



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

## **MÁSTER UNIVERSITARIO EN GESTIÓN DE LA PRL, CALIDAD Y MEDIO AMBIENTE**

**“Evaluación de Riesgos y Plan de Acciones Preventivas de una planta  
piloto de pirólisis”**

**Autor:**

**Sanz Martínez, Rubén**

**Tutor de Empresa:**

Martín Marroquín, Jesús M.<sup>a</sup>

Fundación Cartif

**Tutora Académica:**

Pérez Rueda, M.<sup>a</sup> Ángeles

Departamento  
CMeIM/EGI/ICGF/IM/IMPF  
Área Ingeniería Mecánica

**Valladolid, septiembre 2021.**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Me gustaría agradecer, en primer lugar, tanto a la Fundación CARTIF por la experiencia que he podido vivir durante la realización de las prácticas, como a Jesús María Martín Marroquín, tutor de las prácticas, por interesarse por mi formación durante el periodo de duración de estas, así como por trasladarme todos sus conocimientos adquiridos a lo largo de los años.*

*En segundo lugar, a todo el profesorado por compartir conmigo sus conocimientos y visión del entorno de la prevención de los riesgos laborales durante la realización del máster.*

*De igual manera, agradecer a María de los Ángeles Pérez Rueda, tutora del TFM, por acompañarme y guiarme en la elaboración de este.*

*Gracias a todos y cada uno de ellos por aportaciones.*

## **RESUMEN**

El presente Trabajo Fin de Máster recoge la evaluación de riesgos laborales y el plan de acciones preventivas que se van a implantar para asegurar la protección de la salud de los trabajadores pertenecientes a la Fundación CARTIF que manejan la planta piloto de pirólisis.

Este ha sido realizado durante mi periodo de prácticas en la empresa, durante las cuales he podido colaborar con el Responsable de Prevención de la misma, realizando con él diferentes tareas.

El objetivo de este trabajo es evaluar los riesgos a los que pueden estar expuestos los trabajadores, durante la realización de sus tareas normales con la planta piloto de pirólisis. Para ello, es necesario conocer el proceso de trabajo que se lleva a cabo, los contaminantes a los que se exponen los trabajadores al manejar el equipo y las actividades que realizan. Para poder, por último, establecer los procedimientos más seguros y adecuados para el proceso de trabajo que nos atañe.

### **Palabras Clave**

Fundación Cartif. Investigación, desarrollo e innovación. Evaluación de riesgos laborales. Pirólisis.

# Índice

1. INTRODUCCIÓN.....	6
Motivo de la realización.....	6
Tutor de la Empresa.....	6
Tutora de la Universidad de Valladolid.....	6
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	7
Justificación del proyecto .....	7
Objetivo general .....	7
Objetivos específicos .....	7
3. FUNDACIÓN CARTIF.....	7
4. MEDIOS UTILIZADOS.....	9
5. METODOLOGÍA EMPLEADA .....	10
Criterios de Evaluación .....	10
Identificación y descripción de los riesgos.....	11
Valoración de los riesgos.....	11
6. PROCESO DE PIRÓLISIS .....	13
Diferentes equipos de la planta de pirólisis .....	13
7. ANÁLISIS DE LAS SUSTANCIAS.....	15
8. EQUIPOS A PRESIÓN .....	19
9. MEDIDAS A TOMAR PARA UN PROCESO DE TRABAJO SEGURO .....	20
10. ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS.....	21
Límites de explosividad .....	21
Clasificación de las áreas de riesgos por atmósferas explosivas.....	24
Elección De Los Equipos Y Sistemas De Protección.....	25
11. MEDIDAS ORGANIZATIVAS.....	26
12. VALORACIÓN DE LOS RIESGOS.....	28

13. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS.....	33
14. ACTUACIÓN EN CASO DE ACCIDENTE LABORAL.....	37
15. CONCLUSIONES EXTRAÍDAS.....	38
16. BIBLIOGRAFÍA.....	39
ANEXO I. MÓDULOS EQUIPOS A PRESIÓN .....	42

# 1. INTRODUCCIÓN

## Motivo de la realización

La motivación principal del trabajo es la realización de la evaluación de riesgos laborales y planificación de la actividad preventiva de una planta piloto de pirólisis situada en las instalaciones del edificio CARTIF 3 de la Fundación Cartif.

