

# APROVECHAMIENTO TÉRMICO DE UN CORRIENTE RESIDUAL EN UNA CALDERA DE VAPOR



**Identificador:** 1513

**Tutor:** Joan Ramón Cabello Rimbau

**Autor:** Lucas Santiago Tabera Martínez

**Fecha de entrega:** 3 de junio de 2015

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción .....   | 8  |
| 2. Descripción del Proyecto .....   | 11 |
| 3. Alcance del proyecto.....  | 11 |
| 4. Planificación temporal .....   | 12 |
| 5. Bases de diseño .....  | 15 |
| 5.1. Demanda del cliente.....   | 15 |
| 5.2. Especificación de la alimentación.....   | 15 |
| 5.3. Especificación del producto .....  | 15 |
| 5.4. Factor de servicio y tiempo de operación .....   | 15 |
| 5.5. Normas de diseño.....  | 15 |
| 6. Datos básicos para el desarrollo de la ingeniería .....  | 16 |
| 6.1. <i>Utilities</i> disponibles.....  | 16 |
| 6.2. Precio de las <i>utilities</i> .....   | 16 |
| 6.3. Datos del emplazamiento .....  | 16 |
| 6.3.1. Datos climáticos y sismológicos .....  | 17 |
| 6.3.2. Infraestructura y comunicaciones .....   | 18 |
| 7. Estudio de alternativas .....  | 20 |
| 7.1. Gestión externa como residuo.....  | 20 |
| 7.2. Gestión interna .....  | 21 |
| 7.2.1. Gestión interna como residuo.....  | 22 |
| 7.2.2. Gestión interna como subproducto.....  | 24 |
| 7.3. Selección de la alternativa.....   | 25 |
| 8. Cálculo teórico de la concentración de NO <sub>x</sub> .....   | 30 |
| 8.1. Combustión de gas natural con un 3% en exceso de aire .....  | 32 |
| 8.2. Combustión de gas natural y mezcla de acetatos con un 3% en exceso de aire .....                           | 32 |
| 8.3. Incineración de gas natural y mezcla de acetatos con un 12% en exceso de aire .....                        | 32 |
| 8.4. Relación entre $\tau_{ZCA}$ residencia y $\alpha_{ZCA}$ frente a la concentración de NO <sub>x</sub> ..... | 32 |
| 9. Elaboración de diagramas .....   | 36 |
| 9.1. Diagrama de bloques.....   | 36 |
| 9.2. Diagrama de flujo del proceso .....  | 38 |
| 9.3. <i>Plot Plan</i> .....   | 41 |
| 9.4. P&ID .....   | 43 |
| 10. Diseño básico .....   | 48 |



|   |    |
|---|----|
| 10.1. Balance de energía .....                                  | 48 |
| 10.1.1. Caldera de vapor .....                                  | 48 |
| 10.1.2. Gestión interna como residuo.....                       | 49 |
| 10.1.3. Gestión interna como subproducto.....                   | 49 |
| 10.1.4. Conclusiones .....                                      | 49 |
| 10.2. Diseño de tuberías .....                                  | 50 |
| 10.2.1. Criterios para el dimensionamiento de las tuberías..... | 50 |
| 10.2.2. Dimensionamiento .....                                  | 50 |
| 10.2.3. Material .....  | 51 |
| 10.2.4. <i>Schedule</i> (número de cédula) .....                | 51 |
| 10.2.5. Normalización del diámetro de las tuberías. ....        | 51 |
| 10.3. Diseño de bombas .....                                    | 52 |
| 10.3.1. Tramo 1 .....   | 52 |
| 10.3.2. Tramo 2 .....   | 52 |
| 10.3.3. Selección del sistema de bombeo.....                    | 53 |
| 10.4. Dimensionamiento de las válvulas controladoras .....      | 54 |
| 10.5. Diseño del tanque de almacenamiento T-101 .....           | 54 |
| 10.6. Diseño del intercambiador de calor E-201 .....            | 54 |
| 11. Estrategias de control .....                                | 54 |
| 11.1. Funcionamiento del sistema de control.....                | 55 |
| 11.2. P&ID 100: Zona de alimentación .....                      | 55 |
| 11.3. P&ID 200: Zona de acondicionamiento.....                  | 56 |
| 11.4. P&ID 300: Zona de combustión .....                        | 57 |
| 11.4.1. Control de la combustión .....                          | 59 |
| 11.4.1.1. Formación vapor a la caldera .....                    | 59 |
| 11.4.1.2. Limitación del combustible por el aire.....           | 59 |
| 11.4.1.3. Control de la cantidad de exceso de aire .....        | 59 |
| 11.4.2. Control de la presión en la cámara de combustión .....  | 60 |
| 11.4.3. Control del caudal de agua de alimentación .....        | 60 |
| 11.4.4. Control de la temperatura del vapor.....                | 61 |
| 12. Optimización del calor de los humos de combustión .....     | 62 |
| 13. Simulación del proceso .....                                | 62 |
| 13.1. Conclusión .....  | 63 |
| 14. Descripción del proceso .....                               | 63 |



|  |     |
|--|-----|
| 15. Listados .....   | 66  |
| 15.1. Listado de líneas.....   | 66  |
| 15.2. Listado de equipos.....  | 67  |
| 15.3. Listado de instrumentación .....   | 68  |
| 16. Seguridad del proceso .....  | 73  |
| 16.1. Análisis cualitativo del riesgo .....  | 73  |
| 16.1.1. Peligrosidad de las materias primas .....  | 73  |
| 16.1.1.1. Subproducto .....  | 73  |
| 16.1.1.2. Gas natural .....  | 74  |
| 16.1.1.3. Aire.....  | 74  |
| 16.1.1.4. Agua .....   | 74  |
| 16.1.2. Peligrosidad de productos intermedios .....  | 74  |
| 16.1.2.1. CO y CO <sub>2</sub> .....   | 74  |
| 16.1.2.2. NO <sub>x</sub> .....  | 75  |
| 16.1.3. Peligrosidad del producto final .....  | 75  |
| 16.1.4. Hazop del tanque.....  | 76  |
| 16.1.5. Hazop de la caldera de vapor .....   | 81  |
| 16.2. Análisis cuantitativo del riesgo .....   | 86  |
| 16.3. Zonas ATEX (de atmósfera explosiva).....   | 86  |
| 16.4. Protección de los equipos a sobrepresión.....  | 87  |
| 16.5. Plan de autoprotección .....   | 90  |
| 16.5.1. Detección de alerta.....   | 90  |
| 16.5.2. Mecanismos de alarma.....  | 90  |
| 16.5.3. Evacuación y/o confinamiento.....  | 90  |
| 16.5.4. Prestación de las primeras ayudas.....   | 91  |
| 16.5.5. Modo de recepción de las ayudas externas .....                                       | 91  |
| 17. Seguridad Laboral .....  | 91  |
| 17.1. Evaluación de los riesgos laborales.....   | 91  |
| 18. Aspectos ambientales .....   | 104 |
| 18.1. Identificación y evaluación de las emisiones a la atmósfera, vertidos y residuos ..... | 104 |
| 18.1.1. Emisiones atmosféricas .....   | 104 |
| 18.1.2. Vertidos .....   | 104 |
| 18.1.3. Residuos .....   | 105 |
| 18.2. Identificación y evaluación de los residuos sólidos producidos .....                   | 105 |

|   |     |
|---|-----|
| 18.3. Consumo de energía y de recursos naturales .....                      | 106 |
| 18.4. Sistema de gestión de energía .....                                   | 106 |
| 18.5. Generación de gases de efecto invernadero y calentamiento global..... | 106 |
| 18.6. Otros impactos .....  | 107 |
| 18.7. Beneficios de la alternativa aplicada.....                            | 108 |
| 18.8. Posibles mejoras ambientales.....                                     | 108 |
| 19. Mantenimiento de las instalaciones .....                                | 110 |
| 19.1. Mantenimiento del tanque de almacenamiento.....                       | 111 |
| 19.2. Mantenimiento de las bombas.....                                      | 111 |
| 19.3. Mantenimiento de las válvulas.....                                    | 111 |
| 19.3.1. Válvula de bola .....   | 112 |
| 19.3.2. Válvula de compuerta .....  | 112 |
| 19.4. Mantenimiento de filtros .....  | 112 |
| 19.5. Mantenimiento de intercambiador de placas.....                        | 112 |
| 19.6. Mantenimiento de caldera .....  | 113 |
| 19.6.1. Picaduras y corrosión .....   | 113 |
| 19.6.2. Incrustaciones.....   | 113 |
| 19.6.3. Acumulación de lodos.....   | 113 |
| 20. Manual de operación .....   | 116 |
| 20.1. Comprobaciones previas y primera puesta en marcha.....                | 116 |
| 20.2. Funcionamiento de la planta .....                                     | 116 |
| 20.2.1. Puesta en marcha normal .....                                       | 116 |
| 20.2.2. Funcionamiento en estado estacionario .....                         | 117 |
| 20.3. Parada de planta .....  | 118 |
| 20.3.1. Parada normal.....  | 118 |
| 20.3.2. Paradas de emergencia .....   | 118 |
| 21. Estudio económico .....   | 120 |
| 21.1. Estimación de los costes de capital fijo.....                         | 120 |
| 21.2. Estimación de los costes de producción.....                           | 122 |
| 21.2.1. Costes variables.....   | 122 |
| 21.2.2. Costes fijos .....  | 123 |
| 21.2.3. Costes generales .....  | 123 |
| 21.3. Evaluación económica .....  | 124 |
| 21.3.1. Flujos de caja.....   | 124 |

|  |     |
|--|-----|
| 21.3.2. Análisis financiero .....                    | 124 |
| 21.4. Estudio de la variabilidad en el mercado ..... | 127 |
| 22. Bibliografía .....                               | 129 |
| 22.1. Libros .....                                   | 129 |
| 22.2. Páginas web.....                               | 129 |
| ANEXO A.....   | 131 |
| ANEXO B .....  | 133 |
| ANEXO C.....   | 133 |
| ANEXO D.....   | 134 |
| ANEXO E .....  | 135 |
| ANEXO F .....  | 146 |
| ANEXO G.....   | 146 |
| ANEXO H.....   | 159 |
| ANEXO I.....   | 160 |



---

# INTRODUCCIÓN

---



## **1. INTRODUCCIÓN**

El título del proyecto es *Aprovechamiento térmico de un corriente residual en una caldera de vapor*. El número de localizador del proyecto es el 1513. El equipo encargado de la realización de este, se ha designado con el nombre de *Technici*. El proyecto tiene como objetivo principal la gestión del corriente residual generado en una planta de acetato de vinilo monómero.

En el proyecto se estudian diferentes alternativas para gestionar este corriente residual líquido con un alto poder calorífico, formado concretamente por acetato de vinilo, etilo y metilo. Se pretende solventar de la forma más óptima posible la problemática actual presentada por este residuo.

Una vez seleccionada la mejor alternativa para su gestión se ha realizado la ingeniería básica de proceso, con los correspondientes estudios económicos, ambientales y de seguridad industrial. Esto incluye el diseño de los equipos necesarios para llevarla a cabo, la simulación de esta y la localización de los equipos en la planta.

Además, se da una visión detallada del proceso a través de los diferentes diagramas (Diagrama de bloques, PFD, *Plot Plan* y P&ID).

Autores del proyecto:

Lucas Santiago Tabera Martínez responsable de proyecto.

Andrea Neve Rodríguez responsable de ingeniería.

Amanda Dolores Santana Espinosa responsable de proceso.

Tania Villalba Sanchez responsable de planta.

Lucas Tabera ha sido el encargado de realizar específicamente la tarea del Balance de Energía (Apartado 10.2), del Cálculo teórico del  $\text{NO}_x$  (Apartado 8) y de diseñar la Planificación temporal del Proyecto (Apartado 4).

Andrea Neve ha sido la encargada de realizar específicamente la tarea de Diseño de las Estrategias de Control (Apartado 11), del Diseño del Intercambiador E-201 (Apartado 10.6) y de la elaboración de los Hazop (Apartado 16.1.4 y 16.4.5).

Amanda Santana ha sido la encargada de realizar específicamente la tarea de Estudio de Alternativas (Apartado 7), de la Optimización de los Humos de Combustión (Apartado 12) y de la Simulación del Proceso (Apartado 13).

Tania Villalba ha sido la encargada de realizar específicamente la tarea de Diseño del Tanque T-101 (Apartado 10.5), del Mantenimiento de las Instalaciones (Apartado 19) y de la Protección de los Equipos a Sobrepresión (Apartado 16.4).

Tarragona, 3 de junio de 2015

*Agradecer a nuestro tutor Joan Ramón Cabello por ser nuestro guía en esta andadura y a nuestras familias por el incommensurable apoyo recibido durante la carrera y en especial durante la realización de este proyecto.*



---

# ETAPA PRELIMINAR

---



## **2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El presente Proyecto de Final de Grado se basa en el aprovechamiento térmico de un corriente residual con un alto poder calorífico. Este tipo de gestión no siempre es posible ya que depende de múltiples factores, de aquí deriva el trabajo del equipo de ingenieros de *Technici*. Además, se asegurará el cumplimiento de las normativas sobre la contaminación atmosférica y se estudiará la viabilidad económica.

Con la realización de este proyecto se pretende mejorar los conocimientos individuales y competencias sociales de los miembros del equipo, así como en el aprendizaje de valores como el trabajo en equipo, la toma de decisiones y el trabajo constante para llevar a cabo la finalización del proyecto con éxito.

## **3. ALCANCE DEL PROYECTO**

El proyecto consiste en el estudio de tres alternativas para gestionar un corriente residual líquido, procedente del fondo de la columna de destilación de una planta de acetato de vinilo monómero (VAM) de una empresa ubicada en el Polígono Sur de Tarragona. Este corriente tiene un caudal que puede oscilar entre 50 y 150 kg/h. Está compuesto por acetato de etilo (25% w/w), acetato de metilo (25% w/w) y acetato de vinilo (50% w/w).

Se plantean las tres alternativas de las cuales se estudian sus aspectos sociales, ambientales económicos y legales.

- La primera alternativa consiste en tratar el corriente residual y gestionarlo externamente contratando servicios de transporte (470 €/cisterna) y de gestión de residuos (280 €/t), además, respecto a las siguientes alternativas, a priori, conlleva un sobrecoste de combustible en la caldera de vapor.
- Otra alternativa consiste en la gestión interna del corriente residual en una caldera de vapor existente en la planta, esto implica la instalación de analizadores para medir en continuo los parámetros de emisión requeridos legalmente en la incineración de corrientes líquidos. Además, para cumplir la legislación, se han de modificar sustancialmente las condiciones de operación de la caldera. Por otro lado, en este tipo de prácticas requiere que la empresa contrate un seguro de responsabilidad civil y fianza. Además, se diseña la canalización para su transporte y se detalla su aprovechamiento térmico como combustible.
- Por último, se considera la gestión interna del corriente como subproducto con el fin de aprovechar su poder calorífico (2.300 J/kg·K), utilizando su contenido como parte del combustible de una caldera de vapor situada a 22 m de la columna. Para que sea una opción viable, se tiene que conseguir obtener la consideración legal del corriente como subproducto según la Ley 22/2011, del 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Además, también se diseña la canalización para su transporte y se detalla su aprovechamiento térmico como combustible.

Una vez analizadas estas alternativas se concluye que la gestión interna del corriente como subproducto es la opción más viable económicamente y medioambientalmente. Lo cual supone una inversión para la empresa de 216.000€, aplicando una tasa de oportunidad del 13% a 10 años y unas tasas impositivas del 30%, esto implica un VAN negativo de 3,390 MM€. En cuanto a los aspectos ambientales, esta alternativa se ajusta mejor a los principios de sostenibilidad y aprovechamiento de sustancias químicas.

#### **4. PLANIFICACIÓN TEMPORAL**

Para organizar el trabajo y distribuir las tareas que conforman el Proyecto de Final de Grado se ha utilizado el diagrama de *Gantt*. En este se determinan las tareas que ha de hacer cada integrante del equipo, además del período temporal en que se llevan a cabo estas tareas.

Este diagrama se ha ido actualizando a lo largo del proceso de ejecución del proyecto, la última versión del diagrama de *Gantt* se muestra en la Figura 4.1, donde “(R)” indica la revisión de una tarea en concreto.



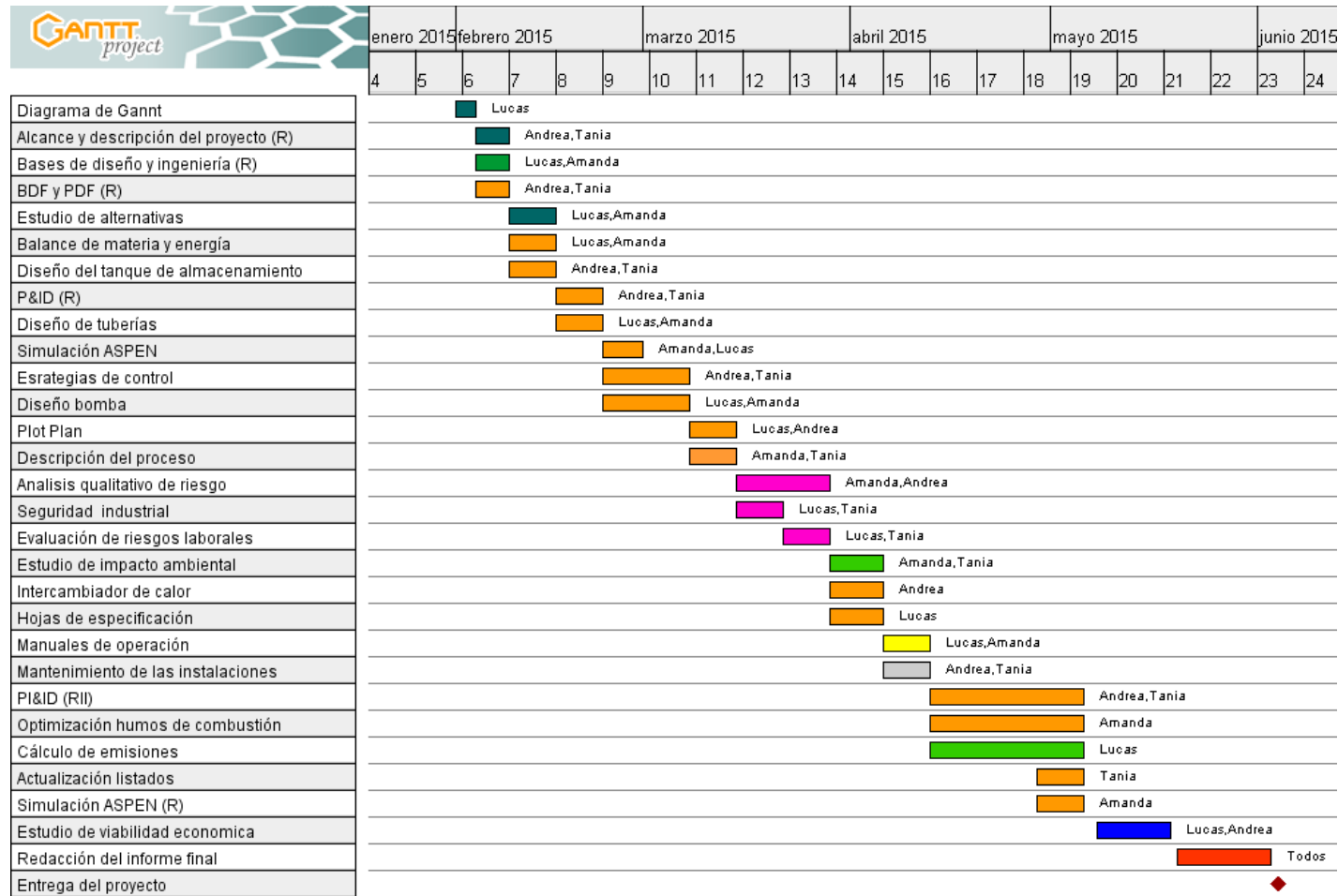


Figura 4.1. Diagrama de Gantt.



---

# BASES PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

---



## 5. BASES DE DISEÑO

### 5.1. Demanda del cliente

- Minimizar el impacto ambiental del residuo generado en la planta de acetato de vinilo monómero.
- Aprovechar la energía generada en el tratamiento del residuo en una caldera de vapor de 5MWt.

### 5.2. Especificación de la alimentación

El residuo producido por la planta de acetato de vinilo monómero se almacena en el tanque T-101, hasta su posterior alimentación en el proceso de aprovechamiento térmico.

A continuación se muestra la Tabla 5.1 con los datos correspondientes a la alimentación del proceso de aprovechamiento térmico para la alternativa de gestión interna como subproducto. Los datos correspondientes a la gestión interna como residuo son equivalentes a los mostrados en esta misma tabla.

Tabla 5.1. Datos correspondientes a la alimentación para la combustión.

| Alimentación | Caudal<br>(kg/h) | Composición  | Temperatura<br>(°C) | Presión<br>(barg) |
|--------------|------------------|--|---------------------|-------------------|
| Acetatos     | 100              | 50% w/w acetato de vinilo<br>25% w/w acetato de etilo<br>25% w/w acetato de metilo | 40                  | 3                 |
| Gas natural  | -                | 94,2% w/w metano<br>4,6% w/w etileno<br>1,2% w/w propano                           | 12                  | 14                |
| Aire         | -                | 21% molar O <sub>2</sub><br>79% molar N <sub>2</sub>                               | 25                  | 5                 |
| Agua         | -                | 100% H <sub>2</sub> O  | 20                  | 4                 |

### 5.3. Especificación del producto

- Vapor de media a 19 barg de presión.
- Humos de salida de la caldera con contenidos de contaminantes inferiores o iguales a los marcados por la legislación.

### 5.4. Factor de servicio y tiempo de operación

Los cambios realizados en la planta de producción de acetato de vinilo monómero con el fin de conseguir el aprovechamiento térmico y tratamiento del residuo generado, deberán cumplir con un factor de servicio mínimo de 0,6 durante la instalación y acondicionamiento derivados de la modificación propuesta. El objetivo es operar un mínimo de 8.000 h/año en condiciones normales.

### 5.5. Normas de diseño

Durante el diseño, fabricación y modificación del proceso de aprovechamiento térmico se han consultado, valorado y aplicado las siguientes normas.

- Intercambiadores de calor: normativa ASME
- Recipientes: normativa API



- Tuberías: normativa ASME
- Estudio de riesgo: estudio HAZOP
- Gestión de calidad: normas ISO 9000
- Gestión ambiental: normas ISO 14001:2009
- Gestión medioambiental de las calderas de potencia nominal menos a 50 MWt: Real Decreto 319/98
- Gestión de residuos: código CER
- Residuos y suelos contaminados: Ley 22/2011, 28 de julio

## **6. DATOS BÁSICOS PARA EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA**

A continuación se especifica toda la información en la que se basa el desarrollo de la ingeniería del proyecto.

### **6.1. Utilities disponibles**

- Vapor de agua
- Energía eléctrica
- Gas Natural
- Nitrógeno

### **6.2. Precio de las utilities**

En la Tabla 6.1 se puede observar el coste que tienen las *utilities* necesarias para la realización de todas las actividades que se desarrollan a partir de este proyecto.

Tabla 6.1. Precio de las *utilities* disponibles.<sup>1</sup>

| <i>Utilities</i>               | Precio |
|--------------------------------|--------|
| Vapor de agua (€/t)            | 28,3   |
| Energía eléctrica (€/MWh)      | 76,0   |
| Gas Natural (€/t )             | 469    |
| Nitrógeno (€/Nm <sup>3</sup> ) | 0,650  |

### **6.3. Datos del emplazamiento**

La planta estudiada está situada en la provincia de Tarragona, en el subpolígono TAQSA el cual pertenece al Polígono Sur de Tarragona cerca de la localidad de Vilaseca. En la Figura 6.1 se observa una imagen aérea de las instalaciones.

<sup>1</sup> Datos extraídos de la documentación técnica proporcionada por la propia asignatura *Treball de Fi de Grau GEQ* y informaciones del tutor del equipo.



Figura 6.1. Vista aérea de las instalaciones del subpolígono TAQSA.

La ubicación exacta de estas instalaciones en coordenadas UTM es X: 345886 Y: 4553153.

### 6.3.1. Datos climáticos y sismológicos<sup>2</sup>

Vilaseca es una localidad situada cerca de la costa Mediterránea de Tarragona, la región se caracteriza por unas condiciones climáticas suaves con una temperatura media anual de 16,2°C (10°C en invierno y 22°C en verano). En la Figura 6.2 se observa el climograma de esta localidad tarraconense.

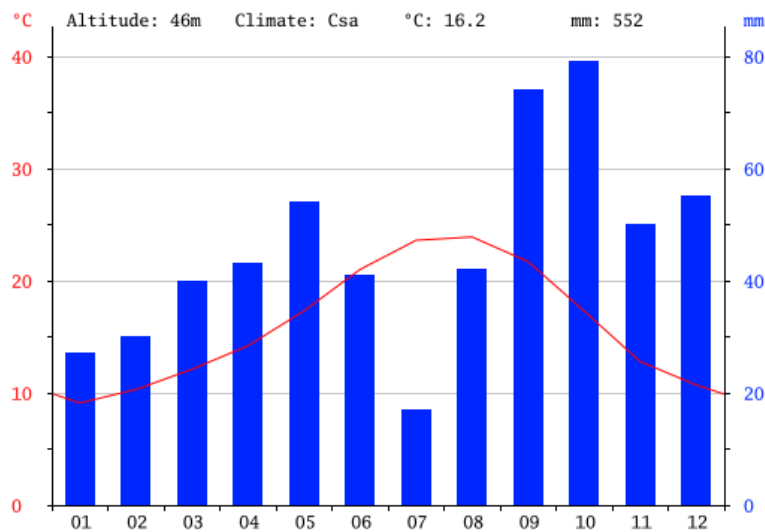


Figura 6.2. Climograma de Vilaseca. En las abscisas se encuentran los meses del año y en el doble eje de ordenadas se encuentran la temperatura (°C) y las precipitaciones (mm).

Como se puede apreciar en la Figura 6.2, las precipitaciones no son demasiado abundantes, estas presentan su mínimo en el mes de julio y su máximo en el mes de octubre, por lo que presenta un perfil de precipitaciones típico de las localidades de la costa mediterránea.

<sup>2</sup> AmbiWeb GmbH. (2015). *Climate-Data*. Gernsbach, Alemania: Climate Data Organization. Recuperado de <http://es.climate-data.org/location/57235/>

Referente a la sismología, según la última Evaluación del Riesgo Sísmico<sup>3</sup> realizada por Instituto Cartográfico y Sismológico de Cataluña se cataloga la región sur del país como una zona de baja peligrosidad sismológica. Se concluye que teniendo en cuenta el tipo de suelo, viviendas, edificación y actividades que se llevan a cabo en esta, los daños en caso de sismo serían muy ligeros.

### 6.3.2. Infraestructura y comunicaciones

El subpolígono TAQSA forma parte del complejo petroquímico de Tarragona, el más grande de España. Las comunicaciones en Tarragona son buenas, cabe destacar la importancia de la vía marítima ya que cuenta con uno de los puertos más importantes de Europa y del *rack* de tuberías que lo comunica con las industrias del complejo. Además, existen buenas carreteras que la comunican con ciudades y destinos importantes. Finalmente, el territorio dispone de buenas vías ferroviarias y un aeropuerto cercano en la localidad vecina de Reus.

---

<sup>3</sup> Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (2014). Evaluación del riesgo sísmico. Recuperado de <http://www.icgc.cat>



---

# ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

---



## **7. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS**

Con el fin de gestionar el corriente residual de forma óptima se ha realizado un estudio de alternativas. El corriente residual, compuesto por una mezcla de acetatos, tiene un caudal medio anual de 879 toneladas. En este estudio se plantean diferentes alternativas y se evalúa cuál de las propuestas es más adecuada para este proceso, teniendo en cuenta factores medioambientales, económicos, sociales y legales.

Se plantean tres alternativas a estudiar. Una de ellas es la gestión externa como residuo, en la que se contrata a una empresa externa incineradora de residuos, para que gestione el corriente residual. Otra alternativa es la gestión interna del corriente residual, en la cual se plantea incinerar el residuo en un equipo existente en la planta. Y por último la gestión interna como subproducto, en la que se pretende obtener la consideración de subproducto para el corriente residual y utilizarlo también en el mismo equipo que se pretende utilizar en la alternativa de gestión interna como residuo.

En la actualidad y durante la ejecución de este proyecto el corriente residual se gestiona mediante la primera alternativa mencionada, gestión externa como residuo, ya que la necesidad de tratar el residuo de forma inmediata así lo ha exigido. De igual forma esta alternativa será evaluada con el fin de conocer si es la mejor opción y no es necesario aplicar ninguna modificación para gestionar el corriente residual o si es necesario hacer cambios para una mejor gestión de este.

### **7.1. Gestión externa como residuo**

Como ya se ha mencionado, el corriente residual en la actualidad se gestiona fuera de la planta. Para ello se tienen que contratar los servicios de transporte y gestión del residuo por parte de alguna de las empresas acreditadas por la *Agència de Residus de Catalunya*.

Teniendo en cuenta la ubicación de la instalación, la única posibilidad razonable es enviar el corriente residual a una planta incineradora de residuos que se encuentra a 30 km de la planta de producción de acetato de vinilo monómero. El transporte se realiza mediante camiones cisternas los cuales tienen una capacidad máxima de 17 toneladas de residuo. Esta alternativa conlleva riesgos en el transporte, además de en la carga y descarga de los camiones cisternas.

En la Tabla 7.1 se muestran los datos referentes al coste de la gestión externa como residuo. Estos datos han sido aportados de modo orientativo por la propia empresa incineradora de residuos.

Tabla 7.1. Datos referentes a la gestión externa del residuo.

| Parámetro                         | Valor |
|-----------------------------------|-------|
| Coste del transporte (€/cisterna) | 470   |
| Capacidad por cisterna (t)        | 17    |
| Coste gestión (€/t)               | 280   |
| Número total de cisternas (anual) | 51    |

Teniendo en cuenta los factores expuestos en la Tabla 7.1 esta alternativa supone un coste de 269.000€/año para la empresa y la circulación de 51 camiones cisterna por la carreteras de Tarragona al año. Los cálculos realizados para la obtención de este valor se muestran en el Anexo A.

En cuanto a los factores medioambientales hay que considerar el traslado de 51 camiones cisterna al año y las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera que esto conlleva.

En la Tabla 7.2 se muestran los datos referentes a las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al transporte del residuo.

Tabla 7.2. Datos referentes a las emisiones originadas en el transporte del residuo.

| Parámetro  | Valor |
|--|-------|
| Distancia ida y vuelta (km)                              | 60    |
| Consumo gasoil (l/km) <sup>4</sup>                       | 0,23  |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> (kg/l) <sup>5</sup> | 2,6   |
| Litros de gasoil (l/trayecto ida y vuelta)               | 14    |

Teniendo en cuenta los factores mostrados en la Tabla 7.2 esta alternativa supondría unas emisiones de CO<sub>2</sub> de 1.840 kg/año. También se producen otro tipo de emisiones, como las de óxidos de azufre, partículas, NO<sub>x</sub> y CO, en el transporte del corriente residual. Los factores de emisión para estos compuestos son más variables y dependen en gran medida del tipo de motor y de combustible utilizado, así como del mantenimiento del vehículo, el tipo de conducción, etc. De manera aproximada la Agencia de Protección del Medioambiente en Estados Unidos US-EPA, propone los siguientes factores de emisión: 2,16g/l de NO<sub>x</sub>, 0,24 g/l de SO<sub>x</sub>, 0,6 g/l de CO i 0,05 g/l de partículas. En la Tabla 7.3 se muestra una aproximación de las emisiones totales que supone esta alternativa.

Tabla 7.3. Emisiones correspondientes a esta alternativa.

| Compuesto       | Valor (kg/año) |
|-----------------|----------------|
| CO <sub>2</sub> | 1.840          |
| NO <sub>x</sub> | 1,52           |
| SO <sub>x</sub> | 0,170          |
| CO              | 0,420          |
| Partículas      | 0,0400         |

Referente a los factores legales, la empresa contratada para la gestión se hace responsable de cumplir las normativas legales exigidas. En cuanto a los factores sociales, el hecho de transportar por carreteras convencionales el residuo hasta la planta incineradora de residuos supone un impacto social moderado.

Todos los cálculos relacionados con esta alternativa se muestran en el Anexo A.

## 7.2. Gestión interna

Dentro de la gestión interna se contemplan dos alternativas, en ambas, se pretende utilizar una caldera de vapor existente en las instalaciones de la planta para tratar el corriente residual. El equipo está situado a 22 metros de distancia de la columna de destilación en la cual se genera el residuo, lo que implica realizar el diseño de canalización hasta el equipo de generación de vapor.

---

<sup>4</sup>Longji. (2014). España. Shlongji. Recuperado de <http://www.shlongji.com.es/fuel-tanker.html>

<sup>5</sup> Oficina Catalana del Canvi Climàtic. (2015). Cataluña, España. Recuperado de <http://canviclimatic.gencat.cat/es/>



La caldera tiene una potencia de 5 MWt y produce vapor de media presión (19 barg). Las condiciones habituales de operación de la caldera son 4 barg de presión y una temperatura de 440°C con un exceso de aire del 3%, además se alimenta con 391 kg/h de gas natural. El coste asociado al consumo de combustible supone 1,6MM€/año para la empresa. En cuanto a las emisiones más representativas se emiten 9.470t/año de CO<sub>2</sub> y 71,21 mg/Nm<sup>3</sup> de NO<sub>x</sub>. Debido al poder calorífico que presenta la mezcla de acetatos a gestionar, a priori se pretende reducir el consumo de combustible revalorizando así el residuo tal y como sostienen los principios de sostenibilidad de los procesos químicos.

### 7.2.1. Gestión interna como residuo

Para esta alternativa se pretende incinerar el residuo en la caldera existente en la planta de producción de acetato de vinilo monómero. Para la incineración de residuos en la planta es necesario cumplir las exigencias legales pertinentes. En la Tabla 7.4 se muestran las condiciones de operación exigidas por la Directiva 2000/76/CE sobre la incineración de residuos y por el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación que lo traspone.

Tabla 7.4. Parámetros de operación para la incineración de residuos.

| Parámetro de operación          | Valor |
|---------------------------------|-------|
| Temperatura mínima (°C)         | 850   |
| Tiempo de residencia mínimo (s) | 2     |
| Exceso de oxígeno mínimo (%)    | 6     |

Teniendo en cuenta las especificaciones mostradas en la Tabla 7.4, la caldera tendría que operar a unas condiciones más exigentes de las que trabaja en la actualidad, lo cual supone un hándicap para la seguridad y la eficiencia energética de la instalación. Además, implica solicitar una autorización para ello, tal y como marca el Real Decreto 815/2013 mencionado anteriormente. Para el estudio de esta alternativa se ha decidido utilizar un 12% de exceso de oxígeno a pesar de que el exceso de oxígeno mínimo es del 6%. Esto se debe a que los límites legales de emisiones para este tipo de incineración son tomadas al 11% de exceso de oxígeno según el Real Decreto 815/2013 mencionado anteriormente, además el hecho de utilizar un equipo de combustión para incinerar hace que se tengan que tener precauciones para cumplir con las especificaciones exigidas.

Para incinerar por completo el residuo y llevarlo a las condiciones de operación especificadas en la Tabla 7.4, es necesario un aporte continuo de 460 kg/h de gas natural, lo que supone un aumento en el consumo de combustible respecto a las condiciones normales de operación. Es por este motivo que la incineración del residuo no presenta un ahorro en el combustible, al contrario, supone un coste adicional de 285.000 €/año.

Además, el Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, exige la instalación de analizadores en continuo, con el fin de asegurar que se cumplen los límites de emisiones establecidos. El coste de estos analizadores es de 20.000€. El órgano local competente dispondrá la situación de los focos de emisión donde se deberán situar los medidores, los cuales tendrán que obtener, como mínimo; valores de emisiones de partículas totales, sustancias orgánicas en estado gaseoso (COT), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO), así como de las concentraciones de cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno y dióxido de azufre. El corriente residual a tratar

no contiene Cl, F ni S, en cuanto al gas natural, la concentración de azufre es muy baja, por estos motivos no se espera tener problemas de emisión de cloruro de hidrogeno, fluoruro de hidrógeno ni dióxido de azufre. A pesar de ello los niveles de emisión de estos serán controlados ya que se tendrá que demostrar que se cumple la normativa correspondiente por lo menos durante el primer año tras la modificación del proceso.

En el Real Decreto citado con anterioridad se especifican los límites diarios de emisión a la atmósfera para instalaciones de incineración de residuos (se toma como referencia un exceso de oxígeno del 11% y las cantidades se expresan en  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , además solamente se muestran los valores límite para instalaciones con capacidad inferior a 6 t/h ya que es el caso que aplica en este proyecto). Estos límites se muestran en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5. Límites diarios de emisión a la atmósfera para instalaciones de incineración de residuos químicos.

| Contaminante   | Límite de emisión ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) |
|--|---|
| Partículas totales   | 10  |
| Sustancias orgánicas en estado gaseoso (expresadas en COT) | 10  |
| Cloruro de hidrógeno (HCl)                                 | 10  |
| Fluoruro de hidrógeno (HF)                                 | 1   |
| Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )                        | 50  |
| Óxidos de nitrógeno (expresados como $\text{NO}_2$ )       | 200   |

El proceso que se está estudiando es una coincineración de residuos, no una incineración, por ello tal y como se especifica en el Real Decreto citado anteriormente se debe hacer una corrección de estos límites de emisión. En el Anexo A se muestran los procedimientos seguidos para el cálculo de los límites de emisión para la coincineración de residuos y en la Tabla 7.6 se muestran los valores obtenidos.

Tabla 7.6. Límites de emisión para coincineración de residuos.

| Contaminante   | Límite de emisión ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) |
|--|---|
| Partículas totales   | 10  |
| Sustancias orgánicas en estado gaseoso (expresadas en COT) | 19  |
| Cloruro de hidrógeno (HCl)                                 | 10  |
| Fluoruro de hidrógeno (HF)                                 | 1   |
| Dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )                        | 265   |
| Óxidos de nitrógeno (expresados como $\text{NO}_2$ )       | 421   |
| Monóxido de carbono (CO)                                   | 100   |

En el Apartado 10.1 se muestra el balance de materia a partir de cual se han obtenido los valores de emisión de  $\text{CO}_2$  y en el Apartado 8 se muestra el procedimiento realizado para la obtención de las emisiones de  $\text{NO}_x$  producidas en esta alternativa.

En la Tabla 7.7 se muestran los valores de emisión generadas durante la incineración del residuo en la caldera de vapor, con el fin de comprobar si el proceso se encuentra dentro de los valores de emisión mencionados en la Tabla 7.6.

Tabla 7.7. Emisiones generadas por esta alternativa.

| Contaminante                          | Valor de emisión |
|---------------------------------------|------------------|
| CO <sub>2</sub> (t/año)               | 12.870           |
| NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) | 201,4            |

Teniendo en cuenta los valores mostrados en las Tablas 7.6 y 7.7, las emisiones de NO<sub>x</sub> están dentro de los límites legales. En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> no se especifica en la legislación un valor máximo de estas, pero de igual forma en el Apartado 7.3 se comparan las emisiones causadas por cada una de las alternativas.

Para cumplir con todos los requisitos legales, es necesaria la contratación de un seguro de responsabilidad civil (25.000€/año), así como el abono de una fianza con un valor monetario de 100.000€, suficiente para responder a los daños que se pudiesen causar durante la ejecución de la actividad.

Para la aplicación de esta alternativa, además de 1,6MME/año correspondientes al consumo del combustible normal de la caldera, se añaden el coste del gas natural que hay que añadir a la caldera para conseguir las especificaciones de esta alternativa, el coste de la contratación del seguro de responsabilidad civil, la fianza inicial necesaria y el coste de los analizadores en continuo. Todos estos costes de operación y de inversión se ven resumidos y analizados en el Apartado 7.3, junto a los factores medioambientales, legales y sociales.

### 7.2.2. Gestión interna como subproducto

Para esta alternativa se pretende obtener la consideración del residuo como subproducto, para ello tiene que cumplir unas características específicas citadas en la Ley 22/2011, de 28 de julio, sobre residuos y suelos contaminados, y realizar los procedimientos administrativos citados en el mismo.

En dicha ley se define como subproducto aquella sustancia resultante de un proceso de producción, cuya finalidad primaria no sea la producción de dicha sustancia, además para considerarla como subproducto se deben cumplir una serie de condiciones:

- Se debe tener la seguridad que la sustancia se utilice ulteriormente, en este caso el estudio de alternativas demuestra que la utilización del corriente de acetatos como sustituto de parte del combustible que alimenta la caldera es viable.
- La sustancia se tiene que poder utilizar directamente sin someterse a ninguna transformación. En este caso, dada la naturaleza y pureza del corriente se tiene la certeza de que no se someterá a ningún tipo de pretratamiento antes de su alimentación a la caldera de vapor.
- El subproducto se tiene que producir como parte integrante de un proceso de producción, en este caso, forma parte de la producción de acetato de vinilo monómero. El corriente residual sale del fondo de la columna de destilación de la planta de producción mencionada.
- Finalmente, su uso posterior debe cumplir con los requisitos a la protección de la salud humana y el medio ambiente. Como se puede observar en el Apartado 18, las emisiones asociadas a esta alternativa son menores a las asociadas al resto de alternativas, por lo que se asegura que es la alternativa más amigable con el medio ambiente y por supuesto, con la salud y la seguridad de las personas.

Una vez obtenida la consideración como subproducto, éste se utilizará como parte del combustible de la caldera de vapor. Para esta alternativa, la caldera podrá continuar operando

a las condiciones de operación actuales ya que la consideración como subproducto permite la combustión de este sin necesidad de llegar a la incineración.

Por lo que se refiere a los límites de emisiones a la atmósfera, el Decreto 319/1998, del 15 de diciembre, sobre límites de emisión para instalaciones industriales de combustión de potencia térmica inferior a 50MWt e instalaciones de cogeneración, especifica los límites de emisiones atmosféricas para instalaciones que utilizan combustible gaseoso (se toma como referencia un exceso de oxígeno del 3% y se expresan las cantidades en mg/Nm<sup>3</sup>). Estos límites legales son los que se aplicarían en el caso de la obtención de la consideración del corriente residual como subproducto. En la Tabla 7.8 se muestran estos límites de emisión para esta situación.

Tabla 7.8. Límites de emisión para instalaciones industriales de combustión de potencia térmica inferior a 50MWt.

| Contaminante   | Límite de emisión (mg/Nm <sup>3</sup> ) | Características especiales                        |
|--|---|---|
| Óxidos de azufre (expresados como SO <sub>2</sub> )    | 300                                     | Combustibles procedentes de procesos industriales |
| Óxidos de nitrógeno (expresados como NO <sub>2</sub> ) | 450                                     | -   |
| Monóxido de carbono (CO)                               | 100                                     | -   |
| Compuestos orgánicos (expresados como COT)             | 20                                      | Combustibles procedentes de procesos industriales |

En la Tabla 7.9 se muestran los valores de emisión generadas durante la combustión del residuo en la caldera de vapor, con el fin de comprobar si el proceso se encuentra dentro de los valores de emisión mencionados en la Tabla 7.8.

Tabla 7.9. Emisiones generadas por esta alternativa.

| Contaminante                          | Emisión mg/Nm <sup>3</sup> |
|---------------------------------------|----------------------------|
| CO <sub>2</sub> (t/año)               | 10.080                     |
| NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) | 91,67                      |

Teniendo en cuenta los valores mostrados en las Tablas 7.8 y 7.9, las emisiones de NO<sub>x</sub> están dentro de los límites legales. En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> no se especifica en la legislación un valor máximo de estas, pero de igual forma en el Apartado 7.3 se analizan las emisiones causadas por cada una de las alternativas.

El caudal de gas natural que es necesario alimentar en esta alternativa es 345 kg/h, lo cual supone un ahorro de 189.000 €/año en combustible. Además no será necesaria la contratación de aseguradora de responsabilidad civil y fianza, ni la instalación de analizadores en continuo. El resto de factores correspondientes a esta alternativa se resumen y analizan en el siguiente apartado.

### 7.3. Selección de la alternativa

Una vez realizado el estudio de cada una de las alternativas se procede a la selección de la alternativa óptima teniendo en cuenta factores medioambientales, económicos, sociales y legales en los cuales se basa este estudio.

En la Tabla 7.10 y 7.11 se muestra el resumen de los costes de cada una de las alternativas y el resumen de los aspectos medioambientales, respectivamente. Los costes de inversión de

los equipos se han obtenido del Apartado 21.1 mientras que el valor de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo eléctrico de los equipos de impulsión se extrae del Apartado 18.3.

Tabla 7.10. Costes de operación e inversión descompuestos de cada una de las alternativas.

| Factor  | Gestión Externa | Gestión Interna (Residuo) | Gestión Interna (Subproducto) |
|---|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
| Coste anual de gas natural                          | 1.607.000€/año  | 1.893.000€/año            | 1.419.000€/año                |
| Costes anuales del transporte y gestión del residuo | 269.000 €/año   | No aplica                 | No aplica                     |
| Seguro de responsabilidad civil anual               | No aplica       | 25.000€/año               | No aplica                     |
| Costes de inversión de equipos                      | No aplica       | 216.000 €                 | 216.000 €                     |
| Coste de inversión de analizadores en continuo      | No aplica       | 20.000€                   | No aplica                     |
| Fianza  | No aplica       | 100.000€                  | No aplica                     |

Tabla 7.11. Factores medioambientales de cada una de las alternativas.

| Factor  | Gestión Externa               | Gestión Interna (Residuo)     | Gestión Interna (Subproducto) |
|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al transporte            | 1.840 kg CO <sub>2</sub> /año | No aplica                     | No aplica                     |
| Emisiones de CO <sub>2</sub> asociados a la gestión del residuo | 9.470 t CO <sub>2</sub> /año  | 12.870 t CO <sub>2</sub> /año | 10.080 t CO <sub>2</sub> /año |
| Emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas los equipos de impulsión | No aplica                     | 81,6t CO <sub>2</sub> /año    | 81,6t CO <sub>2</sub> /año    |

En la Tabla 7.12 se presentan resumidos los datos referentes a cada uno de los aspectos analizados en este estudio de alternativas.

Tabla 7.12. Tabla resumen de las alternativas.

| Factores/Alternativas | Gestión Externa                               | Gestión Interna (Residuo)                | Gestión Interna (Subproducto)            |
|-----------------------|---|--|--|
| Coste de operación    | 1.876.000 €/año                               | 1.918.000 €/año                          | 1.419.000€/año                           |
| Coste de inversión    | No aplica                                     | 336.000 €                                | 216.000 €                                |
| Medioambiental        | 9.472 t CO <sub>2</sub> /año                  | 12.950 t CO <sub>2</sub> /año            | 10.160 t CO <sub>2</sub> /año            |
| Legal                 | No aplica                                     | 201,4 mg/Nm <sup>3</sup> NO <sub>x</sub> | 91,67 mg/Nm <sup>3</sup> NO <sub>x</sub> |
| Social                | Impacto visual y riesgo químico por accidente | No se considera                          | No se considera                          |

En las Figuras 7.1 y 7.2 se muestran los costes de operación e inversión, respectivamente, para cada una de las alternativas.



