	7308	36216	18108	10260	5130

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

PROPIEDADES	11/12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temperatura [°C]	450	450	100	100	100	100	25	25	30
Presión [atm]	3	3	1	1	1	1	1	1	1
Densidad [kg/m3]	1,4	1,4	1	857,7	857,7	857,7	1291,2	985	2,2
Estado fluido	V	V	V	L	L	L	L	S	V/L
CAUDALES [kg/h]									
P	544,4	1088,7	1088,7	-	-	-	-	-	1088,7
AM	162,7	325,3	-	-	-	-	-	-	-
O2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N2	13742	27484	27484	-	-	-	-	-	27484
W	4434,6	8869,2	28300	37419,8	7156,4	30263,4	56860,5	-	28300
AN	3326	6651,9	6651,9	-	-	-	-	-	6651,9
ACN	96,3	192,5	192,5	-	-	-	-	-	192,5
HCN	332	663,9	663,9	-	-	-	-	-	663,9
CO	242,3	484,6	484,6	-	-	-	-	-	484,6
CO2	378,4	756,8	756,8	-	-	-	-	-	756,8
H2SO4	-	-	-	-	-	-	937,6	-	-
(NH4)2SO4	-	-	-	6603,5	1262,9	5340,6	5340,6	1262,9	-
Total	23258,5	46516,9	65622,4	44023,3	8419,3	35604	63139	1263	65622

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

PROPIEDADES	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperatura [°C]	30	30	25	75	7	108	107	94	98	98
Presión [atm]	1	1	1	1	1	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2
Densidad [kg/m3]	1,2	963,5	966,4	913,7	1,3	954,3	905,2	875,9	905,2	905,2
Estado fluido	V	L	L	L	V	L	L	L	L	L
CAUDALES [kg/h]										
P	1088,7	-	-	-	1088,7	-	-	-	-	-
AM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N2	N2	-	-	-	27484	-	-	-	-	-
W	894,4	27381,6	80722,1	108103,7	182,3	107051,1	27041,1	2629,2	2521,3	2599,2
AN	5519,1	1137,3	5505,7	6640,9	11	-	-	-	-	-
ACN	107	85,3	141,6	227,1	-	45,9	11,6	239,1	57,9	61
HCN	389,6	274,4	393,3	667,4	-	5,6	1,4	24,1	3	3,1
CO	CO	-	-	-	484,6	-	-	-	-	-
CO2	CO2	-	-	-	756,8	-	-	-	-	-
H2SO4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(NH4)2SO4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	7999	28879	86763	115639	30007	107103	27054	2892,4	2582,2	2663

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

PROPIEDADES	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Temperatura [°C]	98	53	57	28	70	70	70	20	25	100	35
Presión [atm]	1,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,2
Densidad [kg/m3]	905,2	783,2	730,3	691,6	754,6	752,4	746	940,6	802,5	944	733
Estado fluido	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
CAUDALES [kg/h]											
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W	77,9	944,8	341,4	45	296,4	603,4	899,7	889,7	-	27119	30
AN	-	6640,9	2014,5	79,6	1934,8	4626,4	6561	45	6516	-	-
ACN	3,1	Trazas	-	-	-	-	Trazas	-	-	14,7	178
HCN	0,1	640,7	640,1	-	-	0,6	0,6	-	-	1,5	20,9
CO	-	-	-	-	Trazas	-	-	-	-	-	-
CO2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H2SO4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(NH4)2SO4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	81,1	8226,4	2996	124,6	2231,2	5230	7461	935	6516	27135,2	228,9

1.7. ESPECIFICACIONES I NECESIDADES DE SERVICIOS EN LÍMITE DE PLANTA

1.7 SERVICIOS DE LA PLANTA

En este apartado se detallan las diferentes necesidades de servicios que requiere la planta de producción de acrilonitrilo.

A continuación se hace una descripción detallada de todos los servicios de los que dispone la planta.

1.7.1 Agua de red

La planta de acrilonitrilo dispone de red de abastecimiento de agua a pie de parcela, con una presión de 4Kg/cm^2 cuya tubería de salida dispone de un diámetro de 200 milímetros.

El agua de red de la planta será para uso personal (duchas, vestuarios, lavabos, oficinas...), para la limpieza general de la planta y para el sistema contraincendios.

1.7.2 Agua descalcificada

Una fracción del agua de red se debe someter a un proceso de descalcificación y desmineralización, para disminuir su concentración en sales de Calcio y Magnesio (disminuyendo su dureza) y su conductividad (hasta $0,2\ \mu\text{S/cm}$).

Esta fracción de agua se utiliza para evitar problemas de ensuciamiento e incrustaciones (además de los problemas relacionados con procesos naturales de corrosión de metales) en los equipos de proceso como calderas, torres de enfriamiento, intercambiadores, condensadores...

El proceso consiste en hacer pasar el agua a través de una resina que intercambia los iones de calcio y magnesio que se quieren eliminar del agua por otros que son solubles en agua. En el momento que la resina esté saturada ya no captará más iones y se tiene que regenerar. La regeneración de la resina se lleva a cabo poniendo en contacto ésta con una sal de NaCl, adhiriéndose a la resina los iones de Na^+ y los iones de Ca^{2+} y Mg^{2+} saturados que se encuentran en la resina se intercambian formando sus sales con Cl^- .

Los equipos utilizados en esta planta son descalcificadores triplex automáticos alternativos que aportan un suministro ininterrumpido de agua descalcificada.

Son cuerpos contruidos en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Equipados con falso fondo y con tres válvulas automáticas modelo MÁGNUM/962, contruidas en Noryl,

montadas en la parte superior de los cuerpos. Cada una de ellas con su propio contador de turbina y válvula de cierre de agua tratada durante la regeneración.

Consta de múltiples posibilidades de programación y ajuste. Regeneración retardada o instantánea, por volumen, por tiempo, por volumen-tiempo, reserva fija o variable, regeneración económica, etc. Funcionamiento secuencial de las tres columnas. Las tres columnas están en servicio simultaneo, regenerándose secuencialmente, lo cual permite un caudal instantáneo elevado.

- Completos con carga de resina uso alimentario, de alta capacidad para un óptimo rendimiento.
- Conexión 2".
- Presión máxima de trabajo 8 bar.
- Temperatura de trabajo 0°C a 35°C.
- Alimentación eléctrica 220V-12V (transformador incluido).
- No se suministran los accesorios de interconexión entre las tres columnas.
- 32m³/h caudal máximo a tratar.