La evaluación de los riesgos laborales conlleva un proceso dirigido a estimar la magnitud de los riesgos que no se hayan podido evitar, obteniendo la información necesaria para adoptar las medidas preventivas adecuadas que deben adoptarse.



*Ilustración 1: Edificio CARTIF 3. Extraída de <https://www.Cartif.es>*

La utilización de dicha planta supone que los trabajadores puedan estar expuestos a ciertas sustancias químicas, así como, a ciertos riesgos, los cuales se van a intentar reducir o eliminar para asegurar la salud y seguridad de estos.

## Tutor de la Empresa

El Tutor por parte de la Fundación CARTIF ha sido Jesús M<sup>a</sup> Martín Marroquín, quien desempeña el cargo de Responsable de Prevención de la empresa.

## Tutora de la Universidad de Valladolid.

La tutora asignada por la Universidad de Valladolid y del Máster en Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, Calidad y Medio Ambiente ha sido M<sup>a</sup> Ángeles Pérez Rueda, miembro de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid perteneciente al departamento de CMeIM/EGI/ICGF/IM/IMPF.

## 2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

### Justificación del proyecto

El presente informe tiene por objeto la realización de la evaluación de riesgos laborales que sufren los trabajadores de la empresa de una planta piloto de pirólisis.

En cumplimiento del artículo 4 del Real Decreto 2/2015 por el que se aprueba la Ley de Estatuto de los Trabajadores por la que tendrán derecho a la protección de su integridad física y a la adopción de una adecuada política de prevención de riesgos laborales.

Dicha acción se va a llevar a cabo para dar cumplimiento al art. 16 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995, de 8 de noviembre de 1995), en el que se establece que “la acción preventiva de la empresa se planificará por el empresario a partir de una evaluación inicial de los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores, que se realizará, con carácter general, teniendo en cuenta la naturaleza de la actividad, ...”

Muchos de los datos que se han considerado para la realización de este proyecto de fin de máster, se basan en suposiciones, por razones de confidencialidad.

### Objetivo general

Los objetivos generales del presente informes son:

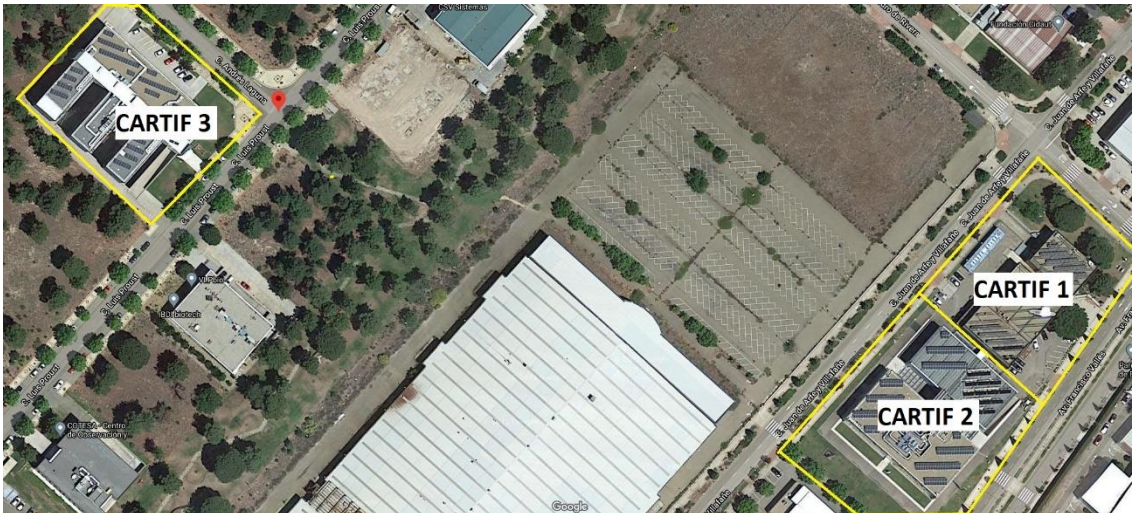
- Identificar y evaluar los riesgos laborales a los que están expuestos lo trabajadores que manejan la planta de pirólisis, con el fin de minimizarlos y controlarlos.
- Establecer las medidas preventivas necesarias y priorizar las más indispensables.