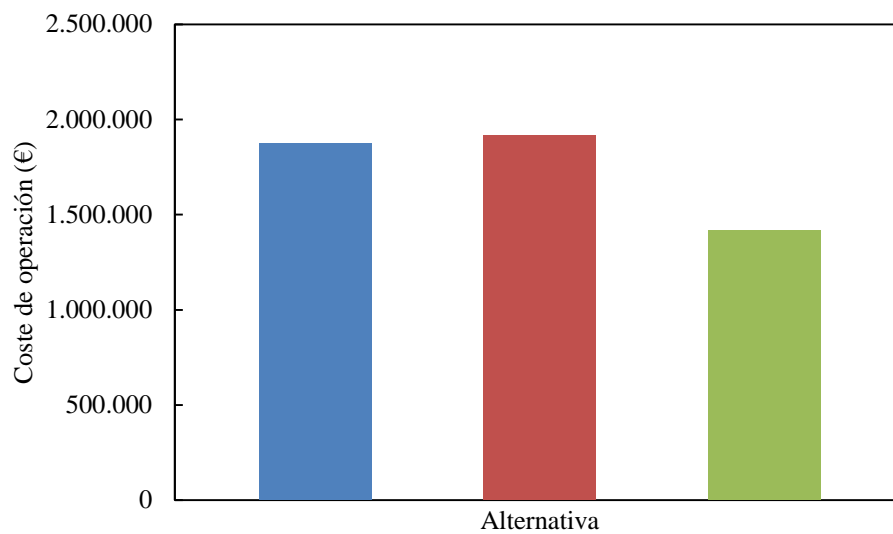


Figura 7.1. Costes de operación de las alternativas, donde la alternativa de gestión externa está representada por (■), la gestión interna como residuo por (■) y la gestión interna como subproducto por (■).

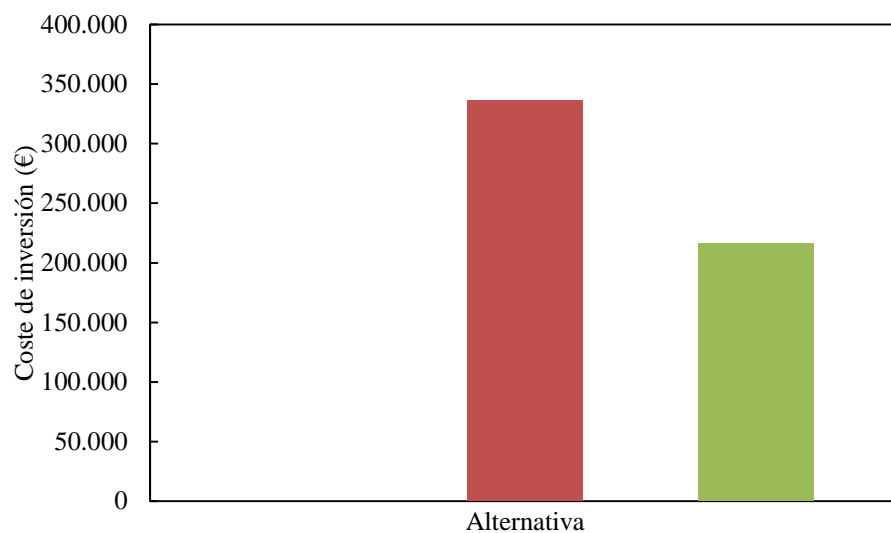


Figura 7.2. Costes de inversión para cada una de las alternativas, donde la alternativa de gestión externa está representada por (■), la gestión interna como residuo por (■) y la gestión interna como subproducto por (■).

En la Figura 7.3 se muestran las emisiones de CO<sub>2</sub>totales de las una de las alternativas.

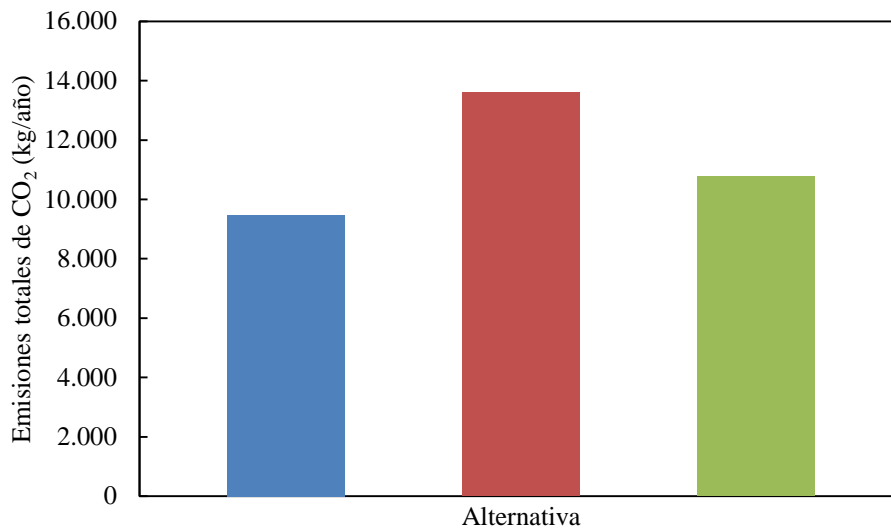


Figura 7.3. Emisiones totales de CO<sub>2</sub> de cada una de las alternativas, donde la alternativa de gestión externa está representada por (■), la gestión interna como residuo por (■) y la gestión interna como subproducto por (■)

Teniendo en cuenta los factores económicos mostrados en la Tabla 7.10 y en las Figuras 7.1 y 7.2, la opción que muestra unos costes de operación más bajos es la alternativa de gestión interna como residuo. Esto se debe a que el uso del corriente residual, considerado ya subproducto, como parte de combustible de la caldera de vapor reduce los costes de gas natural destinados a esta. Por otro lado la gestión interna como residuo presenta los costes de operación más elevados debido a la necesidad de más caudal de gas natural con el fin de llegar a las condiciones de operación necesarias para cumplir los requisitos legales mencionados durante este estudio y satisfacer la demanda del cliente. Por último, la alternativa de gestión externa, que es la que se aplica en la actualidad, presenta unos costes de operación más elevados que la gestión interna como subproducto. Esto se debe al coste de la gestión externa gestora de residuos y al coste del gas natural de la caldera de vapor necesario para compensar la energía aportada por el corriente residual.

En cuanto a los costes de inversión, la alternativa de gestión externa no presenta ningún coste de inversión debido a que la empresa externa contratada para la gestión del residuo se encarga de poner todos los medios necesarios para ello. La gestión interna como residuo es la que presenta un mayor coste de inversión. Esto se debe al coste de los equipos necesarios para llevar el corriente residual a las condiciones necesarias para su utilización en la caldera, al coste asociado a los analizadores en continuo necesarios para las instalaciones de coincineración y a la fianza necesaria para cumplir con todas las especificaciones marcadas por la legislación pertinente. En cuanto a los costes de inversión de la alternativa de gestión interna como subproducto, se deben a los equipos necesarios para llevar el residuo a las condiciones de operación de la caldera de vapor. En el Apartado 23 se muestra el estudio económico realizado para la alternativa de gestión interna como subproducto, ya que es la que a priori da los mejores resultados teniendo en cuenta los factores económicos.

Los factores medioambientales para este estudio se basan principalmente en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Como se puede ver en la Tabla 7.11 y en la Figura 7.3 la alternativa que muestra menos emisiones de CO<sub>2</sub> es la gestión externa, esto se debe a que en la tabla solo se reflejan las emisiones causadas por el transporte del residuo hasta la planta gestora de este y las

emisiones que se generan en la caldera de vapor debido al funcionamiento normal de este. No se tienen en cuenta en esta tabla las emisiones de CO<sub>2</sub> que surgen en la planta de gestión del residuo donde este se incinera. Pero como se demuestra en el Apartado 10.1 del balance de materia, las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en un incineración son mayores que las que se dan en la combustión. Por ello se sabe que las emisiones de CO<sub>2</sub> de la alternativa de gestión externa no son las más bajas comparando con las otras alternativas, sino, que si en realidad se tuvieran en cuenta todas las emisiones de CO<sub>2</sub>, esta alternativa sería la que las tendría más elevadas. Por otro lado, la alternativa que presenta más emisiones de CO<sub>2</sub> es la gestión interna como subproducto. Esto se debe a las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la incineración del residuo y del gas natural en la caldera de combustión y al funcionamiento de los equipos de impulsión que llevan el corriente residual hasta la caldera. Por lo tanto, teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente la alternativa que presenta menos emisiones realmente es la gestión interna como subproducto, ya que únicamente hay emisiones asociadas a la combustión del residuo y del gas natural, las cuales son inferiores a las que se dan en la incineración, y emisiones asociadas a la impulsión del producto hasta la caldera de vapor.

En cuanto a los factores legales, para la alternativa de gestión externa los límites correspondientes a la gestión del corriente residual tendrán que ser cumplidos por la empresa externa gestora del residuo. Con respecto a las alternativas de gestión interna, los límites legales se cumplen para ambas, tal y como se pueden ver en las Tablas 7.7 y 7.9. Además el cumplimiento de estas no supone un cambio en las condiciones de operación ni un sobrecoste, sino que trabajando a sus condiciones de operación pertinentes estas se garantizan.

Analizando los factores sociales la única alternativa que tendría un impacto apreciable es la gestión externa del residuo. Esto se debe al tránsito continuo de camiones cisterna por las carreteras de la provincia de Tarragona, desde la planta de acetato de vinilo monómero hasta la planta gestora del corriente residual. Las otras dos alternativas no suponen un impacto directo para la población ya que únicamente se realizan modificaciones dentro del mismo recinto de la planta de acetato de vinilo monómero, y estas modificaciones comparadas con las dimensiones de la planta son despreciables e imperceptibles para la población.

Teniendo en cuenta todos los factores mencionados en este estudio la gestión óptima para el corriente residual sería la alternativa de gestión interna como subproducto. Ya que a pesar de suponer un coste de inversión de 216.000€, supone un ahorro de coste de operación de 189.000 €/año, además es la alternativa que globalmente presenta menos emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, concretamente 10.160 t/año. En cuanto a los factores legales, el corriente residual cumple los requisitos legales necesarios para conseguir la consideración como subproducto y así ceñirse los principios de ecología industrial, reutilizando este como parte del combustible de la caldera en vez de desecharlo como residuo. También cumple los requisitos legales sobre combustión en calderas de vapor de hasta 50 MWt. Finalmente, en cuanto a los factores sociales esta alternativa no supone impacto social directo tal y como ya se ha comentado.

## 8. CÁLCULO TEÓRICO DE LA CONCENTRACIÓN DE NO<sub>x</sub><sup>6</sup>

La formación de óxidos de nitrógeno en instalaciones de generación de vapor se debe exclusivamente a la oxidación del nitrógeno contenido en el aire y en los combustibles utilizados en dichas instalaciones. Los NO<sub>x</sub> formados representan la suma de monóxidos de nitrógeno (NO), dióxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y óxidos nitrosos (N<sub>2</sub>O). Aun así, se considera que todos los óxidos de nitrógeno formados en la combustión son monóxidos ya que su cantidad representa más del 98%. Su formación se origina a través de tres mecanismos diferenciados: térmico, rápido y de combustible (no aplicable a los combustibles utilizados por *Technici* ya que no contienen de nitrógeno).

Los NO<sub>x</sub> se caracterizan por la alta energía de activación que requiere su formación, su concentración crece intensamente a partir de la temperatura de combustión y alcanza valores máximos cuando se alcanza la temperatura máxima en el proceso de combustión.

Para conocer la concentración de NO<sub>x</sub> a la salida de la caldera de vapor H-301, se han basado los cálculos en el modelo propuesto por *Procura Reynoso*, realizando diferentes modificaciones en este con el fin de adaptarlo a los requisitos e instalaciones de la caldera de vapor a estudiar, así como a los combustibles utilizados en su funcionamiento.

El modelo afirma que un aumento de la temperatura aumenta exponencialmente la formación de NO<sub>x</sub>, que la concentración de NO crece proporcionalmente con el tiempo de residencia de los humos de combustión hasta que se estabiliza entre los 4 y los 20 segundos (las calderas de combustión tienen un tiempo de residencia de los humos inferior). Además, que el exceso de aire tiene influencia exponencial en la formación de estos NO<sub>x</sub>.

Se denomina “Zona de combustión activa” (ZCA) a aquella zona del equipo de combustión donde se forman los NO<sub>x</sub>, la formación de estos depende de cuatro parámetros termo-físicos en dicha zona:

a)  $\alpha_{ZCA}$ : coeficiente de exceso de oxígeno.

Se considera que el coeficiente de exceso es el mismo en toda la zona de alimentación del aire, y que el valor no se ve afectado por las recirculaciones internas de humos, por lo tanto en el caso de combustión en la caldera el exceso es de un 3% mientras que en el caso que contempla la incineración de acetatos el exceso es de un 12%. Como se ha mencionado con anterioridad, se espera que la formación de NO<sub>x</sub> tenga una dependencia exponencial con el exceso de aire en la ZCA.

b)  $\bar{T}_{ZCA}$ : temperatura promedio en la ZCA.

La temperatura promedio de los productos de combustión en la ZCA se calcula mediante la Ecuación 8.1.

$$\bar{T}_{ZCA} = T_{ad}^I (1 - \bar{\Psi}_{ZCA})^{0,25} \quad (8.1)$$

Donde  $T_{ad}^I$  corresponde a la temperatura adiabática de llama en grados Kelvin y  $\bar{\Psi}_{ZCA}$  corresponde al factor de eficiencia térmica en la ZCA.

<sup>6</sup> Procura Reynoso, Juan. (2007). *Estudio de los procesos térmicos en un horno generador de vapor* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional de México, México D.F., México.



Por su parte la temperatura adiabática de llama se calcula a partir de la Ecuación 8.2.

$$T_{ad}^I = \frac{\beta \cdot PCI + Q_{comb} + Q_{aire}}{\beta \cdot V_{gas}^o \cdot c_{gas} + 1,0161(\alpha_{ZCA} - \beta) \cdot V_{aire}^o \cdot c_{aire}} \quad (8.2)$$

Donde  $\beta$  es el grado de combustión dependiendo del exceso de oxígeno (0,915 para la combustión al 3% de oxígeno y 1 para la combustión al 12%),  $PCI$  es el poder calorífico inferior del combustible en kJ/kg,  $Q_{comb}$  y  $Q_{aire}$  son el calor introducido en la ZCA por el combustible y el aire respectivamente en kJ/kg,  $V_{gas}^o$  y  $V_{aire}^o$  son respectivamente el volumen teórico de los productos de combustión y del aire formados/necesarios para quemar 1 m<sup>3</sup> de combustible gaseoso. Por último  $c_{gas}$  y  $c_{aire}$  son las capacidades térmicas de los productos de combustión y del aire.

Por último  $\bar{\Psi}_{ZCA}$  se determina a partir de la Ecuación 8.3.

$$\bar{\Psi}_{ZCA} = \chi \cdot \zeta \quad (8.3)$$

Donde  $\zeta$  es el coeficiente de ensuciamiento, el cual tiene un valor de 0,65 para combustibles como el gas natural. Por su parte  $\chi$  es la relación entre la energía emitida en la superficie de las paredes de la caldera y la energía emitida en forma de radiación esférica por la llama, su valor típico es también de 0,65.

c)  $q_{ZCA}^{refl}$ : flujo de calor reflejado en la ZCA.

Para realizar el cálculo se ha utilizado la Ecuación 8.4, para el uso de la cual se ha necesitado aproximar el área de las paredes de la caldera donde tiene lugar la transferencia de calor al producto final. Para ello se ha consultado un fabricante de calderas<sup>7</sup> de características y capacidad similares a la que se estudia en este proyecto obteniendo un área de pared ( $A_{paredes}$ ) de 181,2 m<sup>2</sup>.

$$q_{ZCA}^{refl} = \frac{B(\beta \cdot PCI + Q_{comb} + Q_{aire})}{A_{paredes}} \quad (8.4)$$

Donde  $B$  es el caudal de combustible alimentado a la caldera en kg/s.

d)  $\tau_{ZCA}$ : tiempo de residencia de los humos de combustión en la ZCA.

Para calcular el tiempo de residencia se tienen que tener datos sobre las medidas del quemador (se ha supuesto una ancho  $a$  y un alto  $b$  de quemador proporcional al área de pared de la caldera siendo estas medidas de 2,4 y 4,4m respectivamente) y de la altura geométrica de la ZCA  $c$  (proporcional también al área de pared e igual a 2,4 m). La Ecuación 8.5 es la que se ha utilizado para este cálculo.

$$\tau_{ZCA} = \frac{a \cdot b \cdot c \cdot 0,75}{B \cdot V_{ZCA}(\bar{T}_{ZCA}/273)} \quad (8.5)$$

<sup>7</sup>Zhangjiagang Future Boiler Manufacture Co. (2014). *Gas Steam Boiler (WNS6-1,25-Q)*. Jiangsu, China. Recuperado de <http://futureboiler.en.made-in-china.com/product/DXCQawTLbki/China-6000kg-H-Gas-Steam-Boiler-WNS6-1-25-Q-.html>



Donde  $V_{ZCA}$  es el volumen en  $m^3$ , de los gases en la ZCA el cual se calcula a partir de la Ecuación 8.6.

$$V_{ZCA} = \beta \cdot V_{gas}^o \cdot c_{gas} + 1,0161(\alpha_{ZCA} - \beta) \cdot V_{aire}^o \quad (8.6)$$

Una vez definidos y calculados estos cuatro parámetros se utiliza la Ecuación 8.7 para calcular la concentración de  $NO_x$  en los humos de combustión en la salida de la caldera.

$$[NO_x] = \left[ 26 \cdot \exp\left(0,26 \cdot \frac{\bar{T}_{ZCA} - 1700}{100}\right) - 4,7 \right] \cdot [\exp(q_{ZCA}^{refl}) - 1] \cdot [13,0 + 9,6(\alpha_{ZCA} - 1,07) + 59,4(\alpha_{ZCA} - 1,07)^2 + 18,1(\alpha_{ZCA} - 1,07)^3 - 79,8(\alpha_{ZCA} - 1,07)^4] \cdot \tau_{ZCA} \quad (8.7)$$

### **8.1. Combustión de gas natural con un 3% en exceso de aire**

Se ha calculado la concentración de  $NO_x$  para este escenario, los cuatro parámetros claves que presenta esta alternativa son los siguientes:  $\alpha_{ZCA}=1,03$   $\bar{T}_{ZCA}=2.249K$   $q_{ZCA}^{refl}=0,0151MW/m^2$  y  $\tau_{ZCA}=1,757s$  siendo la concentración teórica hallada con la Ecuación 8.7 de 35,15ppm de  $NO_x$ .

### **8.2. Combustión de gas natural y mezcla de acetatos con un 3% en exceso de aire**

Se ha calculado la concentración de  $NO_x$  teniendo en cuenta el cambio que se presenta en la temperatura de entrada del combustible respecto el escenario anterior, así como el cambio en el caudal total de combustible y en el poder calorífico inferior. Los cuatro parámetros claves que presenta esta alternativa son los siguientes:  $\alpha_{ZCA}=1,03$   $\bar{T}_{ZCA}=2.339K$   $q_{ZCA}^{refl}=0,01198MW/m^2$  y  $\tau_{ZCA}=1,345s$  siendo la concentración teórica hallada con la Ecuación 8.7 de 45,23ppm de  $NO_x$ . El aumento en la concentración del contaminante se debe básicamente a la adición del subproducto en la caldera, así como del aumento en el  $PCI$  de la mezcla.

### **8.3. Incineración de gas natural y mezcla de acetatos con un 12% en exceso de aire**

Finalmente se ha calculado la concentración en el caso de la incineración de los acetatos, el principal cambio que refleja el modelo es el aumento del exceso de aire alimentado en los quemadores. Cabe destacar también que el tiempo de residencia viene fijado por la legislación y que si fuera a tener un valor inferior al legal, automáticamente el tiempo de residencia pasaría a presentar el valor mínimo de 2s. Así, los cuatro claves que presenta esta alternativa son los siguientes:  $\alpha_{ZCA}=1,03$   $\bar{T}_{ZCA}=2.376K$   $q_{ZCA}^{refl}=0,0247MW/m^2$  y  $\tau_{ZCA}=2s$  siendo la concentración teórica hallada con la Ecuación 8.7 de 99,43ppm de  $NO_x$ .

### **8.4. Relación entre $\tau_{ZCA}$ residencia y $\alpha_{ZCA}$ frente a la concentración de $NO_x$**

Además, se ha podido comprobar que las hipótesis iniciales planteadas por el modelo se cumplen, en la Figura 8.1 se puede observar que la concentración de  $NO_x$  crece



proporcionalmente con el tiempo de residencia de los humos de combustión en la ZCA.

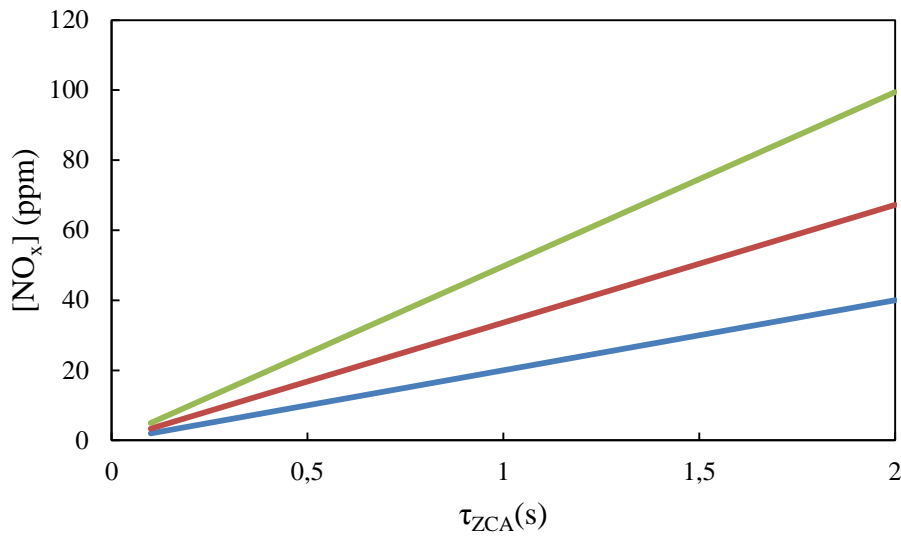


Figura 8.1. Dependencia lineal de la concentración de NO<sub>x</sub> con el tiempo de residencia de los humos de combustión en la ZCA, donde la línea azul pertenece al primer escenario estudiado, la línea roja al segundo y la línea verde al tercero.

En la Figura 8.2, Figura 8.3 y Figura 8.4 se observa la tendencia exponencial de la concentración del contaminante con el exceso de oxígeno para cada uno de los tres escenarios estudiados anteriormente.

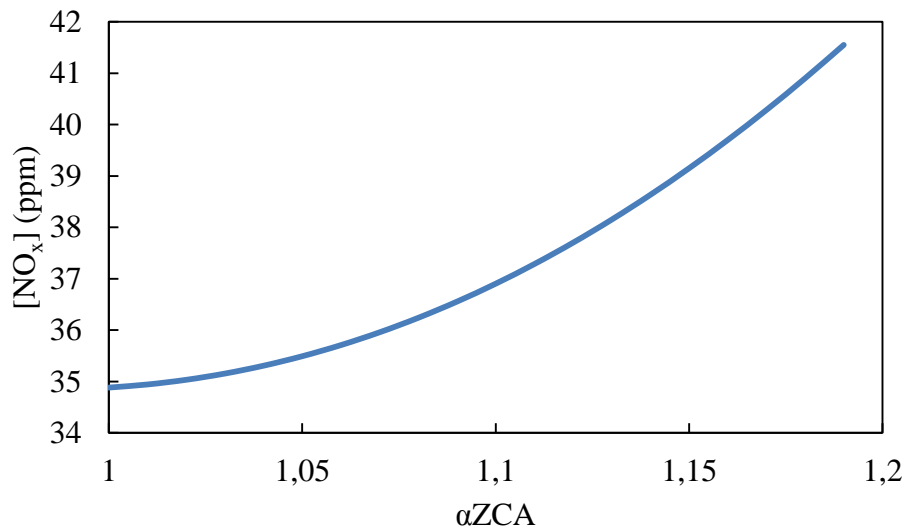


Figura 8.2. Dependencia exponencial de la concentración de NO<sub>x</sub> frente al exceso de oxígeno en la caldera para el primer escenario.

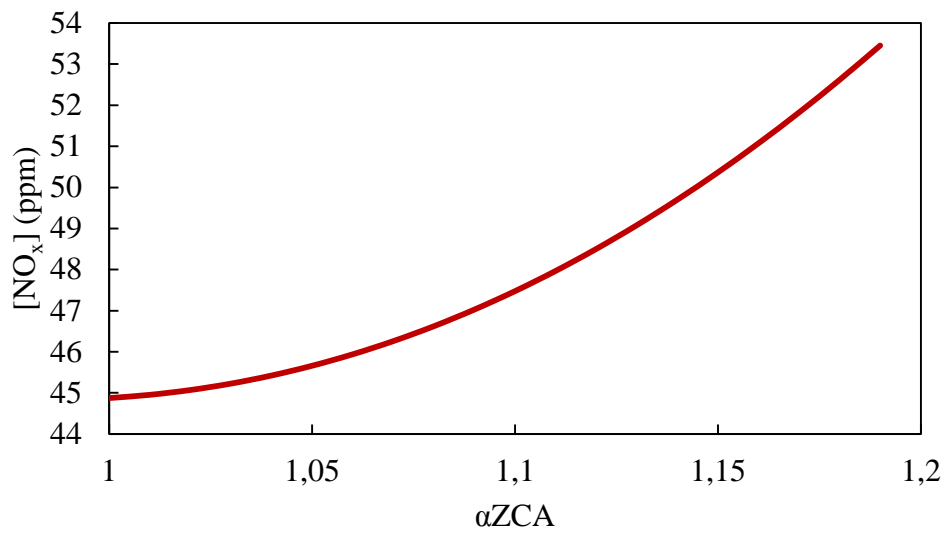


Figura 8.3. Dependencia exponencial de la concentración de  $NO_x$  frente al exceso de oxígeno en la caldera para el segundo escenario.

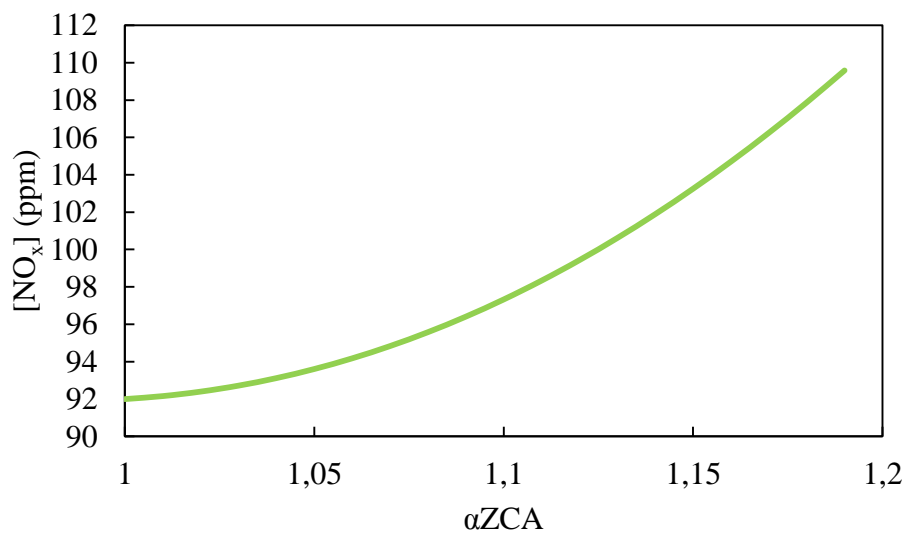


Figura 8.4. Dependencia exponencial de la concentración de  $NO_x$  frente al exceso de oxígeno en la caldera para el tercer escenario.

---

# DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA

---

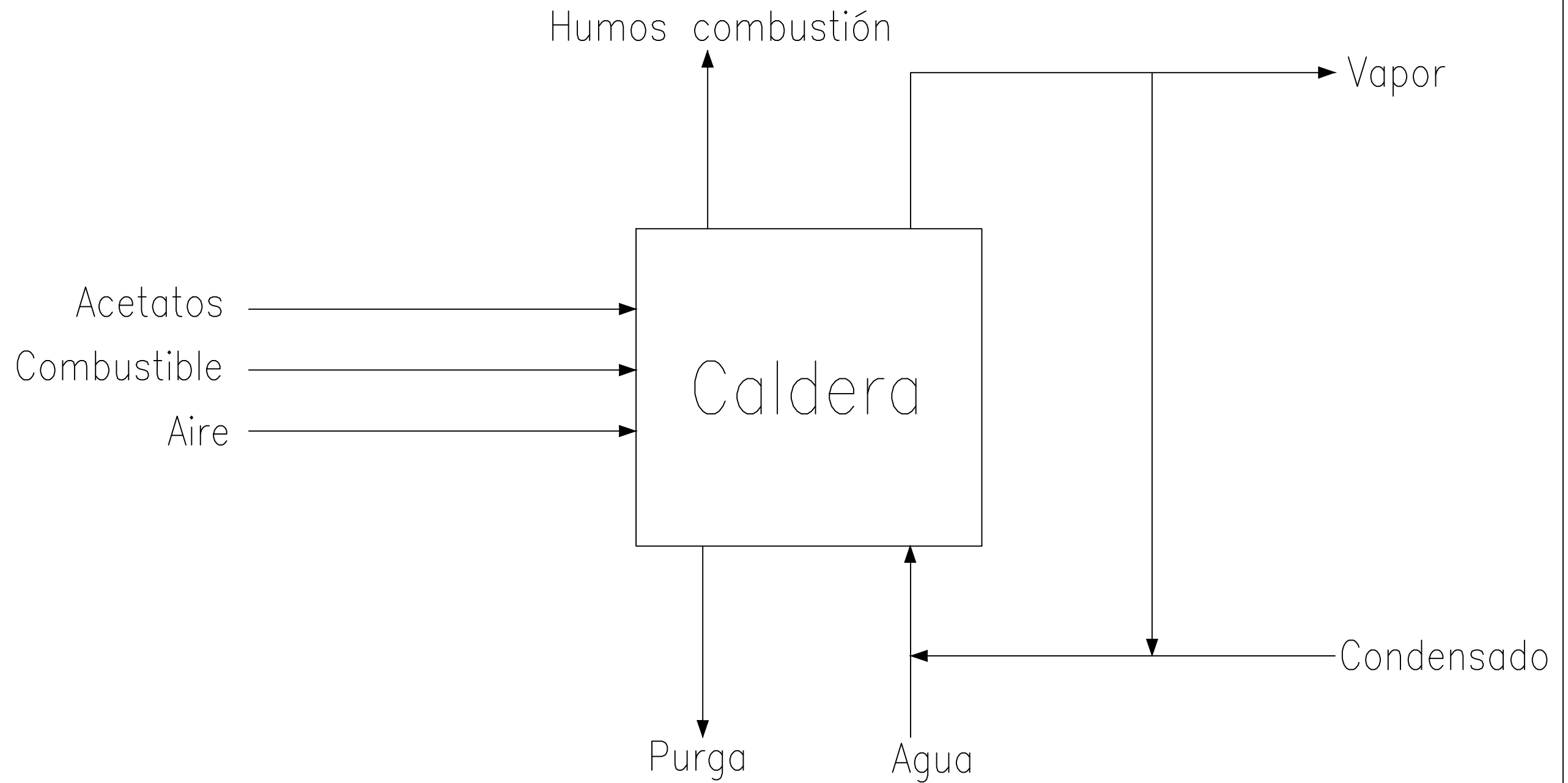


## **9. ELABORACIÓN DE DIAGRAMAS**

### **9.1. Diagrama de bloques**

A continuación se muestra el diagrama de bloques a partir del cual se han desarrollado el proyecto y otros diagramas de proceso con mayor detalle.





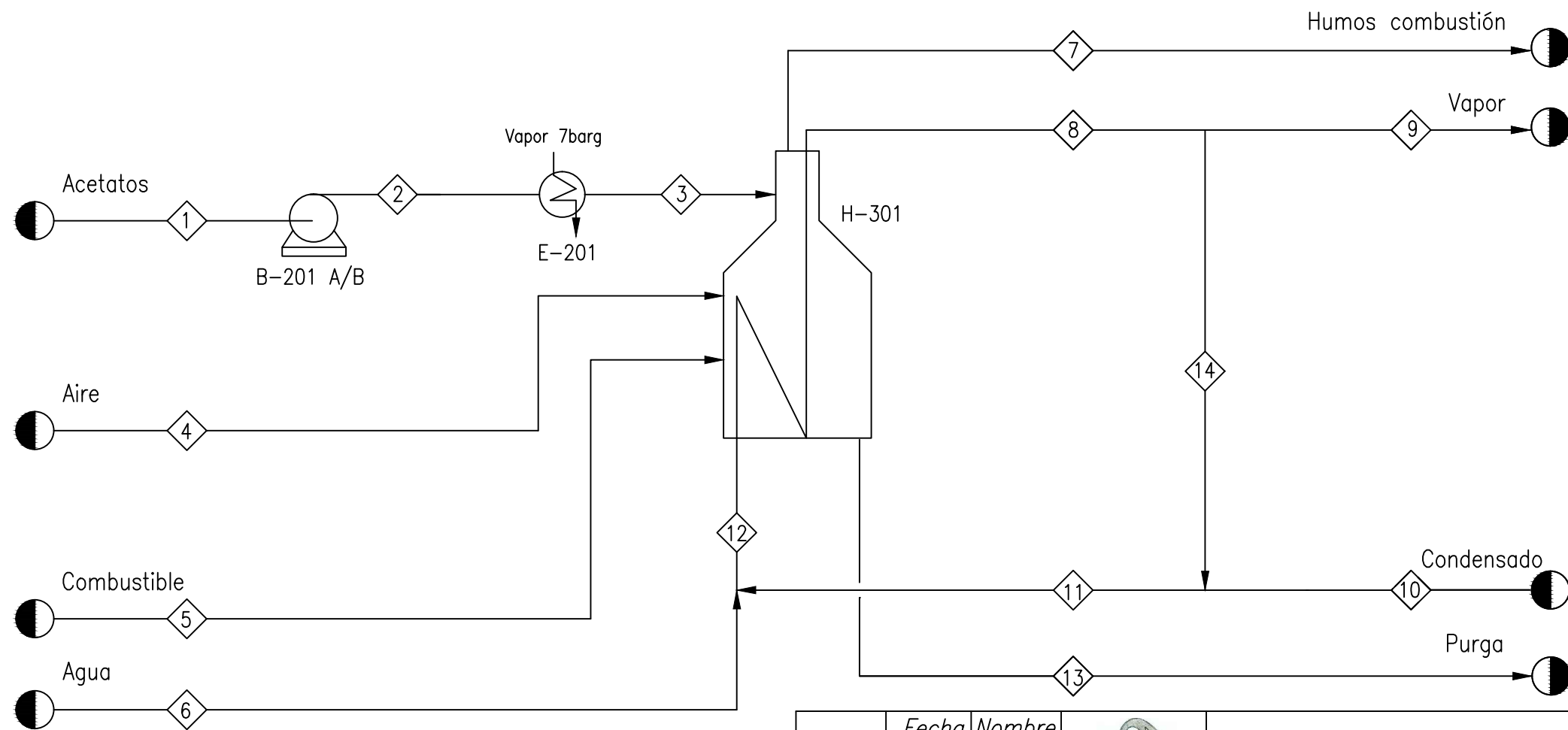
|                   |                            |               |   |                                     |
|-------------------|----------------------------|---------------|---|-------------------------------------|
|                   | <i>Fecha</i>               | <i>Nombre</i> |  | <b>UNIVERSIDAD ROVIRA Y VIRGILI</b> |
| <i>Dibujado</i>   | 08/12/2014                 | Lucas         |   |                                     |
| <i>Comprobado</i> | 15/04/2015                 | Andrea, Tania |   |                                     |
| <i>S. normas</i>  |                            |               |   |                                     |
| <i>Código</i>     | <b>DIAGRAMA DE BLOQUES</b> |               |   | <b>Nº 1</b>                         |
| 1513              |                            |               |   |                                     |
|                   |                            |               |   | <i>Sustituye a</i>                  |
|                   |                            |               |   | <i>Sustituido por</i>               |

## **9.2. Diagrama de flujo del proceso**

En los siguientes planos se muestra el PFD propuesto para el aprovechamiento del corriente de acetatos como subproducto, también se encuentra el PFD para la gestión interna como residuo. Ambos diagramas se encuentran acompañados de sus respectivos balances de materia.



| kg/h   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CH <sub>4</sub>                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 324,8 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                | 0     | 0     | 0     | 0     | 15,86 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | 0     | 0     | 0     | 0     | 4,138 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> | 25,00 | 25,00 | 25,00 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> | 25,00 | 25,00 | 25,00 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| CO <sub>2</sub>                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1150  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| N <sub>2</sub>                               | 0     | 0     | 0     | 5197  | 0     | 0     | 5197  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| O <sub>2</sub>                               | 0     | 0     | 0     | 1578  | 0     | 0     | 45,96 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| H <sub>2</sub> O                             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 107,2 | 826,8 | 5333  | 5333  | 5280  | 5280  | 5387  | 53,87 | 0     |
| Total  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 6775  | 344,8 | 107,2 | 7220  | 5333  | 5333  | 5280  | 5280  | 5387  | 53,87 | 0     |
| Temperatura (°C)                             | 40,00 | 40,00 | 122,6 | 25,00 | 12,00 | 20,00 | 440,0 | 222,4 | 222,4 | 128,6 | 128,6 | 126,1 | 212,4 | 17,80 |
| Presión (barg)                               | 3     | 4     | 4     | 4     | 14    | 4     | 4     | 19    | 19    | 4     | 4     | 4     | 0     | 0     |



B-201 A/B    E-201    H-301  
 Bomba    Intercambiador    Caldera  
 alimentación    de calor de    de vapor  
 acetatos    placas

|            | Fecha      | Nombre        |
|------------|------------|---------------|
| Dibujado   | 30/10/2014 | Andrea        |
| Comprobado | 02/05/2015 | Andrea, Tania |
| S.normas   |            |               |



UNIVERSIDAD ROVIRA Y VIRGILI

Código  
1513

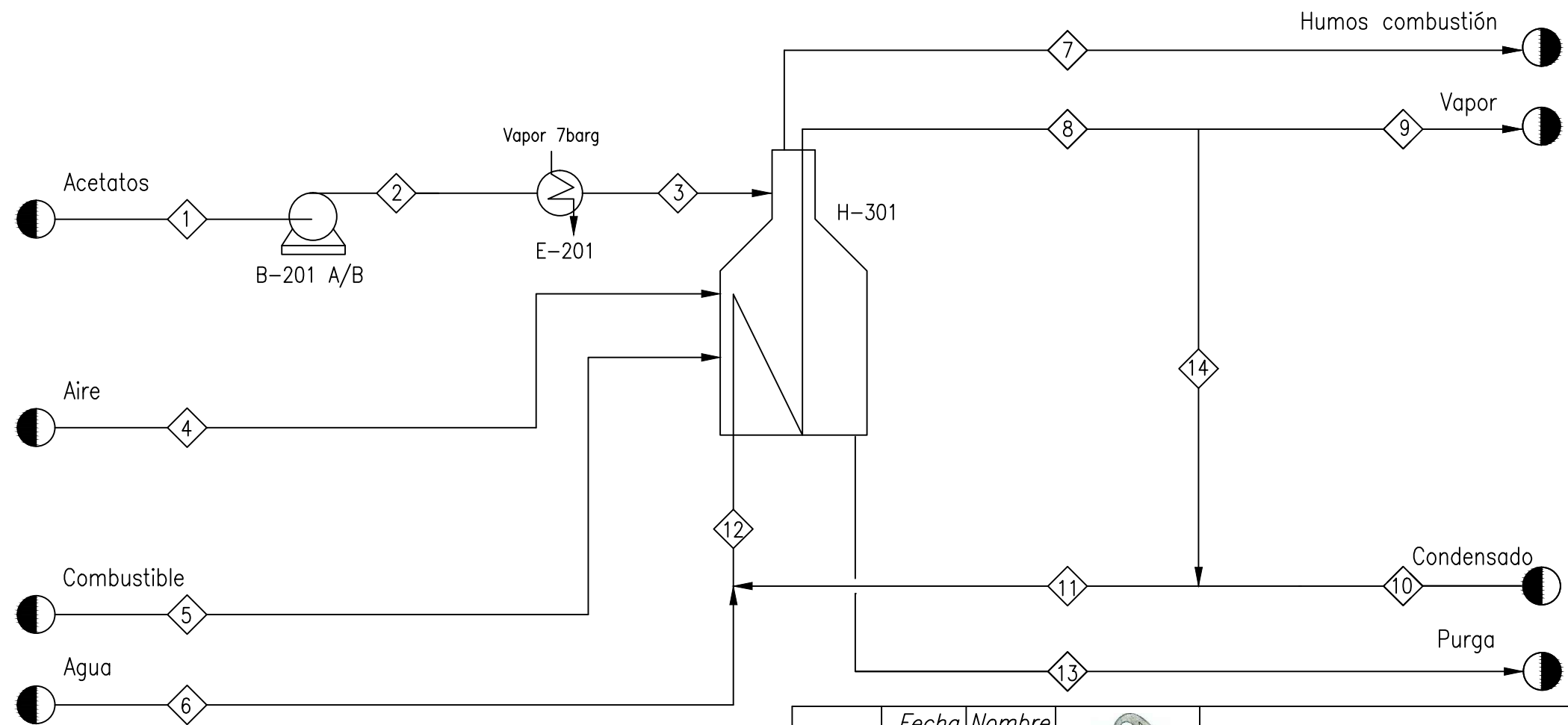
PFD COMBUSTIÓN

Nº 2

Sustituye a

Sustituido por

| kg/h   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CH <sub>4</sub>                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 433,4 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>                | 0     | 0     | 0     | 0     | 21,16 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                | 0     | 0     | 0     | 0     | 5,521 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> | 50,00 | 50,00 | 50,00 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> | 25,00 | 25,00 | 25,00 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub> | 25,00 | 25,00 | 25,00 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| CO <sub>2</sub>                              | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1469  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| N <sub>2</sub>                               | 0     | 0     | 0     | 7334  | 0     | 0     | 7334  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| O <sub>2</sub>                               | 0     | 0     | 0     | 2227  | 0     | 0     | 238,6 | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| H <sub>2</sub> O                             | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 107,2 | 1080  | 5333  | 5333  | 5280  | 5280  | 5387  | 53,87 | 0     |
| Total  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 9561  | 460,1 | 107,2 | 10121 | 5333  | 5333  | 5280  | 5280  | 5387  | 53,87 | 0     |
| Temperatura (°C)                             | 40,00 | 40,00 | 125,6 | 24,00 | 12,00 | 20,00 | 850,0 | 222,4 | 222,4 | 128,6 | 128,6 | 126,1 | 212,4 | 17,80 |
| Presion (barg)                               | 3     | 4     | 4     | 4     | 14    | 4     | 4     | 19    | 19    | 4     | 4     | 4     | 0     | 0     |



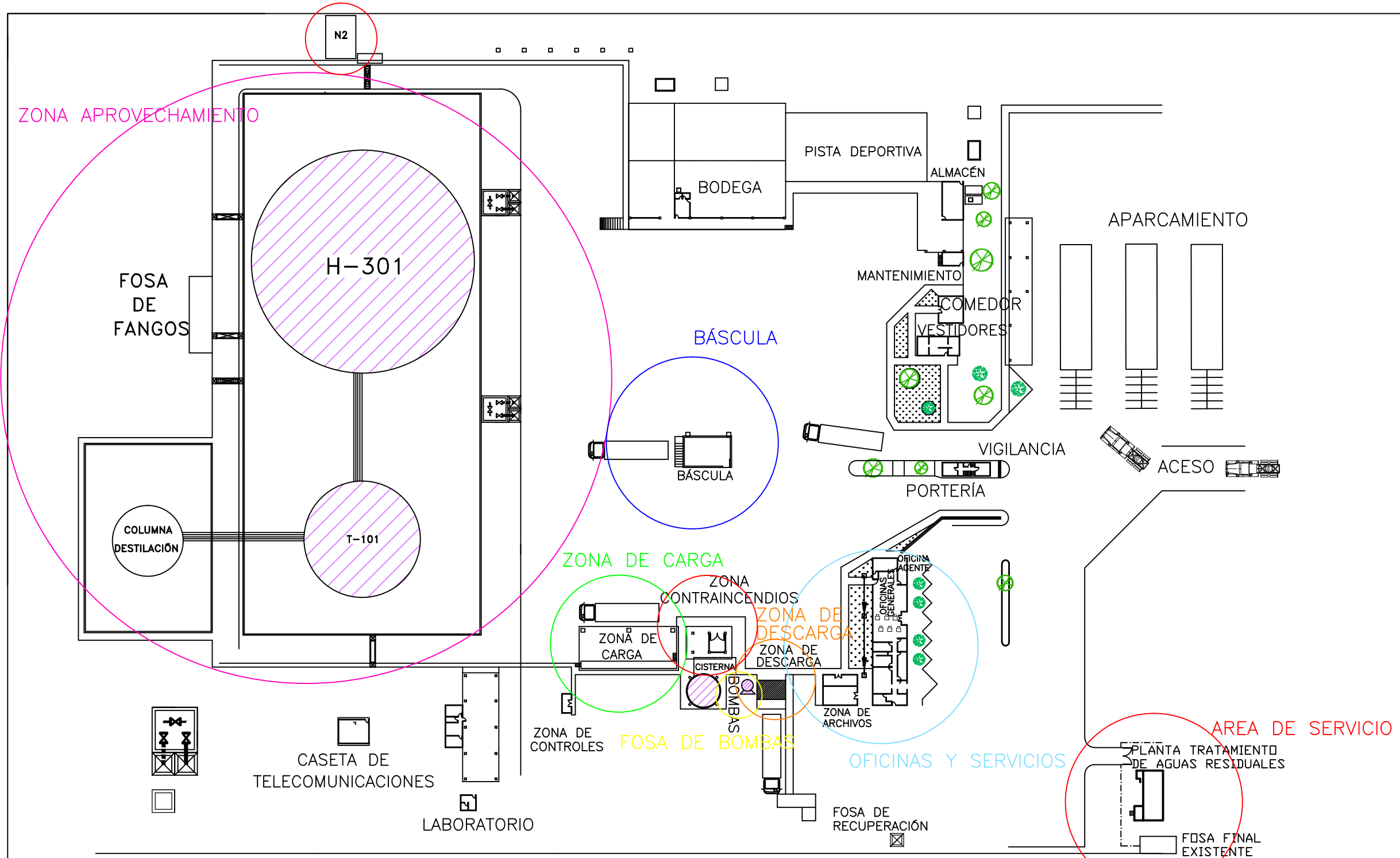
B-201 A/B    E-201    H-301  
 Bomba    Intercambiador    Caldera  
 alimentación    de calor de    de vapor  
 acetatos    placas

|            |                         |               |   |                                     |
|------------|-------------------------|---------------|---|-------------------------------------|
|            | Fecha                   | Nombre        |  | <b>UNIVERSIDAD ROVIRA Y VIRGILI</b> |
| Dibujado   | 30/10/2014              | Andrea        |   |                                     |
| Comprobado | 02/05/2015              | Andrea, Tania |   |                                     |
| S.normas   |                         |               |   |                                     |
| Código     | 1513                    |               |   | <b>Nº 3</b>                         |
|            | <b>PFD INCINERACIÓN</b> |               |   |                                     |
|            |                         |               |   | Sustituye a<br>Sustituido por       |


**9.3. Plot Plan**

En el siguiente plano se encuentra la distribución de la zona de la planta de producción estudiada, además se han resaltado las zonas ATEX definidas en el Apartado 16.3.