Una vez hecha la puesta en marcha de la planta, el caudal de agua a descalcificar, es aproximadamente de 90 m³/h , puesto que únicamente se utilizará este agua para reponer las pérdidas de las torres de refrigeración y para el área 300.El resto de agua descalcificada utilizada en las torres de refrigeración y los chillers se encuentra en ciclo cerrado y únicamente habría que suministrarla antes de la puesta en marcha, el volumen de agua en ciclo cerrado es de 31,4 m3.

Para abastecer las necesidades continuas de la planta serán necesarios 3 equipos de este tipo.



Figura 1.7.1. Descalcificadores triplex automáticos

1.7.3 Agua de refrigeración

El agua de refrigeración se utiliza en diferentes equipos de la instalación industrial para enfriar corrientes de proceso, y se enfría en las torres de refrigeración.

La actividad de las torres de refrigeración consiste en refrigerar el agua por evaporación. El agua caliente entra por la parte superior de la torre, circulando por gravedad a través del relleno donde se logra el máximo tiempo de contacto, de superficie y tiempo con la corriente de aire. De esta forma, el agua llega a la base de la torre, donde su temperatura habrá disminuido por el efecto ya citado de evaporación, limitando su efectividad a las condiciones ambientales de temperatura y humedad.

Por tanto para poder abastecer las necesidades de agua de refrigeración hay que calcular primero, las necesidades que requiere la planta.

El agua utilizada saldrá a una temperatura de 30 °C de la torre de refrigeración y se devuelve a 35°C. A continuación se muestra en la Tabla (7.1..1) con la potencia y caudal necesario por equipo de agua de refrigeración:

Tabla 1.7.1. Potencia y caudal necesario de agua de refrigeración por equipo

Equipo	P (KW)	Q (Kg/h)
E-301	711.17	122138.00
E-303	1023.63	175257.00
E-402	2715,7	466738.00
E-404	1884.00	323790.00
E-501	86,8	14924.00
E-503	71,6	12313.00
CO-401	1023.63	604040.00
CO-402	216.62	37236.00
CO-501	240.40	531946.00
CO-502	2817.40	12122175.00
Total	7916.84	14410557.00

Se ha de disipar un calor de 7916 KW . Con los datos obtenidos se ha decidido comprar unas torres de la casa Teva, en concreto modelo TVA-390 que trabajan con una potencia de 4008KW. Estas torres trabajan en ciclo cerrado pero tienen unas pérdidas constantes de agua ya que están abiertas al exterior, estas pérdidas hay que ir reponiéndolas con el agua descalcificada en la descalcificadora de la propia planta. Las pérdidas son un total de 75 m³/h.

En total para abastecer las necesidades de agua de torre de la planta se necesita un total de dos torres .

$$N^{\circ} \text{ de torres de refrigeración necesarias} = \frac{\text{Calor total a disipar}}{\text{Potencia de una torre}} \quad (1.7.1)$$

$$N^{\circ} \text{ de torres de refrigeración necesarias} = \frac{7918}{4008} = 1.98 \rightarrow 2 \text{ torres}$$

Para el cálculo de las pérdidas se ha tenido en cuenta, que éstas eran el 2% del caudal total de agua a tratar en un ciclo, según especificaciones de la torre comprada.

Para ello se ha calculado el volumen total de agua en un ciclo teniendo en cuenta el área de paso en los intercambiadores por los que pasa el agua, y dándoles un tiempo de residencia de aproximadamente 30 s. El 2% de la suma de todos los caudales son las pérdidas que tienen lugar en la torre y que hay que ir reponiendo. Estas pérdidas se han sobredimensionado puesto que no se ha tenido en cuenta el área de paso por tuberías.

Una vez realizados estos cálculos se obtiene que el caudal de pérdidas que hay que ir reponiendo en las torres de refrigeración con agua descalcificada es aproximadamente de 75m³.

Características de las torres:

Tabla 1.7.2. Características de las torres de refrigeración, modelo TVA-390

Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Peso vacía (kg)	Peso llena (kg)	Caudal de aire (m ³ /s)	Nº de ventiladores
9,21	2,47	3,94	4965	12525.00	82.36	3

La polución atmosférica en las áreas urbanas e industriales incrementa los daños de corrosión entre las torres de refrigeración. La utilización de un tipo de resina poliéster reforzada con fibra de vidrio, especialmente formulada para ésta aplicación, en la construcción de la serie TV, las hacen insensibles a la corrosión atmosférica y reducen drásticamente las operaciones de mantenimiento.

El envolvente exterior está formado por piezas moldeadas en resina de poliéster isoftálica reforzada con fibra de vidrio (PRFV), y atornilladas a una robusta estructura de acero galvanizado a baños de zinc fundido después de su construcción, mediante tornillería de inox.

Disponen además de bandeja de recogida de agua, ventilador de tipo axial, relleno de tipo laminar, una distribución de agua formada por un colector de acero galvanizado por inmersión en baño de zinc fundido después de su construcción, válvulas de purga en cada una de las conexiones de entrada de agua, para prevenir la concentración de sales en el agua y rejillas de salida de aire para la protección de cada uno de los ventiladores construidas con acero galvanizado a baño de zinc fundido.

1.7.4 Agua de Chiller

Un chiller (o enfriador de agua) es un equipo que produce agua fría para procesos industriales. Consiste en un proceso cerrado donde se extrae el calor generado en el proceso por contacto con agua. Así, el proceso cede calor bajando su temperatura y el agua, durante el paso por el proceso, la eleva. El agua ahora "caliente" retorna al chiller en donde nuevamente se reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso.

Es un sistema completo de refrigeración que incluye un compresor, un condensador, evaporador, válvula de expansión (evaporación), refrigerante y tuberías, además de bomba de impulsión de agua a/desde el proceso, sistema electrónico de control del sistema y depósito de agua.

En la planta de producción de acrilonitrilo se utilizarán chillers para rebajar la temperatura del agua de 10 a 5 grados, y para rebajar la temperatura de 5 a 0 grados.

Las necesidades de la planta para un salto de temperatura de 10 a 5 grados se presentan en la siguiente tabla 1.7.3.