### Objetivos específicos

- Eliminar los factores de riesgo que puedan suprimirse.
- Evaluar los riesgos que no se puedan eliminar de forma inmediata.
- Planificar las medidas preventivas y correctoras necesarias que permitan controlar la exposición de los trabajadores a los contaminantes y riesgos derivados de la planta de pirólisis.
- Determinar los principales contaminantes a los que se exponen los trabajadores.

## 3. FUNDACIÓN CARTIF

La Fundación CARTIF es un centro tecnológico el cual está especializado en desarrollar proyectos de I+D+i financiados por empresas o a través de fondos públicos, además asesora a administraciones públicas en lo referente a planificación y desarrollo de proyectos innovadores. Se encuentra situada en el parque tecnológico de Boecillo, Valladolid.



*Ilustración 2: Parcelas Cartif (Elaboración Propia).*

Actualmente, dispone de tres edificios en los cuales desarrolla su actividad, conjuntamente suman unas instalaciones de 12.000 m<sup>2</sup>. Cuenta con una plantilla de unos 160 trabajadores.



*Ilustración 3: Instalaciones de Cartif 1. Extraída de <https://www.Cartif.es>*

La Fundación CARTIF cuenta con un trabajador designado a la prevención del centro de trabajo, quien actúa como enlace entre la empresa y un servicio de prevención ajeno, Cualtis. Con este servicio de prevención tiene contratadas las cuatro especialidades (seguridad en el trabajo, higiene industrial, ergonomía y psicología aplicada y medicina del trabajo).





*Ilustración 4: Instalaciones Cartif 2. Extraída de <https://www.Cartif.es/>*

Durante el periodo de prácticas en el que se ha colaborado con el responsable de prevención de la empresa, he podido realizar las siguientes tareas relacionadas con la gestión de la PRL:

- Aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo del Máster de Gestión de la PRL, calidad y medio ambiente.
- Aprendizaje de nuevos conceptos, en lo referente a materias de prevención.
- Manejo de sistemas de gestión de la empresa.
- Reconocimiento y manejo de equipos de protección individual.
- Gestión técnica y documental de equipos de protección individual.
- Revisión de legislación vigente en materia de prevención, mantenimiento y diseño de equipos industriales.

#### **4. MEDIOS UTILIZADOS**

Para la detección y valoración de los riesgos, establecimiento de los requisitos para la comercialización de los equipos a presión y los riesgos de las atmósferas explosivas ha sido necesaria la siguiente legislación:

- Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión.
- Real Decreto 144/2016, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- Real Decreto 681/2003, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.

- Reglamento (CE) nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.

## 5. METODOLOGÍA EMPLEADA

### Criterios de Evaluación

Para realizar esta evaluación se ha utilizado el método desarrollado por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Este se basa la estimación del riesgo para cada peligro que se encuentre, mediante las posibles consecuencias que se puedan dar (cuantificación del daño) y la probabilidad de ocurrencia de este.

Estos riesgos se diferenciarán entre riesgos evitables y los no evitables, de los últimos se evaluarán los posibles riesgos y se aportarán las medidas preventivas a aplicar.