 ZONAS ATEX II3GT1

|            |               |        |   |   |
|------------|---------------|--------|---|---|
|            | Fecha         | Nombre |  | <b>UNIVERSIDAD ROVIRA Y VIRGILI</b><br>Escala 1:100 |
| Dibujado   | 17/05/2015    | Andrea |   |   |
| Comprobado |               |        |   |   |
| S.normas   |               |        |   |   |
| Código     | 1513          |        |   | <b>Nº 4</b><br>Sustituye a<br>Sustituido por        |
|            | <b>LAYOUT</b> |        |   |   |

#### **9.4. P&ID**

Los P&IDs que se muestran a continuación pertenecen a las zonas 100, 200 y 300 de la zona estudiada. Cabe destacar que el equipo de aprovechamiento térmico queda fuera del alcance de este proyecto. Junto a los planos se presenta la simbología utilizada durante su elaboración.

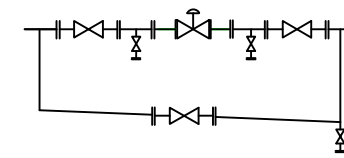




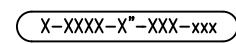
Entrada a P&ID



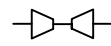
Filtro



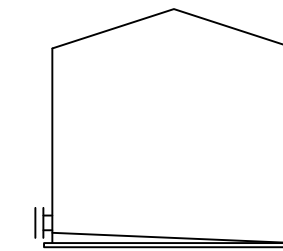
Válvula controladora con su bypass



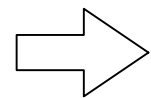
Identificador tubería



Reducción/Ampliación de tubería



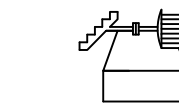
Tanque hermético con boca de hombre



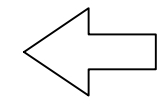
Entrada/ Salida de P&ID



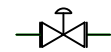
Disco ciego



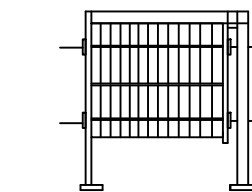
Bomba dosificadora con motor



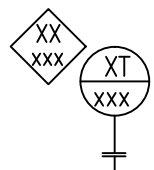
Entrada/Salida de P&ID



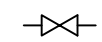
Válvula Controladora



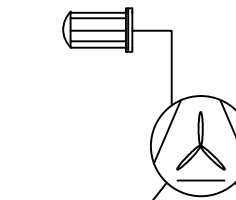
Intercambiador de placas



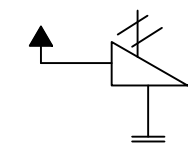
Elemento de medida con su correspondiente señal



Válvula Compuerta



Soplante



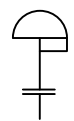
Válvula de seguridad (PSV)



Check valve



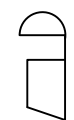
Válvula automática



Válvula de seguridad PVRV



Brida

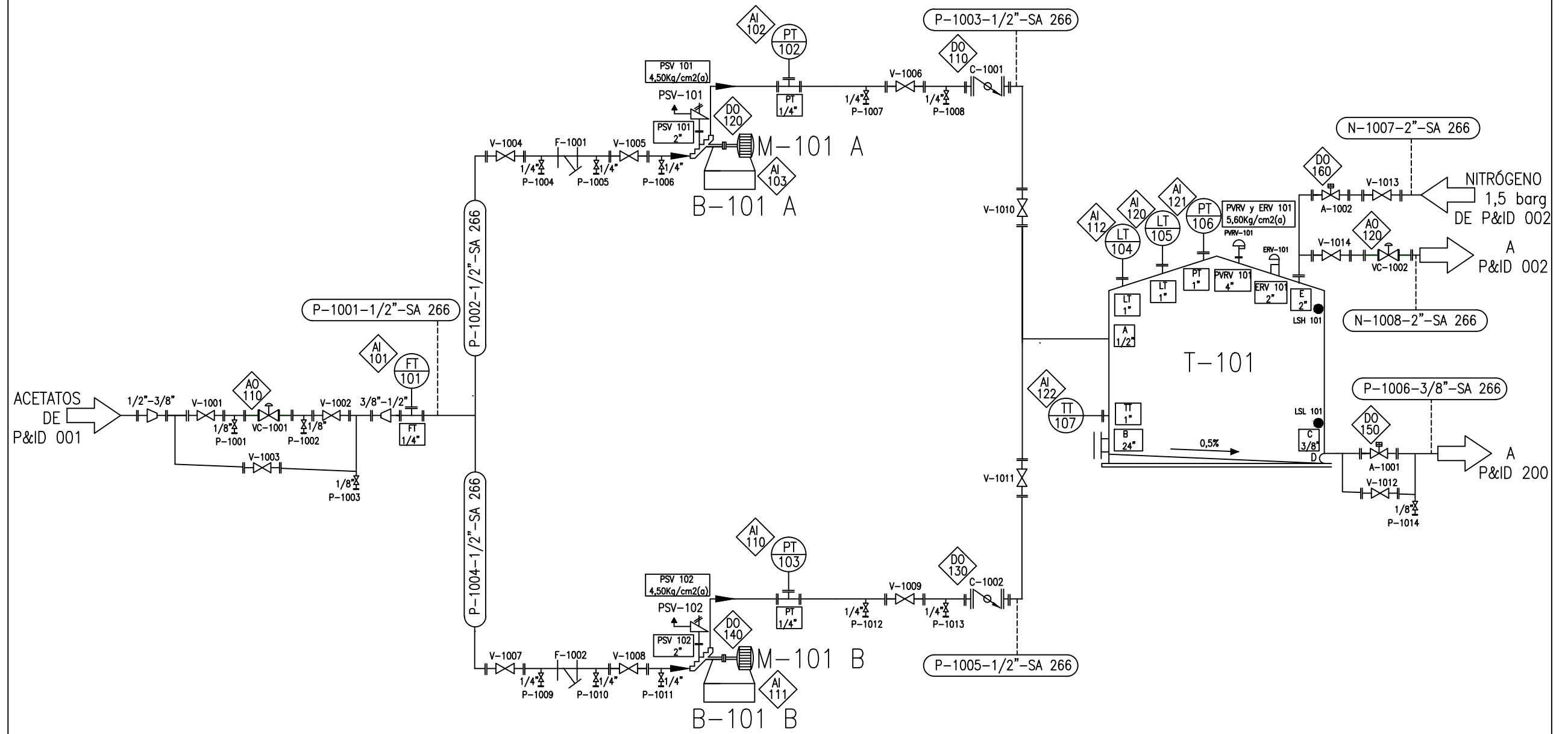


Válvula de seguridad ERV




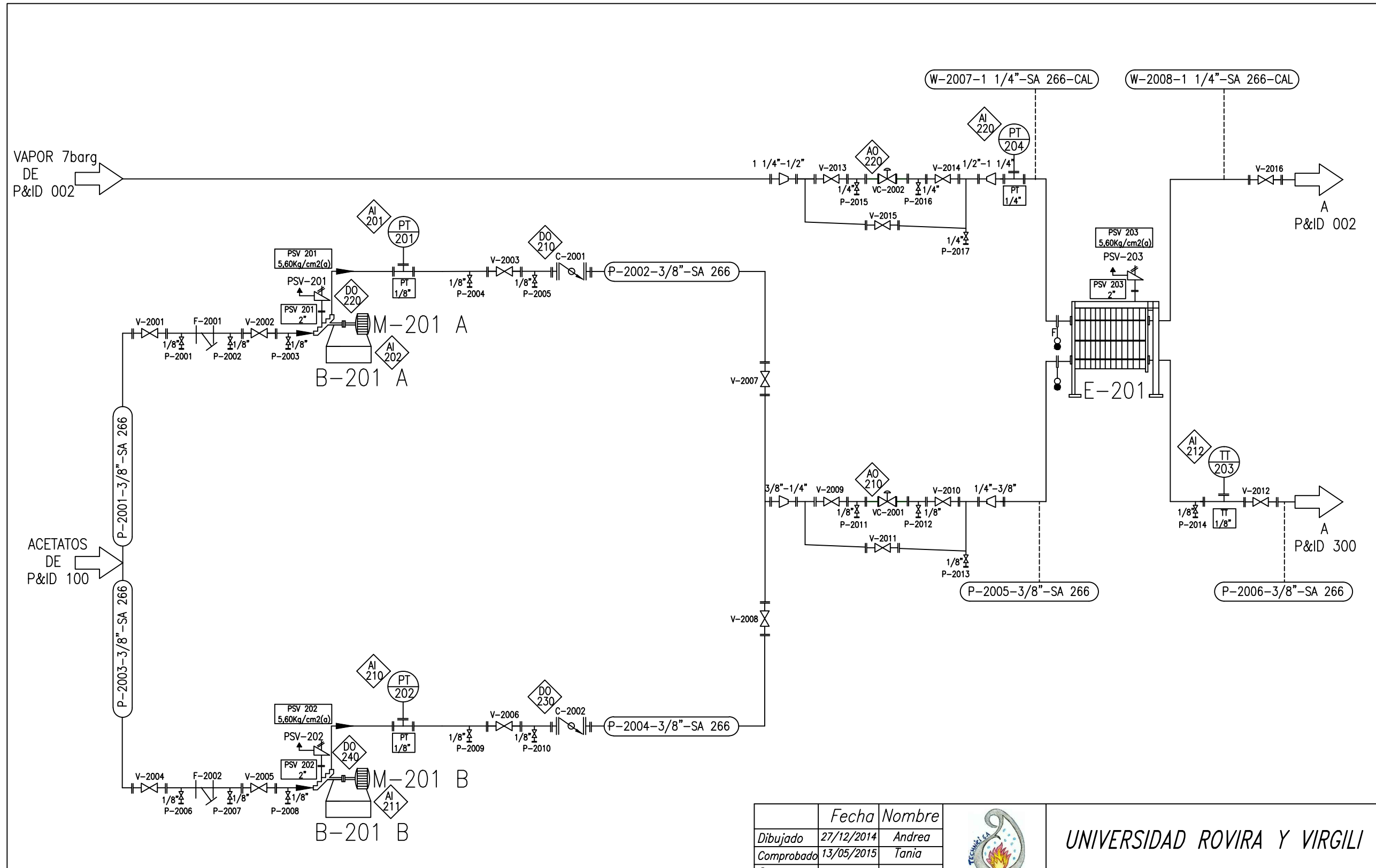
Purga

|          |                    |        |  |                              |
|----------|--------------------|--------|--|------------------------------|
|          | Fecha              | Nombre |  | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI |
| Dibujado | 08/12/2014         | Tania  |  |                              |
| Comp.    | 04/05/2015         | Tania  |  |                              |
| S.normas |                    |        |  |                              |
| Código   | 1513               |        |  | Nº5                          |
|          | Simbología de P&ID |        |  | Substituyr a                 |
|          |                    |        |  | Substituido por              |




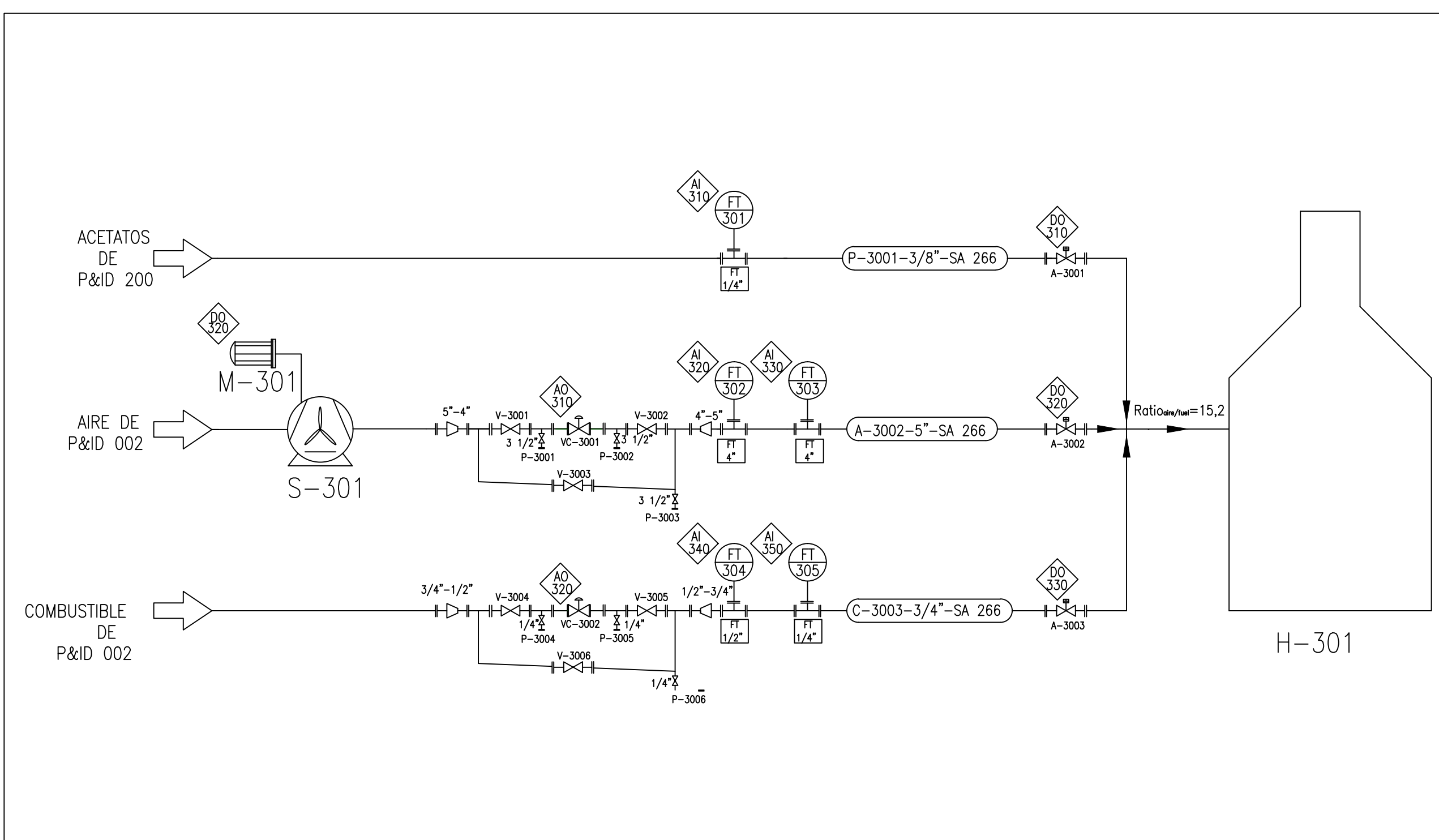
D. Codo 90° para poder vaciar el 100% del producto que contiene el tanque.


|            |                     |        |   |                                     |
|------------|---------------------|--------|---|-------------------------------------|
|            | Fecha               | Nombre |  | <b>UNIVERSIDAD ROVIRA Y VIRGILI</b> |
| Dibujado   | 27/12/2014          | Lucas  |   |                                     |
| Comprobado | 13/05/2015          | Tania  |   |                                     |
| S.normas   |                     |        |   |                                     |
| Código     | <b>P&amp;ID 100</b> |        |   | <b>Nº6</b>                          |
| 1513       |                     |        |   |                                     |
|            | Sustituye a         |        |   |                                     |
|            | Sustituido por      |        |   |                                     |



F. Disco ciego.

|            |                     |        |   |                                     |
|------------|---------------------|--------|---|-------------------------------------|
|            | Fecha               | Nombre |  | <b>UNIVERSIDAD ROVIRA Y VIRGILI</b> |
| Dibujado   | 27/12/2014          | Andrea |   |                                     |
| Comprobado | 13/05/2015          | Tania  |   |                                     |
| S.normas   |                     |        |   |                                     |
| Código     | <b>P&amp;ID 200</b> |        |   | <b>Nº 7</b>                         |
| 1513       |                     |        |   |                                     |



|            |                     |               |   |                                     |
|------------|---------------------|---------------|---|-------------------------------------|
|            | Fecha               | Nombre        |  | <b>UNIVERSIDAD ROVIRA Y VIRGILI</b> |
| Dibujado   | 14/11/2014          | Andrea        |   |                                     |
| Comprobado | 13/05/2015          | Andrea, Tania |   |                                     |
| S.normas   |                     |               |   |                                     |
| Código     | <b>P&amp;ID 300</b> |               |   | <b>Nº 8</b>                         |
| 1513       |                     |               |   |                                     |
|            | Sustituye a         |               |   |                                     |
|            | Sustituido por      |               |   |                                     |

## 10. DISEÑO BÁSICO

### 10.1. Balace de energía

Se han realizado tres balances de energía con condiciones de operación diferentes, con el fin de conocer si las alternativas que se proponen suponen realmente un beneficio energético o un hándicap en el tratamiento del residuo.

Los estudios se basan en el cálculo del gas natural necesario para llegar a la especificación demandada por el cliente, vapor de media a 19 barg, en una caldera de 5MWt.

#### 10.1.1. Caldera de vapor

Se ha calculado mediante balances de energía el caudal de combustible, únicamente gas natural, necesario para llegar a la especificación del vapor de salida. En la Tabla 10.1 se muestran los parámetros de operación de la caldera. Las condiciones de entrada y salida de los compuestos se encuentran en el PFD, Apartado 9.2.

Tabla 10.1. Parámetros de operación habituales de la caldera.

| Parámetro                     | Valor |
|-------------------------------|-------|
| Temperatura (°C)              | 440   |
| Presión (barg)                | 4     |
| Oxígeno en exceso (%)         | 3     |
| Requerimiento energético (kW) | 5.000 |

A continuación se muestran las Ecuación 10.1, 10.2 y 10.3 a partir de las cuales se ha realizado el balance de energía.

$$Q = \sum \Delta h_{in} \cdot n_{in} - \sum \Delta h_{out} \cdot n_{out} \quad (10.1)$$

Donde  $Q$  es el calor en kW,  $\Delta h_{in}$  la entalpía de los compuestos de entrada a la temperatura de entrada en kJ/mol,  $n_{in}$  los moles de los compuestos de entrada,  $\Delta h_{out}$  la entalpía de los compuestos de salida a la temperatura de salida en kJ/mol y  $n_{out}$  los moles de los compuestos de salida.

$$h_{in} = h_f^\circ + \int_{T_{in}}^{T_{out}} C_p dT \quad (10.2)$$

Siendo  $h_f^\circ$  la entalpía de formación estándar en kJ/mol,  $T_{in}$  temperatura de referencia en K,  $T_{out}$  temperatura final en K y  $C_p$  capacidad calorífica a presión constante en kJ/K·mol.

Para el cálculo de la  $C_p$  a la temperatura requerida se ha aplicado la ecuación de *Shomate* (Ecuación 10.3) para los compuestos los cuales se ha podido obtener las constantes.

$$C_p = A + B \cdot T + C \cdot T^2 + D \cdot T^3 + \frac{E}{T^2} \quad (10.3)$$

Donde  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  y  $E$  son constantes de la ecuación de *Shomate*, diferentes para cada uno de los compuestos y  $T$  la diferencia de temperatura entre el valor final y el valor de referencia en K. Para la  $C_p$  del resto de compuestos se ha interpolado de valores tabulados.

Finalmente se ha obtenido que para cumplir las condiciones de operación mencionadas anteriormente es necesario un caudal de gas natural de 391 kg/h, lo cual supone 3.425 t/año.



Una vez obtenido el caudal de gas natural necesario para cumplir las condiciones de operación se procede al cálculo del caudal de agua que pasará a vapor para cumplir las especificaciones del cliente.

Mediante la Ecuación 10.3 se obtiene la  $C_p$  a la temperatura deseada, una vez obtenido el valor se calcula mediante la Ecuación 10.2 la entalpía en kJ/kg.

A través de la Ecuación 10.4 se obtiene el caudal de agua necesario en kg/s.

$$\dot{m} = \frac{Q}{h_{H_2O}} \quad (10.4)$$

Donde  $\dot{m}$  es el caudal de agua en kg/s,  $Q$  la potencia térmica de la caldera en kW y  $h_{H_2O}$  la entalpía del agua a las condiciones de operación en kJ/kg.

Obteniéndose un caudal de operación de la caldera de 6.020 kg/h, lo cual lleva a un caudal de 5.959 kg/h de vapor de media a 19 barg y 222,4°C. Cabe destacar que este caudal de agua es el mismo para los tres balances realizados ya que la potencia térmica de la caldera es invariable en los tres casos.

### 10.1.2. Gestión interna como residuo

El caudal de residuo a incinerar en la caldera de vapor es de 100 kg/h. En la Tabla 7.4 del estudio de alternativas se muestran las condiciones de operación para esta alternativa, las cuales siguen la Directiva 2000/76/CE sobre la incineración de residuos.

Inicialmente se ha calculado mediante las Ecuaciones 10.1, 10.2 y 10.3 el calor que aportan las reacciones de combustión del acetato de vinilo, metilo y etilo, que se muestran en el Apartado 14. Siendo el aporte de calor de la mezcla de acetatos de 462 kW, por tanto el requerimiento energético de la caldera resulta ser 4.538 kW.

Llegado a este punto se ha realizado el procedimiento análogo al mencionado en el apartado anterior. Se ha obtenido que para las condiciones de operación mencionadas y con el aporte del corriente de acetatos es necesario un caudal de gas natural de 460 kg/h, lo cual supone 4.031 t/año.

### 10.1.3. Gestión interna como subproducto

Una vez obtenida la consideración del residuo como subproducto, tal y como indica la Ley 22/2011, de 28 de julio, sobre residuos y suelos contaminados, este se alimenta a la caldera con un caudal de 100 kg/h. Las condiciones de operación para esta alternativa son iguales a las de la Tabla 10.1, ya que para este caso no es necesario llegar a la incineración, por tanto la caldera puede trabajar a las mismas condiciones que sin el aporte del subproducto.

Se ha calculado el aporte de calor del subproducto de la misma forma que en el apartado anterior. El valor obtenido para el calor aportado por las reacciones de combustión de este es 590 kW, esto supone un déficit energético en la caldera de 4.410kW.

El gas natural necesario para cubrir ese déficit es 345 kg/h, lo cual supone 3.021 t/año.

En el Apartado 13 se muestra la simulación de proceso realizada con el Programa *ASPEN Plus* y el balance de materia obtenido por el mismo.

### 10.1.4. Conclusiones

En la Tabla 10.2 se pueden ver los resultados obtenidos para cada una de las alternativas.

Tabla 10.2. Resultados obtenidos para el caudal de gas natural necesario.

| Alternativa                                | Gas natural (t/año) |
|--|---------------------|
| Caldera de vapor (funcionamiento habitual) | 3.425               |
| Gestión interna como residuo               | 4.031               |
| Gestión interna como subproducto           | 3.021               |

En función a los resultados obtenidos se ven reflejadas las previsiones acerca del funcionamiento de la caldera en las diferentes situaciones.

La alternativa de gestión interna como residuo presenta los peores resultados. Esto se debe a que las condiciones de operación hacen que sea necesario más combustible para conseguirlas. Para alcanzar la temperatura de operación de 850°C es necesario más calor y por ello más combustible, en comparación con los 440°C de las otras dos alternativas. Además el exceso de oxígeno de 12% hace que se requiera aún más calor para calentar el fluido comburente.

Por otro lado la alternativa que presenta unos mejores resultados es la gestión interna como subproducto. Esto se debe a que las condiciones de operación son las mismas que la caldera en funcionamiento habitual. Además debido al aporte del subproducto y a su poder calorífico, 2.300 J/kg·K, se consigue un ahorro de gas natural en comparación con el funcionamiento de la caldera habitual.

Por lo tanto, teniendo en cuenta únicamente factores relativos a los balances de materia y energía, se considera que la alternativa de gestión interna como subproducto es una alternativa a seguir valorando.

## 10.2. Diseño de tuberías

Se ha realizado el diseño del tramo de tuberías que permitirá transportar el subproducto desde la columna de destilación hasta la caldera de vapor, además se presentan los tamaños de las demás líneas presentes en los P&ID 100, 200 y 300.

### 10.2.1. Criterios para el dimensionamiento de las tuberías

Para evitar una pérdida de carga demasiado elevada se ha determinado que la velocidad máxima para los líquidos sea 1 m/s, mientras que la velocidad teórica de los gases se ha fijado en 30 m/s. La distancia de las tuberías a diseñar, que debe cubrir el recorrido entre la columna de destilación y la caldera, es de 22m con una diferencia de altura de 2,3m.

### 10.2.2. Dimensionamiento

Se ha determinado el diámetro interno de las tuberías a partir de la Ecuación 10.5.

$$Q = v \cdot A \quad (10.5)$$

Donde  $Q$  es el caudal volumétrico en m<sup>3</sup>/s,  $v$  la velocidad en m/s y  $A$  el área m<sup>2</sup>.

Con el flujo másico, obtenido del balance de materia, dividido entre la densidad se obtiene el caudal volumétrico, tal y como se muestra en la Ecuación 10.6.

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad (10.6)$$

Donde  $\dot{m}$  es el flujo másico obtenido en el balance de materia en kg/s y  $\rho$  la densidad en kg/m<sup>3</sup>.



### 10.2.3. Material

El material de construcción de las tuberías es acero al carbono. Basándose en la experiencia del Polígono Sur de Tarragona, se ha determinado que el ambiente marino no es una fuente preocupante de corrosión.

El material seleccionado es el SA266, las características del cual se encuentran en el Anexo E. Según el código ASME tiene una tensión admisible de 118 MPa en un rango de temperatura de 0°C hasta 250°C, a partir de 250°C empieza a disminuir su resistencia. Teniendo en cuenta que la temperatura máxima de trabajo es de 123°C se asegura que no se experimentarían este tipo de problemas.

Como alternativa al uso de este material se tiene el acero inoxidable AISI304<sup>8</sup>, ya que a las condiciones de operación a las que se trabaja en la instalación y al entorno en el que se encuentra esta, el material se adapta perfectamente. También se contempla su utilización en el caso de que las condiciones de operación cambien y se requiera un material con mayor resistencia a la corrosión. Pero por el momento teniendo en cuenta las condiciones de trabajo y el entorno en el que se encuentra la instalación en la actualidad el SA266 muestra las características adecuadas y a un coste más bajo, por ello, su uso se verá priorizado respecto al AISI304.

### 10.2.4. Schedule (número de cédula)

Determinado el diámetro interno mínimo necesario para las tuberías, se ha de determinar el grosor de la tubería que soporte una presión a una temperatura determinada, es decir, el *schedule*. Este se calcula a partir de la Ecuación 10.7.

$$N^{\circ} \text{ schedule} = 1.000 \cdot \frac{P}{S} \quad (10.7)$$

Donde  $P$  es la presión interna en psi y  $S$  la tensión admisible del material a la temperatura de trabajo en psi. Con este material a las condiciones de operación normales se obtiene un número de *schedule* de 40, en base a este valor se determina el grosor de las tuberías.

### 10.2.5. Normalización del diámetro de las tuberías.

Determinado el diámetro teórico, el material y el *schedule* se procede a normalizar los tamaños de las tuberías. Cabe destacar que se han sobredimensionado los diámetros de los corrientes de acetatos con el fin de minimizar las pérdidas de carga. Los resultados obtenidos en el diseño de tuberías se muestran en la Tabla 10.3 y en la Tabla 10.4.

Tabla 10.3. Valores obtenidos en el dimensionamiento de las tuberías (I).

| Corriente             | 0     | 1     | 2     | 3     | 4     |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diámetro teórico (in) | 0,308 | 0,252 | 0,252 | 0,252 | 4,60  |
| Diámetro real (in)    | 0,622 | 0,493 | 0,493 | 0,493 | 5,047 |
| Velocidad real (m/s)  | 0,245 | 0,260 | 0,260 | 0,260 | 24,9  |
| Diámetro externo (in) | 0,840 | 0,675 | 0,675 | 0,675 | 5,563 |
| Grosor (in)           | 0,109 | 0,091 | 0,091 | 0,091 | 0,258 |
| Diámetro nominal (in) | 1/2   | 3/8   | 3/8   | 3/8   | 5     |

<sup>8</sup> Multimet (2013). *Clasificación de los aceros inoxidables según Norma AISI*. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.multimet.net/pdf/clasificacionaceros.pdf>



Tabla 10.4. Valores obtenidos en el dimensionamiento de las tuberías (II).

|                       | 5     | Vapor E-201(in) | Vapor E-201 (out) | Nitró. (T-101) |
|-----------------------|-------|-----------------|-------------------|----------------|
| Diámetro teórico (in) | 0,777 | 1,10            | 1,11              | 1,65           |
| Diámetro real (in)    | 0,842 | 1,38            | 1,38              | 2,067          |
| Velocidad real (m/s)  | 26,0  | 19,1            | 19,4              | 19,0           |
| Diámetro externo (in) | 1,050 | 1,66            | 1,66              | 2,375          |
| Grosor (in)           | 0,113 | 0,140           | 0,140             | 0,154          |
| Diámetro nominal (in) | 3/4   | 1 1/4           | 1 1/4             | 2              |

### 10.3. Diseño de bombas

Se ha realizado el diseño del sistema de bombeo para impulsar el subproducto. Con este propósito y para simplificar el cálculo se divide el trayecto en dos tramos: el primer tramo cubre desde la columna de destilación hasta el tanque de almacenamiento (T-101) y el segundo desde este hasta la caldera (H-301). Además, se tienen en cuenta los valores obtenidos en el Apartado 10.2, correspondientes al diseño de tuberías.

#### 10.3.1. Tramo 1

Se ha utilizado la Ecuación de *Bernoulli* (Ecuación 10.8) para realizar el balance de energía mecánico.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_a - h_r - h_l = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (10.8)$$

En este tramo, no se tiene en cuenta una diferencia de presión ya que  $P_1$  y  $P_2$  son prácticamente idénticas, además se elimina el término  $h_r$  porque no existe ningún elemento que retire energía en ninguno de los dos tramos. El origen de coordenadas se ha ubicado en el fondo de la columna por lo que  $z_1$  es cero, finalmente, el término de velocidad en el punto 2 se desprecia ya que  $v_2$  tiene un orden de magnitud muy inferior comparado con  $v_1$ .

Para el cálculo de las pérdidas  $h_L$  se han tenido en cuenta las pérdidas por fricción, a través de los 11 metros de longitud de tubería, las pérdidas que tienen lugar en los 3 codos que presenta el tramo y las pérdidas ocasionadas por las válvulas presentes (2 válvulas de compuerta y 1 de bola). La Tabla 10.5 refleja los valores obtenidos en la realización del balance de energía mecánico para el tramo 1.

Tabla 10.5. Valores del balance de energía mecánico del tramo 1.

| $\Delta P$ (bar) | $z_1$ (m) | $h_L$ (m) | $z_2$ (m) | $h_a$ (m) | Q (l/h) | NPSH <sub>d</sub> (m) | NPSH <sub>r</sub> (m) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------------------|-----------------------|
| -                | -         | 12,2      | 3,50      | 15,7      | 173     | 23,1                  | 4,43                  |

#### 10.3.2. Tramo 2

En el segundo tramo el sistema requiere que se aumente la presión del líquido en 1 bar. La diferencia de altura entre los dos puntos de referencia es de 5,8m. La velocidad del líquido en el tanque se desprecia frente a la velocidad en la entrada a los quemadores de la caldera, tal y como en el tramo anterior. La Tabla 10.6 refleja los valores obtenidos en la realización del balance de energía mecánico para el tramo 2.

Tabla 10.6. Valores del balance de energía mecánico del tramo 2.

| $\Delta P$ (bar) | $z_2$ (m) | $h_L$ (m) | $z_3$ (m) | $h_a$ (m) | Q (l/h) | NPSH <sub>d</sub> (m) | NPSH <sub>r</sub> (m) |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------------------|-----------------------|
| 1                | 5,80      | 22,2      | -         | 28,3      | 116     | 15,8                  | 7,05                  |



En el Anexo D, se encuentra el desarrollo de todos los cálculos involucrados en el diseño y dimensionamiento del sistema de impulsión de los acetatos para ambos tramos.

### 10.3.3. Selección del sistema de bombeo

Inicialmente se pretendía utilizar una bomba centrífuga con doble cierre mecánico, concretamente la que presenta el Plan API 53A<sup>9</sup>, para impulsar el subproducto. En la Figura 10.1 se muestra su esquema.

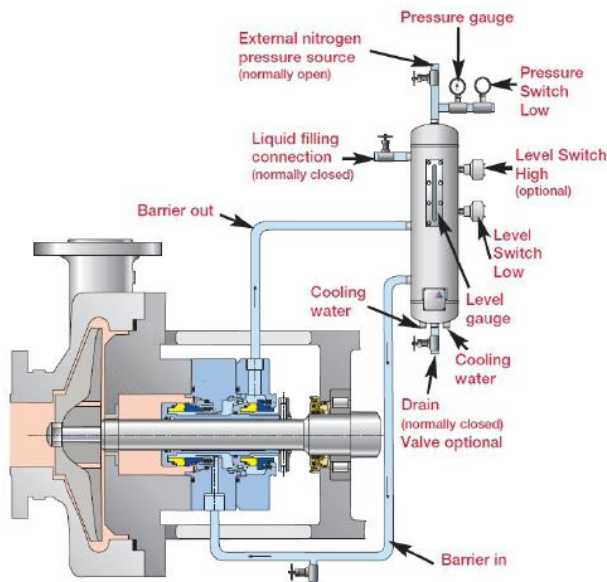


Figura 10.1. Esquema del Plan API 53A.

Este cierre mecánico se caracteriza por no permitir fugas a la atmósfera. Además, el sistema de refrigeración, aportado por el botellón, permite mantener la temperatura del sistema estable.

Finalmente este diseño no se ha podido llevar a cabo ya que el bajo caudal que presenta el corriente de subproducto, entre 50 y 100 kg/h no lo ha permitido. Por ello se ha tenido que optar por un sistema de impulsión con bombas dosificadoras.

Tanto la bomba situada en el tramo 1 como la del tramo 2 se han seleccionado a través del catálogo de bombas dosificadoras electromagnéticas de la compañía Sistemas de Dosificación y Mezcla (*Milton Roy*)<sup>10</sup>. Este tipo de bombas se caracterizan por ser precisas y de poco tamaño.

La bomba seleccionada para ambos tramos es una *MaxRoy A105*, en el Apartado E, se encuentra la hoja de especificación de este modelo. Como se puede comprobar en las Tablas 10.5 y 10.6, el NPSH requerido por estas bombas es inferior que el disponible evitando, a priori, problemas de cavitación.

<sup>9</sup>AESSEAL. (2013). *API Plan 53A*. Reino Unido. Recuperado de <http://www.aesseal.com/en/resources/api-plans/api-plan-53a>

<sup>10</sup>Milton Roy. (2014). *Catálogo comercial de bombas dosificadoras SDM*. Madrid, España. Recuperado de <http://www.sdm-sistemas.com/e-catalogo/#/2/>

#### 10.4. Dimensionamiento de las válvulas controladoras<sup>11</sup>

Se ha determinado el diámetro del orificio de la válvula que permita que la abertura de la válvula sea entre un 30% y un 70% durante el máximo y mínimo caudal, para ello se ha utilizado la Ecuación 10.9 con el fin de encontrar el coeficiente de caudal ( $C_v$ ).

$$C_v = Q \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_v}{\gamma}} \quad (10.9)$$

Donde  $Q$  es el caudal volumétrico en galones por minutos,  $\gamma$  es la densidad relativa y  $\Delta P_v$  es la variación de presión entre la entrada y la salida de la válvula en psi. La densidad relativa es la relación entre la densidad del corriente a estudiar y la del agua.

Se ha estimado que la caída de presión en todas las válvulas será de 7 psi.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 10.7.

Tabla 10.7. Detalle de las características principales de las válvulas de control.

| Identificador | Descripción                     | Caudal (gpm) | $C_v$  | Modelo               |
|---------------|---------------------------------|--------------|--------|----------------------|
| VC-1001       | Alimentación de acetato a T-101 | 0,763        | 0,2680 | <i>Baumann 51000</i> |
| VC-1002       | Sistema de nitrógeno T-101      | 653          | 8,880  | <i>Fisher V200</i>   |
| VC-2001       | Entrada acetatos a E-201        | 0,508        | 0,1790 | <i>Baumann 51000</i> |
| VC-2002       | Entrada de vapor a E-201        | 1.05         | 24,90  | <i>Fisher V200</i>   |
| VC-3001       | Alimentación de aire a H-301    | 5.10         | 147,0  | <i>Fisher V200</i>   |
| VC-3002       | Alimentación de gas a H-301     | 141          | 5,540  | <i>Fisher V200</i>   |

#### 10.5. Diseño del tanque de almacenamiento T-101

El contenido de este estudio se encuentra en el TFG\_GEQ\_1513\_TaniaVillalba.

#### 10.6. Diseño del intercambiador de calor E-201

El contenido de este estudio se encuentra en el TFG\_GEQ\_1513\_AndreaNeve.

### 11. ESTRATEGIAS DE CONTROL

Con el fin de tener el proceso controlado y las variables de control entre los rangos de valores establecidos se han diseñado las estrategias de control.

Para realizar el control de la planta se ha visto oportuno dividirla en tres secciones, alimentación, acondicionamiento y combustión, tal y como muestran los P&ID 100, 200 y 300 respectivamente. Para cada una de las secciones, se indican las estrategias de control a seguir.

<sup>11</sup> Manual del Instalador Digital (2014). *Guía para dimensionar y seleccionar válvulas de control*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de <http://www.sistemamid.com/preview.php?a=7260>



### **11.1. Funcionamiento del sistema de control**

El control de la planta sigue el mecanismo que a continuación se explica.

1. El instrumento realiza la medida y se envía a una caja de conexión en campo llamada *junction box*, esta señal se considera una entrada, por tanto, un *input* que puede ser un valor analógico (valor concreto) o digital (0 o 1).
2. De aquí se envía una señal hacia los bloques *weidmuller*, estos facilitan la conversión de las señales para poder ser utilizadas por ordenadores, terminando en un programa de análisis.
3. Este programa realiza dos análisis, donde se comparan y se envía una única señal hacia la *junction box* de conexión en campo.
4. La *junction box* de conexión en campo envía la señal a un controlador, siendo ésta una de salida u *output*.
5. Finalmente la válvula actúa.

### **11.2. P&ID 100: Zona de alimentación**

La sección 100 de la planta consiste en el almacenaje del corriente residual de acetatos. Para que sea posible, se ha de mantener un control de la zona de alimentación, el cual se explica a continuación y se ve reflejado en el P&ID 100.

VC-1001: Válvula que permite regular el caudal de acetatos en la entrada al tanque T-101 mediante una señal analógica de salida AO-110. Este hecho se puede llevar a cabo gracias al transmisor FT-101 con entrada analógica AI-101. El control del caudal es proporcional directo, dado que en caso de que aumente la demanda de acetatos la válvula controladora abrirá, en caso contrario cerrará. Inevitablemente, surgen fallos, por tanto, se ha previsto que la posición de fallo de la válvula sea abierta. Se ha determinado esta posición para evitar el sobrellenado de los fondos de la columna de destilación precedente, de la cual proviene la mezcla de acetatos y que se encuentra en la sección 001.

PT-102: El medidor de presión PT-102 permite medir y asegurar que la presión de salida de la bomba de membrana B-101 A es la adecuada. El propio medidor tiene una entrada analógica AI-102 y el motor de la bomba, una salida digital DO-120. Además, la bomba dosificadora B-101 A dispone de un medidor de intensidad, este permite saber la potencia que tiene en todo momento con una entrada analógica AI-103.

C-1001: Esta válvula *check* impide el retroceso del fluido protegiendo así la bomba B-101 A de la posible cavitación en caso de que pueda haber una subida de presión detrás de la válvula. Tiene una salida digital DO-110.

PT-103: El medidor de presión PT-103 permite medir y asegurar que la presión de salida de la bomba de membrana B-101 B es la adecuada. El propio medidor tiene una entrada analógica AI-110 y el motor de la bomba, una salida digital DO-140. La bomba dosificadora B-101 B incluye un medidor de intensidad, este permite saber la potencia que tiene en todo momento con una entrada analógica AI-111.

C-1002: Esta válvula *check* impide el retroceso del fluido protegiendo así la bomba B-101 B de la posible cavitación en caso de que pueda haber una subida de presión detrás de la válvula. Tiene una salida digital DO-130.

A-1001: Es una válvula automática que se encuentra en la salida del tanque T-101 para garantizar que llega el flujo suficiente a las bombas de la sección 200, esta tiene una señal



digital de salida DO-150. Esta válvula controla el nivel que se establece en el tanque de almacenaje de acetatos a partir de los transmisores redundantes LT-104 y LT-105, con un sistema radar y una señal de entrada analógica AI-112 y AI-120 respectivamente. Además, éste cuenta con instrumentación adicional como *switches* analógicos que alertarán de alto o bajo nivel dependiendo del que se ha establecido. En este caso, el control es una señal proporcional directa, debido a que si se requiere un mayor flujo de caudal de la corriente de acetatos en la caldera, la válvula abrirá. La posición de fallo de esta será abre para evitar sobrellenado en el tanque y que las posteriores bombas presenten siempre flujo para que no se produzca cavitación.

A-1002: Esta válvula automática controla la presión en el tanque T-101 con una señal digital de salida DO-160, esto es posible gracias a la línea de nitrógeno instalada. Se utiliza un transmisor de presión PT-106 con una entrada analógica AI-121. Este tipo de control tiene una relación proporcional inversa, ya que si la presión sobrepasa la establecida, la válvula cerrará para que no entre nitrógeno en el tanque, evitando así una sobrepresión y que salten los sistemas de seguridad. La posición de fallo es cierre para evitar problemas de sobrepresión en el tanque.

VC-1002: La válvula controladora con señal de salida analógica AO-120 sirve para abrir o cerrar la salida de nitrógeno haciendo variar así la presión del sistema. El elemento de medición es el mismo que en la automática A-1002. Al contrario que en el caso anterior, este control es proporcional directo debido a que frente a un aumento imprevisto de la presión esta válvula se ha de mantener abierta con el fin de aliviar la presión en el sistema. Destacar que en caso de un incremento de presión en el tanque, se abrirá la válvula para hacer que el gas evacue. También se produciría la apertura en el caso de un incremento de la temperatura medido (con el transmisor TT-107), haciendo que el nitrógeno se expanda y se abra la válvula para reducir la presión en el interior del tanque. El medidor de temperatura mide la temperatura para tener constancia de la temperatura a la cual se encuentran los acetatos, ya que a temperaturas elevadas son inflamables. Presenta una señal de entrada analógica AI-122. La posición de fallo es abierta, acción que se realizaría de forma simultáneamente al cierre de la válvula automática A-1002.

### **11.3. P&ID 200: Zona de acondicionamiento**

A continuación se explica el control de la zona de acondicionamiento donde al corriente de acetatos se le realiza el aumento de presión y temperatura adecuado para su uso en la caldera como combustible adicional al gas natural. Este control se ve reflejado en el P&ID 200.

PT-201: El medidor de presión PT-201 permite medir y asegurar que la presión de salida de la bomba de membrana B-201 A es la adecuada. Cuenta con una entrada analógica AI-201 mientras que su motor tiene una salida digital DO-220. De la misma manera, la bomba dosificadora B-201 A dispone de un medidor de intensidad, este permite saber la potencia que tiene en todo momento con una entrada analógica AI-202.

C-2001: Esta válvula *check* impide el retroceso del fluido protegiendo así la bomba B-201 A de la posible cavitación en caso de que pueda haber una subida de presión detrás de la válvula. Tiene una salida digital DO-210.

PT-202: El medidor de presión PT-202 permite medir y asegurar que la presión de salida de la bomba de membrana B-201 B es la adecuada. El propio medidor tiene una entrada analógica AI-210 y el motor de la bomba, una salida digital DO-240. Además, la bomba



dosificadora B-201 B dispone de un medidor de intensidad, este permite saber la potencia que tiene en todo momento con una entrada analógica AI-211.

C-2002: Esta válvula *check* impide el retroceso del fluido protegiendo así la bomba B-201 B de la posible cavitación en caso de que pueda haber una subida de presión detrás de la válvula. Tiene una salida digital DO-230.

VC-2001: Esta válvula controla el flujo de entrada de acetatos al intercambiador de calor E-201, la cual presenta una salida analógica AO-210. Este flujo será regulado a través de la señal de entrada analógica AI-310 que proporciona el transmisor de flujo FT-301. Tener un buen control de este flujo es de gran importancia ya que el ratio combustible/acetato se ve afectado por éste. Este control viene dado por una relación proporcional directa debido a que si se requiere un mayor flujo en la caldera de la mezcla de acetatos, la válvula controladora tendrá que abrirse. La posición de fallo es cerrada para evitar que llegue caudal de acetatos a la caldera y produzca problemas en ella.

VC-2002: Esta válvula controla el flujo de entrada de vapor al intercambiador E-201, la cual presenta una salida analógica AO-220. Este flujo será regulado a través de la señal de entrada analógica AI-211 que proporcionaría el transmisor de temperatura TT-203. Tener el control de este flujo es de vital importancia ya que este permite regular la temperatura de salida de la corriente de acetatos que llegará a la caldera. Por una parte es importante ya que se requiere el corriente a la temperatura de ebullición, para conseguir que al expansionarse en la entrada de los quemadores de la caldera el corriente experimente un cambio de fase, ya que el quemador de la caldera está diseñado para quemar combustibles en fase gas. Además, es necesario el control para asegurar que la temperatura no suba más de lo indicado ya que podría provocar problemas de deformación en el intercambiador a causa de una posible vaporización. Este control viene dado por una relación proporcional directa debido a que si se requiere una menor temperatura de la mezcla de acetatos, se cerrará más la válvula de vapor para así evitar calentar la corriente de acetatos que circula por el intercambiador. La posición de fallo es cierre actuando de forma simultánea con VC-2001 evitando así la rotura del intercambiador.

PT-204: El medidor de presión PT-204 permite medir y asegurar que la presión de la entrada de la corriente de vapor es la adecuada para así evitar problemas de seguridad en el intercambiador a causa de una elevada presión. Tiene una entrada analógica AI-220. Esta medida presenta una relación proporcional directa con el control de la temperatura, debido a que si se requiere una menor temperatura en la corriente de acetatos, el flujo de la corriente de vapor se verá disminuido con lo cual cosa provocaría directamente una disminución de la presión en la línea.

#### **11.4. P&ID 300: Zona de combustión**<sup>12</sup>

En la instalación de aprovechamiento térmico de la corriente residual en la caldera, se estudia el control de las tres unidades principales, las dos primeras se enfatizan en los Apartados 11.2 y 11.3, la unidad restante es la zona de combustión. De ésta no se considera el

---

<sup>12</sup>Ismael, P., & Manuela, A. (2009). *Sistema de control de las centrales térmicas* (pregrado). Recuperado de [http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1010/mod\\_resource/content/1/1C\\_C12757\\_0910/04\\_GT12\\_Principios\\_de\\_control\\_en\\_centrales\\_termicas.pdf](http://ocw.uniovi.es/pluginfile.php/1010/mod_resource/content/1/1C_C12757_0910/04_GT12_Principios_de_control_en_centrales_termicas.pdf)



control detallado debido a que este equipo ya se encuentra en la planta de producción de acetato de vinilo monómero, por tanto, ya existe el sistema de control pertinente y este queda fuera del alcance de este proyecto. De todas formas, se ha ideado el control básico de esta, el cual se explica a continuación.

Si el sistema de control de la caldera percibe la disminución en la presión de vapor, responde aumentando las entradas de combustible, aire y agua a la caldera. A medida que aumenta el régimen de estas entradas, se recuperará la presión de vapor y estabiliza el *setpoint*

Los cuatro sistemas más importantes en la regulación de una caldera con hervidor son: la presión de vapor o control de combustión, control de la presión, control de la temperatura del vapor y control del caudal de agua de alimentación. En el P&ID 300 se puede observar un control básico de las alimentaciones a la caldera siguiendo las estrategias que se citan a continuación.