Tabla 1.7.3. Potencia y caudal necesario de agua de chiller por equipo

Equipo	P (KW)	Q (Kg/h)
E-302	615,07	105497,00
E-304	768,33	131783,00
E-403	743,6	127515,00
E-405	2491,86	427463,00
E-502	63,25	10848,00

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

E-504	12913,60	220522,00
CO-503	23,89	4098,00
Total	16876,00	1027726,00

Se ha de disipar un calor de 16876 KW. Con los datos obtenidos se ha decidido comprar chillers condensados por agua de la marca Carrier, modelo 19XR, que trabajan con una potencia de 5100KW.

$$N^{\circ} \text{ de chillers} = \frac{\text{Calor total a disipar por los equipos}}{\text{Potencia de un chiller}} = \frac{16876}{5100} = 3.3 \quad (1.7.2)$$

$$N^{\circ} \text{ de chillers} = 4 \text{ chillers}$$

En total para abastecer las necesidades de agua de chiller, para un salto de temperatura de 10 a 5 grados, se necesita un total de 4 chillers de este tipo.

Los chillers centrífugos Evergreen 19 XRV logran niveles de rendimiento energético utilizando tecnología probada y diseñada específicamente para refrigerantes sin cloro. Esta combinación asegura la solución más rentable y confiable para las aplicaciones de agradable enfriamiento y proceso de refrigeración de hoy en día. Los chillers Evergreen de Carrier ofrecen el mejor valor en enfriadores centrífugos sin cloro y de alta eficiencia para calefacción y ventilación.

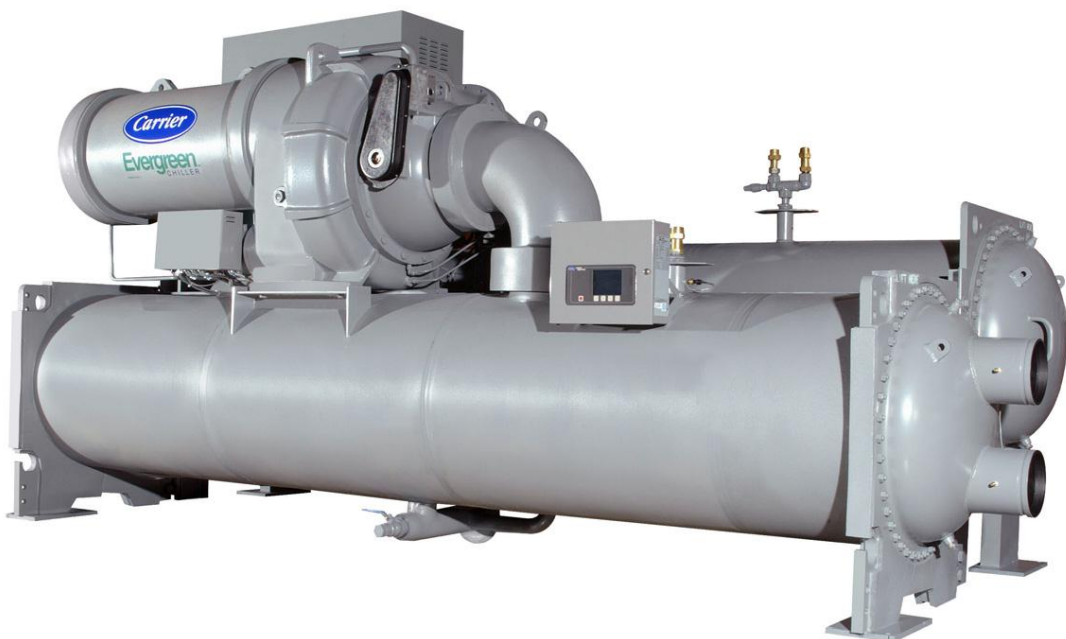


Figura 1.7.2. Chiller condensado por agua modelo 19XRV

Las necesidades de la planta para un salto de temperatura de 5 a 0 grados se muestran en la siguiente tabla. Tabla 1.7.4.

Tabla 1.7.4. Potencia y caudal necesario de agua de chiller por equipo

Equipo	P (KW)	Q (Kg/h)
E-406	1199,07	239832,00

Se ha de disipar un calor de 1199 KW. Con los datos obtenidos se ha decidido comprar un chiller condensado por agua de la marca Carrier, modelo 30 HX, que trabaja a una potencia de 1300KW.

$$N^{\circ} \text{ de chillers} = \frac{\text{Calor total a disipar por los equipos}}{\text{Potencia de un chiller}} = \frac{1199}{1300} = 0.92 \quad (1.7.3)$$

$$N^{\circ} \text{ de chillers} = 1 \text{ chiller}$$

En total para abastecer las necesidades de agua de chiller, para un salto de temperatura de 5 a 0 °C, se necesita un total de un único chiller de este tipo.

Las unidades 30 HX tienen enfriadores sin condensador o enfriado de agua interior de alta eficacia. Las unidades tienen un diseño silencioso de baja vibración que presentan compresores a rosca. Los enfriadores 30 HX son lo suficientemente compactos para adaptarse a una puerta estándar, lo que los hace excelentes unidades de reemplazo.



Figura 1.7.3. Chiller condensado por agua modelo 30 HX

1.7.5 Gas natural

En la planta de producción de acrilonitrilo se dispone de una conexión a pie de parcela a media presión ($1,5 \text{ kg/cm}^2$) de gas natural.

Este servicio se utiliza para alimentar el quemador de la caldera ($3000 \text{ m}^3/\text{h}$) y para el incinerador catalítico ($7 \text{ m}^3/\text{h}$) que se encuentra en el área 700 (A-700).

1.7.6 Nitrógeno

En la planta de producción de acrilonitrilo el nitrógeno es imprescindible en distintas áreas del proceso, esto es debido a las múltiples ventajas que presenta este compuesto gracias a sus propiedades.

- Gas incoloro, inodoro, insípido y no tóxico.
- No produce combustión y no es combustible
- Está formado por moléculas diatómicas, con una elevada energía de enlace, que proporciona una gran estabilidad lo que justifica su comportamiento como inerte.
- Tiene una densidad pequeña similar a la del aire, por lo que es fácil desplazarlo.
- Su solubilidad en líquidos es muy pequeña, e inferior a la de muchos otros gases.

- Debe ser obtenido con gran pureza, en cuanto a exigencias en el contenido de oxígeno y humedad.
- Se puede emitir a la atmósfera sin ningún tipo de problema.

La necesidad de una atmósfera inerte de nitrógeno es debida principalmente a cuatro factores: seguridad, calidad, producción y protección de equipos.