Los **riesgos evitables** se caracterizan por ser aquellos riesgos que pueden ser evitados, según lo indica la Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 y el Real Decreto 39/1997 por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. Estos riesgos no se evaluarán, se deben resolver por la empresa para que esta los corrija. A estos riesgos se les asignará un número dependiendo de la prioridad con la que se deban subsanar, del 1-5 en orden creciente de prioridad:

5. Las consecuencias pueden ser de máxima gravedad.
4. Pueden producirse daños muy graves.
3. Pueden ocurrir daños graves.
2. Pueden producirse daños en caso de que el riesgo persista en el tiempo.
1. Pueden producirse molestias leves.

Se han evaluado los **riesgos no evitables** del equipo y se ha elaborado una ficha de evaluación de cada riesgo encontrado. Cuando se hayan analizado y evaluado los riesgos se facilitará:

Las medidas a adoptar para reducir y controlar los riesgos evaluados.

Así, quedarán evaluados los riesgos para cada peligro, con el fin de clasificar cada peligro según el nivel de riesgo, para poder establecer, de esta forma, las medidas preventivas prioritarias.

## Identificación y descripción de los riesgos.

Caídas al mismo nivel → Se presenta cuando existe suelo deslizante, obstáculos o sustancias que pueden provocar una caída por tropiezo o resbalón.

Atrapamiento por o entre objetos → Posibilidad de sufrir una lesión por atrapamiento o aplastamiento de cualquier parte del cuerpo por mecanismos de equipos o entre objetos, piezas o materiales.

Exposición a contaminantes químicos → Riesgo originado por la exposición continua o prolongada a sustancias químicas que pueden penetrar en el organismo del trabajador, pudiendo derivar en enfermedades profesionales.

Contactos térmicos → Accidentes debidos a las temperaturas que tienen los objetos que entren en contacto con cualquier parte del cuerpo.

Explosiones → Posibilidad de que se produzca una mezcla explosiva del aire con gases o sustancias combustibles o estallido de recipientes a presión.

Caída de objetos en manipulación → Posibilidad de caída de objetos o materiales durante la ejecución de trabajos o en operaciones de transporte y elevación por medios manuales o mecánicos.

Exposición a sustancias nocivas, tóxicas, cáusticas y/o corrosivas → Posibilidad de exposición a productos químicos peligrosos que pueden quemar la piel o desgastarla lentamente.

Explosiones → Posibilidad de que se produzca una mezcla explosiva del aire con gases o sustancias combustibles o estallido de recipientes a presión.

Incendios → Accidentes producidos por fuego no controlado. Produce lesiones personales por humos, gases tóxicos y altas temperaturas, así como, daños materiales en las instalaciones.

Caída de objeto por desplome → Incluye el desplome de edificios, muros, andamios, escaleras, etc. y los hundimientos de masas de tierra, rocas, aludes, etc.

Caídas contra objetos inmóviles → Se considera que el trabajador interviene de forma directa y activa golpeándose contra un objeto que no estaba en movimiento.

Riesgo eléctrico → Se incluyen todos los accidentes en los que la causa de los mismos sea la electricidad.

## Valoración de los riesgos.

Para cuantificar la severidad del daño de cada riesgo identificado, se tienen en cuenta las partes del cuerpo que se pudieran ver afectadas y la naturaleza de este daño. Para graduar las consecuencias se calificarán desde ligeramente dañino a extremadamente dañino.

- Ligeramente dañino: daños superficiales, como: cortes y magulladuras pequeñas; o molestias e irritación: como; discomfort, dolor de cabeza.
- Dañino: laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, etc.
- Extremadamente dañino: daños importantes o enfermedades crónicas que acorten severamente la vida.