A-3001: Válvula automática que sirve para abrir o cerrar la corriente de entrada de acetatos a la caldera H-301. Se usa para establecer el ratio gas natural/acetatos. Tiene una señal digital de salida DO-310. En caso de fallo la posición de la válvula es cerrada con el fin de evitar problemas en la caldera.

VC-3001: Válvula que permite regular el flujo de aire para establecer el ratio de aire/combustible estimado, con una señal analógica de salida AO-310. Esta acción se hace mediante dos transmisores redundantes FT-302 y FT-303, ya que esta medida es de vital importancia para el buen funcionamiento de la caldera y consecuentemente de la calidad del vapor obtenido. El flujo será controlado a través de las señales de entradas analógicas AI-320 y AI-330, proporcionadas respectivamente por los transmisores de caudal 303 y 304. En este caso, el control es proporcional directo con el flujo ya que cuanto más flujo se requiera llevar a la caldera, más se abrirá la válvula. La posición de fallo es cerrada en caso de necesitar detener las reacciones de combustión.

Se ha de destacar que en esta corriente existe un ventilador de tiro forzado S-301 para establecer el flujo de entrada de aire. Se ha de considerar que presenta un motor M-301 con una señal de salida digital DO-320.

A-3002: Válvula automática que sirve para abrir o cerrar el corriente de entrada de aire a la caldera H-301. Además, es útil para establecer el ratio estipulado ratio aire/combustible. Ésta tiene una señal digital de salida DO-320. La posición de la válvula en caso de fallo es cerrada ya que requiera la misma acción que la válvula VC-3001.

VC-3002: Esta válvula controla el flujo de combustible para cumplir con el ratio aire/combustible estimado, esta tiene una señal de salida analógica AO-320. Este control se lleva a cabo mediante dos transmisores de flujo FT-304 y FT-305 para asegurar una buena lectura de la variable controlada. Las señales propias de los transmisores nombrados anteriormente presentan dos señales analógicas de entrada, respectivamente AI-340 y AI-350. En este caso, el control es proporcional directo con el flujo ya que cuanto más flujo se requiera llevar a la caldera, más se abrirá la válvula. La posición de fallo es cerrada para evitar que haya combustión en la caldera.

A-3003: Válvula automática que sirve para abrir o cerrar la corriente de entrada del gas natural a la caldera H-301. Además, es útil para establecer el ratio estipulado entre aire y combustible. Esta tiene una señal digital de salida DO-330. La posición de la válvula en caso de fallo es cerrada ya que requiere la misma acción que la válvula VC-3002.

### 11.4.1. Control de la combustión

El objetivo del control de la combustión de una caldera es satisfacer la demanda de vapor mediante la regulación de combustible y aire introducido en la cámara de combustión para que en todo momento exista un equilibrio entre producción y consumo, manteniendo unas condiciones de operación seguras y eficientes.

#### 11.4.1.1. Formación vapor a la caldera

Se utiliza la presión del vapor como la variable más representativa del funcionamiento del sistema. Permitiendo a este detectar y anular cualquier desequilibrio entre las entradas y salidas de la caldera.

Aunque la presión de vapor fuera suficiente por sí sola, para detectar desequilibrios en el sistema, se suele añadir una segunda variable que haga más rápida la respuesta y que acostumbra a ser el caudal de vapor. De esta forma, se posibilita, que durante los cambios de carga, el combustible y el aire se adapten a la nueva carga, de la cual el caudal de vapor es una perfecta imagen, sin necesidad de esperar a que se produzcan errores de presión, siendo éstos los que originarían un ajuste posterior de la combustión si la cantidad anticipada no fuese exacta.

#### 11.4.1.2. Limitación del combustible por el aire

Los sistemas de control que se han comentado no garantizan una operación segura durante regímenes transitorios, en los que fácilmente pueden crearse condiciones de defecto de aire y por tanto, de combustible no quemado y en consecuencia riesgo de explosión. Esta situación puede evitarse mediante una estrategia de limitación cruzada.

Mediante un selector de máxima y otro de mínima se consigue un efecto de adelanto del aire respecto al combustible en las subidas de carga y otro de retraso en las bajadas. El selector de máxima elige como salida la mayor entre las señales de demanda de la caldera y caudal de combustible, utilizándose dicha salida como punto de consigna para el aire. El selector de mínima lo hace entre la misma señal de demanda y el caudal del aire estableciendo así el punto de consigna del combustible.

Cuando la demanda de la caldera aumenta, la señal no puede prosperar a través del selector de mínima pero si a través del de máxima, por lo que el primero aumenta el caudal de aire y como consecuencia el de combustible.

#### 11.4.1.3. Control de la cantidad de exceso de aire

El control del exceso de aire es importante para optimizar el rendimiento de la caldera y las emisiones de  $\text{NO}_x$ . Es necesario un exceso de aire para que tenga lugar la combustión completa del combustible. En primer lugar, para conseguir una buena mezcla entre combustible-aire y en segundo lugar para evitar condiciones de defecto de aire que provocaría una combustión incompleta. El sistema debe poder actuar sobre la señal real de aire, haciéndola mayor o menor, según sea necesario bajar o subir la cantidad de aire en la cámara de combustión en función de la medida de oxígeno que corresponda.

La cantidad de exceso de aire necesario es dependiente de la carga de la caldera, cuando esta es baja el exceso de aire debe de ser mayor, ya que al ser menor el caudal de aire, su velocidad por los quemadores disminuye y la mezcla aire-combustible empeora. Al quemar

con más aire se contrarresta esta situación. A cargas altas, el exceso de aire puede ser menor, ya que la velocidad es suficiente y en tal caso las pérdidas de combustión serán mínimas.

Los parámetros que determinan la cantidad de aire en exceso son el oxígeno y el monóxido de carbono contenidos en los humos. Ambas medidas dan información sobre el desarrollo de la combustión y cuando se usan combinadas, proporcionan la representación más fiel de la misma, utilizándose siempre como medida principal la del oxígeno.

#### **11.4.2. Control de la presión en la cámara de combustión**

Las calderas industriales trabajan a una presión superior a la atmosférica. Los ventiladores de tiro forzado, también llamados soplantes, suministran el aire necesario para la combustión de acuerdo con la necesidad marcada por el control del aire, no existiendo una regulación de la presión en la cámara de combustión, la cual es función de la carga existiendo una protección que dispara el combustible al superar un valor determinado de presión.

#### **11.4.3. Control del caudal de agua de alimentación**

El objetivo del control de agua de alimentación es el de establecer un equilibrio entre la cantidad de vapor que sale de la caldera y la cantidad de agua que entra. Una medida de este equilibrio en las calderas de recirculación es el hervidor, que debe mantenerse constante.

En la práctica ocurre que un aumento en la demanda de vapor produce una disminución transitoria de la presión de la caldera que permite una expansión del volumen de las numerosas burbujas de vapor contenidas en la mezcla agua-vapor de la zona de vaporización, haciendo que el volumen de agua-vapor aumente transitoriamente, incluso aunque disminuya el caudal de agua de alimentación.

De forma similar, una disminución en la demanda de vapor origina un aumento en la presión de la caldera que hace que se contraigan las burbujas de vapor, con lo que disminuye el volumen de la mezcla agua-vapor y el nivel disminuirá transitoriamente aunque el caudal de agua aumente.

El agua de alimentación se puede controlar a través de la medida del agua del hervidor, del caudal de vapor y del caudal del agua, consiguiéndose un control más preciso utilizando los tres elementos de medición a la vez.

Este método se aplica principalmente en el equilibrio líquido-vapor (L-V) que se establece en el hervidor, en concreto se analizan las variables de presión y nivel, debido a la gran importancia para evitar daños irreversibles.

La variable del nivel es indirectamente proporcional en relación con la presión, de manera que en los escenarios estudiados se le dará más importancia al nivel debido a que esta variable responde con más rapidez.

- Escenario 1, este se basa en un aumento de nivel y por consecuencia una disminución de la presión. Para recuperar el estado de equilibrio L-V, se han de llevar a cabo dos acciones, la primera incrementar el ratio aire/combustible para favorecer la combustión y consecuentemente la generación del vapor. La segunda acción a realizar consiste en obtener un caudal de agua regular, por tanto se ha de reducir el caudal de agua externa ya que el caudal mayoritario de agua procede de la salida del hervidor.

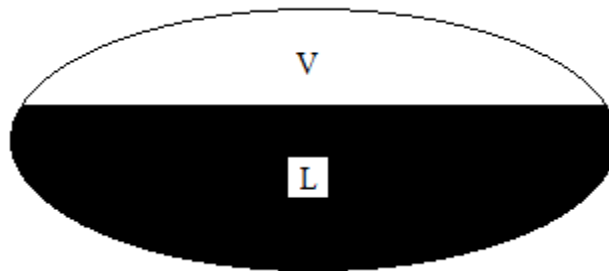


Figura 11.1 Esquema representativo del escenario 1, aumento de nivel.

- Escenario 2, se basa en una disminución considerable de nivel en el interior del hervidor, causando un aumento de presión ya que hay un alto contenido de vapor. La manera para establecer de nuevo el equilibrio L-V, es actúa de forma contraria al escenario anterior, es decir, disminuyendo el ratio establecido y aumentando el caudal de agua externa.

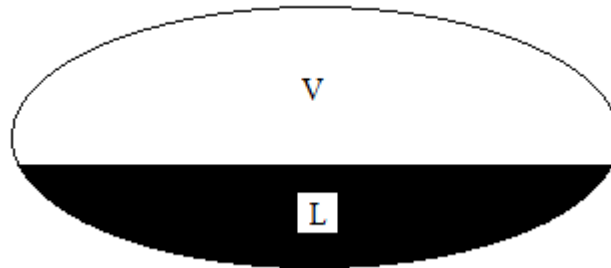


Figura 11.2 Esquema representativo del escenario 2, disminución de nivel.

#### 11.4.4. Control de la temperatura del vapor

El objetivo de este control es mantener en un valor constante la temperatura del vapor a la salida de la caldera. Generalmente, el sobrecalentamiento en una caldera implica un calentamiento del vapor aumentando proporcionalmente esta con la carga. Así que será necesario un enfriamiento importante del vapor para mantener la temperatura deseada cuando se funcione a cargas altas, mientras que a cargas inferiores será necesario aportar calor para alcanzar dicha temperatura deseada.

La temperatura del vapor de salida puede aumentarse a cargas bajas disminuyendo la absorción de calor mediante un aumento del exceso de aire de combustión, dado que el aire en exceso absorbería este calor y por tanto, los humos estarían más calientes e irían a mayor velocidad.

El control de la temperatura de vapor mediante recirculación de humos es muy atractivo desde el punto de vista económico y de operación. Consiste en volver a introducir en la cámara de combustión los humos de salida. El efecto térmico producido por la recirculación depende de la cantidad de humos recirculados, del punto de reinyección en la caldera y la carga de la misma.

## 12. OPTIMIZACIÓN DEL CALOR DE LOS HUMOS DE COMBUSTIÓN

El contenido de este estudio se encuentra en el TFG\_GEQ\_1513\_AmandaSantana.

## 13. SIMULACIÓN DEL PROCESO

Se ha realizado la simulación de la alternativa seleccionada mediante el programa *ASPEN Plus*. Con esta simulación se pretende confirmar y mejorar los resultados obtenidos durante el diseño del proceso.

En la Figura 13.1 se muestra el PFD del proceso, realizado con el programa *ASPEN Plus*.

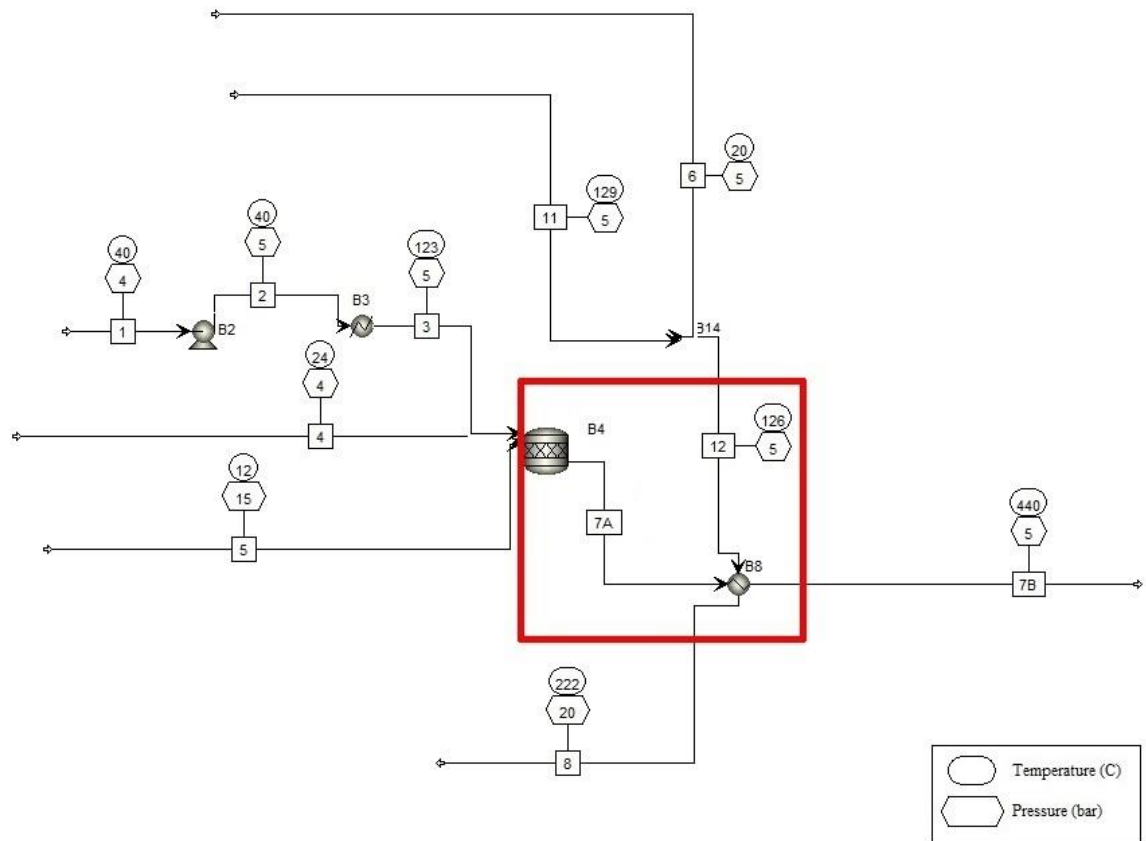


Figura 13.1. PFD de la simulación del proceso.

Como se puede ver en la Figura 13.1 el PFD de la simulación del proceso realizado mediante el programa *ASPEN Plus* presenta algunas diferencias con respecto al PFD que se muestra en el Apartado 9.2. Tal y como se muestra en la Figura 13.1 por el corriente 1 se alimentan los acetatos al proceso, mediante el equipo B2 y B3 se aumenta su presión y temperatura respectivamente. El aire y el gas natural se alimentan a la caldera por los corrientes 4 y 5, respectivamente. La caldera de vapor en la simulación del proceso se representa en el Figura 13.1 por un cuadrado rojo, en este se encuentra el conjunto del equipo B4 y el equipo B8. En el equipo B4 representa el quemador de la caldera, en él se dan las reacciones de combustión descritas en el Apartado 14, descripción del proceso. El corriente 7A no existe en la realidad, ya que la combustión y la transferencia de calor hacia el agua se dan en la caldera de vapor. En la simulación el corriente 7A contiene los humos de combustión que se alimentan al equipo B8. En el equipo B8 se produce el vapor a las condiciones especificadas por el cliente y éste se envía a la planta anexa por el corriente 8. El

cliente una vez utiliza el vapor lo envía a la planta en forma de condensado por el corriente 11, éste se une al corriente 6. Por el corriente 6 se alimenta agua al proceso, con el fin de mantener el nivel de líquido en la caldera estable y contrarrestarlas posibles fugas y purgas que se dan durante el proceso. De esta manera el corriente 12 es el agua total que se alimenta en el proceso. En la Figura 13.1 se muestran las condiciones de operación de los diferentes corrientes. En el Anexo C se muestra el balance de materia obtenido tras la simulación, además de otros datos referentes al proceso.

También se ha utilizado el *ASPEN Plus properties* con el fin de obtener las propiedades de los corrientes del proceso y utilizarlas en los diferentes diseños realizados.

### **13.1. Conclusión**

Tras realizar la simulación con el programa *ASPEN Plus* se ha llegado a la conclusión de que el caudal de gas natural calculado mediante el balance de materia y energía que se muestra en el Apartado 10.1 es suficiente para cumplir las condiciones de vapor demandadas por el cliente.

Además se ha demostrado que el balance de materia resultante de la combustión realizado en el Apartado 10.1 también coincide con la simulación realizada. En cuanto al balance del agua se han encontrado diferencias entre la simulación y el cálculo del balance de energía. Esta diferencia se debe a posiblemente a diferencias entre ambos modelos termodinámicos utilizados.

## **14. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

Estudiadas las alternativas para la mejor gestión del residuo procedente de la columna de destilación de la planta de acetato de vinilo monómero, se ha profundizado en el estudio de la alternativa seleccionada. El procedimiento de selección de la alternativa se encuentra en el Apartado 7.3.

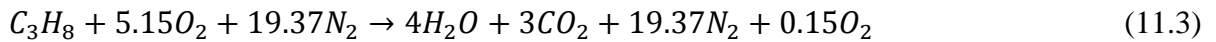
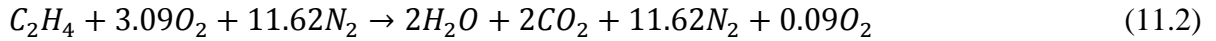
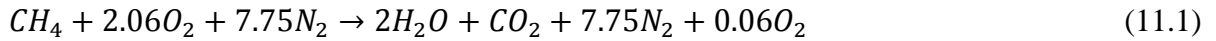
La mezcla de acetatos sale de la columna de destilación con un caudal que oscila entre 50 y 150 kg/h (corriente 0). Es bombeada por la bomba dosificadora B-101 A/B, hasta el tanque de almacenamiento T-101, en el Apartado 10.3 y 10.5 se encuentran el estudio de la selección de bombas y tanque de almacenamiento respectivamente. La mezcla se almacena con el fin de estabilizar el aporte a la caldera a un caudal continuo de 100 kg/h. Se alimenta al proceso de aprovechamiento térmico (corriente 1) y se aumenta la presión de la mezcla hasta la presión de operación de la caldera, 4 barg, mediante la bomba B-101 A/B. En este punto pasa por el intercambiador E-201 en el cual se aumenta su temperatura aproximadamente hasta casi la temperatura de ebullición, 123°C. La corriente de acetatos se calentará mediante un corriente de vapor de media a 170°C y 7 barg. El vapor será suministrado con un caudal de 260 kg/h por una empresa externa. Se trata de un intercambiador de placas donde en el Apartado 10.6 se encuentra la selección de la configuración de este intercambiador. Finalmente el subproducto se alimenta a la caldera de vapor por el corriente 3.

El aire se alimenta al proceso (corriente 4) a 24°C y 4 barg a través de una soplante, la cual suministraría el caudal deseado. El aire es alimentado con un exceso del 3%.

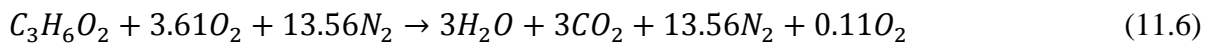
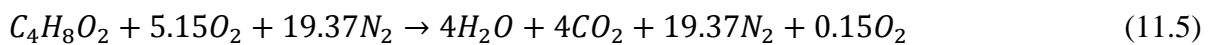
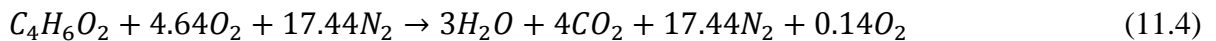
El gas natural, combustible principal del proceso, llega a la planta mediante un *rack* de tuberías desde la empresa suministradora. Se alimenta al proceso de aprovechamiento término (corriente 5) a 12°C y 14 barg.



Los corrientes 3, 4 y 5 se alimentan al quemador de la caldera de vapor donde se dan las reacciones de combustión, las cuales producen el calor necesario para la obtención del vapor a la características deseadas. A continuación, se muestran las Ecuaciones 11.1, 11.2 y 11.3 correspondientes a las reacciones de combustión del gas natural, considerando que está formado mayoritariamente por metano, etileno y propano.



A continuación se muestra la Ecuación 11.4 correspondientes a la combustión del acetato de vinilo, Ecuación 11.5 del acetato de etilo y Ecuación 11.6 para el acetato de metilo.



Los gases de combustión formados tras las reacciones salen por el corriente 7 a 440°C y 4 barg. Estos deben cumplir los límites de emisión que se muestran y analizan en el Apartado 7.2.2. Los humos de combustión salen del proceso a 440°C y por ello se pretende utilizar este calor con el fin de aprovecharlo, en el Apartado 12 se muestra el estudio realizado sobre los humos de combustión.

El agua almacenada mediante un *vessel* en la caldera se va calentando gracias al calor latente desprendido en las reacciones de combustión formando un equilibrio líquido-vapor. El vapor sale de la caldera por el corriente 9. En caso de que el vapor no se encuentre a las condiciones deseadas por el cliente, éste pasa al corriente 14 para ser nuevamente alimentado a la caldera. Si el vapor está a las condiciones deseadas, 222,4°C y 19 barg, pasa del corriente 8 al corriente 9 y seguidamente a la planta del cliente, situado en la planta anexa. Una vez haya sido utilizado volverá a la caldera en forma de condensado (corriente 10), se unirá al corriente 6 y formarán el corriente 12 que alimenta la caldera. El corriente 6 alimenta agua a 20°C y 4 barg con el fin de asegurar que el nivel en la caldera sea siempre el mismo.

El proceso descrito requiere de un control preciso, por ello y para evitar posibles problemas de seguridad se ha diseñado el control de cada una de las variables del sistema. En el Apartado 9.4 se encuentran los P&ID de las zonas 100, 200 y 300 y sus correspondientes estrategias de control.



---

# DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA II

---



**15. LISTADOS****15.1. Listado de líneas**

Tabla 15.1. Listado de líneas.

| Línea                | P&ID | Pre.   | Post.  | Fluido | Fase | T.op.<br>(°C) | P.op.<br>(barg) | Diámetro<br>nominal<br>(in) | Diámetro<br>interno<br>(in) | Diámetro<br>externo<br>(in) | Cal. |
|----------------------|------|--------|--------|--------|------|---------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|
| P-1001-1/2"-SA 266   | 100  | -      | B-101  | AC     | L    | 40            | 3               | 1/2"                        | 0,622                       | 0,840                       | No   |
| P-1002- 1/2"-SA 266  | 100  | -      | B-101A | AC     | L    | 40            | 3               | 1/2"                        | 0,622                       | 0,840                       | No   |
| P-1003- 1/2"-SA 266  | 100  | B-101A | T-101  | AC     | L    | 40            | 3               | 1/2"                        | 0,622                       | 0,840                       | No   |
| P-1004-1/2"-SA 266   | 100  | -      | B-101B | AC     | L    | 40            | 3               | 1/2"                        | 0,622                       | 0,840                       | No   |
| P-1005- 1/2"-SA 266  | 100  | B-101B | T-101  | AC     | L    | 40            | 3               | 1/2"                        | 0,622                       | 0,840                       | No   |
| P-1006- 3/8"-SA 266  | 100  | T-101  | B-201  | AC     | L    | 40            | 3               | 3/8"                        | 0,493                       | 0,675                       | No   |
| N-1007- 2"-SA 266    | 100  | -      | T-101  | N      | G    | 25            | 7               | 2"                          | 2,067                       | 2,375                       | No   |
| N-1008- 2"-SA 266    | 100  | T-101  | -      | N      | G    | 25            | 7               | 2"                          | 2,067                       | 2,375                       | No   |
| P-2001- 3/8"-SA 266  | 200  | T-101  | B-201A | AC     | L    | 40            | 3               | 3/8"                        | 0,493                       | 0,675                       | No   |
| P-2002- 3/8"-SA 266  | 200  | B-201A | E-201  | AC     | L    | 40            | 4               | 3/8"                        | 0,493                       | 0,675                       | No   |
| P-2003- 3/8"-SA 266  | 200  | T-101  | B-201B | AC     | L    | 40            | 3               | 3/8"                        | 0,493                       | 0,675                       | No   |
| P-2004- 3/8"-SA 266  | 200  | B-201B | E-201  | AC     | L    | 40            | 4               | 3/8"                        | 0,493                       | 0,675                       | No   |
| P-2005- 3/8"-SA 266  | 200  | B-201  | E-201  | AC     | L    | 40            | 4               | 3/8"                        | 0,493                       | 0,678                       | No   |
| P-2006- 3/8"-SA 266  | 200  | E-201  | H-301  | AC     | L    | 123           | 4               | 3/8"                        | 0,493                       | 0,678                       | No   |
| W-2007-1 1/4"-SA 266 | 200  | -      | E-301  | V      | G    | 170           | 7               | 1 1/4"                      | 1,38                        | 1,66                        | Sí   |
| W-2008-1 1/4"-SA 266 | 200  | E-201  | -      | V      | G    | 145           | 6,5             | 1 1/4"                      | 1,38                        | 1,66                        | Sí   |
| P-3001-3/8"-SA 266   | 300  | E-201  | H-301  | AC     | L    | 123           | 4               | 3/8"                        | 0,493                       | 0,675                       | No   |
| A-3002-5"-SA 266     | 300  | -      | H-301  | A      | G    | 25            | 4               | 5"                          | 5,047                       | 5,563                       | No   |
| C-3003-3/4"-SA 266   | 300  | -      | H-301  | GN     | G    | 12            | 14              | 3/4"                        | 0,842                       | 1,050                       | No   |



**15.2. Listado de equipos**

Tabla 15.2. Listado de equipos.

| Nombre  | P&ID | Descripción   | P. diseño (barg) | T. diseño (°C) | P. operación (barg) | T. operación (°C) |
|---------|------|---|------------------|----------------|---------------------|-------------------|
| B-101 A | 100  | Bomba dosificadora para la impulsión de la mezcla de acetatos             | 9                | 90             | 3                   | 40                |
| M-101 A | 100  | Motor de la bomba dosificadora B-101 A                                    | -                | -              | -                   | -                 |
| B-101 B | 100  | Bomba dosificadora de repuesto para la impulsión de la mezcla de acetatos | 9                | 90             | 3                   | 40                |
| M-101 B | 100  | Motor de la bomba dosificadora B-101 B                                    | -                | -              | -                   | -                 |
| T-101   | 100  | Tanque de almacenamiento de la mezcla de acetatos                         | 3,30             | 60             | 3                   | 40                |
| B-201 A | 200  | Bomba dosificadora para la impulsión de la mezcla de acetatos             | 9                | 90             | 4                   | 40                |
| M-201 A | 200  | Motor de la bomba dosificadora B-201 A                                    | -                | -              | -                   | -                 |
| B-201 B | 200  | Bomba dosificadora de repuesto para la impulsión de la mezcla de acetatos | 9                | 90             | 4                   | 40                |
| M-201 B | 200  | Motor de la bomba dosificadora B-201 B                                    | -                | -              | -                   | -                 |
| S-301   | 300  | Ventilador de tiro forzado, para la impulsión del aire                    | -                | -              | -                   | -                 |
| M-301   | 300  | Motor del ventilador de tiro forzado S-301                                | -                | -              | 4                   | 25                |
| H-301   | 300  | Caldera de vapor  | 5,06             | -              | 4                   | 440               |



**15.3. Listado de instrumentación**

Tabla 15.3. Listado de instrumentación (Transmisores).

| Identi. | Rango de medida          | Carga permitida | Sección P&ID | Descripción del instrumento     | Modelo                       | Id. señal y tarjeta del canal | Señal   | Nombre de línea /equipo      |
|---------|--------------------------|-----------------|--------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------|------------------------------|
| FT 101  | 2-330 kg/h               | 150 lbs         | 100          | Transmisor de caudal (Coriolis) | <i>EmersonElite</i>          | AI-101                        | 4-20 mA | P-1001-1/2"-SA<br>266        |
| PT 102  | 0-10.3bar <sub>(a)</sub> | 150lbs          | 100          | Transmisor de presión           | <i>Rosemount</i><br>3051CA   | AI-102                        | 4-20 mA | P-1003-1/2"-SA<br>266        |
| PT 103  | 0-10.3bar <sub>(a)</sub> | 150lbs          | 100          | Transmisor de presión           | <i>Rosemount</i><br>3051CA   | AI-110                        | 4-20 mA | P-1005-1/2"-SA<br>266        |
| LT 104  | 0-50m                    | 150 lbs         | 100          | Transmisor de nivel (Radar)     | <i>Rosemount</i><br>5500 GWR | AI-112                        | 4-20mA  | T-101                        |
| LT 105  | 0-50m                    | 150 lbs         | 100          | Transmisor de nivel(Radar)      | <i>Rosemount</i><br>5500 GWR | AI-120                        | 4-20mA  | T-101                        |
| PT 106  | 0-10.3bar <sub>(a)</sub> | 150lbs          | 100          | Transmisor de presión           | <i>Rosemount</i><br>3051CA   | AI-121                        | 4-20 mA | T-101                        |
| TT 107  | -70-300°C                | 150lbs          | 100          | Transmisor de temperatura       | <i>Rosemount</i><br>3144P    | AI-122                        | 4-20 mA | T-101                        |
| PT 201  | 0-10.3bar <sub>(a)</sub> | 150lbs          | 200          | Transmisor de presión           | <i>Rosemount</i><br>3051CA   | AI-201                        | 4-20 mA | P-2002-3/8"-SA<br>266        |
| PT 202  | 0-10.3bar <sub>(a)</sub> | 150lbs          | 200          | Transmisor de presión           | <i>Rosemount</i><br>3051CA   | AI-210                        | 4-20 mA | P-2004-3/8"-SA<br>266        |
| TT 203  | -70-300°C                | 150lbs          | 200          | Transmisor de temperatura       | <i>Rosemount</i><br>3144P    | AI-212                        | 4-20mA  | P-2006-3/8"-SA<br>266        |
| PT 204  | 0-10.3bar <sub>(a)</sub> | 150lbs          | 200          | Transmisor de presión           | <i>Rosemount</i><br>3051CA   | AI-220                        | 4-20mA  | W-2007-1 1/4"-<br>SA 266-CAL |
| FT 301  | 2-330 kg/h               | 150lbs          | 300          | Transmisor de caudal (Coriolis) | <i>EmersonElite</i>          | AI-310                        | 4-20mA  | P-3001-3/8"-SA<br>266        |



Tabla 15.3. Listado de instrumentación (Transmisores II).

| Identificación | Rango de medida | Carga permitida | Sección P&ID | Descripción del instrumento     | Modelo              | Id. señal y tarjeta del canal | Señal  | Nombre de línea /equipo |
|----------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|--------|-------------------------|
| FT 302         | 2-330 kg/h      | 150lbs          | 300          | Transmisor de caudal (Coriolis) | <i>EmersonElite</i> | AI-320                        | 4-20mA | A-3002-5''-SA<br>266    |
| FT 303         | 2-330 kg/h      | 150lbs          | 300          | Transmisor de caudal (Coriolis) | <i>EmersonElite</i> | AI-330                        | 4-20mA | A-3002-5''-SA<br>266    |
| FT 304         | 2-330 kg/h      | 150lbs          | 300          | Transmisor de caudal (Coriolis) | <i>EmersonElite</i> | AI-340                        | 4-20mA | C-3003-3/4''-SA<br>266  |
| FT 305         | 2-330 kg/h      | 150lbs          | 300          | Transmisor de caudal (Coriolis) | <i>EmersonElite</i> | AI-350                        | 4-20mA | C-3003-3/4''-SA<br>266  |



Tabla 15.3. Listado de instrumentación (Válvulas).

| Identificación | Sección P&ID | Descripción   | Posición fallo | Id. Señal y tarjeta del canal | Nombre de línea /equipo |
|----------------|--------------|---|----------------|-------------------------------|-------------------------|
| VC-1001        | 100          | Válvula que regula el caudal de entrada al T-101  | Abre           | AO-110                        | P-1001-1/2"-SA 266      |
| C-1001         | 100          | Válvula check para proteger a la B-101 A de cavitación.   | -              | DO-110                        | P-1003-1/2"-SA 266      |
| C-1002         | 100          | Válvula check para proteger a la B-101 B de cavitación.   | -              | DO-130                        | P-1005-1/2"-SA 266      |
| A-1001         | 100          | Válvula automática para abrir o cerrar la salida del T-101 en caso de rotura o poco flujo en la salida.   | Abre           | DO-150                        | P-1006-3/8"-SA 266      |
| A-1002         | 100          | Válvula automática para abrir o cerrar la entrada de nitrógeno en caso de rotura o alta presión en T-101. | Cierre         | DO-160                        | N-1007-2"-SA 266        |
| VC-1002        | 100          | Válvula de control con la que se regula la presión del T-101.   | Abre           | AO-120                        | N-1008-2"-SA 266        |
| C-2001         | 200          | Válvula check para proteger a la B-201A de cavitación.  | -              | DO-210                        | P-2002-3/8"-SA 266      |
| C-2002         | 200          | Válvula check para proteger a la B-201B de cavitación.  | -              | DO-230                        | P-2004-3/8"-SA 266      |
| VC-2001        | 200          | Válvula de control del flujo de salida de los acetatos al E-201.  | Cierre         | AO-210                        | P-2005-3/8"-SA 266      |



Tabla 15.3. Listado de instrumentación (Válvulas II).

| Identificación | Sección P&ID | Descripción   | Posición fallo | Id. Señal y tarjeta del canal | Nombre de línea /equipo  |
|----------------|--------------|---|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| VC-2002        | 200          | Válvula que regula la temperatura del caudal de vapor en el E-201.                                      | Cierre         | AO-220                        | W-2011-1 1/4"-SA 266-CAL |
| A-3001         | 300          | Válvula automática para abrir o cerrar la entrada de H-301 en caso de rotura o poco flujo en la salida. | Cierre         | DO-310                        | P-3001-3/8"-SA 266       |
| VC-3001        | 300          | Válvula de control del caudal de entrada a H-301.   | Cierre         | AO-310                        | A-3002-5"-SA 266         |
| A-3002         | 300          | Válvula automática para abrir o cerrar la entrada de H-301 en caso de rotura o poco flujo en la salida. | Cierre         | DO-320                        | A-3002-5"-SA 266         |
| VC-3002        | 300          | Válvula de control del caudal de entrada a H-301.   | Cierre         | AO-320                        | C-3003-3/4"-SA 266       |
| A-3003         | 300          | Válvula automática para abrir o cerrar la entrada de H-301 en caso de rotura o poco flujo en la salida. | Cierre         | DO-330                        | C-3003-3/4"-SA 266       |



---

# SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES

---



## **16. SEGURIDAD DEL PROCESO**

### **16.1. Análisis cualitativo del riesgo**

Se ha realizado un estudio cualitativo del riesgo, en el cual se han evaluado de forma meticulosa los compuestos químicos presentes en la instalación, sus interacciones y las posibles zonas críticas que pueda haber en el proceso. Para ello se han utilizado las fichas internacionales de seguridad química, que se pueden ver en el Anexo G, y los Anexos III y IV del Real Decreto 363/1995, del 10 de marzo de 1995, por el que se regula la notificación de sustancias nuevas, clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas.

#### **16.1.1. Peligrosidad de las materias primeras**

Como compuestos utilizados en el proceso de aprovechamiento térmico se tiene el subproducto, que está compuesto por una mezcla de acetatos, el gas natural, el agua y el aire.

##### **16.1.1.1. Subproducto**

La mezcla de acetatos está formada en un 50% por acetato de vinilo, 25% de acetato de metilo y 25% de acetato de etilo, siendo éstos porcentajes máxicos.

Es una mezcla altamente inflamable, ya que todos los compuestos que la forman están etiquetados con la frase seguridad R11, es necesario mantenerla alejada de posibles chispas o llamas, además, también debe estar separada de oxidantes fuertes, ácidos y bases. El tanque de almacenaje T-101 tiene que estar herméticamente cerrado y se tiene que mantener en lugar frío y seco, ya que el vapor puede causar un dardo de fuego. El sistema de seguridad contra incendios está compuesto por una espuma resistente al alcohol y también, por extintores de dióxido de carbono como medida primera ante este tipo de suceso. En el Apartado 10.5 se encuentra toda la información referente a la seguridad del tanque de almacenaje, además en el Apartado 16.1.4 se encuentra el Hazop del tanque T-101 en el cual se han estudiado los posibles sucesos y sus correspondientes medidas de seguridad.

Se trata además de una mezcla irritante ya que tanto el acetato de metilo como el acetato de etilo están etiquetados con las frases R36, R66 y R67. En caso de fuga o derrame se absorberá el producto con arena o absorbente inerte, además el personal de la planta debe utilizar traje de protección completa y equipos autónomo de respiración.

En fase líquida no presenta problemas de explosión, pero en fase vapor junto con aire sí, por ello hay que evitar cambios de fase en el tanque y en las zonas del proceso donde los equipos no estén preparados para ello. Se considera zona crítica para este suceso el intercambiador de calor E-201 situado a la entrada de la caldera, debido a que la mezcla se calienta hasta una temperatura cercana a su punto de ebullición.

Es importante controlar la mezcla, tanto en el tanque de almacenaje como durante el proceso, ya que debido al calentamiento suave, la influencia de la luz o de peróxidos, ésta puede polimerizar fácilmente. La polimerización espontánea del acetato de vinilo es extremadamente exotérmica lo cual produce la evaporación rápida por parte de la mezcla, esto genera un aumento de la presión del sistema y por tanto, la posible rotura o explosión del recipiente.

### 16.1.1.2. Gas natural

El gas natural se utiliza en el proceso como combustible, está compuesto mayoritariamente por metano, etileno y propano, es extremadamente inflamable ya que los compuestos que principalmente lo forman están etiquetados con la frase R12. Por ello se tienen que evitar llamas y chispas en las zonas cercanas a éste.

El producto se tiene que almacenar en lugar fresco y con unas condiciones de ventilación que aseguren la seguridad del equipo de almacenamiento, por ello, para evitar problemas de seguridad, el gas natural se transportará mediante el *rack* de tuberías desde la empresa que lo suministra.

Las mezclas vapor-aire son explosivas, con lo cual se considera zona crítica para este suceso la combustión junto con aire del gas natural en los quemadores de la caldera de vapor. Los parámetros de operación de la caldera están meticulosamente controlados por el sistema de control con el fin de evitar este u otros sucesos. En el Apartado 16.1.5 se muestra el Hazop de la caldera en el cual se han estudiado los posibles sucesos y sus correspondientes medidas de seguridad.

En caso de fuga es importante evacuar y ventilar la zona de peligro, los operarios tienen que utilizar traje de protección y equipo autónomo de respiración. Es importante eliminar las fuentes de ignición y cortar si es posible el aporte de gas en el foco. Nunca se deben verter charcos de agua sobre el líquido. En el Apartado 16.1.5 se detallan los procedimientos a seguir para este suceso.

### 16.1.1.3. Aire

El aire está compuesto mayoritariamente por nitrógeno y oxígeno, se utiliza en la combustión del gas natural y del subproducto. En condiciones normales no causa problemas de seguridad, pero a condiciones de presión y temperaturas altas hay que tomar medidas de seguridad para manipularlo. Como zona crítica para este compuesto se tiene el quemador de la caldera de combustión ya que debido a las condiciones de operación es donde se pueden generar problemas de seguridad.

### 16.1.1.4. Agua

A condiciones normales de operación no presenta problemas, pero a alta presión y temperatura puede causar problemas de seguridad. Por ello la caldera de producción de vapor se considera zona crítica para este compuesto.

## 16.1.2. Peligrosidad de productos intermedios

Como productos intermedios se tienen los gases de combustión que se generan en la caldera al quemar los combustibles, gas natural y la mezcla de acetatos.

### 16.1.2.1. CO y CO<sub>2</sub>

El CO está etiquetado con la frase R12, se trata de un compuesto extremadamente inflamable. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido además junto con aire puede causar explosión. En el proceso éste se encuentra en muy baja concentración, por ello no causa problemas de seguridad.



Está etiquetado con la frase R23, R61 y R48/23 se trata de un compuesto tóxico que puede causar graves problemas de salud, incluso la muerte. A pesar de la gran peligrosidad que supone este compuesto hay que añadir que se encuentra en muy baja concentración.

El  $\text{CO}_2$  es el compuesto mayoritario que se forma tras la combustión. No presenta problemas de incendio ya que no es combustible. Puede causar problemas de salud en caso de inhalación debida al desplazamiento excesivo de  $\text{O}_2$  en recintos cerrados.

#### **16.1.2.2. $\text{NO}_x$**

Estos compuestos se encuentran en muy baja concentración, por ello no suponen un riesgo muy elevado. No presentan problemas de incendio ya que no son combustibles, aunque facilitan la combustión de otras sustancias.

El  $\text{NO}_2$  está etiquetado con las frases de seguridad R26 y R34, se trata de un compuesto muy tóxico por inhalación que puede causar graves problemas de salud e incluso la muerte. En el proceso no se contemplan estos problemas de seguridad ya que se encuentra en muy baja concentración.

En el Apartado 8 se muestra el cálculo de las concentraciones de  $\text{NO}_x$  en la caldera de vapor.

#### **16.1.3. Peligrosidad del producto final**

Como producto final del proceso tenemos vapor de media a 19 barg y  $222^\circ\text{C}$ , el cual se utiliza en una de las plantas anexas y es recirculado a la caldera, en forma de condensado, una vez haya sido utilizado. Este presenta problemas de seguridad debido a las condiciones a las que se encuentra.