- Seguridad:

Con este factor se pretende eliminar el riesgo de inflamaciones y explosiones, además del almacenamiento y manipulación de ciertos productos.

- Calidad:

Muchos productos químicos necesitan una atmósfera inerte por motivos de calidad, la presencia de oxígeno y humedad puede causar dependiendo del producto, muchos problemas.

Estos problemas pueden venir por reacciones secundarias que pueden provocar una pérdida de propiedades del producto deseado, por lo tanto pueden influir en la calidad final del producto, o incluso, pueden aparecer productos inestables.

El nitrógeno es un gas muy puro y seco, lo que evita problemas derivados de la presencia del oxígeno y de la humedad.

- Producción:

En las diferentes etapas de la fabricación de un producto es imprescindible la presencia de una atmósfera de nitrógeno, ya sea por motivos de seguridad, o por motivos de necesidad del producto.

En esta planta de producción de acrilonitrilo en casi todos los tanques de almacenaje de reactivos y de productos se utilizará nitrógeno con el fin de inertizarlos, y de este modo se evitarán riesgos de posibles explosiones y también se evitarán las posibles oxidaciones con el oxígeno del aire de los compuestos almacenados.

El aire y el oxígeno que se encuentran en el interior de los tanques, se sustituye por el nitrógeno. De esta forma, al inertizar los tanques, la parte que queda vacía se llena con nitrógeno haciendo que el aire salga de él al exterior.

Los tanques de almacenaje nunca se encuentran vacíos del todo, como mucho el 85% del tanque estará vacío. Con esto se puede calcular el nitrógeno necesario.

Se calcula la cantidad de nitrógeno para los tanques que necesitan ser inertizados:

$$\text{Necesidad nitrógeno (m}^3\text{)} = 0.85 \cdot V_{\text{tanque}} \quad (1.7.4)$$

Tabla 1.7.5. Necesidades de nitrógeno gas

Tanque	Volumen (m ₃)	Nº tanques	Necesidad de nitrógeno (m ₃)
AN	250	4	850
NH ₃	150	4	510
HCN	65	1	55,25
ACN	35	1	29,75
P	210	2	357
Necesidad Total de N ₂ gas			1802,00

Como el consumo de nitrógeno gas es alto, el suministro mediante botellas de gas comprimido plantea problemas funcionales y económicos por el elevado número de botellas a manejar. Por ello, se ha decidido almacenarlo como líquido, para ello hay que tener en cuenta las condiciones en las que está el nitrógeno en cada tanque de almacenamiento, y mediante las densidades en estado líquido y gas del nitrógeno en estas condiciones calcular el volumen a comprar.

$$m_{\text{nitrógeno}} = \rho_{\text{gas}} \cdot V_{\text{gas}} \quad (1.7.5)$$

$$V_{\text{liq}} = \frac{m_{\text{nitrógeno}}}{\rho_{\text{liq}}} \quad (1.7.6)$$

Tabla 1.7.6. Necesidades de nitrógeno líquido

Tanque	$\rho_{\text{gas}}(\text{Kg/m}^3)$	$\rho_{\text{liq}}(\text{Kg/m}^3)$	N ₂ liq (m ³)	N ₂ liq (l)
AN	1,13	598	1.60	1606,18
NH ₃	16,34	598	13.94	13935,45
HCN	2,25	598	0.20	207,88
ACN	1,13	598	0.06	56,21
P	16,9	598	10.08	10089,13

Necesidad total de N₂ líquido	25,89	25894,87
---	--------------	-----------------

La empresa seleccionada para el suministro del nitrógeno es Praxair. El volumen de tanque que suministra esta empresa es de 26800 l, lo que satisface completamente las necesidades de la planta.

A continuación se presentan las dimensiones del tanque:

Tabla 1.7.7. Dimensiones del tanque de nitrógeno.

Dimensiones del tanque	
Altura (m)	9,06
Diámetro interno (m)	2,4
Diámetro externo (m)	2,6

El aire comprimido en planta se utiliza para accionar toda la instrumentación para el control del proceso. Para cubrir estas necesidades de aire comprimido se ha escogido un compresor de tornillo rotativo, el cual suministra aire a una presión de 8 bares.

El principio de funcionamiento del compresor de tornillo rotativo es el siguiente: el aire aspirado es comprimido entre dos rotores y una carcasa. Los dos rotores son helicoidales (uno de cuatro lóbulos y el otro con seis estrías) y giran entre ellos, el primero lo hace a una velocidad el doble de rápido que el segundo. Estos dos rotores nunca llegan a entrar en contacto ya que están diseñados con este objetivo, de esta manera no se produce desgaste con lo que no es necesaria la lubricación de ninguna de las partes. Por este motivo se opta por el modelo ZT 110 de la casa Atlas Copco el cual genera aire comprimido exento de aceite.



Figura 1.7.4. Generador de aire comprimido ZT 110

Junto al compresor se debe tener un tanque pulmón de aire comprimido para poder cubrir los picos de demanda de aire comprimido, además para proporcionar un aire seco y libre de partículas también se incorpora un secador y un filtro junto al compresor. Estos accesorios los proporciona la misma casa Atlas Copco cuando realiza la instalación y el posterior mantenimiento del compresor.

Una de las principales ventajas que tiene este modelo es la refrigeración por aire, ya que así se evita un aumento en el consumo de agua de refrigeración, el cual ya es lo suficientemente importante en la planta de acrilonitrilo.

A continuación se muestra un esquema del sistema de refrigeración del compresor.