Para finalizar, se determinará la probabilidad de ocurrencia del daño considerando las medidas de control implantadas:

- Probabilidad Baja: Ocurrirá raras veces. Se ha producido en otros lugares, pero no en el centro de trabajo.
- Probabilidad Media: Ocurrirá en algunas ocasiones, ya se ha producido alguna vez en el centro de trabajo.
- Probabilidad Alta: Ocurrirá siempre o casi siempre. Es probable y esperado que el accidente ocurra, dado que, se ha producido más de una vez en el centro de trabajo.

		Gravedad		
		Ligeramente Dañino	Dañino	Extremadamente Dañino
Probabilidad	Baja 1	1 Trivial	2 Tolerable	3 Moderado
	Media 2	2 Tolerable	4 Moderado	6 Importante
	Alta 3	3 Moderado	6 Importante	9 Intolerable

Tabla 1: Valoración del riesgo (Elaboración propia).

La valoración de los riesgos indicada en la tabla anterior forma la base para decidir si se requiere mejorar los controles existentes o implantar nuevas medidas, así como se realizará la temporización de las acciones, dependiendo de la urgencia con la que se deban implantar las acciones propuestas. Estas medidas deben ser siempre proporcionales a la magnitud estimada del riesgo.

A continuación, se muestra un criterio sugerido para la toma de decisiones dependiendo de la valoración del riesgo;

Riesgo	Acción y temporización
Trivial (T)	No se requiere acción específica.

<b>Tolerable (TO)</b>	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
<b>Moderado (M)</b>	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un periodo determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
<b>Importante (I)</b>	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
<b>Intolerable (IN)</b>	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