**16.1.4. Hazop del tanque**

Tabla 16.1. Hazop del tanque T-101

| Palabra guía | Desviación          | Posibles causas   | Consecuencias  | Respuestas del sistema "Salvaguadas"                        | Acciones a emplear  |
|--------------|---------------------|---|--|---|---|
| Más          | Más nivel en T-101. | Fallo en el <i>reboiler</i> y por consecuencia mucho caudal en la salida de la columna. | Rotura del tanque por sobrepresión ( $P > 3.3 \text{ barg}$ ) con fuga del producto y posible explosión. | Válvula de seguridad PVRV-101 y ERV-101. Sistema de $N_2$ . | VC-1001 cierra cuando la alarma LSH-101 indica nivel alto al panel de control. En caso necesario se procede al apagado del sistema de impulsión. VC-1002 abre por sobrepresión en el tanque debido al alto nivel. |
|              |                     | Fallo aspiración bomba B-102.   | Rotura del tanque por sobrepresión ( $P > 3.3 \text{ barg}$ ) con fuga del producto y posible explosión. | Válvula de seguridad PVRV-101 y ERV-101. Sistema de $N_2$ . | VC-1001 cierra cuando la alarma LSH-101 indica nivel alto al panel de control. En caso necesario se procede al apagado del sistema de impulsión.  |
|              |                     | Mala lectura alarma LSL-101 y por consecuencia VC-1001 abre.                            | Rotura del tanque por sobrepresión ( $P > 3.3 \text{ barg}$ ) con fuga del producto y posible explosión. | Válvula de seguridad PVRV-101 y ERV-101. Sistema de $N_2$ . | VC-1001 cierra cuando la alarma LSH-101 marca nivel alto al panel de control. En caso necesario se procede al apagado del sistema de impulsión. A-1001 abre.  |



Tabla 16.1. Hazop del tanque T-101 (Parte II)

| Palabra guía | Desviación                                     | Posibles causas  | Consecuencias  | Respuestas del sistema "Salvuardas" | Acciones a emplear  |
|--------------|--|--|--|-------------------------------------|---|
| Menos        | Menos nivel en T-101.                          | Fallo en el <i>reboiler</i> y por consecuencia poco caudal en la salida de la columna. | Problemas de cavitación en la bomba B-101 y posible rotura de ésta.  |                                     | Se procede al apagado manual del sistema de bombeo.                       |
|              |  | Mala lectura alarma LSH-101 y por consecuencia VC-1001 cierra parcialmente.            | Posibles problemas de cavitación en la bomba B-101.  |                                     | VC-1001 abre cuando alarma LSL-101 indica nivel bajo al panel de control. |
| No           | No Caudal entrada mezcla de acetatos en T-101. | Fallo en el sistema de bombeo.   | No hay consecuencias de seguridad.   |                                     |   |
|              | No Caudal de N <sub>2</sub> .                  | Fallada (cierra) A-1002.   | En días de amplitud térmica muy elevada, posibilidad de abolladura del tanque por formación del vacío con posible rotura y salida de producto al exterior. | Válvula de vacío ERV-101.           | Clasificar el tanque como zona ATEX.                                      |



Tabla 16.1. Hazop del tanque T-101 (Parte III)

| Palabra guía | Desviación   | Posibles causas   | Consecuencias  | Respuestas del sistema "Salvuardas"                                  | Acciones a emplear   |
|--------------|--|---|--|--|--|
| Más          | Más caudal de la mezcla de acetatos.                 | Ídem más nivel en T-101.  |  |  |  |
|              | Más caudal de N <sub>2</sub>                         | Fallada (abre) A-1002   | Rotura del tanque por sobrepresión (P>3.3 barg) con fuga del producto y posible explosión.   | Válvula de seguridad PVRV-101 y ERV-101. Sistema de N <sub>2</sub> . | El transmisor de presión PT-102 indica alta presión al panel de control y A-1001 abre. |
| Menos        | Menos caudal de entrada mezcla de acetatos en T-101. | No aplica   | No consecuencias de seguridad, tema operacional.   |  |  |
|              | Menos caudal de N <sub>2</sub> .                     | Fallada (parcialmente cerrada) A-1002.  | Si el caudal de N <sub>2</sub> es realmente escaso hay posibilidad de abolladura del tanque por formación de vacío con posible rotura y salida del producto al exterior. | Ídem no caudal de N <sub>2</sub> .                                   |  |
| Reverso      | Reverso caudal.                                      | Mientras se está vaciando el tanque parte del líquido de la tubería 1, según PFD, retorna al tanque. No consec. de seguridad. | Posibles problemas en la bomba B-201 en caso de que el caudal sea muy bajo.  |  |  |



Tabla 16.1. Hazop del tanque T-101 (Parte IV)

| Palabra guía | Desviación                                  | Posibles causas   | Consecuencias  | Respuestas del sistema "Salvaguadas"   | Acciones a emplear   |
|--------------|---|---|--|--|--|
| Más          | Más presión en T-101.                       | Temperatura ambiente elevada.<br>Incendio externo.        | Rotura del tanque por sobrepresión ( $P > 3.3 \text{ barg}$ ) con fuga del producto y posible explosión. | Válvula de seguridad PVRV-101 y ERV-101.<br>Sistema de $N_2$ .   | Diseñar PVRV-101 y ERV-101 para esta situación.<br>Se activan los sistemas de seguridad y contraincendios pertinentes. |
|              |   | Fallada (abre) A-1002. El nitrógeno no para de entrar.    | Ídem más caudal de $N_2$ en A-1002.  |  |  |
| Menos        | Menos presión en T-101.                     | Válvulas PVRV-101 y/o ERV-101 quedan totalmente abiertas. | Posible pérdida de producto en fase vapor y $N_2$ . No consecuencias de seguridad.                       |  |  |
|              | Menos presión en la alimentación de $N_2$ . | Ídem menos caudal de $N_2$ .                              |  |  |  |
| Más          | Más temperatura.                            | Temperatura ambiente elevada.<br>Incendio externo.        | Rotura del tanque por sobrepresión ( $P > 3.3 \text{ barg}$ ) con fuga del producto y posible explosión. | Válvula de seguridad PVRV-101 y ERV-101.<br>Sistema de $N_2$ .<br>Utilización del sistema contra incendios pertinente. | Diseñar PVRV-101 y ERV-101 para esta situación.<br>Diseñar una alarma de temperatura elevada.                          |



Tabla 16.1. Hazop del tanque T-101 (Parte V)

| Palabra guía      | Desviación                                    | Posibles causas   | Consecuencias  | Respuestas del sistema "Salvaguardas"                                    | Acciones a emplear  |
|-------------------|---|---|--|--|---|
| Menos             | Menos temperatura                             | La temperatura ambiente es baja.  | Disminución de la presión de vapor de la mezcla causando vacío en el tanque. | Sistema de blanketing con N <sub>2</sub> . PVRV-101 y ERV-101 por vacío. | Diseñar PVRV-101 y ERV-101 para esta situación. Mantenimiento periódico del sistema de nitrógeno. |
| Otra              | Otra composición en la alimentación en T-101. | La columna opera incorrectamente y producto entra con una composición diferente. No causa consecuencias de seguridad. |  |  |   |
|                   | Otra fase                                     | No aplica.  |  |  |   |
| <i>As well as</i> | Corrosión                                     | Corrosión en las soldaduras del tanque debido a inclemencias meteorológicas.  | No consecuencias de seguridad. Tema operacional.                             | Programa de inspección en vigor.   |   |
| No                | <i>No utilities</i>                           | No Caudal de nitrógeno  | Ídem de no Caudal de N <sub>2</sub> .  |  |   |
|                   |   | Fallada de la bomba B-101.  | Ídem de menos caudal de entrada mezcla de acetatos en T-101                  |  |   |
|                   |   | Fallada de la bomba B-201.  | Ídem de caudal reverso.  |  |   |



Tabla 16.1. Hazop del tanque T-101 (Parte VI)

| Palabra guía | Desviación          | Posibles causas                     | Consecuencias  | Respuestas del sistema "Salvuardas"                                  | Acciones a emplear   |
|--------------|---------------------|-------------------------------------|--|--|--|
|              | No <i>utilities</i> | Fallada de aire de instrumentación. | Problemas operacionales.   |  |  |
| No           | Contención          | Fuga en T-101                       | Fuga de producto en fase vapor y posible explosión en contacto con aire. | Se activan los sistemas de seguridad y contra incendios pertinentes. | Alarma LSL-101 indica nivel bajo al panel de control en caso fuga extrema. |

### 16.1.5. Hazop de la caldera de vapor<sup>13</sup>

Tabla 16.2. Hazop de la caldera de vapor H-301.

| Palabra guía | Desviación                 | Posibles causas                    | Consecuencias                    | Respuestas del sistema "Salvuardas"  | Acciones a emplear  |
|--------------|----------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|---|
| Más          | Más nivel de agua en H-301 | Válvula caudal de agua deteriorada | Inundación de la caldera         | Indicador detecta nivel alto. <i>Shutdown</i> . Alarma LSH actúa. Indica baja temperatura transmisor | Reducir el suministro de agua externa. Aumentar el ratio para realizar la evaporación del agua. |
| Más          | Más nivel en el hervidor   | Exceso caudal de agua entrante     | Reduce presión por déficit vapor | Alarma LSH hervidor actúa. Transmisor detecta presión baja.  | Incrementar el ratio. Reducir suministro agua   |

<sup>13</sup> Manual de operación de calderas de vapor. Recuperado de <http://manualesydiagramas.blogspot.com.es/2014/03/proximamente.html>



Tabla 16.2. Hazop de la caldera de vapor H-301 (Parte II).

| Palabra guía | Desviación                                   | Posibles causas                                       | Consecuencias  | Respuestas del sistema "Salvaguardas"   | Acciones a emplear  |
|--------------|--|---|--|---|---|
| Menos        | Menos nivel de agua en H-301                 | Válvula caudal de agua deteriorada                    | Temperatura superior a la de diseño causando una explosión caldera                                     | <i>Shutdown</i> . Alarma LSL actúa. Indica alta temperatura transmisor  | Aumentar el suministro de agua externa. Reducir el ratio aire/combustible para no realizar la evaporación del agua. |
|              | Menos nivel en el hervidor                   | Poco caudal de agua                                   | Aumento de la presión por exceso de vapor  | Alarma LSL hervidor actúa. Transmisor de presión detecta presión alta.  | Disminuir el ratio aire/combustible. Aumentar el caudal de agua suministrada externamente                           |
| No           | No caudal de agua en H-301.                  | Válvula caudal de agua rota(cierre)                   | Alimentación única de combustible y aire no hay evaporación  | Transmisor de flujo no detecta caudal de agua   | Cerrar suministro de combustible y aire en el quemador  |
|              | No caudal de combustible y acetatos en H-301 | Válvula principal de combustible VC-3002 rota(cierre) | No se realiza la combustión. Inundación de la caldera  | Transmisor de flujo del combustible no detecta caudal FT-301 y FT-304   | Cerrar suministro de agua   |
|              | No caudal de aire en H-301                   | Válvula de aire VC-3001 rota(cierre)                  | La llama se agota, por consecuencia no se realiza la combustión. Inundación de la caldera              | Transmisor de flujo de aire no detecta caudal FT-302  | Cerrar suministro de agua   |
| Más          | Más caudal de agua en H-301.                 | Válvula caudal de agua falla(abre)                    | Menos temperatura en la caldera a causa del exceso de agua. Y posibilidad de inundación de la caldera. | Indicador de nivel detecta nivel alto. <i>Shutdown</i> . Alarma LSH actúa. Indica baja temperatura transmisor | Reducción del suministro externo de agua(condensado).   |



Tabla 16.2. Hazop de la caldera de vapor H-301 (Parte III).

| Palabra guía | Desviación                                    | Posibles causas   | Consecuencias   | Respuestas del sistema "Salvavidas"  | Acciones a emplear   |
|--------------|---|---|---|--|--|
|              | Más caudal de combustible y acetatos en H-301 | Válvula principal de combustible VC-3002 falla(abre)            | El ratio aire/fuel disminuirá, es decir habrá un exceso de combustible. Llama inestable del combustible   | Detector de llama<br><i>Shutdown</i>   | Posibilidad de cerrar A-3003                               |
|              | Más caudal de aire en H-301                   | Válvula de aire VC-3001 falla(abre)                             | El ratio aire/fuel aumentará, es decir habrá un exceso de aire. Llama inestable del combustible. Abría un exceso de aire con lo cual la combustión está favorecida. | Detector de llama<br><i>Shutdown</i>   | Posibilidad de cerrar A-3002<br>Control del exceso de aire |
|              | Más caudal de humos de combustión             | Falta de aire.<br>Exceso de presión en la bomba de combustible. | No consecuencias de seguridad   | Detector de emisiones  | Apertura de A-3002   |
| Menos        | Menos caudal de agua en H-301.                | Válvula caudal de agua deteriorada                              | Mayor temperatura en la caldera a causa de la falta de agua. Y posibilidad de explosión de la caldera.  | Indicador de nivel de fluido<br>Indicador de nivel detecta nivel bajo.<br><i>Shutdown</i><br>Alarma LSL actúa<br>Válvula de control de temperatura | Aumentar el suministro de condensado                       |



Tabla 16.2. Hazop de la caldera de vapor H-301 (Parte IV).

| Palabra guía | Desviación                                      | Posibles causas  | Consecuencias   | Respuestas del sistema "Salvavidas"   | Acciones a emplear          |
|--------------|---|--|---|---|-----------------------------|
|              | Menos caudal de combustible y acetatos en H-301 | Válvula principal de combustible VC-3002 deteriorada                                   | El ratio aire/fuel aumentará, es decir habrá un exceso de aire. Llama inestable del combustible   | Detector de llama.<br><i>Shutdown</i>   | Posibilidad de abrir A-3003 |
|              | Menos caudal de aire en H-301                   | Válvula de aire VC-3001 deteriorada  | El ratio aire/fuel disminuirá, es decir habrá un exceso de combustible produciendo sustancias no quemadas ( no quemados). Llama inestable del combustible | Detector de llama.<br><i>Shutdown</i>   | Posibilidad de abrir A-3002 |
|              |   | Por la vaporización instantánea y la expansión brusca del agua contenida en la caldera | Rotura de las partes de la caldera  | Válvula de control de presión:<br>-Manómetro<br>-Presostato<br>Válvula de alivio de presión PSV-301 |                             |
| Más          | Más presión en caldera H-301                    | Por la combustión instantánea de los vapores del combustible a                         | Rotura de las partes de la caldera  | Válvula control de P:<br>-Manómetro<br>-Presostato<br>Válvula de alivio de presión PSV-301          |                             |
|              |   | Disminución del espesor de las paredes   | Explosión de la caldera   | Válvula de seguridad de alivio de la presión PSV-301  |                             |



Tabla 16.2. Hazop de la caldera de vapor H-301 (Parte V).

| Palabra guía | Desviación                             | Posibles causas  | Consecuencias                      | Respuestas del sistema "Salvavidas"   | Acciones a emplear   |
|--------------|--|--|------------------------------------|---|--|
| Más          | Más presión de vapor                   |  |                                    |   |  |
|              | Más presión en la cámara de combustión | Dispara combustible a gran velocidad   | Posibilidad de explosión caldera   | Detectores de funcionamiento soplante   | Cerrar válvula A-3002  |
| Menos        | Menos presión en caldera H-301         | Disminución del espesor de las paredes   |                                    |   |  |
|              | Más temperatura en caldera H-301       | Temperatura superior a la de diseño a causa de la falta de agua, incrustaciones internas | Explosión de la caldera            | Válvula de control de temperatura con sensores automatizados. Corte de temperatura          |  |
| Más          |  | Alta temperatura del agua  | Explosión caldera                  | Tapón fusible   |  |
|              | Más temperatura vapor                  | Sobrecalentamiento de la caldera   | Aumento de la presión              | Válvula de alivio de presión PSV-301  | Disminución del aire de combustión. Recirculación de los humos |
| Menos        | Menos temperatura                      | Temperatura inferior a la de diseño a causa del exceso de agua                           |                                    |   |  |
| As well as   | Corrosión y/o erosión                  | Disminución del espesor de las paredes   | Rotura de las partes de la caldera | Observar la caldera y las unidades auxiliares para detectar averías y realizar reparaciones | Mantenimiento preventivo                                       |



## 16.2. Análisis cuantitativo del riesgo

Los responsables de seguridad de las instalaciones han realizado un análisis de riesgo preliminar para averiguar si se encuentran afectadas. Para ello, se han de analizar las zonas donde puede haber acumulación de materia, este es el caso del tanque de almacenaje del subproducto (T-101).

Este análisis cuantitativo se lleva a cabo según el Anexo 1 (parte 2) del Real Decreto 948/2005 del 29 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1254/1999, del 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas; a partir de este, se podrán clasificar las zonas de la planta en no afectadas por ningún riesgo o afectadas por riesgo bajo o alto.

Por cada una de las sustancias se establece el umbral bajo y alto que se extrae del Real Decreto mencionado anteriormente. A partir de aquí, se hace la relación entre la cantidad de sustancia contenida en el tanque T-101 y el umbral bajo y alto. Con los resultados obtenidos se realiza el sumatorio por cada tipo de umbral, de esta manera si resulta un valor mayor a 1 se concluye que la zona donde se encuentra este equipo está afectada por algún riesgo. En el caso que el valor sea menor a 1, es todo lo contrario, es decir, no hay riesgo de afectación.

En la Tabla 16.3 se muestran los valores obtenidos en la determinación de riesgo del tanque.

Tabla 16.3. Análisis del riesgo cuantitativo del tanque de almacenaje de acetatos (T-101).

| Sustancia         | Cantidad (t) | Umbral bajo (t) | Umbral alto (t) | qx/C bajo | qx/C alto            |
|-------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------|----------------------|
| Acetato de vinilo | 3,59         | 50              | 200             | 0,0719    | 0,0180               |
| Acetato de etilo  | 1,80         | 50              | 200             | 0,0359    | $8,98 \cdot 10^{-3}$ |
| Acetato de metilo | 1,80         | 50              | 200             | 0,0359    | $8,98 \cdot 10^{-3}$ |
| TOTAL             | 7,19         | -               | -               | 0,144     | 0,0359               |

Se puede observar que la zona donde se encuentra este equipo no está afectada por ningún riesgo, dado que la suma después de aplicar los umbrales resulta menor a 1.

## 16.3. Zonas ATEX (de atmósfera explosiva)

Según la Directiva 94/9/CE, del Parlamento Europeo del 23 de marzo de 1994 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros, sobre la protección de los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas, se define como zona de atmósfera explosiva aquella mezcla de sustancias inflamables en polvo con el aire, en las que después de su ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada.

Para cumplir con la legislación se procede a identificar y clasificar las diferentes zonas ATEX que existan después de la modificación de la instalación de combustión. Para ello, se calcula cual es el radio de afectación ATEX de los principales equipos de dicha zona de la planta. Se considera un radio de fuga de 3mm y un factor de seguridad de 0,5. En la Tabla 16.4 se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los equipos principales.



Tabla 16.4. Datos para la clasificación de los equipos principales.

|   | T-101                | B-101                | B-201                | H-301                |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Escape (kg/s)                             | 0,130                | 0,106                | 0,150                | 0,106                |
| Coef. de seguridad                        | 0,5                  | 0,5                  | 0,5                  | 0,5                  |
| LIE (% vol)                               | 2,58                 | 2,58                 | 2,58                 | 4,50                 |
| LIE (kg/m <sup>3</sup> )                  | 0,0900               | 0,0900               | 0,0900               | 0,0828               |
| T (K)                                     | 313                  | 313                  | 313                  | 713                  |
| Factor temperatura                        | $3,19 \cdot 10^{-3}$ | $3,19 \cdot 10^{-3}$ | $3,19 \cdot 10^{-3}$ | 0,0140               |
| Caudal de ventilación (m <sup>3</sup> /s) | $9,23 \cdot 10^{-3}$ | $9,23 \cdot 10^{-3}$ | 0,0106               | $3,59 \cdot 10^{-3}$ |
| Volumen ATEX (m <sup>3</sup> )            | 0,154                | 0,154                | 0,177                | 0,0599               |
| Radio esfera (m)                          | 0,332                | 0,332                | 0,349                | 0,243                |

Con los valores de radio obtenidos se puede asegurar que ninguno sobrepasa los límites de la planta, además se concluye que los equipos estudiados son zona ATEX II3GT1, donde, II se refiere a Industria en la superficie, 3 a nivel de protección normal, G a atmósfera gaseosa/vapor/niebla y T1 debido a que los compuestos que intervienen en el proceso tiene un punto de autoignición superior a los 450°C.

En el Anexo F, se muestra el desarrollo de los cálculos de los valores mostrados con anterioridad y en el Apartado 9.3 se muestran las zonas ATEX sobre el *Plot Plan* de la instalación.

#### **16.4. Protección de los equipos a sobrepresión**

Las válvulas de seguridad y las válvulas de alivio de presión son aquellas que tienen la función de mantener la presión de una instalación por debajo de un límite preestablecido. Por este motivo, es importante identificar y realizar el diseño de estas con la finalidad de proteger los equipos en los cuales se encuentran instaladas.

Las válvulas de seguridad se han diseñado siguiendo la normativa expuesta por el Catálogo General de Válvulas Nacional<sup>14</sup>.

Antes de iniciar el diseño, se reconocen las válvulas de seguridad presentes en el alcance del proyecto, las PSV-101 y PSV-102 se encuentran localizadas en las bombas B-101 A/B, las válvulas PVRV-101 y ERV-101 en el tanque de almacenamiento de acetatos T-101, la PSV-201 y la PSV-202 en las bombas B-201 A/B y la PSV-203 en el intercambiador E-201. Aunque no se encuentra dentro del alcance del proyecto se considera en este estudio la PSV-301 situada en la caldera H-301.

El diseño consiste en determinar el área de paso mínima que debe tener el orificio de la válvula de seguridad para desalojar el caudal de fluido requerido. Para obtener el área del orificio para líquidos se aplica la Ecuación 16.1 y para gases y vapores la Ecuación 16.2.

$$A = \frac{W}{5042 \cdot K \cdot K_P \cdot K_3 \cdot K_V \cdot \sqrt{(P - P_b) \cdot E}} \quad (16.1)$$

Donde  $W$  es el caudal de descarga en kg/h,  $K$  el coeficiente de descarga,  $K_P$ ,  $K_3$  y  $K_V$ , coeficientes de corrección extraídos de los gráficos del catálogo,  $P$  la presión de descarga

<sup>14</sup>Válvulas Nacional (2012). *Catálogo General*. Recuperado de [http://www.valvulasnacional.com/articulos-mostra-1963-esp-valvulas\\_de\\_seguridad.htm](http://www.valvulasnacional.com/articulos-mostra-1963-esp-valvulas_de_seguridad.htm)



calculada como  $P_{tarado} + \text{contrapresión} + 1,033$  en  $\text{kg/cm}^2_{(a)}$ ,  $P_b$  la contrapresión en  $\text{kg/cm}^2_{(a)}$  y  $E$  la densidad relativa en  $\text{kg/dm}^3$ .

$$A = \frac{W}{387,2 \cdot C \cdot P \cdot K \cdot K_1 \cdot K_2} \cdot \sqrt{\frac{Z \cdot T}{M}} \quad (16.2)$$

Donde  $W$ ,  $P$  y  $K$  son los mismos parámetros que en la Ecuación 16.1,  $C$  es el coeficiente de expansión ( $C_p/C_v$ ),  $K_1$  y  $K_2$  coeficientes de corrección extraídos de los gráficos del catálogo,  $Z$  el factor de compresibilidad de la sustancia mayoritaria,  $T$  la temperatura en K y  $M$  el peso molecular en g/mol.

Se ha de destacar que la presión existente en el lado de la descarga de la válvula o contrapresión se ha supuesto de  $2,5 \text{kg/cm}^2_{(a)}$ , ya que es un valor por debajo de la presión de trabajo del tanque y superior a la presión atmosférica. Así se consigue que la sobrepresión dirija el fluido hacia la antorcha evitando mayores problemas de seguridad en el equipo.

A continuación se detallan las condiciones de los equipos de la planta que contienen válvulas de seguridad.

Las bombas B-101 A/B son las que bombean el producto líquido de los fondos de la columna de destilación precedente, en concreto la mezcla de acetato de vinilo, etilo y metilo, esto se realiza a 3barg.

El tanque T-101 contiene acetato de vinilo, metilo y etilo, pero para realizar este cálculo se considera que todo es acetato de vinilo ya que se encuentra en mayor proporción y se encuentra a 3barg y  $40^\circ\text{C}$ .

Las bombas B-201 A/B bombean el subproducto resultante del tanque de almacenamiento T-101, éstas operan a una presión de 4 barg.

El intercambiador de calor E-201 útil para incrementar la temperatura del subproducto gracias al corriente de vapor, éste trabaja a 4barg.

Por último, la caldera H-301 contiene variedad de compuestos, entre los cuales destaca el gas natural y en concreto su alto contenido en metano, por tanto, el cálculo se hace considerando el metano como compuesto único. Ésta opera a unas condiciones de 4barg y  $440^\circ\text{C}$ .

En la Tabla 16.5 y en la Tabla 16.6 se muestran todos los parámetros necesarios para el cálculo del área de orificio de cada válvula de seguridad considerada, para líquidos y gases y vapores, respectivamente. Donde E son orificios para baja temperatura y C para alta.

Tabla 16.5. Parámetros de las válvulas de seguridad presentes en el proyecto.

|   | B-101 A/B | B-201 A/B | E-201 |
|---|-----------|-----------|-------|
| Tipo de orificio                          | E         | E         | C     |
| Caudal de descarga, W (kg/h)              | 8.380     | 8.840     | 8.840 |
| Coeficiente de descarga, K                | 0,64      | 0,64      | 0,64  |
| Coeficiente por sobrepresión 25%, $K_p$   | 1,00      | 1,00      | 1,00  |
| Coeficiente 3, $K_3$                      | 0,60      | 0,70      | 0,70  |
| Coeficiente para líquidos viscosos, $K_v$ | 1,00      | 1,00      | 1,00  |



Tabla 16.5. Parámetros de las válvulas de seguridad presentes en el proyecto (II).

|  | B-101 A/B | B-201 A/B | E-201 |
|--|-----------|-----------|-------|
| Presión de tarado, $P_1$<br>(kg/cm <sup>2</sup> (a)) | 4,49      | 5,61      | 5,61  |
| Presión de descarga, P<br>(kg/cm <sup>2</sup> (a))   | 8,00      | 9,12      | 9,12  |
| Densidad relativa, E<br>(kg/dm <sup>3</sup> )        | 0,866     | 0,866     | 0,866 |

Aplicando la Ecuación 16.1, se obtiene que el área de orificio de la válvula de seguridad PSV es de 1,98cm<sup>2</sup> para las bombas B-101 A/B y 1,63cm<sup>2</sup> tanto para las bombas B-201 A/B como el intercambiador E-201. Estos dos últimos tienen el mismo valor ya que tienen las mismas condiciones de presión aunque el tipo de orificio sea distinto, hecho que no interviene significativamente.

Tabla 16.6. Parámetros necesarios para las válvulas de seguridad del tanque y la caldera.

|   | T-101 | H-301 |
|---|-------|-------|
| Tipo de orificio                                  | E     | C     |
| Caudal de descarga, W (kg/h)                      | 416   | 102   |
| Coefficiente de expansión, C                      | 0,607 | 0,664 |
| Presión de tarado, $P_1$ (kg/cm <sup>2</sup> (a)) | 4,49  | 5,61  |
| Presión de descarga, P (kg/cm <sup>2</sup> (a))   | 8,00  | 9,12  |
| Coefficiente de descarga, K                       | 0,946 | 0,946 |
| Coefficiente corrector 1, $K_1$                   | 1     | 1     |
| Coefficiente corrector 2, $K_2$                   | 1     | 1     |
| Factor de compresibilidad, Z                      | 1     | 1     |
| Peso molecular, M (g/mol)                         | 83,6  | 16,0  |
| Temperatura, T (K)                                | 313   | 713   |

Teniendo en cuenta cada uno de los parámetros que conforman la Ecuación 16.2 se obtiene un área de orificio de las válvulas de seguridad del tanque T-101 y de la caldera de vapor H-301 de 0,384 cm<sup>2</sup> y 1,02 cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Una vez calculadas las áreas de orificio de cada una de las válvulas de seguridad mencionadas anteriormente se han de estandarizar, de esta manera, se escoge un área de orificio igual o superior al obtenido. En la Tabla 16.7 se muestran los valores de los orificios estandarizados de cada una de las válvulas de seguridad.

Tabla 16.7. Resultados de las áreas del orificio normalizadas.

| Válvulas de seguridad (Equipo) | Área del orificio normalizado (cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|--|
| PVRV-101 y ERV-101 (T-101)     | 0,710  |
| PSV-101 y PSV-102 (B-101 A/B)  | 1,980  |
| PSV-201 y PSV-202 (B-201 A/B)  | 1,980  |
| PSV-203 (E-201)                | 1,980  |
| PSV-301 (H-301)                | 1,265  |



## **16.5. Plan de autoprotección<sup>15</sup>**

Cualquier tipo de empresa debe disponer de un Plan de Emergencia para dar respuesta a todos los requerimientos legales aplicables al desarrollo de la actividad. A continuación, se exponen de forma resumida las actuaciones en caso de emergencia del tipo de incendio y explosión, fuga de gas y vertido de líquido.

Las emergencias que se estudian en el plan de autoprotección son de origen interno y en función de la gravedad se dividen en conato de emergencia, emergencia parcial y general.

### **16.5.1. Detección de alerta**

La alerta consiste en avisar de la forma más rápida posible a los equipos de emergencia del propio establecimiento y solicitar si se requiere ayuda de intervención externa.

El sistema de detección será:

- Detección automática mediante medios técnicos (detectores, disparos de sistemas fijos, etc.)
- Detección personal (mediante pulsadores, medios de comunicación, etc.)

### **16.5.2. Mecanismos de alarma**

La alarma será un aviso/señal (claro y conciso) por la que se informará al personal para que siga una serie de instrucciones específicas ante la situación de emergencia.

Por una parte, se identifican las personas encargadas de dar los avisos a través de los medios disponibles en los puestos de trabajo que ocupan. Será necesario también fijar el lugar donde se deben reunir el director del plan de actuación y la persona encargada de dar los avisos, con el fin de coordinar las actuaciones y comunicaciones durante la emergencia.

El director del plan de actuación deberá notificar la emergencia al Centro de Coordinación de Emergencias de Tarragona (112).

### **16.5.3. Evacuación y/o confinamiento**

El plan debe dar respuesta cuando el suceso requiera de evacuación y/o confinamiento, para ello se especifica que la orden se dará por megafonía (mensaje hablado) y por señal acústica (pitido intermitente o fijo en caso de evacuación o confinamiento, respectivamente).

- Evacuación: el personal de la planta y contratistas, que se puedan encontrar realizando trabajos en el establecimiento, se han de dirigir al punto de reunión a la espera de la llegada del equipo de evacuación
- Confinamiento: al aviso con señal permanente, el personal y contratistas, que se puedan encontrar realizando trabajos en el establecimiento, serán destinados a las zonas habilitadas para este tipo de suceso.

En el caso específico de los contratistas, se les formará e informará de los puntos clave de este plan de autoprotección antes de que accedan a su puesto de trabajo.

---

<sup>15</sup> Ministerio del Interior. (2012). *Guía para la elaboración de un Plan de Autoprotección*. Recuperado de <http://www.interior.gob.es/es/web/archivos-y-documentacion/documentacion-y-publicaciones/publicaciones-descargables/proteccion-civil>



En la Tabla 16.8 se muestran las acciones que se han de llevar a cabo en caso de que surgiera una emergencia.

Tabla 16.8. Actuaciones que se han de abordar por cada caso planteado.

| Caso de emergencia             | Evacuación | Confinamiento |
|--------------------------------|------------|---------------|
| Incendio                       |            | ✓             |
| Incendio con posible explosión |            | ✓             |
| Fuga de gas                    |            | ✓             |
| Vertido de líquido             |            | ✓             |

#### 16.5.4. Prestación de las primeras ayudas

El director del plan de actuación dirigirá en la sala de control las primeras actuaciones.

Para ello, se dispondrá de un equipo de actuación (específicamente formado) encargado de actuar en los primeros momentos de la emergencia cuya función se centra en utilizar los equipos de protección contra incendios (si no supone un riesgo elevado para su propia salud/seguridad) y efectuar los cortes de suministros energéticos necesarios.

#### 16.5.5. Modo de recepción de las ayudas externas

El director del plan de actuación recibirá las ayudas externas en la sala de control, se comunicará con el equipo de ayuda externa para informarles detalladamente de la situación y facilitarles el acceso al lugar del suceso.

## 17. SEGURIDAD LABORAL

### 17.1. Evaluación de los riesgos laborales<sup>16</sup>

La evaluación de riesgos laborales se basa en identificar los riesgos presentes en el entorno de trabajo, de manera que se prevengan los daños a la salud y la seguridad de los trabajadores.

Por tanto, se ha establecido el personal presente en la empresa *Technici* a los cuales aplica este estudio. Estos son jefe de planta (JP), jefe de turno (JT), operario de mantenimiento (OM) y personal externo (PE).

A partir del personal que conforma la planta, se identifican los peligros derivados de las condiciones de trabajo para evaluar los riesgos asociados y planificar la adopción de medidas preventivas.

En las siguientes tablas se clasifican estos riesgos según las condiciones trabajo y las actividades que se desarrollan. Además, se hace una estimación del riesgo (tolerable, moderado, importante e intolerable) a partir de la probabilidad (baja, media y alta) y consecuencia (leve, grave y muy grave) de que ocurra el suceso. Para realizar la estimación, se utiliza la matriz de riesgo que se muestra en la Figura 17.1, donde se combina la probabilidad con la consecuencia.

<sup>16</sup> Comunidad de Madrid. (2010). *Guía para una prevención de los riesgos laborales inclusiva en las organizaciones*. Recuperado de <http://goo.gl/kaSu75>



|   |   |   |    |
|---|---|---|----|
|   | L | G | MG |
| B |   |   |    |
| M |   |   |    |
| A |   |   |    |

Figura 17.1. Matriz de riesgo, las casillas verdes pertenecen a un riesgo tolerable, amarillas a un riesgo moderado, naranjas a un riesgo importante y rojas a un riesgo intolerable.

Después de realizar el estudio, se obtiene una visión clara de los riesgos y se identifica el trabajo en espacios confinados como el más peligroso. Es por esto, que desde el departamento de seguridad se hará especial hincapié en la reducción de este riesgo específico y del resto de los riesgos importantes, con el fin de que los trabajadores de *Technici* realicen sus tareas de la forma más segura posible.

Tabla 17.1. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en el lugar de trabajo.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                  |                 |                            |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |  |
|--|------------------|-----------------|----------------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|--|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                  | COD.            | RIESGO ASOCIADO            | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |  |
|  |                  |                 |                            | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |  |
| 1  | Lugar de trabajo | 010             | Caída desde el mismo nivel |   | X |   | X             |   |    |               |    | X   |     |  |
|  |                  | CARGO EXPUESTO  |                            | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |  |
|  |                  | JP, JT, OM y PE |                            | Fijar carteles informativos para prevenir caídas y alertar al personal. |   |   |               |   |    |               |    |     |     |  |

Tabla 17.2. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en el lugar de trabajo.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                  |                 |  |  |   |   |               |   |    |               |    |     |     |  |
|--|------------------|-----------------|--|--|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|--|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                  | COD.            | RIESGO ASOCIADO                          | PROBABILIDAD   |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |  |
|  |                  |                 |  | B  | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |  |
| 1  | Lugar de trabajo | 011             | Lesión con objetos punzantes / cortantes | X  |   |   |               | X |    |               |    | X   |     |  |
|  |                  | CARGO EXPUESTO  |  | ACCIÓN REQUERIDA   |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |  |
|  |                  | JP, JT, OM y PE |  | Concienciar sobre los sucesos que puede ocasionar la incorrecta manipulación de estos objetos. |   |   |               |   |    |               |    |     |     |  |

Tabla 17.2. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en el lugar de trabajo (Parte II).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                  |                 |                        |  |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|------------------|-----------------|------------------------|--|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                  | COD.            | RIESGO ASOCIADO        | PROBABILIDAD   |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |                  |                 |                        | B  | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 1  | Lugar de trabajo | 012             | Impacto con mobiliario | X  |   |   | X             |   |    | X             |    |     |     |
|  |                  | CARGO EXPUESTO  |                        | ACCIÓN REQUERIDA   |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |                  | JP, JT, OM y PE |                        | Asegurar la correcta posición del mobiliario, evitando que obstruya zonas de paso. |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.2. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en el lugar de trabajo (Parte III).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                  |                 |                      |  |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|------------------|-----------------|----------------------|--|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                  | COD.            | RIESGO ASOCIADO      | PROBABILIDAD   |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |                  |                 |                      | B  | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 1  | Lugar de trabajo | 013             | Lesiones ergonómicas |  | X |   | X             |   |    |               | X  |     |     |
|  |                  | CARGO EXPUESTO  |                      | ACCIÓN REQUERIDA   |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |                  | JP, JT, OM y PE |                      | Facilitar una correcta postura, proveyendo de un puesto de trabajo cómodo.<br>Informar y concienciar sobre las buenas posturas de trabajo. |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.2. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en el lugar de trabajo (Parte IV).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                  |                 |                                  |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|------------------|-----------------|----------------------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                  | COD.            | RIESGO ASOCIADO                  | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |                  |                 |                                  | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 1  | Lugar de trabajo | 014             | Iluminación por exceso o defecto | X   |   |   |               | X |    |               | X  |     |     |
|  |                  | CARGO EXPUESTO  |                                  | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |                  | JP, JT, OM y PE |                                  | Mantener las zonas de trabajo con la iluminación necesaria. |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.3. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en elevación /transporte.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                          |                |                      |  |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|--------------------------|----------------|----------------------|--|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                          | COD.           | RIESGO ASOCIADO      | PROBABILIDAD   |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |                          |                |                      | B  | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 2  | Elevación/<br>Transporte | 020            | Accidente de trafico |  | X |   |               | X |    |               |    | X   |     |
|  |                          | CARGO EXPUESTO |                      | ACCIÓN REQUERIDA   |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |                          | JP, JT,OM y PE |                      | <p>Informar y concienciar al personal de la peligrosidad que se propicia al cometer una infracción de tráfico.</p> <p>Persuadir del cumplimiento de las normativas viales.</p> |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.3. Eval. de riesgos y planificación preventiva en elevación/transporte (Parte II).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                          |                |                             |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|--------------------------|----------------|-----------------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                          | COD.           | RIESGO ASOCIADO             | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |                          |                |                             | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 2  | Elevación/<br>Transporte | 021            | Caída desde diferente nivel | X   |   |   |               |   | X  |               |    | X   |     |
|  |                          | CARGO EXPUESTO |                             | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |                          | OM y PE        |                             | <p>Informar de los riesgos existentes en la acción a desarrollar y la importancia del cumplimiento de las normas y procedimientos de seguridad.</p> <p>Persuadir de la utilización de los equipos de protección individual (casco de seguridad, arnés, cuerdas, etc.) en el desarrollo de la tarea.</p> |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.3. Eval. de riesgos y planificación preventiva en elevación/transporte (Parte III).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                          |                |                            |  |   |   |               |   |    |               |    |     |     |  |
|--|--------------------------|----------------|----------------------------|--|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|--|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                          | COD.           | RIESGO ASOCIADO            | PROBABILIDAD   |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |  |
|  |                          |                |                            | B  | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |  |
| 2  | Elevación/<br>Transporte | 022            | Caída de objetos en altura | X  |   |   |               | X |    |               |    | X   |     |  |
|  |                          | CARGO EXPUESTO |                            | ACCIÓN REQUERIDA   |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |  |
|  |                          | OM y PE        |                            | Evitar la caída de los objetos con métodos de trabajo apropiados y equipos de protección.<br><br>Implementar aptitudes de trabajo, formación adecuada y conocimiento de los riesgos. |   |   |               |   |    |               |    |     |     |  |

Tabla 17.3. Eval. de riesgos y planificación preventiva en elevación/transporte (Parte IV).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                          |                 |                         |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |  |
|--|--------------------------|-----------------|-------------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|--|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                          | COD.            | RIESGO ASOCIADO         | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |  |
|  |                          |                 |                         | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |  |
| 2  | Elevación/<br>Transporte | 023             | Impacto por negligencia | X   |   |   |               | X |    |               |    | X   |     |  |
|  |                          | CARGO EXPUESTO  |                         | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |  |
|  |                          | JP, JT, OM y PE |                         | Concienciar de los sucesos que puede ocasionar la incorrecta manipulación de maquinaria.<br><br>Asegurar que después de cada acción emprendida se debe mantener el sitio de trabajo en perfectas condiciones. |   |   |               |   |    |               |    |     |     |  |

Tabla 17.3. Eval. de riesgos y planificación preventiva en elevación/transporte (Parte V).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                          |                |                                     |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|--------------------------|----------------|-------------------------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                          | COD.           | RIESGO ASOCIADO                     | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |                          |                |                                     | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 2  | Elevación/<br>Transporte | 024            | Caída de objetos por derrumbamiento | X   |   |   |               | X |    |               | X  |     |     |
|  |                          | CARGO EXPUESTO |                                     | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |                          | JP, JT,OM y PE |                                     | Antes de emprender cualquier acción se han de estudiar los sucesos que pueden ocurrir. Además de proteger y alertar con señales visuales para realizar el trabajo de manera segura. |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.4. Evaluación de riesgos y planificación preventiva con herramientas manuales.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                       |                |                                      |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|-----------------------|----------------|--------------------------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                       | COD.           | RIESGO ASOCIADO                      | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |                       |                |                                      | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 3  | Herramientas manuales | 030            | Manipulación de herramientas pesadas |   | X |   |               |   | X  |               |    | X   |     |
|  |                       | CARGO EXPUESTO |                                      | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |                       | OM             |                                      | Organizar la distribución de la carga aplicando medidas organizativas, también introducir equipos eléctricos o mecánicos para aliviar la carga.<br><br>Para evitar sobreesfuerzo aplicar la rotación de personal adecuado y con sus respectivos periodos de descanso. |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.4. Eval. de riesgos y planificación preventiva con herramientas manuales (Parte II).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                       |                 |   |  |   |               |   |    |            |               |         |         |   |  |
|--|-----------------------|-----------------|---|--|---|---------------|---|----|------------|---------------|---------|---------|---|--|
| COND. DE SEGURIDAD                               | COD .                 | RIESGO ASOCIADO | PROBABILIDAD                                |  |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN |               |         |         |   |  |
|  |                       |                 | B   | M  | A | L             | G | MG | T<br>O     | MO            | IM<br>P | IN<br>T |   |  |
| 3  | Herramientas manuales | 031             | Manipulación objetos/herramientas cortantes |  |   | X             |   |    | X          |               |         |         | X |  |
|  |                       | CARGO EXPUESTO  |   | ACCIÓN REQUERIDA   |   |               |   |    |            | OBSERVACIONES |         |         |   |  |
|  |                       | OM y PE         |   | <p>Concienciar al personal que una incorrecta manipulación de estas herramientas puede llevar a un accidente.</p> <p>Facilitar los manuales de uso de la herramienta con la que se realiza una acción.</p> |   |               |   |    |            |               |         |         |   |  |

Tabla 17.5. Evaluación de riesgos y planificación preventiva con sustancias químicas.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                     |  |  |                  |   |               |   |    |            |               |         |         |   |  |
|--|---------------------|--|--|------------------|---|---------------|---|----|------------|---------------|---------|---------|---|--|
| COND. DE SEGURIDAD                               | COD .               | RIESGO ASOCIADO  | PROBABILIDAD                                 |                  |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN |               |         |         |   |  |
|  |                     |  | B  | M                | A | L             | G | MG | T<br>O     | MO            | IM<br>P | IN<br>T |   |  |
| 4  | Sustancias químicas | 040  | Inhalación de productos tóxicos/nocivos      |                  |   | X             |   |    | X          |               |         |         | X |  |
|  |                     | 041  | Contacto con sustancias cáusticas/corrosivas |                  |   | X             |   |    | X          |               |         |         | X |  |
|  |                     | CARGO EXPUESTO   |  | ACCIÓN REQUERIDA |   |               |   |    |            | OBSERVACIONES |         |         |   |  |
| JP, JT,OM y PE                                   |                     | <p>Se proporcionarán las fichas de seguridad de los productos utilizados para alertar de su peligro.</p> <p>Formación al personal para que se haga un correcto uso de este tipo de sustancias.</p> <p>Se dotará al personal de equipos de protección como guantes y mascarillas para evitar un posible suceso.</p> |  |                  |   |               |   |    |            |               |         |         |   |  |

Tabla 17.5. Evaluación de riesgos y planificación preventiva con sustancias químicas (Parte II).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |                     |                |                                      |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|---------------------|----------------|--------------------------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |                     | COD.           | RIESGO ASOCIADO                      | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |                     |                |                                      | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 4  | Sustancias químicas | 041            | Exposición a sustancias cancerígenas | X   |   |   |               |   |    | X             |    |     |     |
|  |                     | CARGO EXPUESTO |                                      | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |                     | JP, JT,OM y PE |                                      | <p>Informar al personal sobre la naturaleza de los riesgos de trabajar con estas sustancias.</p> <p>Substituirlos por otros menos nocivos o adoptar medidas de prevención y reducción del nivel de la exposición que sean adecuadas.</p> <p>Alertar, delimitar y señalizar las zonas de riesgo.</p> |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.6. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en maquinaria.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |            |                |                                 |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|------------|----------------|---------------------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |            | COD.           | RIESGO ASOCIADO                 | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |            |                |                                 | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 5  | Maquinaria | 050            | Trabajos en espacios confinados |   | X |   |               |   |    | X             |    |     | X   |
|  |            | CARGO EXPUESTO |                                 | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |            | OM             |                                 | <p>Dar la correcta formación al personal para que pueda realizar la tarea con la máxima seguridad.</p> <p>Evitar en la medida de lo posible acciones que conlleven este tipo de riesgo.</p> |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.7. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en maquinaria.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |            |                |                            |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|------------|----------------|----------------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |            | COD.           | RIESGO ASOCIADO            | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |            |                |                            | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 5  | Maquinaria | 051            | Atrapamiento entre objetos | X   |   |   |               | X |    |               |    | X   |     |
|  |            | CARGO EXPUESTO |                            | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |            | OM y PE        |                            | Alertar y concienciar al personal de las zonas donde exista estrechamiento y de la protección a utilizar (equipos de comunicación). |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.8. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en incendios.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |           |                 |                    |   |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|-----------|-----------------|--------------------|---|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |           | COD.            | RIESGO ASOCIADO    | PROBABILIDAD  |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |           |                 |                    | B   | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 6  | Incendios | 060             | Incendio/Explosión | X   |   |   |               |   | X  |               |    | X   |     |
|  |           | CARGO EXPUESTO  |                    | ACCIÓN REQUERIDA  |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |           | JP, JT, OM y PE |                    | <p>Se dispondrá de suficientes equipos de extinción adecuados y homologados en las zonas de trabajo.</p> <p>Se dará la formación adecuada a los trabajadores en materia de extinción de incendios para que cada turno de trabajo cuente con al menos 2 trabajadores formados.</p> <p>Formación al personal de la planta para actuar en caso de emergencia para no obstaculizar en ningún momento las salidas, incorporando planes de emergencia y evacuación.</p> |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.8. Evaluación de riesgos y planificación preventiva en incendios (Parte II).

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |           |                 |  |   |   |               |   |    |            |               |     |     |  |
|--|-----------|-----------------|--|---|---|---------------|---|----|------------|---------------|-----|-----|--|
| COND. DE SEGURIDAD                               | COD.      | RIESGO ASOCIADO | PROBABILIDAD                                 |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN |               |     |     |  |
|  |           |                 | B  | M   | A | L             | G | MG | TO         | MO            | IMP | INT |  |
| 6  | Incendios | 061             | Trabajos en atmósfera explosiva (Zonas ATEX) | X   |   |               |   | X  |            |               | X   |     |  |
|  |           | CARGO EXPUESTO  |  | ACCIÓN REQUERIDA  |   |               |   |    |            | OBSERVACIONES |     |     |  |
|  |           | OM y PE         |  | <p>Informar y formar al personal cuyos puestos de trabajo se encuentren afectados por este efecto.</p> <p>Elaborar y concienciar de los procedimientos de trabajo seguros.</p> <p>Evitar en medida de lo posible, la formación de atmósferas explosivas, eliminando o retirando posibles focos de ignición.</p> |   |               |   |    |            |               |     |     |  |

Tabla 17.9. Evaluación de riesgos y planificación preventiva con ruido.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |       |                 |                     |  |   |               |   |    |            |               |     |     |  |
|--|-------|-----------------|---------------------|--|---|---------------|---|----|------------|---------------|-----|-----|--|
| COND. DE SEGURIDAD                               | COD.  | RIESGO ASOCIADO | PROBABILIDAD        |  |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN |               |     |     |  |
|  |       |                 | B                   | M  | A | L             | G | MG | TO         | MO            | IMP | INT |  |
| 7  | Ruido | 070             | Exposición al ruido | X  |   |               |   | X  |            |               | X   |     |  |
|  |       | CARGO EXPUESTO  |                     | ACCIÓN REQUERIDA   |   |               |   |    |            | OBSERVACIONES |     |     |  |
|  |       | JT,OM y PE      |                     | <p>Establecer un programa de mantenimiento preventivo de la maquinaria que produce altos niveles de ruido con carácter periódico.</p> <p>Hacer uso de equipos de protección homologados.</p> |   |               |   |    |            |               |     |     |  |

Tabla 17.10. Evaluación de riesgos y planificación preventiva con temperaturas extremas.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |             |         |                                    |                |  |   |                  |   |    |               |    |     |     |
|--|-------------|---------|------------------------------------|----------------|--|---|------------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |             | COD.    | RIESGO ASOCIADO                    | PROBABILIDAD   |  |   | CONSECUENCIAS    |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |             |         |                                    | B              | M  | A | L                | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 8  | Temperatura | 080     | Exposición a temperaturas extremas | X              |  |   |                  | X |    |               | X  |     |     |
|  |             |         |                                    | CARGO EXPUESTO |  |   | ACCIÓN REQUERIDA |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |             | OM y PE |                                    |                | En medida de lo posible, aislar el foco de frío y/o fuente de calor. Si no es posible, se tendrá que tomar las medidas que se requieren en cada caso.<br><br>Además se dotará al personal de equipamiento adecuado que les permita mantener una temperatura corporal óptima en cada momento. |   |                  |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.11. Evaluación de riesgos y planificación preventiva con carga mental.

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |              |                 |                 |                |   |   |                  |   |    |               |    |     |     |
|--|--------------|-----------------|-----------------|----------------|---|---|------------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |              | COD.            | RIESGO ASOCIADO | PROBABILIDAD   |   |   | CONSECUENCIAS    |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |              |                 |                 | B              | M   | A | L                | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 9  | Carga mental | 090             | Carga mental    | X              |   |   |                  | X |    |               | X  |     |     |
|  |              |                 |                 | CARGO EXPUESTO |   |   | ACCIÓN REQUERIDA |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |              | JP, JT, OM y PE |                 |                | Según el caso, reducir o aumentar la carga informativa para ajustarla a las capacidades del personal.<br><br>Formar al personal, dotándolo de más formación, destreza, estrategias de trabajo, es decir, otorgarlas herramientas para evitar este suceso. |   |                  |   |    |               |    |     |     |

Tabla 17.12. Evaluación de riesgos y planificación preventiva con carga física

| EVALUACIÓN DE RIESGOS Y PLANIFICACIÓN PREVENTIVA |              |                |                 |  |   |   |               |   |    |               |    |     |     |
|--|--------------|----------------|-----------------|--|---|---|---------------|---|----|---------------|----|-----|-----|
| COND. DE SEGURIDAD                               |              | COD.           | RIESGO ASOCIADO | PROBABILIDAD   |   |   | CONSECUENCIAS |   |    | ESTIMACIÓN    |    |     |     |
|  |              |                |                 | B  | M | A | L             | G | MG | TO            | MO | IMP | INT |
| 10   | Carga física | 100            | Sobreesfuerzo   |  | X |   |               | X |    |               |    | X   |     |
|  |              | CARGO EXPUESTO |                 | ACCIÓN REQUERIDA   |   |   |               |   |    | OBSERVACIONES |    |     |     |
|  |              | OM y PE        |                 | <p>Evitar en lo posible los trabajos que se realizan de forma continuada en la misma postura, para ello se ha de alternar las tareas y realizar las pausas necesarias.</p> <p>Implantar una correcta distribución de la carga aplicando medidas organizativas como equipos eléctricos o mecánicos para aliviar la carga.</p> |   |   |               |   |    |               |    |     |     |

---

# ASPECTOS AMBIENTALES EN LA INSTALACIÓN

---



## **18. ASPECTOS AMBIENTALES**

Se ha realizado un estudio ambiental con el fin de indicar y gestionar el impacto ambiental que supone las modificaciones realizadas en la planta de acetato de vinilo monómero. Además, de analizar también los beneficios medioambientales que la alternativa seleccionada supone.