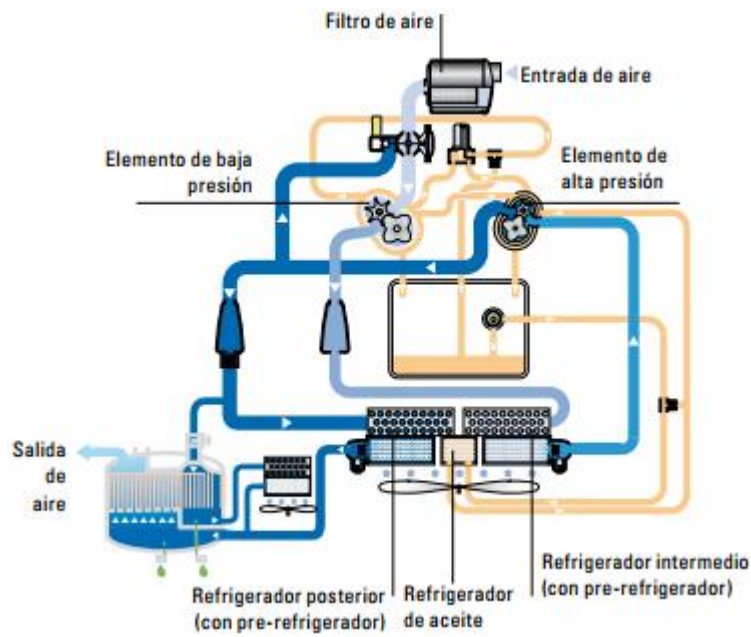


Figura 1.7.5. Sistema de refrigeración del compresor

Este compresor proporciona aire con un caudal de $16.9 \text{ m}^3/\text{min}$, tiene un motor instalado de 110 kW y un ventilador de 4.8 kW. Un peso de 4095 kg y las siguientes dimensiones:

A = 4040 mm, B = 2000 mm y C = 1650 mm

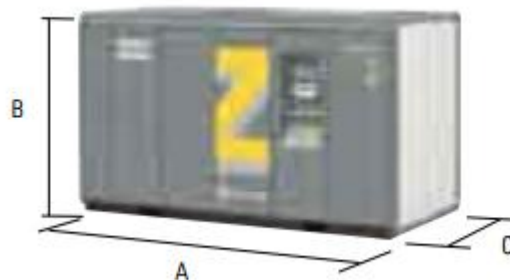


Figura 1.7.6. Compresor

1.7.7 Electricidad

La energía eléctrica en planta se usa para iluminación, instrumentación, alimentación de equipos y bombas. Para poder diseñar la estación transformadora se debe conocer todas las necesidades eléctricas de la planta, así como la simultaneidad de estas.

La función de la estación transformadora es convertir la electricidad que llega a planta de media a baja tensión, ya que se dispone de una conexión de 20kV. La tensión entre fases es de 380 V. Desde la estación transformadora se distribuyen líneas a cada área de la planta, éstas son trifásicas con tomas a tierra y neutras, los cables son de cobre recubiertos de PVC.

Para el dimensionamiento de líneas es necesario conocer los requisitos eléctricos de cada área y la longitud de la línea. A continuación se muestra tabuladas, por áreas, las potencias requeridas de cada equipo.

- Área 100:

Tabla 1.7.8. Potencia requerida por equipos A-100

Ítem	Potencia [kW]
P-101	2.2
TOTAL	2.2

- Área 200:

Tabla 1.7.9. Potencia requerido por equipo A-200

Ítem	Potencia [kW]
P-201	40.20
S-201	1537.75
S-203	843.15

Especificación del proyecto

TOTAL	2421.1
-------	--------

- Área 300:

Tabla 1.7.10. Potencia requerida por equipo A-300

Ítem	Potencia [kW]
P-301	0.33
P-303	2.78
P-305	3.49
P-307	0.41
P-309	0.22
P-311	15.5
P-313	13.4
P-315	22.3
P-317	16.7
P-319	0.01
P-321	0.54
P-323	0.54

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

S-301	185.13
S-303	20.69
AR-301	191
T-301	10.1
M-301	8.5
CF-301	37
CR-301	0.06
CR-302	0.06
DR-301	120
TOTAL	648.76

- Área 400:

Tabla 1.7.11. Potencia requerida por equipo A-400

Ítem	Potencia (kW)
P-401	1.83

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

P-403	0.88
P-405	6.21
P-407	3.54
P-409	0.21
P-411	0.08
P-413	0.17
P-415	22.1
P-417	0.44
P-419	0.10
P-421	0.02
P-423	1.52
P-425	73.5
P-427	5.52
P-429	57.4
P-431	16.75
P-433	40.33
P-435	52.52

Especificación del proyecto

P-437	30.49
P-439	0.38
P-442	2.96
P-444	0.21
S-401	89.56
AR-401	104.4
AR-402	104.4
M-401	8.8
TOTAL	624.02

- Área 500:

Tabla 1.7.12. Potencia requerida por equipo A-500

ITEM	Potencia (kW)
P-501	1.41
P-503	0.1
P-505	0.7

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

P-507	0.44
P-509	0.17
P-511	0.21
P-513	0.09
P-515	0.32
P-517	0.21
P-519	65.36
P-521	285.4
P-523	28.03
P-525	2.47
P-527	1.79
P-529	2.25
P-531	0.89
P-533	1.00
P-535	3.65
P-537	0.58
AR-501	104.4

Especificación del proyecto

M-501	2.27
TOTAL	501.12

- Área 600:

Tabla 1.7.13. Potencia requerida por equipo A-600

Ítem	Potencia (kW)
P-601	15.5
P-602	13.4
P-603	22.3
P-604	16.7
P-605	73.5
P-606	5.52
P-607	57.4
P-608	16.75
P-609	40.33
P-610	52.52
P-611	30.49

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

P-612	0.38
P-613	65.36
P-614	285.4
P-615	28.03
P-616	2.47
P-617	1.79
P-618	2.25
P-619	0.89
P-620	3.48
P-621	10.01
P-622	16.56
P-623	2.890
P-624	501.53
S-601	6.85
S-602	87.82
S-603	403.33
S-604	48.72

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

TF-601	40.08
TF-602	40.08
CH-601	53
CH-602	53
CH-603	53
CH-604	53
CH-605	12.99
TOTAL	2117.17

- Área 700:

Tabla 1.7.14. Potencia requerida por equipo A-700

Ítem	Potencia (kW)
P-701	0.11
P-703	0.01
V-701	246.81
TOTAL	246.93

- Área 800:

Tabla 1.7.15. Potencia requerida por equipo A-800

Ítem	Potencia (kW)
S-801	317.64
S-802	0.6
S-803	50.23
TOTAL	368.47

- Área 900:

Tabla 1.7.16. Potencia requerida por equipo A-900

Ítem	Potencia (kW)
P-901	0.75
P-903	0.01
P-905	0.03
T-901	8.07
T-902	8.07
T-903	8.07
T-904	8.07

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

T-905	9.35
T-906	9.35
T-907	10.84
T-908	10.84
TOTAL	73.45

- Área 1300:

Tabla 1.7.17. Potencia requerida por equipo A-1300

Ítem	Potencia (kW)
P-1301	0.31
P-1303	3.06
P-1305	0.40
TOTAL	3.77

1.7.7.1 Potencia total requerida en planta

En cada área de la planta se puede estimar la potencia total requerida por la iluminación y los equipos, de manera que sumando todas estas potencias se determina la potencia

total requerida por la planta de acrilonitrilo. Para estimar ésta potencia en cada una de las áreas se utiliza la ecuación

$$P_{luz} = A_{\text{área}} \cdot 5\% \quad 1.7.7$$

Donde:

$A_{\text{área}}$ es el área en m^2 de cada área de planta

P_{luz} es la potencia requerida por el sistema de iluminación (kW)

Tabla 1.7.18. Potencia requerida por equipos e iluminación

Área	Potencia requerida por equipos [kW]	Área [m^2]	Potencia requerida por iluminación [kW]	Potencia total requerida [kW]
A-100	2.2	1881	94.05	96.25
A-200	2421.1	595	29.75	2450.85
A-300	648.76	794	39.7	688.46
A-400	624.02	982	49.1	673.12
A-500	501.12	982	49.1	550.22

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

A-600	2117.17	600	30	2147.17
A-700	246.93	800	40	286.93
A-800	368.47	225	11.25	379.72
A-900	73.45	1000	50	123.45
A-1000	-	625	31.25	31.25
A-1100	-	875	43.75	43.75
A-1300	3.77	400	20	23.77

Dimensionamiento de cables

Determinando la longitud entre la estación transformadora y los equipos se puede estimar el grosor del cable. Para calcular la sección que debe tener el cable se recorre a las medidas estandarizadas en mm² las cuales son las siguientes: 1.5/2.5/4/6/10/16/25/35/50/70/95/120/150/185/240. En caso de que la sección de cable supere los 240 mm² se deberá repartir la potencia en más líneas, con tal de obtener secciones de cable dentro del rango estándar.

La intensidad se calcula a partir de la ecuación 1.7.8

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\phi} \quad (1.7.8)$$

Donde :

I es la intensidad en A

cosφ e= 0.8

U es la tensión en V

Especificación del proyecto

La sección de cable se determina a partir de la ecuación 1.7.9

$$U = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{56 \cdot S} \quad (1.7.9)$$

Donde:

L es la longitud en mm

S es la sección de la línea en mm

Tabla 1.7.19. Dimensionamiento de cables

Área	Potencia total requerida [kW]	Intensidad [A]	Longitud [m]	Sección calculada [mm ²]	Número de líneas	Sección normalizada [mm ²]	Diámetro cables [mm]
A-100	96.25	0.2	180	2.14	1	4	2.3
A-200	2450.85	4.7	94	28.49	1	35	6.7
A-300	688.46	1.3	67	5.70	1	6	2.8
A-400	673.12	1.3	70	5.83	1	6	2.8
A-500	550.22	1.0	70	4.76	1	6	2.8
A-600	2147.17	4.1	25	6.64	1	10	3.6
A-700	286.93	0.5	70	2.48	1	2.5	1.8

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

A-800	379.72	0.7	92	4.32	1	6	2.8
A-900	123.45	0.2	198	3.02	1	4	2.3
A-1000	31.25	0.1	232	0.90	1	1	1.1
A-1100	43.75	0.1	290	1.57	1	2.5	1.8
A-1300	23.77	0	40	0.12	1	1	1.1

La potencia total consumida en la planta de acrilonitrilo es de 7494.94 kW

Considerando futuras ampliaciones de la planta se sobredimensiona el valor de potencia obtenido en un 10 % de manera que la potencia equivale a 8244.4 kW

En la estimación de la potencia total requerida también se debe de tener en cuenta el llamado factor de potencia, el cual tiene un valor de 0.8, con éste y la ecuación 1.7.10 se determina el valor de potencia requerida por toda la planta de acrilonitrilo.

$$Potencia [KVA] = \frac{P_{total}}{factor\ de\ potencia} \quad (1.7.10)$$

$$Potencia\ total = 10905.5\ KVA.$$

Se observa que con la turbina, la cual genera una potencia de 3.8 MW, no se cubren en su totalidad las necesidades eléctricas de planta, por lo que la estación transformadora deberá garantizar el suministro eléctrico restante.

1.7.7.2 Estación transformadora

Para transformar la energía eléctrica que llega de media a baja tensión se ha escogido una estación transformadora suministrada por la casa Ormazabal, el modelo seleccionado es el Cotradis, la figura (XXXXL) muestra el aspecto del equipo. Ésta es

una estación transformadora, de cobre y trifásica de 50 Hz válida para instalación interior o exterior.



Figura 1.7.7. Estación transformadora.

1.7.7.3 Grupo electrógeno

En el caso de que haya problemas en la red de distribución de electricidad, se cuenta con un grupo electrógeno diesel el cual garantiza la continuidad en el suministro eléctrico a la planta. Principalmente se desea garantizar el suministro eléctrico de los sistemas de control, equipos y servicios importantes de planta, así como los equipos informáticos, por esto al escoger el grupo electrógeno se buscará cubrir estas necesidades en concreto. Para este caso se ha escogido el grupo electrógeno Diesel, de la casa comercial Caterpillar, de 4700 kW.



Figura 1.7.8 Grupo electrógeno Diesel de 4700 KW

1.7.8. Caldera de vapor

Las calderas de vapor son equipos diseñados para generar vapor. El vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de fase.

Según la ITC-MIE-APQ-001, una caldera es todo aparato a presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor.

La caldera será usada principalmente en la puesta en marcha de la planta, y también como apoyo en momentos puntuales del proceso.

1.7.8.1. Funcionamiento de la caldera de vapor

La caldera se elige según los requerimientos de los equipos que requieran de vapor durante el proceso de producción. La tabla 1.8.4.1, muestra los equipos que requieren de vapor de caldera, y el caudal que requieren:

Tabla 1.8.4.1. Requerimientos de vapor de los equipos durante la puesta en marcha (Kg/h)

Equipo	Caudal de vapor (Kg/h)
K-201	1536,6
K-202	974,7

E-201	489,8
E-202	998,8
REACTOR (R-201/R-202)	38000
TOTAL	42000

Una vez conocidos las necesidades de vapor de la planta tanto en la puesta en marcha, como durante el proceso de producción (durante el proceso de producción, las necesidades de vapor se reducen a 15000 Kg/h), se ha contactado con la empresa VALTEC- UMISA SA, que ha recomendado su caldera de vapor modelo UMS-100 pirotubular horizontal, que tiene una producción de vapor de 45000 Kg/h a una presión de 8,7 bar. Esta caldera funciona con gas natural y tiene un consumo de combustible de 30735 KW/h con un rendimiento del 95 %.