### **18.1. Identificación y evaluación de las emisiones a la atmósfera, vertidos y residuos**

#### **18.1.1. Emisiones atmosféricas**

El impacto que tiene el tratamiento del subproducto sobre las emisiones atmosféricas es debido a la combustión en la caldera de vapor. En ella se lleva a cabo la combustión del gas natural y del subproducto lo cual supone emisiones de CO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub>. Además de estas, existen las emisiones de SO<sub>x</sub>, pero no se tienen en cuenta debido a que hay muy poco contenido de azufre en el gas natural. También se producen emisiones de partículas y de compuestos orgánicos volátiles (VOC) pero estos se encuentran en muy pequeñas concentraciones y por ello, no se contemplan en el estudio. Se ha de destacar, que las emisiones citadas se canalizan hacia la atmósfera, ya que el funcionamiento de la caldera y la legislación sobre esta así lo requieren.

Hay que añadir que las emisiones a la atmósfera que se producen en la caldera de vapor no son propias de la alternativa que se estudia en este proyecto, sino que ya se dan en el funcionamiento habitual de la caldera de vapor que se encuentra en la instalación actualmente. En el Apartado 10.1, balance de energía, se muestran las emisiones de la caldera en su funcionamiento habitual y las emisiones que presentaría una vez implantada la alternativa.

Otras posibles emisiones son las causadas por la apertura de las válvulas seguridad PVRV y ERV del tanque de almacenamiento T-101, vapores procedentes de la mezcla de acetatos y nitrógeno existente en el tanque. De la misma manera, puede haber otras emisiones producidas por la válvula de seguridad PSV existente en la caldera H-301. Estas emisiones son las que se dirigen hacia la antorcha. Todas las emisiones mencionadas anteriormente se canalizan de manera diferente, emitiendo a la atmósfera únicamente CO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub>.

Es posible también que durante el proceso surjan fugas difusas y fugitivas, debido al mal funcionamiento de algún componente del proceso, pero estas debido a la incertidumbre de su procedencia tampoco se contemplan en este estudio.

#### **18.1.2. Vertidos**

Los vertidos que se producen en la instalación son causados por purgas de agua en la caldera y en la limpieza o manteniendo del tanque T-101, estos son enviados a una EDAR para ser tratados y así asegurar que se cumpla la legislación pertinente. Hay que destacar que los vertidos producidos por las purgas de la caldera son propios del funcionamiento habitual de la caldera de vapor que se pretende aprovechar para implantar la alternativa que se estudia en este proyecto, por ello la implantación de esta alternativa ni aumentaría ni disminuiría estos vertidos.

Otra posible emisión es el aceite de lubricación usado para el mantenimiento de los equipos, este se ha de recoger y llevar a plantas destinadas para tratarlo, ya que es un compuesto no biodegradable. Además, se ha de añadir el agua de lavado para el mantenimiento de los equipos y los restos procedentes de pruebas realizadas en el laboratorio.

### 18.1.3. Residuos

Las emisiones sólidas generadas en el proceso son cenizas o posibles escorias, estas resultan de la combustión del gas natural junto al subproducto. Otra posible emisión sólida se debe a la posible polimerización del acetato en vinilo, aunque este suceso es poco probable debido a la composición de la mezcla. En el Apartado 18.2 se profundiza sobre este tipo de emisiones.

### 18.2. Identificación y evaluación de los residuos sólidos producidos

Además de los residuos procedentes del proceso, también se generan residuos como consecuencia de procesos o actividades, estos pueden ser envases y embalajes de papel y cartón, plásticos, maderas, desechos metálicos, compuestos químicos y vidrios. Además, absorbentes, materiales de filtración, tejidos de limpieza y ropa protectora sucia, residuos de calorificación, baterías, y pilas.

Según la Ley 22/2011, del 28 de julio de residuos y suelos contaminados, se puede determinar los residuos citados según su origen y peligrosidad, esta clasificación se hace con el Catálogo Europeo de Residuos (CER) <sup>17</sup> establecido en la Decisión 2000/532/CE de la Comisión, del 3 de mayo de 2000.

La Lista Europea de Residuos consta de códigos de seis cifras, por ejemplo 10 01 15, las dos primeras cifras indican la fuente, en este caso residuos de procesos térmicos, el 10 01 especifica que son residuos de centrales eléctricas y otras plantas de combustión. Por último, 10 01 15 es para el residuo considerado anteriormente, en este caso, cenizas del hogar, escorias y polvo de caldera procedentes de la coqueización. Los residuos peligrosos se indican mediante un asterisco, las cenizas, escorias y polvo de caldera no es un residuo peligroso.

En la Tabla 18.1 se encuentran los códigos y peligrosidad (peligroso, P y no peligroso, NP) de cada uno de los residuos sólidos considerados. Además, en el Anexo H, se muestran explicados los códigos de cada residuo.

Tabla 18.1. Clasificación de residuos sólidos.

| Descripción                           | Código   | Peligrosidad |
|---------------------------------------|----------|--------------|
| Cenizas, escorias y polvo             | 10 01 15 | NP           |
| Lodos acuosos de la limpieza          | 10 01 23 | NP           |
| Envases y embalajes de papel y cartón | 15 01 01 | NP           |
| Envases y embalajes de plástico       | 15 01 02 | NP           |
| Envases de madera                     | 15 01 03 | NP           |
| Envases metálicos                     | 15 01 04 | NP           |

<sup>17</sup>CE. (2002). *Catálogo Europeo de residuos*. Recuperado de <http://residuos.webnode.es/residuos/catalogo-europeo-de-residuos-cer/>



Tabla 18.1 Clasificación de residuos sólidos (Parte II).

| Descripción  | Código    | Peligrosidad |
|--|-----------|--------------|
| Envases de compuestos  | 15 01 05  | NP           |
| Envases de vidrio  | 15 01 07  | NP           |
| Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras sucias | 15 02 03  | NP           |
| Baterías de plomo  | 16 06 01* | P            |
| Pilas que contienen mercurio   | 16 06 03* | P            |
| Equipos electrónicos y electrónicos desechados                                       | 20 01 36  | NP           |

Hay que destacar que el tratamiento de estos residuos se hará en unas instalaciones autorizadas por la Generalitat de Catalunya. A continuación se enumeran estas instalaciones

1. GRECAT (E-466.97), Gestión de Residuos Especiales a Cataluña. Incinera y valoriza el residuo como combustible.
2. TRISA (E-03.85), Tratamientos y recuperaciones industriales, S.A. Tratamiento per evaporación, tratamiento físico-químico y biológico, tratamiento específico, estabilización y oxidación húmeda.
3. Integración y gestión de residuos, S.L (E-1275.11), físico-químico y biológico, tratamiento específico, estabilización y recuperación de hidrocarburos.
4. NCG Iberia Reconditioning, S.L (E-1268.11), reciclaje de plásticos, recuperación, reutilización y regeneración de envases.

### **18.3. Consumo de energía y de recursos naturales**

La energía que se requiere para la gestión del subproducto se debe a los equipos por los que pasan los compuestos hasta ser alimentados a la caldera de vapor, bombas dosificadoras (B-101 A/B y B-201 A/B), intercambiador y la soplante (S-301).

Como fuente de energía necesaria para el funcionamiento de los equipos se cuenta con electricidad, proporcionada por una de las empresas cercanas a la planta.

Las bombas dosificadoras mencionadas consumen en total 240 kW/año, este consumo eléctrico supone unas emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente. Teniendo en cuenta el factor de emisión correspondiente para este consumo eléctrico, 0,34 kgCO<sub>2</sub>/kWh, el uso de las bombas dosificadoras supone unas emisiones de 81,6 t/año de CO<sub>2</sub>.

### **18.4. Sistema de gestión de energía**

Con el fin de disminuir el consumo energético se propone utilizar el calor generado en la caldera de vapor, debido a la combustión del gas natural y del subproducto, para precalentar el aire de entrada a la caldera de 25°C a 235°C. En el Apartado 12 se muestra el estudio realizado con el aprovechamiento del calor de los humos de combustión y los datos referentes a la alternativa seleccionada.

### **18.5. Generación de gases de efecto invernadero y calentamiento global**

Los gases de efecto invernadero que se pueden generar son el metano, procedente del gas natural, en caso de que haya alguna fuga, el vapor de agua, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> que emiten la caldera



y la antorcha. Hay que añadir que el vapor de agua a pesar de ser un gas de efecto invernadero no contribuye al calentamiento global por ello no se contempla en este estudio.

En la caldera de vapor es donde se generan la mayoría de gases de las emisiones del proceso y por ello, la mayoría de gases de efecto invernadero. En la Tabla 18.2 se muestran las emisiones de gases efecto invernadero generadas en la caldera de vapor.

Tabla 18.2. Datos de las emisiones gases de efecto invernadero de la caldera de vapor.

| Compuesto                | Caudal |
|--------------------------|--------|
| CO <sub>2</sub> (t/año)  | 10.080 |
| NO <sub>x</sub> (kg/año) | 91,67  |

El CO<sub>2</sub> es el gas de efecto invernadero que se encuentra en mayor concentración y contribuye en un 55% al efecto invernadero del planeta.

En cuanto a los N<sub>2</sub>O (2% del NO<sub>x</sub>) su concentración en la atmósfera es baja, pero su capacidad de calentamiento es 290 veces mayor que la del CO<sub>2</sub>. Este genera *smog* fotoquímico junto a compuestos orgánicos volátiles. Además en combinación con estos forma O<sub>3</sub> troposférico.

Como se puede ver en la Tabla 18.2 no se han calculado emisiones de metano, esto es debido a que estas emisiones solo sucederán en caso de fugas imprevistas del gas natural y estas no se pueden contabilizar, además son menospreciables en comparación con las otras emisiones que se dan durante el proceso. La concentración de este en la atmósfera es muy baja, su potencial de calentamiento es 23 veces mayor que el CO<sub>2</sub>, su contribución global al efecto invernadero no es demasiado preocupante en comparación del CO<sub>2</sub>.

Además de las emisiones directas de CO<sub>2</sub> que se producen con esta alternativa, se ha calculado las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente teniendo en cuenta el resto de gases de efecto invernadero que se emiten en el proceso. En el Anexo H se muestran los cálculos realizados para la obtención de los valores que se muestran en la Tabla 18.3.

Tabla 18.3. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente.

| Emisión (t CO <sub>2</sub> e/año)          | Valor (t CO <sub>2</sub> e/año) |
|--|---------------------------------|
| Debidas al propio CO <sub>2</sub>          | 10.080                          |
| Debidas al No                              | 0,38                            |
| Valor total de CO <sub>2</sub> equivalente | 10.080                          |

Las emisiones de No debido a su gran capacidad de calentamiento influyen de forma considerable en el CO<sub>2</sub> equivalente total, sobre todo teniendo en cuenta la pequeña cantidad de este que se emite frente a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 18.6. Otros impactos

En este proyecto se realiza una modificación de una parte de las instalaciones de la planta de producción de acetato de vinilo monómero. Los impactos ambientales tales como el acústico y los olores no se tienen en consideración ya que son muy pequeños en comparación a los que se dan en la planta anexa. Además, la planta se encuentra en el polígono sur de la provincia de Tarragona donde el ruido y los olores generados por la industria química son habituales, por ello los generados por la modificación del proceso que supone esta alternativa a implantar son imperceptibles.

### **18.7. Beneficios de la alternativa aplicada**

Se ha revalorizado el residuo procedente de la planta de acetato de vinilo monómero anexa considerándolo actualmente un subproducto, hecho que evita la incineración de este en la planta externa de tratamiento de residuos. El subproducto se utiliza como parte del combustible de una caldera de vapor, lo cual sigue los principios de la ecología industrial. Además, disminuye el consumo de gas natural siguiendo así el principio de reducción en el origen de materias primas.

Implicítamente se consigue una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Tal y como se puede ver en el Apartado 7, las condiciones de operación utilizadas en la incineración de residuos suponen unas mayores emisiones de CO<sub>2</sub> que en el caso de combustión. Además, el hecho de transportar el residuo a la planta de tratamiento supone emisiones extras de CO<sub>2</sub>, concretamente una cantidad de residuo de 1.840 kg/año. Con lo cual, esta alternativa consigue reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> realizando combustión en vez de incineración además se evitan las emisiones de CO<sub>2</sub> correspondientes al transporte.

Teniendo en cuenta únicamente las emisiones de CO<sub>2</sub> directas, la alternativa que se está aplicando actualmente, gestión externa, supone unas emisiones de CO<sub>2</sub> de 9.469 t/año asociadas al transporte del residuo hasta la planta gestora de éste y a las emisiones causadas por la caldera de vapor que hay instalada en la planta. Además de las emisiones no contabilizadas que surgen de la incineración del residuo en la planta externa incineradora de residuos. Mientras que la alternativa de gestión interna como subproducto emite 10.160 t/año de CO<sub>2</sub> asociados a la combustión del corriente residual y del gas natural en la caldera de vapor y a los equipos de impulsión instalados para llevar la mezcla de acetatos hasta la caldera. Por ello, la alternativa de gestión interna como subproducto supone menos emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera aunque parte de estas de estas emisiones no sean generadas directamente por la instalación, sino que vengan dadas por el transporte del residuo o por la incineración de este en la planta externa de gestión de residuos.

### **18.8. Posibles mejoras ambientales**

Con el fin de minimizar el impacto ambiental se estudiarían los equipos de combustión actuales de la caldera de vapor, con el fin de optimizar la combustión y así minimizar las emisiones a la atmósfera. En caso oportuno se estudiaría la posibilidad de cambiar el quemador existente por uno con una mayor tecnología y eficiencia de combustión.

Actualmente, los vapores generados en el tanque T-101 son enviados a la antorcha, se valorará la posibilidad de que sean recirculados a la caldera de vapor H-301, aunque al llevar inertes a la caldera podría disminuir la eficiencia de la combustión. Por tanto, se evaluará si se perjudica o beneficia el funcionamiento de la caldera de vapor actual.

---

# MANTENIMIENTO DELAS INSTALACIONES

---



## **19. MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES**

El mantenimiento es un aspecto importante a tener en cuenta en una instalación para que ésta se mantenga en buenas condiciones, y así conseguir una vida operativa larga. Por tanto, si hay un buen mantenimiento aumentará el rendimiento y la disponibilidad de los equipos/accesorios ya que habrá menos posibilidad de que se produzcan problemas o accidentes en la planta. Aun así, si el mantenimiento es muy elevado aumentan los costes, por tanto, el objetivo es encontrar el diseño óptimo para un coste mínimo debido a las roturas.

Se distinguen varios tipos de mantenimiento que se aplicarán en la planta, éstos se mencionan a continuación. La aplicación de éstos asegura que las instalaciones funcionen con fiabilidad y seguridad minimizando así el coste que deriva de su operación.

- **Mantenimiento correctivo**

Consiste en la reparación de defectos o averías imprevistas que se presentan en los equipos/accesorios de la planta. Se ha de destacar, que en este tipo de mantenimiento el tiempo necesario no es únicamente el tiempo de reparación, sino que muchas veces este tiempo aumenta debido a la falta de recursos o información necesarios para realizar la reparación.

Este motivo implica la necesidad de contar con un *stock* de repuestos para aquellos equipos críticos, con el fin de poder actuar de forma rápida y sobre todo segura y eficaz una vez se produce el fallo.

De la misma manera, se han evaluado los equipos/accesorios imprescindibles para el funcionamiento de la planta, de los cuales se disponen de repuestos para su montaje inmediata. Este es el caso de las bombas dosificadoras B-101 B y B-201 B localizadas en los P&ID 100 y 200, respectivamente

- **Mantenimiento preventivo**

Se trata de un conjunto de actividades programadas a realizar en intervalos predeterminados de tiempo, con el objetivo de reducir la frecuencia y el impacto de los fallos. Por tanto, es importante que la instalación disponga de un programa de mantenimiento preventivo completo y detallado junto al conocimiento de cada equipo, reduciendo así paradas imprevistas en la planta.

Este tipo de mantenimiento se aplica a equipos mecánicos y dinámicos sometidos al desgaste, este es el caso de los motores presentes en las bombas dosificadoras y en la suplante que regularmente se han de lubricar.

- **Mantenimiento predictivo**

Su objetivo es desarrollar un seguimiento y diagnóstico continuo que permita la intervención inmediata como consecuencia de la detención de algún fallo de la planta. De esta manera, es decir con inspecciones periódicas se consiguen corregir los posibles fallos sin perjudicar ni a la planta ni a la producción.

Las inspecciones que se realizan pueden ser visuales para saber si hay necesidad de limpiar el equipo o mediante estudios de parámetros como la vibración producida por los motores en las bombas B-101 A/B y B-201 A/B o en otros equipos mecánicos.



### **19.1. Mantenimiento del tanque de almacenamiento**

El mantenimiento que se aplica en el tanque T-101 es preventivo, este evita el deterioro del mismo para que no se produzca una avería o rotura. Aunque la corrosión no es uno de los principales problemas para este proceso, se deben tomar medidas para impedir su formación. Estas medidas se aplican en los fondos, paredes y techo del tanque.

En todas estas partes se recurre a la aplicación de un recubrimiento protector y realización inspecciones de manera periódica. Es importante contar con este recubrimiento ya que puede haber zonas afectadas por la corrosión, el caso más común es el del techo, este se corroe debido a la condensación del vapor de agua presente en la atmósfera.

También se aplica el mantenimiento correctivo, este se lleva a cabo cuando se produce una avería en una de las partes sensibles del tanque o bien si se alcanza el límite de vida esperado de alguna de estas partes sensible. La sustitución de elementos del depósito deberá realizarse respetando el diseño inicial y antes de acceder a este se ha de vaciar, ventilar y verificar la presión.

Se ha de destacar que el tanque de almacenaje del subproducto T-101 se ha diseñado con una pendiente del 0,5% para facilitar la limpieza. Pero se ha considerado que con esta pendiente no es suficiente para vaciarlo totalmente, por tanto, se ha visto oportuno poner un codo de 90° en la parte inferior del tanque para la total limpieza del tanque. Además, se ha de tener en cuenta que para eliminar totalmente cualquier resto de producto se han de limpiar con abundante agua.

### **19.2. Mantenimiento de las bombas**

En las bombas se realiza un mantenimiento predictivo y preventivo, en ambos casos las revisiones se programan periódicamente pero la diferencia se basa en los medios utilizados para realizar las revisiones y las frecuencias de éstas.

Para el mantenimiento predictivo se hacen inspecciones diarias de manera que se evalúen aspectos como los enumerados a continuación.

1. Verificar si la bomba opera suavemente y sin ningún ruido anormal o vibración. Además, que la bomba y la tubería no presenten fugas.
2. Evaluar que la presión de descarga, el flujo de descarga y el voltaje de suministro de energía al motor no fluctúan durante la operación de la bomba.

El mantenimiento preventivo se basa en realizar inspecciones periódicas a la bomba e instalación. En la planta hay instaladas bombas de repuesto B-101 B y B-201 B, por tanto, se ha de poner en marcha periódicamente para mantenerlas listas para usar en cualquier momento.

Una vez realizadas las revisiones se ha de ver si es necesario programar una reparación del equipo, donde seguramente se harán cambios de las piezas defectuosas de la bomba. Aunque, normalmente en el mantenimiento de tipo preventivo durante las revisiones se toma la decisión de cambiar las partes defectuosas, evitando así tener de programar una reparación posterior.

### **19.3. Mantenimiento de las válvulas**

Las inspecciones y/o reparaciones de las válvulas instaladas están limitadas por su diseño y frecuencia de operatividad. Se trata de un mantenimiento correctivo ya que es más conveniente desmontar una válvula e instalar una de repuesto que intentar reparar la instalada,



aunque el diseño de la válvula permita hacer ciertas reparaciones sin desmontarla. Aun así, existen válvulas que se pueden reparar sin desmontarlas, para corregir problemas con el asiento o instalar nuevos discos o sellos de asiento como son las de compuerta, globo, bola y retención entre otras.

En la planta se cuenta con válvulas de bola y compuerta, a continuación se detalla el mantenimiento a seguir para cada una de ellas.

### **19.3.1. Válvula de bola**

El mantenimiento de las válvulas de bola es sencillo, ya que fácilmente algunas de sus piezas internas pueden ser reemplazadas, con lo que las válvulas quedan prácticamente nuevas. Normalmente estas válvulas se han de lubricar como mínimo una vez al año si trabajan diariamente, en cambio cada tres meses si la válvula opera con poca frecuencia.

Otro problema ocurre cuando hay fugas en las partes internas de la válvula, estas se pueden producir por el vástago o por el asiento. Las fugas por vástago pueden ser eliminadas inyectando grasa sellante y las de asiento también pueden ser temporalmente eliminadas o reducidas inyectando grasa con la válvula en posición cerrada. Para eliminar completamente la fuga por asiento se debe desacoplar la válvula de la línea y reemplazar los elementos dañados.

### **19.3.2. Válvula de compuerta**

De la misma manera, las válvulas de compuerta simples requieren simplemente el mantenimiento de los sellos del vástago, aunque las de gran diámetro que se encuentran a alta presión se les inyectan un sellador para los asientos.

Se ha de llevar a cabo un mantenimiento periódico, este consiste en la inspección de fugas en el vástago y en apretar la tuerca superior cuando se requiera. Se ha de mantener aceitado el vástago roscado y limpio de cualquier suciedad o arena.

## **19.4. Mantenimiento de filtros**

Debido a las pequeñas dimensiones de las tuberías instaladas en el proceso, es esencial el mantenimiento frecuente de los filtros, para evitar que se obstruya el paso del flujo, colaborando a un aumento de pérdida de carga.

En este caso, el mantenimiento es de tipo predictivo de manera que se ha de actuar antes de que se obstruya el paso del fluido. Por tanto, se han de mantener limpios los filtros y cada cierto tiempo reemplazarlos por otros.

## **19.5. Mantenimiento de intercambiador de placas**

El mantenimiento del intercambiador es fundamental para garantizar su correcto funcionamiento, ya que residuos sólidos (incrustaciones y depósitos) pueden comprometer la estanqueidad de las juntas, corroer las placas y alterar significativamente las prestaciones térmicas del intercambiador. Es necesario, llevar a cabo una limpieza periódica en un intercambiador de placas esta se puede efectuar con las placas desmontadas limpiándolas mediante chorros de vapor o placas montadas en que se hace circular un agente de limpieza por los canales de flujo del producto. El intercambiador E-201 cuenta con discos ciegos, elementos que facilitan la limpieza de éste.



Por otra parte, las juntas son una parte sujeta al desgaste pero no se puede evaluar la duración de estas ya que depende de las condiciones de trabajo del intercambiador. Por tanto, se pueden llevar a cabo dos tipos de mantenimiento correctivo, cambiando y predictivo, inspeccionando juntas o placas.

Las juntas pueden ser cambiadas con facilidad sin necesidad de desmontar las placas. Una vez realizado el cambio, se ha de eliminar cualquier resto de suciedad tanto sobre la superficie de las juntas como en las zonas de las placas que están en contacto con las juntas. También, mediante una inspección visual de las juntas o platos de intercambio se pueden detectar con claridad desperfectos, deformaciones o ataques por corrosión.

Otras tareas de mantenimiento que se han de realizar regularmente son mantener limpia y engrasada la barra sustentadora y la barra guía; y mantener limpios y engrasados los pernos tensores.

### **19.6. Mantenimiento de caldera**

El descuido del mantenimiento por el lado del agua trae como consecuencia la formación de picaduras, corrosión, incrustaciones y acumulación de lodos. Es importante el tratamiento de agua con procedimiento adecuado de purgas para conservar las superficies de la caldera libres de incrustaciones y así prolongar la vida de ésta.

#### **19.6.1. Picaduras y corrosión**

En el caso de que suceda esta problemática, se ha de hacer una inspección visual una vez al año, vaciando la unidad. Sobre todo se han de revisar las partes más calientes para observar cualquier desperfecto como deformaciones o erosiones en la superficie metálica. Si se percibe cualquier problema, se requerirá una inmediata comprobación y revisión y si fuera imprescindible una buena reparación.

#### **19.6.2. Incrustaciones**

La formación de incrustaciones actúa como un aislante térmico que puede traducirse en un sobrecalentamiento de los tubos, esta situación puede causar múltiples problemas así como fugas en los tubos, agrietamientos y otros problemas de recipientes a presión.

Para evitar esto, se recomienda hacer una revisión visual del lado del agua, emplear un pequeño martillo para obtener muestras de las incrustaciones y así valorarlas. La formación de incrustaciones dentro de la caldera es más frecuente aunque es un motivo preocupante pero de solución inmediata.

#### **19.6.3. Acumulación de lodos**

Algunas veces, el tratamiento químico da por resultado la acumulación de lodo y sedimentos localizados en el fondo de la caldera, por tanto, se ha de hacer una inspección visual para prevenir su formación.

En caso de que esto suceda, se ha de usar una manguera de agua a presión para lavar las acumulaciones formadas.

En lo que se refiere del lado de fuego, se ha de llevar a cabo revisiones periódicas para el cuidado de las superficies externas al fuego, con esto se podría evitar la corrosión. Además, se han de hacer limpiezas para eliminar el hollín, el cual interviene en la disminución de la transferencia de calor y la eficacia de la caldera. Los periodos de limpieza de los tubos varían



de acuerdo con el combustible y el tipo de quemador, aunque se recomienda una limpieza por año.

Al mismo tiempo que se revisa el lado del agua se revisa el lado del fuego, como mínimo una vez por año, así que a continuación se citan los pasos para un mantenimiento anual de la caldera de vapor.

1. Limpiar la parte exterior de la caldera.
2. Preparar la superficie para pintar donde sea necesario.
3. Buscar las válvulas defectuosas y de ser necesario sustituirlas.
4. Inspeccionar y ajustar el manómetro principal.
5. Revisar y ajustar las válvulas de seguridad.
6. Limpiar internamente el tanque de condensados y de combustible.
7. Limpiar internamente y reemplazar los electrodos si es necesario.



---

# MANUALES DE OPERACIÓN

---



## **20. MANUAL DE OPERACIÓN**

Con el fin de conseguir un funcionamiento eficiente de la instalación, evitar posibles problemas en el proceso y preservar la seguridad de los operarios, se ha realizado el manual de operación de la instalación.

### **20.1. Comprobaciones previas y primera puesta en marcha**

Para poner en marcha la planta por primera vez es necesario comprobar que cada uno de los equipos implicados está en condiciones de operar. Con el fin de asegurar el buen funcionamiento de la instalación la primera puesta en marcha se dividirá en dos zonas, la zona 1 será la mostrada en el P&ID 100 y la zona 2 mostrada en el P&ID 200 y P&ID 300. El primer paso a realizar para ambas zonas es la comprobación de los equipos de instrumentación, una vez se haya realizado se procederá al lavado de cada uno de ellos, por último, se realizarán las pruebas de funcionamiento pertinentes. Es muy importante asegurar que los equipos de instrumentación están correctamente instalados y las válvulas de seguridad funcionan de forma adecuada ya que éstas son las que evitarán los posibles accidentes en caso de que la primera puesta en marcha no se realice correctamente.

En la zona 1 se transporta y almacena la mezcla de acetatos hasta su utilización en la caldera de vapor. Es muy importante que esta zona se ponga en marcha de forma rápida ya que la producción de la planta de acetato de vinilo monómero anexa depende de ello. El subproducto a tratar viene del fondo de la columna de destilación de la planta anexa, es necesario que el flujo que sale de la columna no sea interrumpido ya que por lo contrario podría causar problemas de inundación de la columna y por consiguiente, problemas en la producción.

La zona 2 es muy importante de cara a la seguridad del proceso ya que es donde se encuentra la caldera de vapor. La mezcla de acetatos almacenada en la zona 1 es bombeada por el sistema de bombeo B-201 A, en el caso de fallo de esta por B-201 B, hasta el intercambiador de calor E-201. Es importante asegurar que estos equipos están en perfecto estado y que la mezcla llega a la caldera H-301 a las condiciones adecuadas para evitar posibles problemas.

### **20.2. Funcionamiento de la planta**

Durante el funcionamiento normal de la instalación, es necesario que la zona 1 este en continuo funcionamiento para evitar problemas en la producción de acetato de vinilo monómero de la planta anexa. Además, en la zona 2 se tiene que asegurar que los ratios de entrada a la caldera de vapor son los adecuados en todo momento y que el nivel de agua es el correcto, ya que lo contrario podría causar graves accidentes.

#### **20.2.1. Puesta en marcha normal**

La puesta en marcha normal de la planta empieza por acondicionar el tanque de almacenaje T-101. A continuación se asegura que los equipos de instrumentación y las válvulas de seguridad funcionan correctamente. Seguidamente se activa el sistema de bombeo, B-101 A/B asegurando siempre que el fluido este en la alimentación de la bomba antes de que empiece a funcionar, en caso contrario se tendrían problemas de cavitación y posible rotura del equipo.



Una vez el fluido llega al tanque de almacenaje T-101 se deja acumular y se procede a la preparación de la zona 2. Esta zona es de gran importancia y por ello requiere una supervisión exhaustiva de cada uno de los instrumentos de control. Antes de poner en marcha los equipos que aparecen en el P&ID 300, correspondientes a la alimentación de la mezcla de acetatos a la caldera, es necesario asegurar que esta está en perfecto estado para su funcionamiento. Inicialmente se verifican las válvulas abiertas y las válvulas cerradas de la caldera con el fin de asegurar que el fluido se moverá en la dirección adecuada en todo momento.

- Válvulas cerradas: Purga del fondo de la caldera, purga de la columna de agua, alimentación del inyector, entrada de vapor al inyector, entrada de agua desde el tanque elevado y de la red.
- Válvulas abiertas: Purga alta de la columna de agua, entrada de agua a tanque de alimentación de la caldera y entrada de agua a la caldera a través de la bomba de alimentación.

El primer paso a realizar una vez se revisa lo mencionado con anterioridad es alimentar agua al sistema y asegurar que el nivel de agua y la temperatura en el tanque son los adecuados. Seguidamente, se alimenta el combustible, únicamente el gas natural, y se asegura que su nivel es el correcto. A continuación, se enciende el interruptor principal de energía, al activarlo se alimentará el panel de control, lo cual permitirá controlar las variables del sistema. Es necesario asegurar que los ratios de alimentación de la caldera son los adecuados ya que pequeñas desviaciones podrían causar graves problemas. Es importante que la caldera se arranque lentamente para que las piezas se templen gradualmente. Se dejará 10 minutos en funcionamiento con bajo caudal y luego se para 3 minutos, así sucesivamente hasta estabilizar a la presión que indique el fabricante. Una vez llegado a ese punto, se purga la caldera y se deja en funcionamiento hasta obtener su presión de trabajo. Por último, se pone la caldera a fuego alto y se empieza a alimentar la mezcla de acetatos como combustible complementario. Para alimentar la mezcla de acetatos inicialmente se abren las válvulas de salida del tanque, es importante encender la bomba B-201 A/B cuando ya haya acetatos en la alimentación de esta. A continuación, se deja pasar el fluido por las tuberías hasta llegar al intercambiador E-201, una vez el fluido llega al intercambiador ya se puede abrir el suministro de vapor que calentará la mezcla de acetatos. Seguidamente el fluido se alimentará a la caldera a las condiciones de operación pertinentes.

### 20.2.2. Funcionamiento en estado estacionario

Durante el funcionamiento de la instalación en estado estacionario la mezcla de acetatos procedente de la columna de destilación se bombea mediante la bomba B-101 A/B hasta el tanque de almacenamiento donde se estabiliza el caudal a 100 kg/h. La mezcla sale del tanque y se aumenta su presión de 3 a 4 barg mediante la bomba B-201 A/B y pasa al intercambiador de calor E-201 donde se aumenta su temperatura de 40 a 123°C. El agua, el aire y el gas natural se alimentan a la caldera a las condiciones que los suministran las empresas correspondientes; el control, seguridad y el manteniendo de éstos vienen también a cargo de las empresas suministradoras. La caldera funciona con el caudal de gas natural de 340 kg/h a una presión de trabajo de 4 barg. Esta produce vapor a 19 barg y a 222,4°C, este se envía al cliente y vuelve al proceso en forma de condensado a 128,6°C. En caso de que el vapor no esté a las condiciones especificadas por el cliente, este se desviará nuevamente hacia la caldera con el fin de conseguir los requisitos solicitados.



### **20.3. Parada de planta**

A pesar de que el funcionamiento de la instalación está pensado para que opere de forma continua durante todo el año, es necesario realizar una serie de paradas para el mantenimiento de los equipos, además de posibles paradas inesperadas que pueden surgir por diferentes situaciones durante la operación de la instalación.

#### **20.3.1. Parada normal**

Cada año se realizan dos paradas con el fin de mantener la instalación en perfecto estado. En el Apartado 19 se muestran las diferentes actividades que se realizan durante el mantenimiento de la instalación. En caso de parada normal la zona de prioridad será la zona 2, donde se sitúa la caldera de vapor.

Inicialmente, parará la combustión en el quemador para ello se cerrará el aporte de aire y gas natural de forma simultánea. Seguidamente, se parará el suministro de la mezcla de acetatos a la caldera. Para cerrar el aporte de acetatos sin tener problemas en los equipos implicados es necesario inicialmente parar el aporte de vapor al intercambiador E-201, cuando el aporte de vapor se haya cerrado se podrá parar la bomba B-201 A/B. Una vez se han realizado estas tareas, ya se puede cerrar el suministro de acetatos en la zona 2 sin que surjan problemas de cavitación en la bomba ni problemas de incendio o explosión en el intercambiador. Cuando la temperatura del quemador lo permita se cerrará el suministro de agua y se apagará por completo la caldera.

Una vez la zona 2 esté completamente parada se procede a parar a zona 1. Ésta no presenta tantos problemas de seguridad, ya que el tanque está diseñado para que en caso de mayor producción pueda almacenar el subproducto sin riesgos añadidos. Para proceder a la parada de esta zona es importante apagar antes que nada la bomba B-101 A/B, ya que si se para el aporte de acetatos con esta en funcionamiento podría sufrir problemas de cavitación. Una vez la bomba esté apagada se procede a dar el permiso de apagado a la planta anexa, este proceso se tienen que realizar de forma rápida para no generar problemas en la columna de destilación de la planta anexa. El subproducto permanecerá almacenado en el tanque mientras se realizan las tareas necesarias y hasta la siguiente puesta en marcha.

#### **20.3.2. Paradas de emergencia**

El proceso diseñado ha intentado asegurar el funcionamiento continuo de la instalación, para ello se han implantado diversos sistemas de control, bombas de repuesto, etc. A pesar de ello, durante el funcionamiento normal de la instalación pueden surgir diferentes episodios que obliguen a realizar paradas de emergencia:

- Fallo de subministro eléctrico.
- Fallo en el aire de instrumentos.
- Fallo en el suministro de combustible.
- Otros tipos de emergencias específicas.

Independientemente del tipo de suceso que ocurra, siempre se priorizará la seguridad de la caldera de vapor, ya que es uno de los equipos que puede causar mayores problemas de seguridad. Además, se intentará seguir la jerarquía mencionada en el Apartado 20.3.1 de parada normal de la planta, con el fin de asegurar la prevención de cada uno de los equipos de la planta y la seguridad de los operarios implicados.



---

# ESTUDIO ECONÓMICO

---



## **21. ESTUDIO ECONÓMICO**

Una parte importante que decide si se ejecuta finalmente un proyecto de inversión es el estudio de viabilidad económica. Las estimaciones de costes de capital se pueden realizar con diferentes grados de definición, en este caso el alcance es un estudio preliminar. Para realizar este tipo de estimaciones es necesario haber realizado el diseño y dimensionamiento de los equipos y accesorios principales presentes en las partes nuevas de la instalación. En este estudio también se tienen en cuenta los servicios externos, *utilities*, necesarios para acondicionar el corriente de acetatos. Los resultados de este análisis se estima que tendrán un error en el cálculo de hasta el 40%.

### **21.1. Estimación de los costes de capital fijo**

Como se ha dicho anteriormente, para realizar este análisis es necesario conocer el coste de los equipos a instalar para el aprovechamiento del corriente de acetatos en la caldera.

El coste de compra de los equipos se ha adquirido mediante catálogos y contactos directos con los proveedores, Tabla 21.1, excepto el coste del tanque, Tabla 21.2, que se ha obtenido a partir de una correlación del listado de precios de equipos en el periodo de mayo a setiembre de 2001 proporcionado por *Richardson Engineerig Services, Inc*. Este coste depende de la capacidad del tanque, además, se han de tener en cuenta los costes indirectos, como los de construcción que dependen del material y de las condiciones de presión de operación del equipo. Para éstas, se ha supuesto que el material es acero al carbono a presión atmosférica y así encontrar el coste base de cada equipo ( $C_{BM}^{CS}$ ).

El coste de compra del tanque no tiene en cuenta las condiciones de trabajo, es por eso que se busca el factor de material ( $F_M$ ) del equipo así como el factor de presión ( $F_P$ ) que junto con el factor de base conforman el factor real ( $F_{BM}^a$ ). Con este último y el coste del equipo obtenido inicialmente, se obtiene el coste real de los equipos ( $C_{BM}^a$ ), el cual tiene en cuenta el número de unidades existentes.

Para estimar el coste total de los equipos y en definitiva los costes fijos, se ha de tener en cuenta las posibles contingencias y otras cuotas, estas se consideran respectivamente un 15% y un 3% del coste real de los equipos. Los correspondientes cálculos realizados se detallan en el Anexo I.

Como únicamente se tienen que realizar modificaciones/ampliaciones a un proceso con *site* ya existente, no se tendrán en cuenta los costes de explotación del terreno. Por tanto, el capital fijo a invertir (FCI) asciende a 216.000 €.

Tabla 21.1. Costes de compra en el año 2015 obtenidos mediante catálogo.<sup>18</sup>

| Identificación de los equipos | Unidades | Coste unidad (\$) | Coste total (\$) |
|-------------------------------|----------|-------------------|------------------|
| Bombas                        | 4        | 5.440             | 21.800           |
| Intercambiador placas         | 1        | 607               | 607              |
| Tuberías                      | 1        | 4.190             | 4.190            |
| PVRV y ERV                    | 2        | 206               | 413              |
| Filtros 1/2"                  | 2        | 0,220             | 0,440            |
| Filtros 3/8"                  | 2        | 0,0600            | 0,120            |
| Purgas 1/8"                   | 17       | 21,0              | 357              |
| Purgas 1/4"                   | 16       | 44,3              | 709              |
| Purgas 3 1/2"                 | 3        | 66,7              | 200              |
| Válvula compuerta 1/2"        | 14       | 57,2              | 801              |
| Válvula compuerta 3/8"        | 12       | 45,4              | 545              |
| Válvula compuerta 2 1/2"      | 2        | 286               | 571              |
| Válvula compuerta 1/8"        | 1        | 34,5              | 34,5             |
| Válvula compuerta 1 1/4"      | 1        | 175               | 175              |

<sup>18</sup> Baumann. (2015). *Fisher valve for small and low flow control valve spot*. Recuperado de <http://www.cart100.com/Product/40987502504/>

Zauba (2015). *Import Data and Price of concast under HS Code 72071990*. Recuperado de <https://www.zauba.com/import-concast/hs-code-72071990-hs-code.html>

Cole-Parmer (2015). *Krohne Optimass Coriolis mass Meter 3 220V* Recuperado de [http://www.coleparmer.com/Product/Krohne\\_Optimass\\_Coriolis\\_mass\\_Meter\\_3\\_220V/EW-33169-38](http://www.coleparmer.com/Product/Krohne_Optimass_Coriolis_mass_Meter_3_220V/EW-33169-38)

CYPE Ingenieros (2015). *Precio en España de Ud de Válvula de llenado automático*. Recuperado de [http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Instalaciones/IC\\_Calefaccion\\_\\_climatizacion\\_y\\_A/Sistemas\\_de\\_conduccion\\_de\\_agua/Valvula\\_de\\_llenado\\_automatico.html](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Instalaciones/IC_Calefaccion__climatizacion_y_A/Sistemas_de_conduccion_de_agua/Valvula_de_llenado_automatico.html)

Rosemount (2015). *3144 P Temperature Transmitter* Recuperado de <https://www.instrumart.com/products/25125/Rosemount-3144p-temperature-transmitter>

Rosemount (2015). *Guided Wave Radar for level and interface with NPT connection and Modbus communication* Recuperado de <http://store.Rosemount.com/p/2075/Rosemount-5300-guided-wave-radar-for-level-and-interface-with-npt-connection-and-modbus-communication>

Thisa (2015). *Productos Thisa* Recuperado de <http://www.thisa.es/productos/index.cfm?nuar1=1&nuar2=6&nuar3=5&contenido>



Tabla 21.1. Tabla resumen con los costes de compra en el año 2015 obtenidos mediante catálogo (Parte II).

| Identificación de los equipos | Unidades | Coste unidad (\$) | Coste total (\$) |
|-------------------------------|----------|-------------------|------------------|
| Válvula compuerta 1/4"        | 3        | 45,4              | 136              |
| Válvula compuerta 3 1/2"      | 1        | 207               | 207              |
| Válvula compuerta 5"          | 3        | 369               | 1.110            |
| <i>Check valves</i> 1/2"      | 2        | 20,7              | 41,4             |
| <i>Check valves</i> 3/8"      | 2        | 24,7              | 49,4             |
| Válvulas controladoras        | 4        | 1.230             | 4.910            |
| Válvulas automáticas          | 3        | 40,1              | 120              |
| Transmisores de presión       | 5        | 2.770             | 13.800           |
| Transmisores de temperatura   | 2        | 1.26              | 2.520            |
| Transmisores de flujo         | 3        | 17.900            | 53.900           |
| Transmisores de nivel         | 1        | 5.040             | 5.040            |
| PSV bombas dosificadoras      | 4        | 166               | 662              |
| PSV intercambiador placas     | 1        | 166               | 166              |

Tabla 21.2. Costes de compra del tanque obtenido mediante la correlación.

| Identificación del equipo                          | Valor  |
|--|--------|
| Coste de compra del equipo, $C_p^{cs}$ (\$)        | 12.700 |
| Factor base <i>Bare Module</i> , $F_{BM}^{cs}$     | 4,07   |
| Coste base <i>Bare Module</i> , $C_{BM}^{cs}$ (\$) | 51.700 |
| Factor material, $F_M$                             | 1      |
| Factor de presión, $F_p$                           | 1,37   |
| Factor real <i>Bare Module</i> , $F_{BM}^a$        | 4,75   |
| Coste real <i>Bare Module</i> , $C_{BM}^a$ (\$)    | 86.300 |

## 21.2. Estimación de los costes de producción

Para estimar los costes relacionados directamente con la producción diaria de la planta es necesario conocer la información del proceso reflejada en el PFD del Apartado 9.2. A partir de éstos, se evalúan los costes variables que dependen directamente del nivel de producción de la caldera, los costes fijos y los gastos generales, estos últimos no tienen por qué variar necesariamente con el nivel de producción. Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo I. A partir de éstos, se estima que el coste de producción anual cuando la caldera opera a su máxima capacidad es de 1,97MM€/año, se ha calculado también el coste operacional que tiene la planta cuando el corriente de acetatos se gestiona de forma externa el cual asciende a 2,31MM€/año, con lo cual se puede apreciar que realmente la alternativa seleccionada conlleva un ahorro importante para la empresa. Estos valores se calculan y se desglosan en los siguientes apartados.

### 21.2.1. Costes variables

Los factores que contribuyen a los costes variables incluyen los precios de la materia prima (definidos por el mercado del gas natural) y el consumo de servicios externos, todos ellos reflejados en la Tabla 21.3. Los precios de los servicios se encuentran en la Tabla 6.1 del apartado de bases de ingeniería.

Tabla 21.3. Corrientes para alcanzar el nivel máximo de producción.

| <i>Utilities</i> | Cantidad(kg/h) | Cantidad(m <sup>3</sup> /h) | Potencia (kW) | Coste total(€/año) |
|------------------|----------------|-----------------------------|---------------|--------------------|
| Gas natural      | 345            | -                           | -             | 1.420.000          |
| Vapor            | 260            | -                           | -             | 64.500             |
| Nitrógeno        | -              | 12,5                        | -             | 71.200             |
| Electricidad     | -              | -                           | 480           | 320                |

A partir de los ítems nombrados anteriormente se calcula el coste de producción ( $C_{OM}$ ), calculado en el Anexo I, con un valor de 1,97MM€/año. Comparado con el  $C_{OM}$  que se tiene actualmente en la planta con la gestión externa, la elección de esta alternativa representa un ahorro el  $C_{OM}$  de 336 M€/año.

Otros costes que también dependen directamente de la operación diaria de la caldera son: los supervisores, mantenimiento, suministros de material de trabajo, requerimientos de laboratorio y el coste de la utilización de patentes y licencias tecnológicas. Estos se desglosan en la Tabla 21.4.

Tabla 21.4. Costes variables relacionados con el nivel de producción de la planta.

| Costes variables de fabricación | Coste total (€/año) |
|---------------------------------|---------------------|
| Cut ( <i>utilities</i> )        | 1.560.000           |
| 1-Gas Natural                   | 1.420.000           |
| 2-Vapor                         | 64.500              |
| 3-Nitrógeno                     | 71.200              |
| 4-Electricidad                  | 320                 |
| Mantenimiento                   | 13.000              |
| Abastimimiento                  | 1.950               |
| Patentes                        | 5.920               |
| <b>TOTAL COSTE VARIABLE</b>     | <b>1.570.000</b>    |

### 21.2.2. Costes fijos

Los costes fijos no dependen del nivel de producción de la caldera. Dentro de éstos, se tiene en cuenta la depreciación, las tasas locales debidas a la localización de la planta y otros costes relacionados con los servicios con los que cuenta la planta (bomberos, cafetería, servicios médicos, etc.). Este conjunto de gastos se encuentra en la Tabla 21.5.

Tabla 21.5. Costes fijos considerados por la empresa *Technici*.

| Costes fijos de fabricación | Coste total (€/año) |
|-----------------------------|---------------------|
| Depreciación                | 21.600              |
| Tasas locales y seguros     | 6.920               |
| Gastos generales            | 7.790               |
| <b>TOTAL COSTES FIJOS</b>   | <b>36.300</b>       |

### 21.2.3. Costes generales

Finalmente, dentro de los costes de producción se han de tener en cuenta los costes procedentes de la administración, distribución y venta del producto. Además, se consideran las posibles tareas de investigación y desarrollo industrial del producto y/o equipos de la planta. Estos costes se pueden observar en la Tabla 21.6.



Tabla 21.6. Costes generales derivados de los diferentes costes y servicios de la planta.

| Costes generales              | Coste total (€/año) |
|-------------------------------|---------------------|
| Costes administrativos        | 1.950               |
| Investigación                 | 9.860               |
| <b>TOTAL COSTES GENERALES</b> | <b>11.800</b>       |

### 21.3. Evaluación económica

Una vez se conoce el valor de la inversión necesaria y los costes de producción, se procede a evaluar la viabilidad económica de la modificación, que influirá en la decisión de los inversores y, por tanto, realizar un informe definitivo con más detalle y precisión. Para hacerlo, se utiliza el método financiero del VAN. Se predice que el valor del VAN será de entrada negativo y que por tanto, si se tratase de un proyecto de inversión normal no se aconsejaría realizar la inversión. Pero hay que tener en cuenta que la gestión de residuos está exigida por los organismos legales y que el objetivo de esta evaluación económica es determinar cuál de las alternativas tiene un valor del VAN menos desfavorable para los intereses económicos de la empresa.

Para obtener los flujos de caja se supone que el proyecto tendrá una vida útil de 10 años después de haber sido construido en un año. También se ha tenido en cuenta que al final de su vida útil, los equipos tienen un valor residual nulo y que estos se amortizan de forma lineal en el tiempo. Las tasas impositivas que afectan al balance económico son del 30%, aunque no aplican para flujos de caja negativos.

Para ejecutar el método financiero se considera que el coste de oportunidad, dado por los departamentos financieros de *Dow Chemical Ibérica*, siendo del 13%.

#### 21.3.1. Flujos de caja

Anteriormente se han definido las condiciones que aplican en los flujos de caja del proyecto. Se ha considerado que la inversión inicial se realiza en un año donde liquida la inversión de los costes fijos de los equipos (FCI) además del capital de trabajo que representa un gasto de 37.900€. Hay que tener en cuenta que gestionando el corriente de acetatos externamente no se precisa ningún tipo de inversión inicial ya que no habría que realizar ninguna modificación.

En parte del proceso estudiado, los ingresos proceden de la venta del vapor a la empresa anexa a la planta. Este factor no es un factor diferenciador entre las alternativas estudiadas ya que la cantidad de vapor vendido es el mismo para todas ellas.

Una vez el proyecto ha cesado su actividad, la inversión en capital de trabajo se retorna pero considerando el valor actual del dinero en ese momento.

La Figura 21.1 representa el diagrama de flujos de caja utilizados en la evaluación, y en la Tabla 21.7 se muestran los flujos de cada año del proyecto. Éstos siguen la explicación que se muestra a continuación.

#### 21.3.2. Análisis financiero

Para llevar a cabo el análisis de viabilidad del proyecto se utiliza el método VAN. Que permitirá saber a los inversores el ahorro que puede proporcionar este proyecto una vez ha pasado el tiempo útil del proyecto.



Los resultados obtenidos al realizar los flujos de caja, con las consideraciones explicadas anteriormente, son de un VAN negativo de 3.390.000 €. El negativo VAN a 10 años que actualmente presenta la planta gestionando la corriente de acetatos externamente es de -4.610.000€, por lo que se corrobora la estimación realizada en el estudio de alternativas siendo la diferencia entre ambas alternativas de 1.220.000 € en favor de la gestión interna como subproducto. Por lo tanto, se concluye que la modificación será factible y supondrá un ahorro para la empresa.

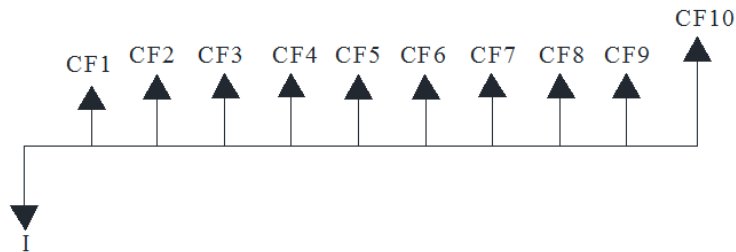


Figura 21.1. Diagrama de flujos de caja del proyecto. La inversión inicial (I) representa los costes fijos de los equipos (FCI) y el capital de trabajo, los flujos de caja son los calculados en la Tabla 21.7 y el último flujo incluye la recuperación del capital de trabajo.

Tabla 21.7. Flujos de caja para el proyecto con una vida útil de 10 años y un coste de oportunidad del 13%.

| Años             | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Ingresos (MM€)   | 1,07     | 1,34     | 1,34     | 1,34     | 1,34     | 1,34     | 1,34     | 1,34     | 1,34     | 1,34     |
| Gastos (MM€)     | 1,31     | 1,98     | 1,98     | 1,98     | 1,98     | 1,98     | 1,98     | 1,98     | 1,98     | 1,98     |
| Amortización (€) | 21.600   | 21.600   | 21.600   | 21.600   | 21.600   | 21.600   | 21.600   | 21.600   | 21.600   | 21.600   |
| BAI (€)          | -261.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 |
| Impuestos (€)    | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        |
| BDI (€)          | -261.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 | -668.000 |
| BDI + Amort. (€) | -240.000 | -646.000 | -646.000 | -646.000 | -646.000 | -646.000 | -646.000 | -646.000 | -646.000 | -646.000 |



#### 21.4. Estudio de la variabilidad en el mercado

Para completar el estudio económico y poder predecir qué pasaría si hubiese algún cambio en estudio principal, se estudian 4 situaciones diferentes.

- Aumento del coste de la inversión inicial (FCI) en un 10%.
- Aumento del coste del gas natural en un 10%.
- Aumento del precio de venta en un 5%.
- Disminución en el precio de venta en un 5%.

En la Figura 21.2, se representa el *Cash Flow* acumulado de las hipótesis anteriormente citadas juntamente con el caso principal de estudio, puntualizar que el *Cash Flow* utilizado es la diferencia entre las alternativas estudiadas para obtener así una visión real del impacto que tiene llevar a cabo la modificación. Como se puede observar y como se ha concluido en el apartado anterior el impacto es positivo en todos los casos.

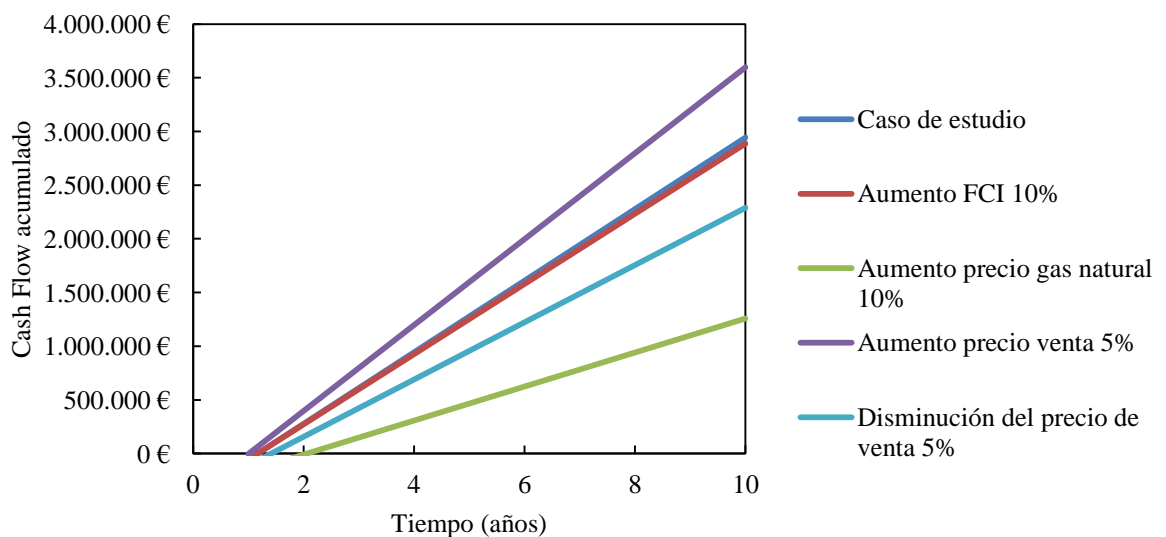


Figura 21.2. Comparación del *Cash Flow* acumulado en los diferentes escenarios propuestos.

---

# BIBLIOGRAFÍA

---



## **22. BIBLIOGRAFÍA**

### **22.1. Libros**

Green, W., Perry, H. (2007). *Perry Chemical Engineers Handbook*, 8ª ed. Estados Unidos de América: Editorial McGraw-Hill.

Incropera, F.P. y De Witt, D.P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*, 4ª ed. México: Editorial Pearson.

Mott, R.L. (2006). *Mecánica de fluidos*, 6ª ed. Editorial, Pearson. Estados Unidos de América: Editorial Pearson.

Turton, R. et al (2009). *Analysis, synthesis and Design of Chemical Processes*, 3ª ed. Estados Unidos de América: Editorial Prentice Hall.

### **22.2. Páginas web**

Comisión Nacional de Energía. (2014). *El gas natural*. España. Recuperado de [http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/informe\\_sectores/1999/gas/chap2](http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/informe_sectores/1999/gas/chap2)

Curso de operación de calderas de vapor. *Manual de operación de calderas de vapor*. Recuperado de <http://manualesydiagramas.blogspot.com.es/2014/03/proximamente.html>

FECM. (2013). *Guía Básica Calderas Industriales*. Madrid, España. Recuperado de <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>

Vinyl Acetate Council. (2010). *Guía para el manejo seguro del acetato de vinilo*. Wahington. Recuperado de <http://www.lyondellbasell.com/techlit/techlit/3295-Spanish.pdf>

Ygnis. (2008). *Manual de instalación y mantenimiento de calderas de vapor*. Barcelona. Recuperado de <http://www.ygnis.es/documents/Manual%20HDR%202014.pdf>



---

# ANEXOS

---



## A. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

A continuación se muestran los cálculos realizados en el estudio de la alternativa más óptima para la gestión del corriente residual.

### Gestión externa como residuo

A partir de los datos mostrados en la Tabla A.1 se han calculado los diferentes valores necesarios para el estudio de la alternativa.

Tabla A.1. Datos necesarios para el cálculo de la alternativa.

| Parámetro                                   | Valor |
|---|-------|
| Caudal anual de residuo (t/año)             | 876   |
| Capacidad por cisterna (t)                  | 17    |
| Coste gestión (€/t)                         | 280   |
| Coste transporte (€/cisterna)               | 470   |
| Distancia total ida y vuelta (km)           | 60    |
| Consumo de gasoil (l/km)                    | 0,23  |
| Factor de emisión de CO <sub>2</sub> (kg/l) | 2,6   |

Inicialmente se ha calculado mediante la Ecuación A.1 el número total de cisternas al año.

$$N^{\circ} \text{ total de cisternas} = \frac{\text{caudal anual}}{\text{capacidad de cisternas}} \quad (\text{A.1})$$

A continuación se ha calculado el coste anual de la gestión (Ecuación A.2) y del transporte (Ecuación A.3) que supone gestionar el corriente residual en una planta de incineración de residuos.

$$\text{Coste anual de la gestión} = \text{coste gestión} \cdot \text{caudal anual} \quad (\text{A.2})$$

$$\text{Coste anual del transporte} = \text{coste transporte} \cdot \text{caudal anual} \quad (\text{A.3})$$

Seguidamente se ha calculado el consumo de combustible por viaje en litros (Ecuación A.4), las emisiones de CO<sub>2</sub> en kg (Ecuación A.5) y las emisiones anuales de CO<sub>2</sub>.

$$\text{Consumo de combustible por viaje} = \text{distancia total} \cdot \text{consumo de gasoil} \quad (\text{A.4})$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ por viaje} = \text{consumo de combustible} \cdot \text{factor de emisión} \quad (\text{A.5})$$

$$\text{Emisiones anuales de CO}_2 = \text{Emisiones de CO}_2 \cdot N^{\circ} \text{ total de cisternas} \quad (\text{A.6})$$

Con el fin de conocer las emisiones totales que supone esta alternativa se han utilizado los valores de la Tabla A.2.

Tabla A.2. Relación entre las emisiones y el consumo de combustible.

| Compuesto       | Datos (g/l) |
|-----------------|-------------|
| NO <sub>x</sub> | 2,16        |
| SO <sub>x</sub> | 0,24        |
| CO              | 0,60        |
| Partículas      | 0,05        |

A partir de estos valores y de forma análoga a la de la relación de la Ecuación A.7 se calculan las emisiones para cada uno de los compuestos.

$$\text{Emisiones de NO}_x = 2,16 \cdot \text{Consumo de combustible} \cdot N^{\circ} \text{ de total de cisternas} \quad (\text{A.7})$$



### **Gestión interna**

Inicialmente se ha calculado el precio del combustible, en euros por toneladas, y el coste de combustible anual en euros, necesario para cubrir el requerimiento término de la caldera. Se han utilizado los datos obtenidos en el Apartado 10.1, balance de energía.

En la Tabla A.3 se muestran los datos utilizados para el cálculo del coste del gas natural cuando la caldera funciona sin aportación del corriente residual.

Tabla A.3. Datos correspondientes al cálculo del coste de combustible.

| Parámetro                    | Valor |
|------------------------------|-------|
| Precio (€/kWh)               | 0,035 |
| PCI (GJ/t)                   | 48,28 |
| Caudal de gas natural (kg/h) | 391   |

$$\text{Precio del combustible por tonelada} = \text{Precio} / \frac{3600}{(1000 \cdot \text{PCI})} \quad (\text{A.8})$$

$$\text{Coste anual del combustible} = \text{Caudal de gas natural} \cdot \text{precio del combustible} \quad (\text{A.9})$$

### **Gestión interna como residuo**

Para esta alternativa se calcula el coste de combustible mediante las Ecuaciones A.8 y A.9, teniendo en cuenta tal y como refleja el balance de energía de Aparatado 10.1 que el caudal de combustible para esta alternativa es 460 kg/h.

Para el cálculo de los límites de emisión para coincineración se ha realizado el procedimiento que se explica en el Real Decreto 815/2013, del 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

Con la Ecuación A.10 se calcula el valor de cada límite de emisión para coincineración con las características de nuestro proceso.

$$V_{LE\text{actual}} = \frac{V_{LE\text{res}} \cdot Q_{\text{res}} + V_{LE\text{comb}} \cdot Q_{\text{comb}}}{Q_{\text{total}}} \quad (\text{A.10})$$

Donde  $V_{LE\text{res}}$  es el valor límite de emisión del Real Decreto nombrado anteriormente,  $Q_{\text{res}}$  la potencia térmica que aporta el residuo,  $V_{LE\text{comb}}$  el valor del límite de emisión Decreto 319/1998, del 15 de diciembre, sobre límites de emisión para instalaciones industriales de combustión de potencia térmica inferior a 50MWt e instalaciones de cogeneración. Siendo también  $Q_{\text{comb}}$  la potencia térmica que aporta el combustible y  $Q_{\text{total}}$  la suma de ambas potencias.

En la Tabla A.4 se muestran los valores de emisión de cada uno de los decretos utilizados para el cálculo de los límites de emisión para el proceso.

Tabla A.4. Límites de emisión de cada uno de los decretos.

| Contaminante   | $V_{LE\text{res}}$ | $V_{LE\text{comb}}$ |
|--|--------------------|---------------------|
| Partículas totales   | 10                 | -                   |
| Sustancias orgánicas en estado gaseoso (expresadas en COT) | 10                 | 20                  |
| Cloruro de hidrógeno (HCl)                                 | 10                 | -                   |
| Fluoruro de hidrógeno (HF)                                 | 1                  | -                   |
| Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )                       | 5                  | 300                 |

Tabla A.4. Límites de emisión de cada uno de los decretos (Parte II).

| Contaminante   | $V_{LEres}$ | $V_{LEcomb}$ |
|--|-------------|--------------|
| Óxidos de nitrógeno (expresados como NO <sub>2</sub> ) | 400         | 450          |
| Monóxido de carbono (CO)                               | -           | 100          |

### Gestión interna como subproducto

De igual forma que en la alternativa anterior, para esta alternativa se calcula mediante las Ecuaciones A.8 y A.9 el coste de combustible, teniendo en cuenta tal y como poner en el balance de energía Aparatado 10.1 que el caudal de combustible para esta alternativa es 345 kg/h.

## B. BALANCE DE ENERGÍA<sup>19</sup>

Para el cálculo de las capacidades caloríficas a la temperatura deseada se utiliza la ecuación de *Shomate*. A continuación se muestra la Tabla B.1 con los valores de las constantes de dicha ecuación.

Tabla B.1. Valores de las constantes de la ecuación de *Shomate*.

| Compuestos                    | A         | B         | C         | D         | E         |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CH <sub>4</sub>               | -0,703029 | 108,4773  | -42,52157 | 5,862788  | 0,678565  |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | -6,38788  | 184,4019  | -112,9718 | 28,49593  | 0,31554   |
| CO <sub>2</sub>               | 24,99735  | 55,18696  | -33,69137 | 7,948387  | -0,136638 |
| N <sub>2</sub>                | 28,98641  | 1,853978  | -9,647459 | 16,63537  | 0,000117  |
| O <sub>2</sub>                | 31,32234  | -20,23531 | 57,86644  | -36,50624 | -0,007374 |
| H <sub>2</sub> O              | 30,092    | 6,832514  | 6,793435  | -2,53448  | 0,082139  |

## C. SIMULACIÓN

A continuación se muestra la Tabla C.1 con los datos referentes a la simulación y la Tabla C.2 con el balance de materia, obtenidos mediante el programa *ASPEN Plus*.

Tabla C.1. Resultados de la simulación.

|                   | 1  | 2  | 3     | 4  | 5  |
|-------------------|----|----|-------|----|----|
| Equipo de salida  | B2 | B3 | B4    | B4 | B4 |
| Equipo de entrada | -  | B2 | B3    | -  | -  |
| Fase              | L  | L  | L     | V  | V  |
| Temperatura (°C)  | 40 | 40 | 122,6 | 24 | 12 |
| Presión (bar)     | 4  | 5  | 5     | 4  | 15 |

<sup>19</sup> National Institute of Standards and Technology. (2015). Gaithersburg (Maryland), Estados Unidos <http://webbook.nist.gov/chemistry/>



Tabla C.1. Resultados de la simulación (Parte II).

|                   | 6   | 7B    | 8     | 11    | 12    |
|-------------------|-----|-------|-------|-------|-------|
| Equipo de salida  | B14 | -     | -     | B14   | B8    |
| Equipo de entrada | -   | B8    | B8    | -     | B14   |
| Fase              | L   | V     | V     | L     | L     |
| Temperatura (°C)  | 20  | 440,1 | 222,4 | 128,6 | 126,5 |
| Presión (bar)     | 5   | 5     | 20    | 5     | 5     |

Tabla C.2. Balance de materia en kmol/h.

| Corriente            | 1      | 2      | 3      | 4                     | 5      |
|----------------------|--------|--------|--------|-----------------------|--------|
| Acetato de metilo    | 0,3375 | 0,3375 | 0,3375 | 0                     | 0      |
| Acetato de vinilo    | 0,5808 | 0,5808 | 0,5808 | 0                     | 0      |
| Acetato de etilo     | 0,2837 | 0,2837 | 0,2837 | 0                     | 0      |
| Metano               | 0      | 0      | 0      | 0                     | 20,25  |
| Oxígeno              | 0      | 0      | 0      | 49,31                 | 0      |
| Agua                 | 0      | 0      | 0      | 0                     | 0      |
| Propano              | 0      | 0      | 0      | 0                     | 0,0938 |
| Etileno              | 0      | 0      | 0      | 0                     | 0,5654 |
| Dióxido de carbono   | 0      | 0      | 0      | 0                     | 0      |
| Nitrógeno            | 0      | 0      | 0      | 185,5                 | 0      |
| Flujo total (kmol/h) | 1,202  | 1,202  | 1,202  | 234,8                 | 20,91  |
| Flujo total (kg/h)   | 100,0  | 100,0  | 100,0  | 6775                  | 344,8  |
| Flujo total (l/min)  | 1,863  | 1,863  | 2,265  | 2,416·10 <sup>4</sup> | 532,8  |

Tabla C.2. Balance de materia en kmol/h (Parte II).

| Flujo molar (kmol/h) | 6     | 7B                    | 8                     | 11    | 12    |
|----------------------|-------|-----------------------|-----------------------|-------|-------|
| Acetato de metilo    | 0     | 0                     | 0                     | 0     | 0     |
| Acetato de vinilo    | 0     | 0                     | 0                     | 0     | 0     |
| Acetato de etilo     | 0     | 0                     | 0                     | 0     | 0     |
| Metano               | 0     | 0                     | 0                     | 0     | 0     |
| Oxígeno              | 0     | 1,438                 | 0                     | 0     | 0     |
| Agua                 | 7,211 | 45,89                 | 362,4                 | 355,1 | 362,4 |
| Propano              | 0     | 0                     | 0                     | 0     | 0     |
| Etileno              | 0     | 0                     | 0                     | 0     | 0     |
| Dióxido de carbono   | 0     | 26,13                 | 0                     | 0     | 0     |
| Nitrógeno            | 0     | 185,5                 | 0                     | 0     | 0     |
| Flujo total (kmol/h) | 7,211 | 259,0                 | 362,4                 | 355,1 | 362,4 |
| Flujo total (kg/h)   | 129,9 | 7220                  | 6528                  | 6398  | 6528  |
| Flujo total (l/min)  | 2,243 | 5,113·10 <sup>4</sup> | 1,146·10 <sup>4</sup> | 124,5 | 126,6 |

## D. DISEÑO DE BOMBAS

Con el fin de conocer si las bombas diseñadas presentarán problemas de cavitación se ha calculado el  $NPSH_d$  y el  $NPSH_r$ , Ecuación D.1 y D.2 respectivamente.

$$NPSH_d = \frac{Pa}{\gamma} - Ha - hf - \frac{Pv}{\gamma} \quad (D.1)$$

Donde  $Pa$  es la presión en el nivel de aspiración en pascas,  $\gamma$  el peso específico del líquido en  $N/m^3$ ,  $Ha$  la altura geométrica de aspiración en m.c.l,  $hf$  la pérdida de carga en la



línea de aspiración en m.c.l y  $P_v$  la presión de vapor en líquido a la temperatura de bombeo en pascales.

$$NPSH_r = 0,016 \cdot \frac{L \cdot n \cdot Q_{m\acute{a}x.nom.}}{d^2} \quad (D.2)$$

Donde  $L$  es la longitud de la tubería en la aspiración,  $n$  es la cadencia de dosificación en gpm,  $Q_{m\acute{a}x. nom.}$  es el caudal máximo de la bomba y  $d$  es el diámetro de la tubería.

El  $NPSH_d$  tiene que ser mayor que el  $NPSH_r$  para evitar problemas de cavitación en los equipos.

## **E. HOJAS DE ESPECIFICACIÓN**

A continuación se muestran las hojas de especificación de la bomba seleccionada, tanque de acetatos, material del tanque, intercambiador de placas, válvulas controladoras y válvulas de seguridad.



# Bombas dosificadoras series MAXROY® A, B y D

Caudal hasta 1110 l/h • Presión hasta 28 bar • Dosificación por membrana hidráulica



## Características técnicas

- Caudal hasta:
  - 64 l/h para las MAXROY® D105
  - 410 l/h para las MAXROY® A105
  - 420 l/h para las MAXROY® B105
  - 1100 l/h para las MAXROY® B145
- Presión hasta:
  - 10 bar para las MAXROY® A105 y B145
  - 28 bar para las MAXROY® B105 y D105
- Temperatura máxima del fluido a bombear:
  - +90 °C para dosificador metálico
  - +50 °C para dosificador plástico
- Regulación del caudal nominal del 0 al 100 %, tanto en marcha como parada
- Precisión del caudal regulado: ± 1 %, dentro del campo de regulación del 10 al 100 %
- Válvula de seguridad integrada, tarada en versión normal  
Válvula regulable opcional
- Altura de aspiración máxima: 2 m CE excepto dosificador versión "Líquidos Viscosos"
- Condición de presión de aspiración máxima: 2 bar
- La duración de la membrana puede sobrepasar las 20.000 horas dependiendo del fluido bombeado y de las condiciones de trabajo e instalación
- Sencilla o doble membrana
- Posibilidad de multiplexaje
- Puede ser compatible con la norma API 675
- Versión motor antideflagrante conforme con ATEX CE EX II 2 G/D c T4 (dosificador plástico, consúltenos)

## Características eléctricas de los motores

### Características generales en estándar:

- Alimentación: 230/400 V - trifásico - 50 ó 260/460 V - trifásico - 60 Hz
- Montaje IM V1:
  - brida FF130, eje 14x30 mm para las MAXROY® A105 y D105
  - brida FF165, eje 19x40 ó 24x50 mm para las MAXROY® B105 y B145
- Protección: IP 55, tropicalizado (90 %)
- Aislamiento: clase F
- Temperatura ambiente: -16 °C hasta +40 °C
- Velocidad motor:
  - 1500 rpm para las MAXROY® A105, B145 y D105
  - 1000 ó 1500 rpm para la MAXROY® B105
- Los motores están homologados según estándares internacionales
- Motores especiales o según especificación, se suministran bajo pedido



Bomba dosificadora MAXROY® A - Dosificador plástico

## Opciones

- Acoplamiento flexible (API 675)
- Doble membrana con detección de ruptura
- Regulación automática del caudal: con servomotor electrónico, servomotor antideflagrante, servomotor neumático o variación de frecuencia
- Conexiones por bridas
- Contador de impulsos

## Construcción de los dosificadores

| COMPONENTES          | CONSTRUCCIÓN          |                     |
|----------------------|-----------------------|---------------------|
|                      | PVC <sup>(1)</sup>    | 316L <sup>(2)</sup> |
| Cuerpo dosificador   | PVC                   | 316L                |
| Caja válvulas        | PVC                   | 316L                |
| Asientos             | PE <sup>(3)</sup>     | 316L                |
| Bolas                | Vidrio <sup>(3)</sup> | 316L                |
| Placa contorno       | PVC                   | 316L                |
| Membrana             | PTFE                  | PTFE                |
| Muelle bola descarga | Hastelloy C           | 316L                |
| Juntas               | Viton <sup>(4)</sup>  | PTFE                |

<sup>(1)</sup> La presión está limitada hasta 10 bar y 20 °C (si aumenta la temperatura 5 °C, presión máxima disminuye 1.1 bar). Temperatura máxima de servicio: 50 °C

<sup>(2)</sup> Milton Roy Europe dispone de tabla de intercambiabilidad de acuerdo con estándares nacionales e internacionales (AFNOR, DIN, ASTM, BS, etc.)

<sup>(3)</sup> MAXROY® B145: PVC

<sup>(4)</sup> Otras materias bajo petición

### OTRAS CONSTRUCCIONES DEL DOSIFICADOR

- Versión H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado: dosificador en 316L con guía bolas en 316L, asientos en 904L y bolas en Hastelloy C
- Versión para líquidos viscosos: dosificador en 316L con bolas en 316L y muelle en Hastelloy C
- Versión para líquidos cargados: dosificador en 316L con asientos y bolas en 440C
- Versión para polielectrolitos: dosificador en PVC con asientos y bolas en 316L y muelle en Hastelloy C
- Otras versiones disponibles a petición

## Prestaciones

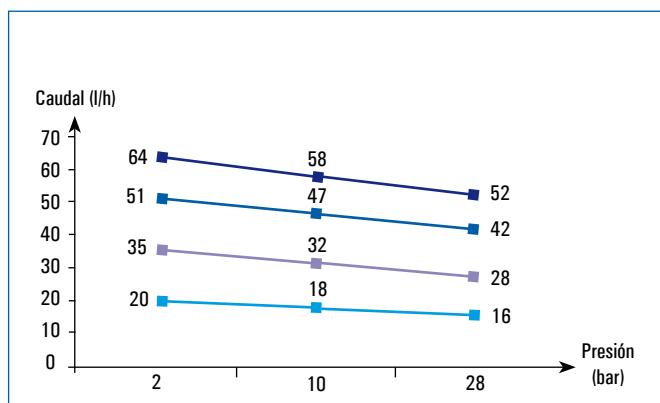
| Tipo         | Dosificador plástico  |                       | Dosificador metálico  |                       | Cadencia (gpm) <sup>(1)</sup> | Reducción | Ø Pistón (mm) | Ø Membrana (mm) | Cilindrada (cm <sup>3</sup> ) <sup>(3)</sup> |
|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------|---------------|-----------------|--|
|              | Caudal a 10 bar (l/h) | Caudal a 28 bar (l/h) | Caudal a 10 bar (l/h) | Caudal a 28 bar (l/h) |                               |           |               |                 |  |
| MAXROY® D105 | 18                    |                       |                       | 16                    | 58                            | 1/25      | 22            | 105             | 7.2  |
|              | 32                    |                       |                       | 28                    | 96                            | 1/15      | 22            | 105             | 7.2  |
|              | 47                    |                       |                       | 42                    | 144                           | 1/10      | 22            | 105             | 7.2  |
|              | 58                    |                       |                       | 52                    | 180 <sup>(2)</sup>            | 1/8       | 22            | 105             | 7.2  |
| MAXROY® B105 | 84                    |                       | 84                    |                       | 36                            | 1/25      | 41.1          | 105             | 38.8   |
|              | 130                   |                       | 130                   |                       | 58                            | 1/25      | 41.1          | 105             | 38.8   |
|              | 209                   |                       | 209                   |                       | 96                            | 1/15      | 41.1          | 105             | 38.8   |
|              | 316                   |                       | 316                   |                       | 144                           | 1/10      | 41.1          | 105             | 38.8   |
|              | 391                   |                       | 391                   |                       | 180 <sup>(2)</sup>            | 1/8       | 41.1          | 105             | 38.8   |
| MAXROY® A105 | 127                   | 127                   |                       |                       | 58                            | 1/25      | 50            | 105             | 38.8   |
|              | 210                   | 210                   |                       |                       | 96                            | 1/15      | 50            | 105             | 38.8   |
|              | 322                   | 322                   |                       |                       | 144                           | 1/10      | 50            | 105             | 38.8   |
|              | 400                   | 400                   |                       |                       | 180 <sup>(2)</sup>            | 1/8       | 50            | 105             | 38.8   |
| MAXROY® B145 | 363                   | 363                   |                       |                       | 58                            | 1/25      | 66.5          | 145             | 118.1  |
|              | 621                   | 621                   |                       |                       | 96                            | 1/15      | 66.5          | 145             | 118.1  |
|              | 860                   | 860                   |                       |                       | 144                           | 1/10      | 66.5          | 145             | 118.1  |
|              | 1051                  | 1051                  |                       |                       | 180 <sup>(2)</sup>            | 1/8       | 66.5          | 145             | 118.1  |

<sup>(1)</sup> Las cadencias son dadas para una velocidad motor 1440 rpm. Los caudales y cadencias aumentan un 20 % con un motor a 60 Hz

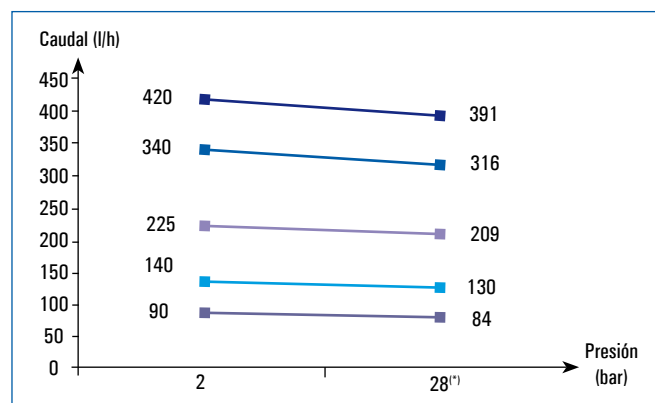
<sup>(2)</sup> No utilizar con motor a 60 Hz

<sup>(3)</sup> Cilindrada teórica

### MAXROY® D105

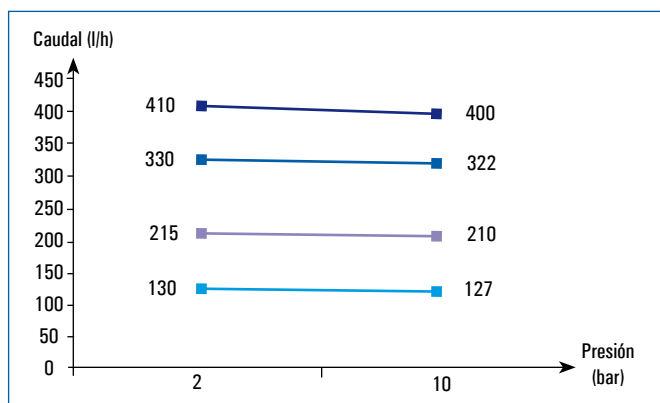


### MAXROY® B105

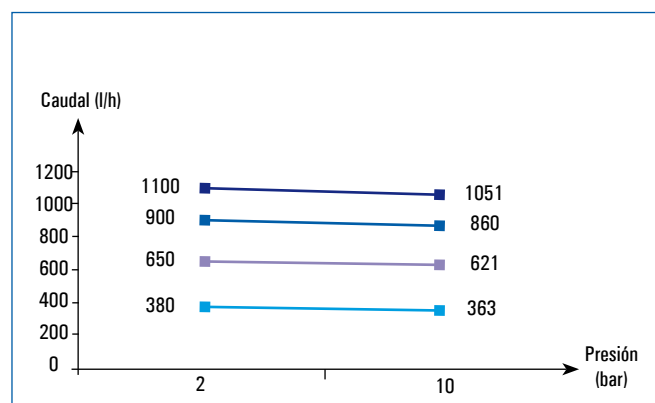


<sup>(\*)</sup> Dosificador plástico: P máx. = 10 bar

### MAXROY® A105

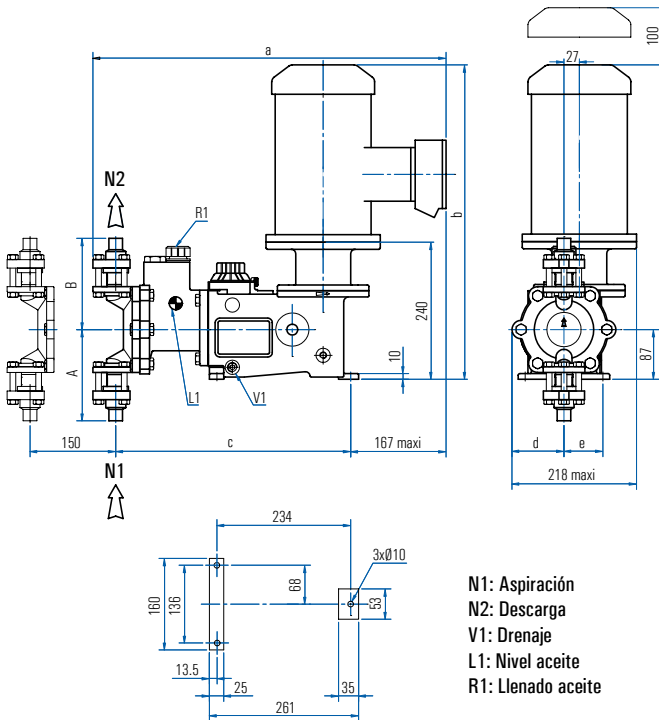


### MAXROY® B145

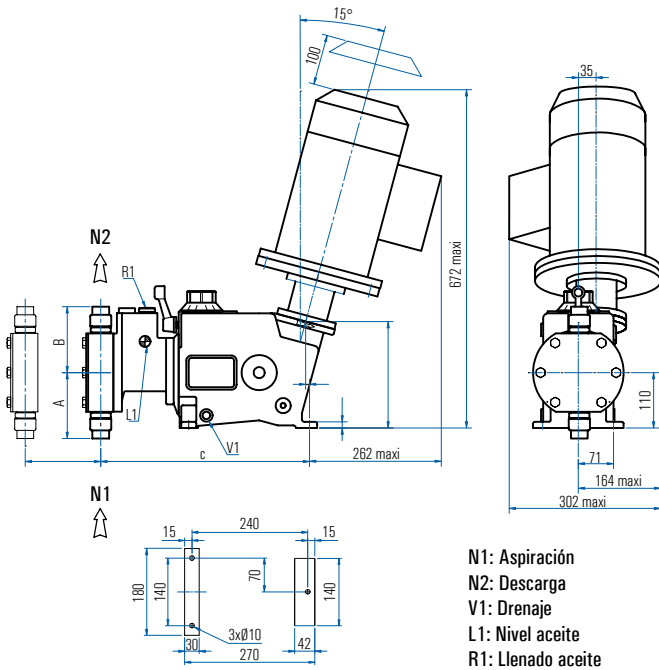


## Dimensiones (en mm)

### MAXROY® A105 y D105 - Dosificador metálico Versión Simplex



### MAXROY® B105 - Dosificador plástico Versión Simplex



### MAXROY® A105, D105 y B105

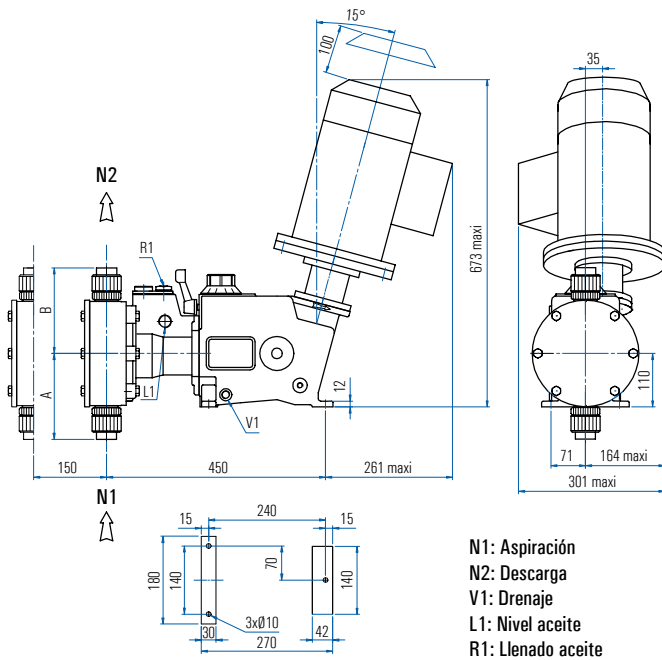
| Modelos (gpm)               |               | Dimensiones (mm)  | Conexiones  |
|-----------------------------|---------------|---|---|
| <b>Dosificador metálico</b> |               |   |   |
| Todos modelos (*)           |               | a = 618 maxi<br>b = 550 maxi<br>c = 411<br>d = 91<br>e = 68 | -   |
| Para roscar                 | 58 - 96 - 144 | A = 160<br>B = 160  | N1 = R 1/2" G ó 1/2" NPT<br>N2 = R 1/2" G ó 1/2" NPT  |
|                             | 180           | A = 186<br>B = 160  | N1 = R 3/4" G ó 3/4" NPT<br>N2 = R 1/2" G ó 1/2" NPT  |
| Para soldar                 | 58 - 96 - 144 | A = 160<br>B = 160  | N1 = 1/2"<br>N2 = 1/2"                                |
|                             | 180           | A = 186<br>B = 160  | N1 = 3/4"<br>N2 = 1/2"                                |
| Con bridas                  | 58 - 96 - 144 | A = 208<br>B = 208 (**)                                     | N1 = 1/2" ANSI 150 LBS<br>N2 = 1/2" ANSI 150 LBS (**) |
|                             | 180           | A = 239<br>B = 208 (**)                                     | N1 = 3/4" ANSI 150 LBS<br>N2 = 1/2" ANSI 150 LBS (**) |
| "Alimentación"              | 58 - 96 - 144 | A = 160   | DIN 11851 Ø 28  |
|                             | 180           | B = 160   | ó<br>SMS 1145 Ø 25                                    |

#### Dosificador plástico

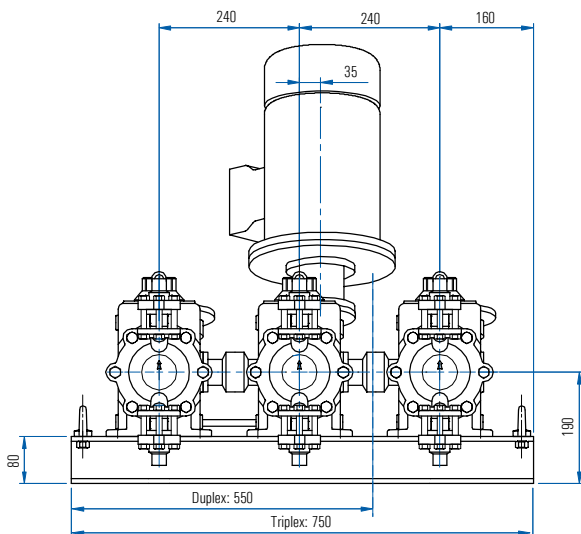
|                       |               |   |                                      |
|-----------------------|---------------|---|--------------------------------------|
| Todos modelos (*)     |               | a = 597 maxi<br>b = 539 maxi<br>c = 394<br>d = 93<br>e = 66 | -                                    |
| Espárrago liso hembra | 58 - 96 - 144 | A = 131<br>B = 131  | N1 = Ø 15x20 H<br>N2 = Ø 15x20 H     |
|                       | 180           | A = 160<br>B = 131  | N1 = Ø 25x32 H<br>N2 = Ø 15x20 H     |
| Con bridas            | 58 - 96 - 144 | A = 195<br>B = 195  | N1 = PN 10 DN 15<br>N2 = PN 10 DN 15 |
|                       | 180           | A = 196<br>B = 195  | N1 = PN 10 DN 25<br>N2 = PN 10 DN 15 |

(\*) MAXROY® B105: c = 432 para dosificador metálico y 415 para dosificador plástico  
(\*\*) MAXROY® B105: B = 213 y N2 = 1/2" ANSI 300 LBS

**MAXROY® B145 - Dosificador plástico**  
Versión Simplex



**MAXROY® B105 - Dosificador metálico**  
Versiones Duplex y Triplex



|                             | Modelos (gpm) | Dimensiones (mm)   | Conexiones                                       |
|-----------------------------|---------------|--------------------|--|
| <b>Dosificador metálico</b> |               |                    |  |
| Para roscar                 | 58 - 96 - 144 | A = 191<br>B = 191 | N1 = R 1" ó 1" NPT<br>N2 = R 1" ó 1" NPT         |
|                             | 180           | A = 231<br>B = 191 | N1 = R 1 1/2" ó 1 1/2" NPT<br>N2 = R 1" ó 1" NPT |
| Para soldar                 | 58 - 96 - 144 | A = 191<br>B = 191 | N1 = 1"<br>N2 = 1"                               |
|                             | 180           | A = 231<br>B = 191 | N1 = 1 1/2"<br>N2 = 1"                           |
| Con bridas                  | 58 - 96 - 144 | A = 246<br>B = 246 | N1 = 1" ANSI 150 LBS<br>N2 = 1" ANSI 150 LBS     |
|                             | 180           | A = 316<br>B = 246 | N1 = 1 1/2" ANSI 150 LBS<br>N2 = 1" ANSI 150 LBS |
| "Alimentación"              | 58 - 96 - 144 | A = 208            | DIN 11851 Ø 40                                   |
|                             | 180           | B = 208            | ó<br>SMS 1145 Ø 38                               |

|                             | Modelos (gpm) | Dimensiones (mm)   | Conexiones                           |
|-----------------------------|---------------|--------------------|--------------------------------------|
| <b>Dosificador plástico</b> |               |                    |                                      |
| Espárrago liso hembra       | 58 - 96 - 144 | A = 176<br>B = 176 | N1 = Ø 25x32 H<br>N2 = Ø 25x32 H     |
|                             | 180           | A = 219<br>B = 176 | N1 = Ø 32x40 H<br>N2 = Ø 25x32 H     |
| Con bridas                  | 58 - 96 - 144 | A = 217<br>B = 217 | N1 = PN 10 DN 25<br>N2 = PN 10 DN 25 |
|                             | 180           | A = 276<br>B = 217 | N1 = PN 10 DN 25<br>N2 = PN 10 DN 25 |

**Protección ambiental**

- En acabado estándar, las bombas se suministran con una capa de pintura poliuretano AMERON de 100 micras, amarilla RAL 1018
- Para otras protecciones, consúltenos

**Lubricación**

- Temperatura ambiente entre -5 °C y +50 °C: Aceite ISO - equivalente a VG150
- Cantidad:
  - 2,5 litros para las MAXROY® A105 y D105
  - 4 litros para las MAXROY® B105 y B145

**Peso y embalaje**

| Versión simplex     | Peso neto (kg) (con aceite) <sup>(1)</sup> | Peso bruto (kg) (con embalaje) <sup>(1)</sup> | Embalaje <sup>(2)</sup> (L x A x H - mm) |
|---------------------|--|---|--|
| MAXROY® A105 y D105 | 33   | 40  | 515 x 465 x 720                          |
| MAXROY® B105        | 57   | 67  | 800 x 400 x 900                          |
| MAXROY® B145        | 63   | 70  | 790 x 390 x 740                          |

<sup>(1)</sup> Aproximadamente - <sup>(2)</sup> Embalaje estándar en cartón

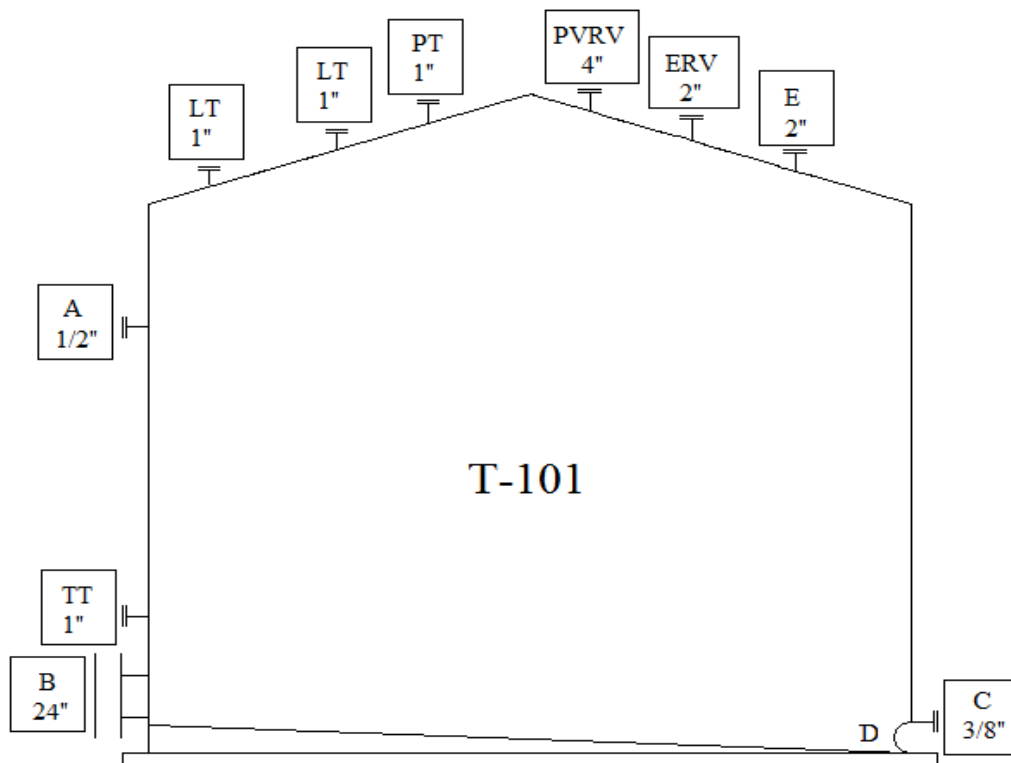


Una red comercial de más de 100 distribuidores con el soporte de nuestras oficinas de ventas y servicios. Para encontrar su representante local, visite nuestra dirección en Internet :