1.7.4.2. Descripción de la caldera

La instalación estará compuesta por:

- Caldera de vapor pirotubular producción 45.000 Kg/h .
- Línea de gas natural, desde la estación receptora en planta ERM hasta las rampas de regulación de cada uno de los quemadores
- Línea de agua desde un punto de sala de calderas, hasta el grupo de descalcificador, desgasificador y depósito de alimentación de agua y desde este a la entrada de caldera..
- Línea de vapor desde las salidas principal de caldera hasta un colector distribuidor situado en el recinto de sala de calderas.
- Línea de purgas efectuando todo la recogida de purgas de caldera llevándolas al depósito expansionador de purgas y de este a arqueta de desagüe.



Figura 1.7.9. Caldera UMS-100

1. Caldera de vapor

Generador de vapor modelo UMS-100 piro-tubular horizontal, de tres pasos de gases, cámara húmeda, totalmente exenta de material refractario

Tabla 1.8.4.2. Características de funcionamiento

Producción de vapor (Kg/h)	45.000
Presión de servicio (bar)	8,7
Presión de diseño (bar)	10
Combustible	Gas natural
Rendimiento (%)	95
Consumo combustible (KW/h)	30.735

El generador y todos su elementos están contruidos con certificación “CE”

Dotación del generador:

- Aislamiento térmico en lana mineral de 100 mm. Espesor y densidad 100 Kg/m³, protección exterior en chapa de alucinc blanca.
- Plataformas y escaleras para el acceso a todos los puntos de funcionamiento e inspección
- Una puerta de entrada de hombre superior
- Dos puertas de entrada de hombre inferiores
- Dos puertas entrada hombre a los hogares
- Puertas cajas de humos delanteras y traseras
- Una tubuladura salida vapor principal
- Una tubuladura aireación
- Dos tubuladuras niveles automáticos y seguridad
- Dos tubuladuras válvulas de seguridad
- Dos tubuladuras niveles visuales e instrumentación
- Una tubuladura entrada de agua
- Dos tubuladura purga de lodos inferior
- Una tubuladura purga de sales de superficie.

Equipamiento del generador

- Dos quemadores para quemar gas natural marca RAY con rampas de preparación de gas natural.
- Un economizador para el calentamiento de agua de aporte a caldera con el fin de aprovechar el calor residual de los humos en chimenea, aumentando así el rendimiento térmico del equipo de 90 al 95 %.
- Dos grupos motobomba de alimentación de agua a caldera con variadores de frecuencia para la alimentación en continuo de agua
- Electrodo GESTRA para control nivel medio caldera dando orden de paro y arranque bomba, en caso de trabajar en discontinuo seccionando el economizador.
- Electrodo de nivel bajo autochequeable GESTRA
- Electrodo de nivel mínimo de seguridad autochequeable GESTRA
- Una válvula de salida vapor principal de fuelle
- Una válvula de aireación de fuelle
- Dos válvulas de seguridad
- Tres válvulas seccionamiento grupos motobomba alimentación de agua y entrada a caldera de fuelle
- Tres válvulas seccionamiento y bypass economizador fuelle

- Tres válvulas de retención línea de agua de disco.
- Una válvula de seccionamiento purga de sales de superficie.
- Una válvula purga de sales en continuo REACTOMATA automática con control de conductividad
- Dos válvulas de seccionamiento purga de lodos inferiores de fuelle.
- Dos válvulas automáticas purga de lodos inferiores.
- Un manómetro control presión de vapor.
- Cinco PT-100 control temperatura de vapor, agua y humos en chimenea y economizador
- Un transmisor de presión diferencial para control del nivel en continuo de agua en caldera
- Un transmisor de presión para control de la presión y regulación de quemadores.
- Un presostato de seguridad SAUTER.
- Dos niveles visuales DIESE, con válvulas de seccionamiento y purga.
- Un cuadro de mandos con todo el equipamiento eléctrico (Seccionador general, magnetotérmicos, contactores, relés, con PLC y pantalla donde se recoge toda la información y lazos de control del funcionamiento de caldera y auxiliares.
- Cableado entre todos los elementos y el cuadro de mandos.
- Una chimenea construida en acero al carbono de 10 metros de altura

2. Línea de agua

Partiendo de un punto sala de calderas, hasta el equipo descalcificador y de este al degasificador y depósito de almacenamiento de agua tratada y llegada de condensados, con la interconexión a los grupos motobomba de alimentación y a la entrada de calderas, comprendiendo:

- Un descalcificador automático de doble columna para un caudal de 30 m³/h de agua con una dureza máxima de 30°F y un caudal entre regeneraciones de 500m³. control por volumen.
- Un grupo de dosificación de productos químicos para el acondicionamiento del agua en caldera pH y O₂.
- Un equipo degasificador para la eliminación del O₂ y CO en el agua de aporte a caldera comprendiendo:
 - Columna degasificadora para un caudal de agua fría de 30 m³/h (se entiende que habrá una recuperación de condensados superior al 50 % de consumo de vapor en planta) .
 - Un deposito de almacenamiento de agua y condensados para una capacidad de 50 m³.
 - Ambos equipos serán construidos en acero inox AISI-316 L.

- Equipados con toda la valvulería e instrumentación, tanto los lazos de control como las indicaciones de funcionamiento estarán en el PLC general de caldera.
- Tubería, válvulas, bridas, curvas, tornillería, juntas y soporte para la interconexión desde punto de entrada de agua hasta entrada a caldera.
- Aislamiento del depósito de alimentación de agua y las tuberías de agua caliente de alimentación a caldera.



Figura 1.7.10. Depósito de condensados

3. Línea de vapor

Desde la válvula principal de salida de vapor de caldera, hasta el colector distribuidor situado dentro del recinto de sala de calderas, comprendiendo:

- Un colector distribuidor de vapor con dos entradas y dos salidas, con sus correspondientes válvulas de seccionamiento, grupo de purga y silletas de apoyo para su montaje en pared.
- Tubería, curvas, bridas, juntas, tornillería y soportes para la interconexión desde caldera a colector.
- Aislamiento de tuberías y colector.

4 Línea de purgas

Desde el colector que recoge la purga de caldera hasta el depósito expansionador de purgas y desde este a la arqueta de desagüe situada dentro de sala de calderas, comprendiendo:

- Un depósito expansionador de purgas construido en acero al carbono con grupo de regulación de refrigeración de purgas y tubo de salida de reevaporizado.

- Tubería de interconexión desde colector de caldera a depósito y desde este a arqueta de desagüe, comprendiendo tubo, válvulas, bridas, curvas, juntas y tornillería necesaria.
- Tubería de descarga de las válvulas de seguridad y aireación de caldera a la atmósfera.
- Tuberías de aireación de depósitos nodriza y agua a la atmósfera.

5 Línea de gas natural

Comprendiendo desde la válvula de seccionamiento de la tubería dejada por la compañía de gas en la entrada a fábrica hasta la ERM y de esta hasta las rampas de gas de los quemadores.

Distancia máxima 30 metros.

La llega de gas a ERM podrá ser entre 10 a 30 bar.

En la ERM se reducirá a la presión de legal de gas a sala de calderas 2,5 bar.

6. Proyecto instalación y supervisión de la instalación

Confección y legalización de los proyectos según disposición vigente:

- Proyecto tipo único caldera quemadores quemando gas natural.
- Proyecto instalación gas natural.
- Proyecto instalación sala de calderas.

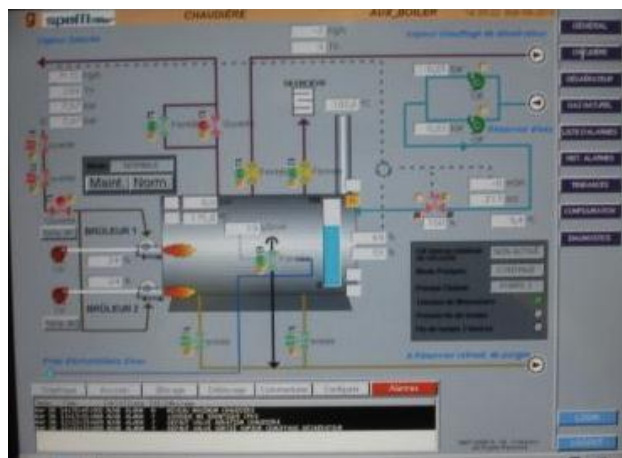


Figura 1.7.11. Software de control de la caldera

7. Puesta en marcha y curso de formación

Puesta en marcha de la instalación efectuada por técnicos especializados y curso de formación.

La duración de la puesta en marcha será de una semana.

La duración del curso de formación al personal encargado del funcionamiento de la planta será de tres días.

1.8. PERSONAL DE LA PLANTA

Para poder decidir el número de personas que van a trabajar en la planta, se deberán saber los turnos que habrá al largo del año. Para ello, será necesario las horas de operación en la planta, y las horas de un operario, esto permitirá saber los turnos necesarios de la planta:

$$\text{Operación de la planta} = 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} \cdot 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} = 7200 \text{ horas}$$

Un operario trabaja 40 horas a la semana, y al año se trabajan 43 semanas, por lo tanto, un operario hace:

$$\text{Horas operario} = 43 \text{ semanas} \cdot 40 \frac{\text{horas}}{\text{semana}} = 1720 \text{ horas}$$

Por lo tanto, el número de turnos, se halla como:

$$\text{Turnos} = \frac{7200}{1720} = 4,19 \rightarrow 4$$

Es decir, que se deberán contratar 4 turnos para el funcionamiento de la planta.

En cada turno, deberá haber:

- Un ingeniero técnico que actuará como jefe de planta coordinando las actividades de los operarios.
- 8 operarios entre los cuales, deberá haber un encargado del toro neumático
- Un agente de seguridad

Todos los trabajadores tendrán 14 pagas anuales, y los costes derivados de la seguridad social representarán un 30% del sueldo bruto fijo de cada trabajador.

El personal contratado se ha considerado que será el siguiente:

Tabla 1.8.1. Sueldos y horarios de los asalariados de la planta

Cargo	Nº trabajadores	Sueldo bruto fijo	Observaciones
Gerente	1	10.000	Horario normal
Secretaria	1	1.600	Horario normal
Administrativos	5	1.500	Horario normal
Jefe de seguridad y prevención	1	3.000	Horario normal
Jefe de logística	1	3.500	Horario normal
Jefe financiero	1	3.500	Horario normal
Jefe de marketing	1	3.500	Horario normal
Ingenieros superiores	1	2.700	Horario normal. Es el jefe de los ingenieros técnicos
Ingenieros técnicos	4	2.000	Uno por turno, son los jefes de los operarios

Planta de producción de acrilonitrilo

Especificación del proyecto

Operarios	32	1.350	Horario normal
Control y calidad	4	1.500	En dos turnos
Comerciales	4	2.500	Horario normal
Limpieza	2	1.000	Horario normal
Seguridad	4	1.200	Uno para cada turno

Por lo tanto, en la planta hay un total de 64 trabajadores, que se distribuirán en turnos, en los que se ha impuesto que nadie trabaje más de cinco días seguidos, ni tampoco menos de tres. Con este sistema, se trabajan entre 22 y 23 días al mes, por lo tanto, se trabajarán 160 horas mensuales, y los trabajadores que entren en rotación, cobrarán 12 horas extra cada mes.

Los 4 técnicos de laboratorio, tendrán horarios diferenciados (dos trabajan de 6:00 a 14:00; y los otros dos de 14:00 a 22:00) irán rotando cada mes, de manera que se alternen los dos turnos.

Se considera que la entrada de camiones será desde las 8:00 a las 14:00, de manera que el operario encargado de efectuar las cargas, descargas, y las pesadas de los camiones, deberá seguir el mismo horario.

Los administrativos se repartirán de la siguiente manera; 3 harán jornada intensiva (de 7:00 a 15:00), y los restantes harán de 14:00 a 22:00. Esto se ha distribuido así, porque haya comunicación entre los dos turnos (alguna comanda, planificaciones de los turnos, cosas que no haya dado tiempo a hacer,...) El turno de mañana entrará a las 7:00 para tener tiempo a realizar el papeleo necesario para los camiones que deban entrar a primera hora de la mañana (8:00).

El resto del personal trabajaran de 9:00 a 18:00, con una hora para comer.