**www.miltonroy-europe.com**

| PROYECTO  | Aprovechamiento térmico de una corriente residual   | ESPECIFICACIÓN   |                           |          | Nº              | 1,00                  |                       |           |          |
|---|---|--|---------------------------|----------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------|----------|
| EMPRESA   | ETSEQ   | TANQUE DE ACETATOS   |                           |          | HOJA Nº         | 100,00                |                       |           |          |
| FÁBRICA   | URV   | TECHNICI   |                           |          | FECHA           |                       |                       |           |          |
| PLANTA  | GEQ   |  |                           |          | PREPARADO       |                       |                       |           |          |
| ÍTEM  |   |  |                           |          | REVISADO        |                       |                       |           |          |
| SERVICIO  |   |  |                           |          | APROBADO        |                       |                       |           |          |
|   |   |  |                           |          | Nº UNIDADES     | 1                     |                       |           |          |
| OPERACIÓN   | DESCRIPCIÓN   | Tanque de almacenamiento para normalizar la alimentación de acetatos en la entrada a la caldera de vapor . |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | PRODUCTO  | Acetato de vinilo, acetato de etilo y acetato de metilo.   |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | CAUDAL LLENADO  | 0,06-0,17  | m3/h                      |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | CAUDAL VACIADO  | 0,04-0,12  | m3/h                      |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | TEMPER.   | 40   | °C                        |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | PRESIÓN   | 3  | kg/cm2g                   |          |                 |                       |                       |           |          |
| TIPO  | DENSIDAD  | 866  | kg/m3                     |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | TANQUE  | Tanque de acero al carbono SAE 1020.   |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | TECHO   | Techo herméticamente cerrado.  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
| CONSTRUCCIÓN  | FONDO   | Con 0.5% de pendiente  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | DIMENSIONES   | DIAMETRO   | 2,33                      | m        | DISEÑO Y PRUEBA | CÓDIGOS               | API 620               |           |          |
|   |   | ALT.   | 2,8                       | m        |                 |                       | CONDICIONES DE DISEÑO | TEMPERAT. | 60,00 °C |
|   |   | ESPESOR  | 10,65                     | mm       |                 |                       | PRESIÓN               | 3,30      | kg/cm2g  |
|   | FONDOS  | SUPERIOR   | -                         |          |                 | DENSIDAD              | 866,00                | kg/m3     |          |
|   |   | INFERIOR   | -                         |          |                 | PRESIÓN DE PRUEBA     | HIDRAÚLICA            | 4,62      |          |
|   | VOL. / PESO   | VOL. ÚTIL  | 8,3                       | m3       |                 | NEUMÁTICA             | n/a                   | kg/cm2g   |          |
|   |   | VOL. TOTAL   | 11,9                      | m3       |                 | ESPESOR DE CORROSIÓN  | 3                     | mm        |          |
|   |   | PESO   | 93,24                     | t        |                 | EFICACIA DE SOLDADURA | 100%                  |           |          |
|   | INSTALACIÓN   | Aislado de otras instalaciones   |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | AISLAMIENTO   | No aplica  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | PINTURA   | Pintura blanca o reflectiva de la luz o el calor   |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
| MATERIALES  | DESCRIPCIÓN   |  | COMENTARIOS               |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | CUERPO  | acero al carbono SAE 1020  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | TAPAS/FONDOS  | acero al carbono SAE 1020  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | BRIDAS CUERPO   | forjadas en acero al carbono ASTM A-105  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | BRIDAS TUBULADUR.   | forjadas en acero al carbono ASTM A-105  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | TUBULADURAS   | acero al carbono SAE 1020  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | TORNILLOS/TUERCAS INT.  | acero al carbono semidulce   |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | TORNILLOS/TUERCAS EXTER.  | acero al carbono semidulce   |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
| JUNTAS INTERIOR   | silicona (polímero de polisiloxano)   |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
| JUNTAS EXTERNAS   | silicona (polímero de polisiloxano)   |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
| TUBULADURAS   | MARCA   | CANT.  | SERVICIO                  | D.N.(mm) | Schedule        |                       |                       |           |          |
|   | A   | 1  | Entrada de acetatos       | 50       | 40              |                       |                       |           |          |
|   | TT  | 1  | Transmisor de temperatura | 25       | 40              |                       |                       |           |          |
|   | B   | 1  | Boca de hombre            | 600      | 20              |                       |                       |           |          |
|   | C   | 1  | Salida de acetatos        | 20       | 40              |                       |                       |           |          |
|   | LT  | 1  | Transmisor de nivel       | 25       | 40              |                       |                       |           |          |
|   | PT  | 1  | Transmisor de presión     | 25       | 40              |                       |                       |           |          |
|   | PVRV  | 1  | Válvula de seguridad PVRV | 100      | 40              |                       |                       |           |          |
|   | ERV   | 1  | Válvula de seguridad ERV  | 50       | 40              |                       |                       |           |          |
| E   | 1   | Entrada y salida de nitrógeno (Sistema de seguridad)   | 65                        | 40       |                 |                       |                       |           |          |
| NOTAS   | Tipo de agitación   |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | Ligera agitación sin generar y acumular carga energía estática dentro del líquido.  |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | Tipo de calefacción/refrigeración   |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | Sistema de refrigeración adecuado para el control de las temperaturas elevadas evitando la inflamación y evitar temperaturas bajas para prevenir la cristalización. |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | Sistemas de seguridad   |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
|   | El tanque contiene un sistema deluge y de espuma para la seguridad del equipo.  |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
| Elemento auxiliar   |   |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |
| D. Codó 90 para poder vaciar el 100% del producto que contiene el tanque. Además cuenta con una alarma de nivel alto y bajo de flujo. |   |  |                           |          |                 |                       |                       |           |          |

|          |   |                |             |        |
|----------|---|----------------|-------------|--------|
| PROYECTO | Aprovechamiento térmico de una corriente residual | ESPECIFICACIÓN | Nº          | 1,00   |
| EMPRESA  | ETSEQ   |                | HOJA Nº     | 100,00 |
| FÁBRICA  | URV   | TECNICI        | FECHA       |        |
| PLANTA   | GEQ   |                | PREPARADO   |        |
| ÍTEM     |   |                | REVISADO    |        |
| SERVICIO |   |                | APROBADO    |        |
|          |   |                | Nº UNIDADES | 1      |



# ACERO SAE 1020

|       |         |
|-------|---------|
| DIN   | CK - 20 |
| UNI   | C - 20  |
| AFNOR | XC - 20 |
| SAE   | 1020    |

## CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Acero al carbono que puede utilizarse en estado cementado, templado y revenido o simplemente en estado calibrado. Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia con una gran tenacidad. Es fácilmente soldable con soplete ó al arco.

| COMPOSICION QUÍMICA  | C %          | Mn %       | P máx. % | S máx. % | Si máx. %   |
|----------------------|--------------|------------|----------|----------|-------------|
| Análisis típico en % | 0.18<br>0.23 | 0.3<br>0.6 | 0.04     | 0.05     | 0.15<br>0.3 |

Estado de suministro: Recocido  
Dureza de suministro: 150 - 190 HB

### PROPIEDADES MECÁNICAS

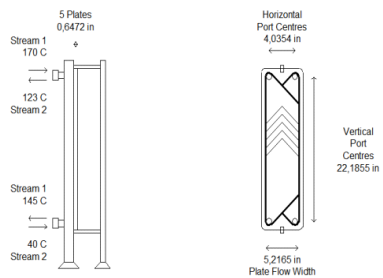

| Estado de suministro       | Resistencia a la tracción MPa | Limite elástico MPa | Alargamiento % | Reducción de área % | Dureza Brinell aprox. |
|----------------------------|-------------------------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------------------|
| Laminado en caliente       | 441                           | 196                 | 25             | 45                  | 140 / 180             |
| Normalizado                | 490 - 588                     | 343                 | 30             | 55                  | 150                   |
| Recocido                   | 441 - 539                     | 294                 | 35             | 60                  | 130 / 150             |
| Calibrado                  | 539 - 686                     | 441                 | 10             | 35                  | 180 / 220             |
| Cementado, templado y rev. | 686 - 833                     | 441                 | 15             | 45                  | -----                 |

| TRATAMIENTO TÉRMICO     | TEMPERATURA °C | MEDIO DE ENFRIAMIENTO |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| Forja                   | 850 - 1150     | Arena seca            |
| Normalizado             | 880 - 920      | Aire                  |
| Recocido                | 660 - 720      | Horno                 |
| Cementación             | 900 - 930      | Horno/agua            |
| Temple capa cementada   | 850 - 900      | Agua                  |
| Revenido capa cementada | 180 - 240      | Aire                  |

## APLICACIONES

Se usa principalmente para partes de maquinaria que no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos como ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillería corriente, bridas, piñones para transmisión de cadena a bajo esfuerzo, clavos para ferrocarril, grapas, etc.



|   |   |                           |               |   |                    |
|---|---|---------------------------|---------------|---|--------------------|
| ITEM No.:   | 1   |                           |               |   |                    |
| Servicio  | Calentar la corriente de acetatos a 3°C menos de su temperatura de ebullición |                           |               |   |                    |
| Tipo:   | Intercambiador de placas M6   | Localización              | E-201         | Área unidad   | 0,2 m <sup>2</sup> |
| No. carcassas:  | 1   |                           |               |   |                    |
| <b>PERFORMANCE OF UNIT</b>                                    |   |                           |               |   |                    |
|   |   | <b>Lado caliente</b>      |               | <b>Lado frío</b>  |                    |
|   |   | <b>Entrada</b>            | <b>Salida</b> | <b>Entrada</b>  | <b>Salida</b>      |
| Nombre fluido   |   | Vapor                     |               | Acetatos  |                    |
| Caudal total del fluido                                       |   | 260                       |               | 100   |                    |
| Vapor   |   | 260                       | 260           | 0   | 0                  |
| Líquido   |   | 0                         | 0             | 100   | 100                |
| Gas   |   | 0                         | 0             | 0   | 0                  |
| Agua  |   | 0                         | 0             | 0   | 0                  |
| Temperatura   |   | 170                       | 145           | 40  | 123                |
| Densidad (L/V)  |   | 0/5,12                    | 0/5,47        | 905,49/0  | 788,63/0           |
| Viscosidad (L/V)  |   | 0/0,015                   | 0/0,014       | 0,345/0   | 0,169/0            |
| Peso molecular  |   | 18,01                     | 18,01         | 83,57   | 83,57              |
| Capacidad calorífica (L/V)                                    |   | 0/0,608                   | 0/0,557       | 0,460/0   | 0,526/0            |
| Conductividad térmica (L/V)                                   |   | 0/0,028                   | 0/0,026       | 0,142/0   | 0,0961/0           |
| Calor latente   |   | 22,595                    |               | 46,298  |                    |
| Presión interna   |   | 7                         |               | 4   |                    |
| Velocidad(Canal/plato)  |   | 36,37                     | 20,1          | 0,07  | 0,04               |
| Caída de presión(admisible / calculada)                       |   | 0,8/0,467                 |               | 0,5/0,00066   |                    |
| Resistencia de ensuciamiento                                  |   | 0,00081                   |               | 0,00021   |                    |
| Calor intercambiada:  |   | 4080                      |               |   |                    |
| Velocidad de transferencia de calor kcal/h.m <sup>2</sup> .°C |   | Sucio: 254,1              |               | Limpio: 343,3   |                    |
| <b>CONSTRUCCIÓN CARCASA</b>                                   |   |                           |               |   |                    |
| Modelo: ALFA LAVAL M6   |   | <b>Shell side</b>         |               | <b>Tube side</b>  |                    |
| Presión de diseño   |   | Mpa                       | 1,2-1,6       | 1,2-1,6   |                    |
| Temperatura de diseño   |   | °C                        | 180-200       | 180-200   |                    |
| No. de pasos  |   | 1                         |               | 1   |                    |
| <b>MATERIALES</b>   |   |                           |               |   |                    |
|   |   | Dia.                      | Grosor. (mm.) | Espec.mater.  |                    |
| Juntas:   |   | -                         | -             | Nitrilo   |                    |
| Bastidor:   |   | -                         | -             | Acero al carbono pintado epoxi  |                    |
| Bridas:   |   | Acero al carbono          |               |   |                    |
| Tubos:  |   | Acero inoxidable          |               |   |                    |
| Placas:   |   | Acero inoxidable AISI 316 |               |   |                    |
| Nº de placas  |   | 5                         |               |   |                    |
| Área efectiva por placa                                       |   | 0,075 m <sup>2</sup>      |               |   |                    |
| Área total  |   | 0,2 m <sup>2</sup>        |               |   |                    |
| Dimensiones placa   |   | 102,5x563,51 x mm         |               |   |                    |
| Espesor placa   |   | 2,4 mm                    |               |   |                    |
| FECHA: 8/05/2015  |   |                           |               |   |                    |
|   |   |                           |               |    |                    |
|   |   |                           |               |  <b>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</b><br>Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química<br>Departament d'Enginyeria Química |                    |

## VÁLVULAS DE CONTROL

|                       |                          |           |         |           |         |         |          |
|-----------------------|--------------------------|-----------|---------|-----------|---------|---------|----------|
| IDENTIFICADOR         | -                        | VC-1001   | VC-1002 | VC-2001   | VC-2002 | VC-3001 | VC-3002  |
| CANTIDAD              | -                        | 1         | 1       | 1         | 1       | 1       | 1        |
| P&ID                  | -                        | 100       | 100     | 200       | 200     | 300     | 300      |
| PRESIÓN DE DISEÑO     | BAR G                    | 3         | 7       | 4         | 7       | 4       | 14       |
| TEMPERATURA DE DISEÑO | C                        | 40        | 25      | 40        | 170     | 25      | 12       |
| MATERIAL DEL CUERPO   | -                        | ASTM A351 | SA 216  | ASTM A351 | SA 216  | SA 216  | SA 216   |
| MATERIAL DEL ASIENTO  | -                        | GRAFITO   | S31600  | GRAFITO   | S31600  | S31600  | S31600   |
| TIPO                  | -                        | %         | %       | %         | %       | %       | %        |
| POSICIÓN DE FALLO     | -                        | ABRE      | ABRE    | CIERRA    | CIERRA  | CIERRA  | CIERRA   |
| TIPO DE ACTUADOR      | -                        | -         | -       | -         | -       | -       | -        |
| TIPO DE POSICIONADOR  | -                        | -         | -       | -         | -       | -       | -        |
| ACCESORIOS            | -                        | -         | -       | -         | -       | -       | -        |
|                       | CONDICIONES DE OPERACIÓN |           |         |           |         |         |          |
| FASE                  | -                        | LÍQUIDO   | GAS     | LÍQUIDO   | GAS     | GAS     | GAS      |
| FLUIDO                | -                        | ACETATOS  | NITRO.  | ACETATOS  | VAPOR   | AIRE    | GAS NAT. |
| CAUDAL                | GPM                      | 0,7626    | 653,0   | 0,5084    | 1051    | 5101    | 141,6    |
| DIFERENCIA DE PRESIÓN | PSI                      | 7         | 7       | 7         | 7       | 7       | 7        |
| TEMPERATURA           | C                        | 40        | 25      | 40        | 7       | 4       | 14       |
| Cv CALCULADA          | -                        | 0,268     | 8,88    | 0,179     | 24,9    | 147     | 5,54     |
| DIAMETRO DE LÍNEA     | PULGADAS                 | 1/2       | 2       | 3/8       | 1/4     | 5       | 3/4      |
| FECHA                 | 10/05/2015               |           |         |           |         |         |          |
| ELABORADO             | LUCAS TABERA             |           |         |           |         |         |          |
| REVISADO              |                          |           |         |           |         |         |          |



## F. ZONAS ATEX

Para calcular el radio ATEX es necesario calcular y conocer diferentes parámetros:

- Tasa de escape:

$$Q_{esc} = 1,13 \cdot a(\sigma_L(P - 10^5))^{0,5} \quad (F.1)$$

Donde,  $a$  es el área del orificio de escape en  $m^2$ ,  $\sigma_L$  es la densidad del líquido en  $kg/m^3$  y  $P$  es la presión del sistema en Pa.

- Límite de explosividad inferior de la mezcla:

$$LIE(\%vol) = (\sum x_i/LIE_i)^{-1} \quad (F.2)$$

Donde,  $x_i$  es la fracción volumétrica del componente  $i$  de la mezcla y  $LIE_i$  es el límite de explosividad inferior del componente  $i$  de la mezcla.

- Factor de temperatura:

$$f_t = 1/T \quad (F.3)$$

Donde,  $T$  es la temperatura en K.

- Caudal de ventilación:

$$\dot{Q}_v = \frac{Q_{esc} \cdot f_t}{k \cdot LIE} \quad (F.4)$$

Donde el caudal de ventilación  $\dot{Q}_v$  se obtiene en  $kg/s$ ,  $k$  es el factor de seguridad y  $LIE$  es el límite de explosividad inferior expresado en masa por unidad de volumen.

- Volumen ATEX

$$c = \frac{Q_v}{0,06} \quad (F.5)$$

- Radio de la esfera

$$R = (V_a \cdot \frac{3}{4 \cdot \pi})^{1/3} \quad (F.6)$$

Donde finalmente el radio de la esfera se obtiene en m.

## G. FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

A continuación se muestran las fichas de datos de seguridad de los compuestos presentes en el proceso estudiado, en este orden, acetato de vinilo, acetato de etilo, acetato de metilo, metano, etileno y propano.



# Fichas Internacionales de Seguridad Química

## ACETATO DE VINILO

ICSC: 0347




ACETATO DE VINILO  
Ester de vinilo del ácido acético  
 $C_4H_6O_2/CH_3COOCH=CH_2$   
Masa molecular: 86.1

Nº CAS 108-05-4  
Nº RTECS AK0875000  
Nº ICSC 0347  
Nº NU 1301  
Nº CE 607-023-00-0



| TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION | PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS                | PREVENCION  | PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS   |
|------------------------------|--|---|---|
| <b>INCENDIO</b>              | Altamente inflamable.                    | Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.  | AFFF, espuma resistente al alcohol, polvo, dióxido de carbono.  |
| <b>EXPLOSION</b>             | Las mezclas vapor/aire son explosivas.   | Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. | En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.  |
| <b>EXPOSICION</b>            |  | ¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO!  |   |
| • <b>INHALACION</b>          | Tos, jadeo, dolor de garganta.           | Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.   | Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y proporcionar asistencia médica.  |
| • <b>PIEL</b>                | Enrojecimiento, ampollas.                | Guantes protectores.  | Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse.   |
| • <b>OJOS</b>                | Enrojecimiento, dolor, quemaduras leves. | Gafas ajustadas de seguridad.   | Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica. |
| • <b>INGESTION</b>           | Somnolencia, dolor de cabeza.            | No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.  | Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.  |

| DERRAMAS Y FUGAS   | ALMACENAMIENTO  | ENVASADO Y ETIQUETADO   |
|--|---|---|
| Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración). | A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. Mantener en lugar fresco, seco, oscuro y bien cerrado. Almacenar solamente si está estabilizado. | símbolo F<br>R: 11<br>S: (2-)16-23-29-33<br>Clasificación de Peligros NU: 3<br>Grupo de Envasado NU: II<br>CE:<br> |

**VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE**

ICSC: 0347


Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

## ACETATO DE VINILO

ICSC: 0347

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>D<br/>A<br/>T<br/>O<br/>S<br/><br/>I<br/>M<br/>P<br/>O<br/>R<br/>T<br/>A<br/>N<br/>T<br/>E<br/>S</b> | <p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b><br/>Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b><br/>El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b><br/>La sustancia puede polimerizar fácilmente debido al calentamiento suave o bajo la influencia de luz o de peróxidos, con peligro de incendio o explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b><br/>TLV(como TWA): 10 ppm; 35 mg/m<sup>3</sup> A3 (ACGIH 1995-1996).<br/>TLV(como STEL): 15 ppm; 53 mg/m<sup>3</sup> A3 (ACGIH 1995-1996).<br/>MAK: 10 ppm; 35 mg/m<sup>3</sup> B (1996).</p> | <p><b>VIAS DE EXPOSICION</b><br/>La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b><br/>Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b><br/>La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en pulmón, dando lugar a lesiones del tejido.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b></p> |
|---|---|--|

|                            |  |  |
|----------------------------|--|--|
| <b>PROPIEDADES FISICAS</b> | <p>Punto de ebullición: 72°C<br/>Punto de fusión: -93°C<br/>Densidad relativa (agua = 1): 0.9<br/>Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 2.5<br/>Presión de vapor, kPa a 20°C: 11.7</p> | <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.0<br/>Punto de inflamación: -8°C(c.c)<br/>Temperatura de autoignición: 402°C<br/>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.6-13.4<br/>Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.73</p> |
|----------------------------|--|--|

|                          |  |   |
|--------------------------|--|---|
| <b>DATOS AMBIENTALES</b> | <p>La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.</p> |  |
|--------------------------|--|---|

### NOTAS

Otros puntos de fusión: -100°C El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. La adición de estabilizadores o inhibidores podría influir sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia; consultar a un experto. Las propiedades estabilizadoras de la hidroquinona se limitan a 60 días. Para almacenamientos prolongados se recomiendan otros inhibidores, tales como la difenilamina.

Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-3  
Código NFPA: H 2; F 3; R 2;

### INFORMACION ADICIONAL

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| FISQ: 4-005<br>ACETATO DE VINILO |  |
|----------------------------------|--|

|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| <b>ICSC: 0347</b> | <b>ACETATO DE VINILO</b> |
| © CCE, IPCS, 1994 |                          |

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b> | <p>Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).</p> |
|-------------------------------|---|

# Fichas Internacionales de Seguridad Química

## ACETATO DE ETILO

ICSC: 0367





ACETATO DE ETILO  
 Acido acético, éster etílico  
 $C_4H_8O_2/CH_3COOC_2H_5$   
 Masa molecular: 88.1

Nº CAS 141-78-6  
 Nº RTECS AH5425000  
 Nº ICSC 0367  
 Nº NU 1173  
 Nº CE 607-022-00-5



| TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION | PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS   | PREVENCION  | PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS   |
|------------------------------|---|---|---|
| <b>INCENDIO</b>              | Altamente inflamable.   | Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.   | AFFF, espuma resistente al alcohol, polvos, dióxido de carbono.   |
| <b>EXPLOSION</b>             | Las mezclas vapor/aire son explosivas.  | Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra). Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. | En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua. Los bomberos deberían emplear indumentaria de protección completa, incluyendo equipo autónomo de respiración. |
| <b>EXPOSICION</b>            |   |   |   |
| • <b>INHALACION</b>          | Tos, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náusea, jadeo, dolor de garganta, pérdida de conocimiento, debilidad. | Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.   | Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica. Respiración artificial si estuviera indicado.   |
| • <b>PIEL</b>                | Enrojecimiento, dolor.  | Guantes protectores, traje de protección.   | Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.   |
| • <b>OJOS</b>                | Enrojecimiento, dolor.  | Gafas ajustadas de seguridad.   | Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.   |
| • <b>INGESTION</b>           | Dolor abdominal, vértigo, náusea, dolor de garganta, debilidad.   |   | Enjuagar la boca, dar a beber abundante agua y someter a atención médica.   |

| DERRAMAS Y FUGAS   | ALMACENAMIENTO   | ENVASADO Y ETIQUETADO   |
|--|--|---|
| Evacuar la zona de peligro. Recoger en la medida de lo posible el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a lugar seguro. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración). | A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos y bases. Mantener en lugar frío, seco. Almacenar herméticamente cerrado. | símbolo F<br>símbolo Xi<br>R: 11-36-66-67<br>S: (2-)16-26-33<br>Clasificación de Peligros NU: 3<br>Grupo de Envasado NU: II<br>CE:<br>  |

VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

## ACETATO DE ETILO

ICSC: 0367

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>D<br/>A<br/>T<br/>O<br/>S<br/><br/>I<br/>M<br/>P<br/>O<br/>R<br/>T<br/>A<br/>N<br/>T<br/>E<br/>S</b>   | <p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b><br/>Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b><br/>El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b><br/>El calentamiento intenso puede originar combustión violenta o explosión. La sustancia se descompone bajo la influencia de luz UV, bases y ácidos. La solución en agua es un ácido débil. Reacciona con oxidantes fuertes, bases o ácidos. Ataca muchos metales en presencia de agua. Ataca los plásticos.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b><br/>TLV: 400 ppm; 1400 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH 1990-1991).</p> | <p><b>VIAS DE EXPOSICION</b><br/>La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b><br/>Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b><br/>La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso. La exposición muy por encima del OEL puede producir la muerte. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b><br/>El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.</p> |
| <b>PROPIEDADES FISICAS</b>  | <p>Punto de ebullición: 77°C<br/>Punto de fusión: -84°C<br/>Densidad relativa (agua = 1): 0.9<br/>Solubilidad en agua: Muy buena<br/>Presión de vapor, kPa a 20°C: 10</p>  | <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 3.0<br/>Punto de inflamación: 7°C (o.c.)°C<br/>Temperatura de autoignición: 427°C<br/>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.2-11.5<br/>Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 0.73</p>  |
| <b>DATOS AMBIENTALES</b>  | Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial al agua.  |  |
| <b>NOTAS</b>  |  |  |
| <p>El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello imprescindibles. Nombres comerciales: Acetidin, Vinagar naphtha. Tarjeta de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-76</p> <p style="text-align: right;">Código NFPA: H 1; F 3; R 0;</p> |  |  |
| <b>INFORMACION ADICIONAL</b>  |  |  |
| FISQ: 1-003<br>ACETATO DE ETILO   |  |  |
| ICSC: 0367  |  | <b>ACETATO DE ETILO</b>  |
| © CCE, IPCS, 1994   |  |  |



# Fichas Internacionales de Seguridad Química

## ACETATO DE METILO

ICSC: 0507





ACETATO DE METILO  
Acido acético, éster metílico  
 $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$   
Masa molecular: 74.1

Nº CAS 79-20-9  
Nº RTECS AZ9100000  
Nº ICSC 0507  
Nº NU 1231  
Nº CE 607-021-00-X



| TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION | PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS  | PREVENCION  | PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS   |
|------------------------------|--|---|---|
| <b>INCENDIO</b>              | Altamente inflamable.  | Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.   | Polvos, AFFF, espuma, dióxido de carbono.   |
| <b>EXPLOSION</b>             | Las mezclas vapor/aire son explosivas.   | Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispa. | En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.   |
| <b>EXPOSICION</b>            |  |   |   |
| • <b>INHALACION</b>          | Tos, pesadez, dolor de cabeza, dolor de garganta, vómitos, pérdida de conocimiento. (Síntomas de efectos no inmediatos: véanse Notas). | Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.   | Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado, respiración artificial si estuviera indicada y someter a atención médica.                       |
| • <b>PIEL</b>                | Piel seca, enrojecimiento, aspereza.   | Guantes protectores, traje de protección.   | Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.   |
| • <b>OJOS</b>                | Enrojecimiento, dolor, visión borrosa.   | Gafas ajustadas de seguridad.   | Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico. |
| • <b>INGESTION</b>           | Dolor abdominal, pesadez, náusea, vómitos, debilidad.  | No comer, beber ni fumar durante el trabajo.  | Enjuagar la boca, dar a beber abundante agua y someter a atención médica.   |

| DERRAMAS Y FUGAS  | ALMACENAMIENTO  | ENVASADO Y ETIQUETADO  |
|---|---|--|
| Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico penetre en el ambiente. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración). | A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos, bases. Mantener en lugar frío, seco. Herméticamente cerrado. | símbolo F<br>símbolo Xi<br>R: 11-36-66-67<br>S: (2-)16-26-29-33<br>Clasificación de Peligros NU: 3<br>Grupo de Envasado NU: II<br>CE:<br>  |

**VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE**

ICSC: 0507

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 1994

## ACETATO DE METILO

ICSC: 0507

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>D<br/>A<br/>T<br/>O<br/>S<br/><br/>I<br/>M<br/>P<br/>O<br/>R<br/>T<br/>A<br/>N<br/>T<br/>E<br/>S</b>  | <p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b><br/>Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b><br/>El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante, y puede acumularse en los lugares excavados produciendo una deficiencia de oxígeno.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b><br/>La sustancia se descompone al calentarla intensamente bajo la influencia de aire, bases, oxidantes fuertes, agua, luz UV, causando peligro de incendio o explosión. Ataca muchos metales en presencia de agua. Ataca plásticos.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b><br/>TLV (comoTWA): 200 ppm; 610 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH 1990-1991).</p> | <p><b>VIAS DE EXPOSICION</b><br/>La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b><br/>Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b><br/>La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (véanse Notas). La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso, dando lugar a lesión del nervio óptico. La exposición muy por encima del OEL puede producir la muerte. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b><br/>El líquido desengrasa la piel.</p> |
| <b>PROPIEDADES FISICAS</b>   | <p>Punto de ebullición a 101.3 kPa: 57°C<br/>Punto de fusión: -98°C<br/>Densidad relativa (agua = 1): 0.93<br/>Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 24.4<br/>Presión de vapor, kPa a 20°C: 21.7</p>  | <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.6<br/>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.3<br/>Punto de inflamación: -13°C<br/>Temperatura de autoignición: 455°C<br/>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.1-16</p>  |
| <b>DATOS AMBIENTALES</b>   | <p>Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial al agua.</p>  |   |
| <b>NOTAS</b>   |   |   |
| <p>Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello imprescindibles. Los síntomas de lesión del nervio óptico no se ponen de manifiesto hasta después de unas horas. En caso de envenenamiento con esta sustancia es necesario tratamiento específico; deben estar disponibles medios adecuados junto con instrucciones. Nombres Comerciales: Devoton, Tereton.</p> |   |   |
| <b>INFORMACION ADICIONAL</b>   |   |   |
| <p>FISQ: 2-006 ACETATO DE METILO</p>   |   |   |
| <p>ICSC: 0507</p>  | <p>ACETATO DE METILO</p>  |   |
| <p>© CCE, IPCS, 1994</p>   |   |   |
| <b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b>  | <p>Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).</p>   |   |



**METANO**

**ICSC: 0291**

Febrero 2000

CAS: 74-82-8 Hidruro de metilo  
 RTECS: PA1490000 CH<sub>4</sub>  
 NU: 1971 Masa molecular: 16.0  
 CE Índice Anexo I: 601-001-00-4  
 CE / EINECS: 200-812-7



| TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN | PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS            | PREVENCIÓN  | PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS  |
|------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| <b>INCENDIO</b>              | Extremadamente inflamable.            | Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.  | Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con agua pulverizada, polvo seco, dióxido de carbono. |
| <b>EXPLOSIÓN</b>             | Las mezclas gas/aire son explosivas.  | Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Utilicéense herramientas manuales no generadoras de chispas. | En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.   |
| <b>EXPOSICIÓN</b>            |                                       |   |   |
| <b>Inhalación</b>            | Asfixia. Ver Notas.                   | Ventilación. A altas concentraciones protección respiratoria.   | Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.  |
| <b>Piel</b>                  | EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN. | Guantes aislantes del frío.   | EN CASO DE CONGELACIÓN: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.  |
| <b>Ojos</b>                  | EN CONTACTO CON LÍQUIDO: CONGELACIÓN. | Gafas ajustadas de seguridad  | Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.  |
| <b>Ingestión</b>             |                                       |   |   |

| DERRAMES Y FUGAS  | ENVASADO Y ETIQUETADO   |
|---|---|
| ¡Evacuar la zona de peligro! Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: equipo autónomo de respiración. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido. | Clasificación UE<br>Símbolo: F+<br>R: 12<br>S: (2-)9-16-33<br>Clasificación NU<br>Clasificación de Peligros NU: 2.1 |
| RESPUESTA DE EMERGENCIA   | ALMACENAMIENTO  |
| Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20G1F<br>Código NFPA: H1; F4; R0;   | A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo y techo.                                |

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005



**METANO**

**ICSC: 0291**

**DATOS IMPORTANTES**

**ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

Gas licuado o comprimido incoloro e inodoro.

**PELIGROS FÍSICOS**

El gas es más ligero que el aire.

**LÍMITES DE EXPOSICIÓN**

TLV: (Hidrocarburos Alifáticos Alcanos (C1-C4), gases) 1000 ppm (como TWA) (ACGIH 2005).  
MAK no establecido.

**VÍAS DE EXPOSICIÓN**

La sustancia se puede absorber por inhalación.

**RIESGO DE INHALACIÓN**

Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno en el aire.

**EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN**

La evaporación rápida del líquido puede producir congelación.

**PROPIEDADES FÍSICAS**

Punto de ebullición: -161°C

Punto de fusión: -183°C

Solubilidad en agua, ml/100 ml a 20°C: 3.3

Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.6

Punto de inflamación: gas inflamable

Temperatura de autoignición: 537°C

Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 5-15

Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1.09

**DATOS AMBIENTALES**

**NOTAS**

Densidad del líquido en el punto de ebullición: 0.42 kg/l. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Una vez utilizado para la soldadura, cerrar la válvula; verificar regularmente el estado de la tubería, etc., y comprobar si existen escapes utilizando agua y jabón. Las medidas mencionadas en la sección PREVENCIÓN son aplicables a la producción, llenado de botellas y almacenamiento del gas. Otro número NU: 1972 (líquido refrigerado), clase de peligro: 2.1.

Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005: ver Respuesta de Emergencia

**INFORMACIÓN ADICIONAL**

Límites de exposición profesional (INSHT 2012):

VLA-ED: (como Hidrocarburos alifáticos alcanos (C1-C4) y sus mezclas, gases) 1000 ppm

**NOTA LEGAL**

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.

# Fichas Internacionales de Seguridad Química

**ETILENO, PURO**

ICSC: 0475



ETILENO, PURO


Eteno  
(botella)  
C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

Masa molecular: 28.5

Nº CAS 74-85-1  
Nº RTECS KU5340000  
Nº ICSC 0475  
Nº NU 1962  
Nº CE 601-010-00-3



| TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION | PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS            | PREVENCION  | PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS  |
|------------------------------|--------------------------------------|---|--|
| <b>INCENDIO</b>              | Extremadamente inflamable.           | Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.   | Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, deje que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos se apaga con pulverización con agua. |
| <b>EXPLOSION</b>             | Las mezclas gas/aire son explosivas. | Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones. Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra). Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispa. | En caso de incendio: mantener fría la botella por pulverización con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.   |
| <b>EXPOSICION</b>            |                                      |   |  |
| • <b>INHALACION</b>          | Vértigo, pérdida de conocimiento.    | Ventilación.  | Aire limpio, reposo, respiración artificial si estuviera indicado y someter a atención médica.   |
| • <b>PIEL</b>                |                                      |   |  |
| • <b>OJOS</b>                |                                      |   |  |
| • <b>INGESTION</b>           |                                      |   |  |

| DERRAMAS Y FUGAS  | ALMACENAMIENTO                                       | ENVASADO Y ETIQUETADO  |
|---|--|--|
| Evacuar la zona de peligro. Ventilación. Eliminar las fuentes de ignición y cortar si es posible el aporte de gas en el foco. (Protección personal adicional: traje de protección química incluyendo equipo autónomo de respiración). | A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes. | símbolo F+<br>R: 12-67<br>S: (2-)9-16-33-46<br>Clasificación de Peligros NU: 2.1<br><br>CE:<br><br> |

**VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE**

ICSC: 0475

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPSC y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPSC, 2005

# Fichas Internacionales de Seguridad Química

**ETILENO, PURO**

**ICSC: 0475**

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>D<br/>A<br/>T<br/>O<br/>S<br/><br/>I<br/>M<br/>P<br/>O<br/>R<br/>T<br/>A<br/>N<br/>T<br/>E<br/>S</b> | <p><b>ESTADO FISICO; ASPECTO</b><br/>Gas comprimido incoloro, de olor característico.</p> <p><b>PELIGROS FISICOS</b><br/>El gas es más ligero que el aire. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p><b>PELIGROS QUIMICOS</b><br/>La sustancia puede polimerizarse para formar compuestos aromáticos debido al calentamiento intenso por encima de 600°C. Reacciona con oxidantes fuertes originando riesgo de incendio y de explosión.</p> <p><b>LIMITES DE EXPOSICION</b><br/>TLV: 200 ppm como TWA, A4 (ACGIH 2005)<br/>MAK: Carcinógeno: categoría 3B (DFG 2005).</p> | <p><b>VIAS DE EXPOSICION</b><br/>La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p><b>RIESGO DE INHALACION</b><br/>Al producirse pérdidas en zonas confinadas este gas puede originar asfixia por disminución del contenido de oxígeno del aire.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION</b><br/>La exposición podría causar disminución de la consciencia.</p> <p><b>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA</b></p> |
|---|---|---|

|                            |  |   |
|----------------------------|--|---|
| <b>PROPIEDADES FISICAS</b> | <p>Punto de ebullición a 101.3 kPa: -104°C<br/>Punto de fusión: -169.2°C<br/>Solubilidad en agua: ninguna<br/>Presión de vapor, kPa a 15°C: 8100</p> | <p>Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.98<br/>Punto de inflamación: gas inflamable<br/>Temperatura de autoignición: 490°C<br/>Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.7-36.0</p> |
|----------------------------|--|---|

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>DATOS AMBIENTALES</b> |  |
|--------------------------|--|

**NOTAS**

Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte. Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. Código NFPA: H 1; F 4; R 2

**INFORMACION ADICIONAL**

|                              |   |
|------------------------------|---|
| FISQ: 2-091<br>ETILENO, PURO | Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección:<br><a href="http://www.insht.es/">http://www.insht.es/</a> |
|------------------------------|---|

|                   |                   |                      |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| <b>ICSC: 0475</b> | © CCE, IPCS, 2005 | <b>ETILENO, PURO</b> |
|-------------------|-------------------|----------------------|

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <b>NOTA LEGAL IMPORTANTE:</b> | Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. |
|-------------------------------|---|

# Fichas Internacionales de Seguridad Química

**PROPANO**

ICSC: 0319



n-Propano  
 $C_3H_8 / CH_3CH_2CH_3$   
 Masa molecular: 44.1  
 (botella)  
 (licuado)

Nº ICSC 0319  
 Nº CAS 74-98-6  
 Nº RTECS TX2275000  
 Nº NU 1978  
 Nº CE 601-003-00-5



| TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION | PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS              | PREVENCION  | PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS   |
|------------------------------|--|---|---|
| <b>INCENDIO</b>              | Extremadamente inflamable.             | Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.  | Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con polvo, dióxido de carbono . |
| <b>EXPLOSION</b>             | Las mezclas gas/aire son explosivas.   | Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra) si aparece en estado líquido. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas. | En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.   |
| <b>EXPOSICION</b>            |  |   |   |
| • <b>INHALACION</b>          | Somnolencia. Pérdida del conocimiento. | Sistema cerrado y ventilación.  | Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.  |
| • <b>PIEL</b>                | EN CONTACTO CON LIQUIDO: CONGELACION.  | Guantes aislantes del frío. Traje de protección.  | EN CASO DE CONGELACION: aclarar con agua abundante, NO quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.  |
| • <b>OJOS</b>                | EN CONTACTO CON LIQUIDO: CONGELACION.  | Pantalla facial.  | Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.                              |
| • <b>INGESTION</b>           |  |   |   |

**DERRAMES Y FUGAS**

**ALMACENAMIENTO**

**ENVASADO Y ETIQUETADO**

Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Eliminar toda fuente de ignición  
Ventilar. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).

A prueba de incendio. Mantener en lugar fresco.

NU (transporte): Ver pictograma en cabecera.  
Clasificación de Peligros NU: 2.1  
CE:  
símbolo F+  
R: 12  
S: 2-9-16



**VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE**

ICSC: 0319

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2003

## Fichas Internacionales de Seguridad Química

### PROPANO

ICSC: 0319

D  
A  
T  
O  
S  
I  
M  
P  
O  
R  
T  
A  
N  
T  
E  
S

**ESTADO FISICO: ASPECTO:**

Gas licuado comprimido inodoro, incoloro.

**PELIGROS FISICOS:**

El gas es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante. Puede acumularse en las zonas más bajas produciendo una deficiencia de oxígeno. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.

**LIMITES DE EXPOSICION:**

TLV: 2500 ppm como TWA; (ACGIH 2003).  
MAK: 1000 ppm, 1800 mg/m<sup>3</sup>;  
Categoría de limitación de pico: II(2);  
Ilc: No clasificado en cuanto a riesgo para el embarazo (DFG 2003).

**VIAS DE EXPOSICION:**

La sustancia se puede absorber por inhalación.

**RIESGO DE INHALACION:**

Al producirse pérdidas en zonas confinadas, este líquido se evapora muy rápidamente originando una saturación total del aire con grave riesgo de asfixia.

**EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION:**

La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.

**PROPIEDADES FISICAS**

Punto de ebullición: -42°C  
Punto de fusión: -189.7°C  
Densidad relativa (agua = 1): 0.5  
Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0.007  
Presión de vapor, kPa a 20°C: 840  
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.6  
Temperatura crítica: 39°C (no en la ficha)

Punto de inflamación: -104°C  
Temperatura de autoignición: 450°C  
Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.1-9.5  
Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2.36  
Energía mínima de ignición: 25 mJ (no en la ficha)

**DATOS AMBIENTALES**

**NOTAS**

Comprobar el contenido de oxígeno antes de entrar en la zona. Con el fin de evitar la fuga de gas en estado líquido, girar la botella que tenga un escape manteniendo arriba el punto de escape. Altas concentraciones en el aire producen una deficiencia de oxígeno con riesgo de pérdida de conocimiento o muerte.

Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-20S1978  
Código NFPA: H 1; F 4; R 0;

## **H. ASPECTOS AMBIENTALES**

### **Identificación y evaluación de los residuos sólidos producidos**

A continuación se detallan los códigos nombrados en la Tabla 18.1, tal y como se encuentran citados en el Catálogo de residuos Europeo del 2002.

- 10 Residuos de procesos térmicos.
  - 10 01 Residuos de centrales eléctricas y otras plantas de combustión.
    - 10 01 15 Cenizas del hogar, escorias y polvo de caldera procedente de la coincineración distintos de los especificados en el código 10 01 14 (contienen sustancias peligrosas).
    - 10 01 23 Lodos acuosos procedentes de la limpieza de calderas, distintos de los especificados en el código 10 01 22 (contienen sustancias peligrosas).
- 15 Residuos de envases; absorbentes, trapos de limpieza; materiales de filtración y tejidos de protección no especificados en otra categoría.
  - 15 01 Envases (incluidos los residuos de envases de la recogida selectiva municipal).
    - 15 01 01 Envases de papel y cartón.
    - 15 01 02 Envases de plástico.
    - 15 01 03 Envases de madera.
    - 15 01 04 Envases metálicos.
    - 15 01 05 Envases de compuestos.
    - 15 01 07 Envases de vidrio.
    - 15 02 03 Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras distintos de los especificados en el código 15 02 02 (contaminados por sustancias peligrosas).
- 16 Residuos no especificados en otro capítulo de la lista.
  - 16 06 Pilas y acumuladores.
    - 16 01 01\* Baterías de plomo.
    - 16 06 03\* Pilas que contienen mercurio.
- 20 Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones), incluidas las fracciones recogidas selectivamente.
  - 20 01 Fracciones recogidas selectivamente (excepto las especificadas en el subcapítulo 15 01).
    - 20 01 36 Equipos eléctricos y electrónicos desechados distintos de los especificados en los códigos 20 01 21(contienen mercurio), 20 01 23 (contienen clorofluorocarburos) y 20 01 35 (contienen componentes peligrosos).



### **Consumo de energía v de recursos naturales**

Con el fin de calcular el CO<sub>2</sub> equivalente producido por las bombas se ha aplicado la siguiente Ecuación H.1.

$$\text{Caudal } CO_2 \text{ eq al año} = \text{Potencia bombas} \cdot \text{factor de emisión} \quad (\text{H.1})$$

Donde la potencia de las bombas estaría en kWh y el factor de emisión en kg CO<sub>2</sub>/kWh.

### **Generación de gases de efecto invernadero v calentamiento global**

Para la realización del cálculo del CO<sub>2</sub> equivalente se ha utilizado la Ecuación H.2 que se muestra a continuación.

$$\text{Caudal } CO_2 \text{ eq al año} = \text{caudal anual } NO_x \cdot \text{capacidad calentamiento del } NO_x \quad (\text{H.2})$$

Donde caudal de NO<sub>x</sub> estaría en t/año y la capacidad de calentamiento del NO<sub>x</sub> dimensional.

## **I. ESTUDIO ECONÓMICO**

### **Estimación de los costes de capital fijo**

Un gasto importante a tener en cuenta, al realizar la evaluación económica de una planta es el coste de compra de los equipos, este coste incluye todos los equipos presentes que permiten llevar a cabo el proceso deseado.

Cada uno de los equipos se evalúa en función de su capacidad característica, por ejemplo, en el caso de un tanque se ha de partir del volumen de este.

A continuación se muestra el procedimiento utilizado para llegar a la estimación de los costes reales de cada equipo y en definitiva el coste global de los equipos.

#### **Coste base, $C_{BM}^{CS}$**

El coste base de los equipos consiste en el producto del coste de compra con el factor base, tal y como se expresa en la Ecuación I.1. Se ha de destacar que se considera que el material de los equipos evaluados es una mezcla de aceros al carbono, además, estos se encuentran sometidos a presión atmosférica.

$$C_{BM}^{CS} = C_p^0 \cdot F_{BM} \quad (\text{I.1})$$

El coste de compra ( $C_p^0$ ) se obtiene a partir de una correlación (Ecuación I.2), la cual considera las condiciones mencionadas anteriormente.

$$\log_{10} C_p^0 = K_1 + K_2 \cdot \log_{10}(X) + K_3 \cdot \log_{10}(X)^2 \quad (\text{I.2})$$

La Ecuación I.2 está en función de  $X$  que es la capacidad o atributo del equipo y también, de unas constantes  $K$ , las cuales son propias de cada equipo, estas últimas se encuentran en la Tabla A.1 del Apéndice A del *Turton et al* (pág. 925-928).

Para el caso del intercambiador y las bombas, no se ha aplica la Ecuación I.1, ya que su coste se ha consultado directamente con su respectivo fabricante.

En el caso del factor base  $F_{BM}$  (Ecuación I.3), se tiene en cuenta que se trabaja con acero al carbono y a presión atmosférica, por tanto, el factor de material es equivalente a 1. La



Ecuación I.3, depende de unas constantes  $B_1$  y  $B_2$ , las cuales se encuentran detalladas en la Tabla A.4. del Apéndice A del *Turton et al* (pág. 948).

$$F_{BM} = (B_1 + B_2 \cdot F_M \cdot F_P) \quad (I.3)$$

### Coste real, $C_{BM}^a$

El coste base se ha obtenido a partir de las condiciones citadas en el apartado anterior, pero las condiciones utilizadas no corresponden realmente a las condiciones de los equipos.

Para obtener el coste real de los equipos se aplica la Ecuación I.4, análoga a la del cálculo del coste base pero aplicando las condiciones reales de cada equipo.

$$C_{BM}^a = C_p^0 \cdot F_{BM}^a \quad (I.4)$$

El  $C_p^0$ , será el mismo que anteriormente, ya que este no tiene en cuenta las condiciones reales de operación. En cambio, el  $F_{BM}^a$  se ha recalculado teniendo en cuenta estas condiciones reales de cada equipo.

Por lo tanto, el factor real se calcula con la Ecuación I.3, donde el factor de material y de presión ha de ser calculado. En cuanto al factor de material, su resultado se obtiene de la Figura A.18 del Apéndice A del *Turton et al* (pág. 945).

### Estimación de los costes de producción

Las ecuaciones detalladas para el cálculo de los valores del Apartado 21, se muestran en forma de tabla (Tabla I.1). En algunas de estas aparece el coste de producción (COM), el cual se obtiene en la Ecuación I.5.

$$COM = 0,280 \cdot FCI + 0,23 \cdot C_{UT} \quad (I.5)$$

Tabla I.5. Ecuaciones para el cálculo del coste producción.

| Ítem coste                                   | Cálculo  |
|--|--|
| 1. Costes variables de fabricación           |  |
| <i>Utilities</i>                             | $C_{UT}$   |
| Mantenimiento y reparaciones                 | $0,06 \cdot FCI$   |
| Suministros de operación                     | $0,009 \cdot FCI$  |
| Patentes y derechos                          | $0,03 \cdot COM$   |
| <b>TOTAL Costes variables de fabricación</b> | $C_{UT} + 0,03 \cdot COM + 0,069 \cdot FCI$                                    |
| 2. Costos fijos de fabricación               |  |
| Depreciación                                 | $0,1 \cdot FCI$  |
| Tasas locales y seguros                      | $0,032 \cdot FCI$  |
| Costes de gastos generales de plantas        | $0,036 \cdot FCI$  |
| <b>TOTAL Costes fijos de fabricación</b>     | $0,068 \cdot FCI + \text{depreciación}$  |
| 3. Gastos generales de fabricación           |  |
| Costes de administración                     | $0,009 \cdot FCI$  |
| Investigación y desarrollo                   | $0,05 \cdot COM$   |
| <b>TOTAL Costes generales de fabricación</b> | $0,009 \cdot FCI + 0,16 \cdot COM$   |
| <b>COSTES TOTALES</b>                        | $C_{UT} + 2,215 \cdot 0,190 \cdot COM + 0,146 \cdot FCI + \text{depreciación}$ |