*Tabla 2: Valoración del riesgo (Elaboración propia).*

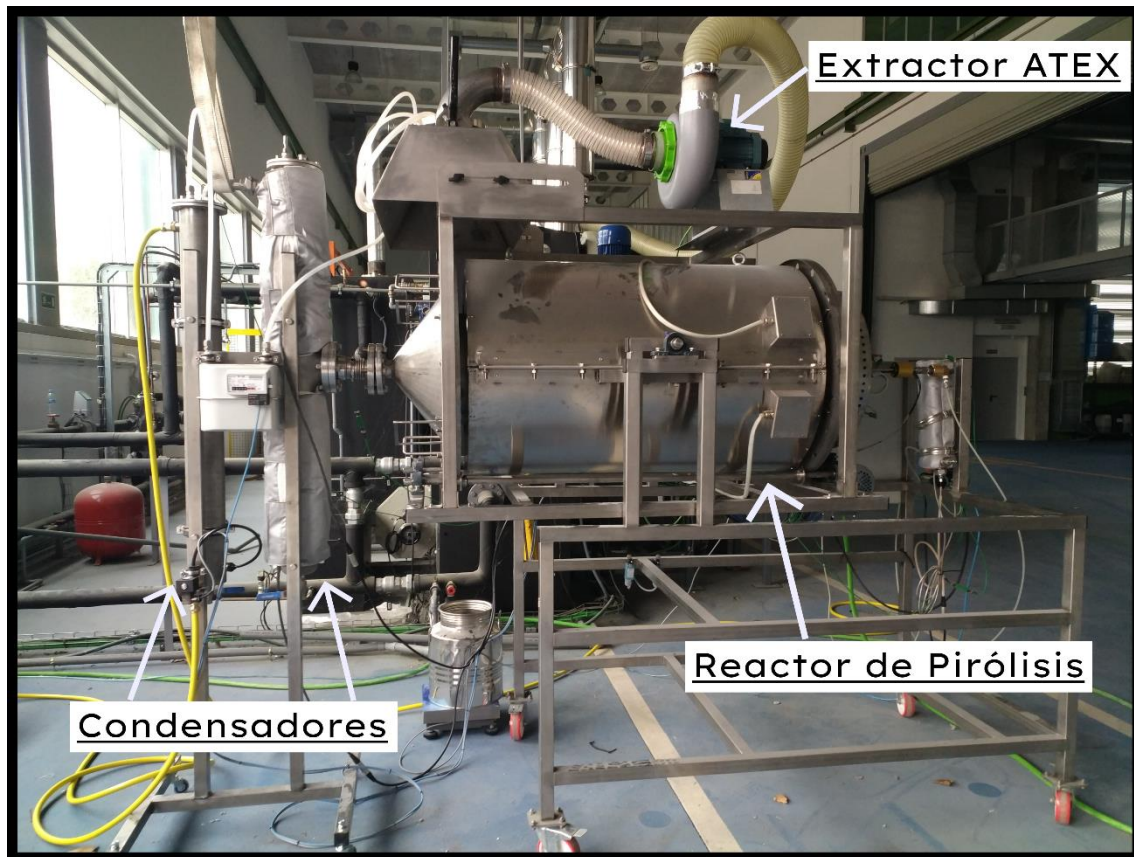
## 6. PROCESO DE PIRÓLISIS

El proceso de pirólisis consiste en la descomposición térmica de materia orgánica, causada mediante la aplicación de altas temperaturas en ausencia del oxígeno.

La planta piloto de pirolizado estudiada posee un reactor con una capacidad de 40 L y que es capaz de soportar una presión de 2 bar, en su interior contiene diferentes sustancias y gases.

### Diferentes equipos de la planta de pirólisis

A continuación, se describen los principales dispositivos que constituyen la planta de pirólisis:



*Ilustración 5: Equipos de la planta de pirólisis (Elaboración propia).*

En la ilustración 5 podemos ver los siguientes equipos de la planta:

- **Reactor de pirólisis:** En él se inserta la biomasa. Es el encargado de la transformación de la biomasa en gas mediante altas temperaturas, calentándose hasta alcanzar los 600°C. Este rota a una velocidad de unas 15 rpm con el fin de remover la biomasa en el interior y que no esté continuamente la misma masa en contacto con el reactor, sino que esté toda la masa en contacto.
- **Condensadores:** Los gases condensables generados en el interior del reactor de pirólisis circulan por ellos convirtiéndose en alquitrán/hidrocarburos.
- **Extractor ATEX:** Su función es la de evacuar los gases no condensables del reactor de pirólisis. Está conectado a una conducción extractora dirigida hacia el exterior. Es necesario que esté preparada para atmósferas explosivas dado que los gases que hay en su interior en contacto con el aire y a consecuencia de las altas temperaturas pueden producir explosiones.





*Ilustración 6: Equipos de la planta de pirólisis (Elaboración propia).*

En la ilustración 6 se puede observar la colocación de los siguientes equipos:

- **Scada de control:** Equipo desde el cual se maneja la planta.
- **Generador de N<sub>2</sub>:** Desde él se inyecta nitrógeno al reactor, al ser este gas inerte, sirve para la prevención de explosiones al contactar los gases del interior con el oxígeno.

## 7. ANÁLISIS DE LAS SUSTANCIAS

Para las sustancias contenidas, las cuales se nombran a continuación, sería necesario realizar mediciones dadas las altas concentraciones de gases tóxicos y la distancia muy próxima de los trabajadores con el foco de emisión de estos.





Por ello, se considera que en caso de fuga de gases la concentración de tóxicos excede los VLA (Valor Límite Ambiental) y se aplicarán las medidas preventivas que se especifican en las FDS (Fichas de Datos de Seguridad):

- Metano (CH<sub>4</sub>).
- Hidrógeno (H<sub>2</sub>).
- Monóxido de Carbono (CO).
- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).
- Nitrógeno (N<sub>2</sub>).
- Etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).

- Etano ( $C_2H_6$ ).

Los peligros a los que se enfrentan las personas trabajadoras que se encuentren manipulando el equipo, las sustancias obtenidas de esta o en las inmediaciones de ella se encuentran en la siguiente tabla:



<u>Etiquetado según el Reglamento (CE) N° 1272/2008 (CLP).</u>	<u>Indicaciones de peligro</u>
<p data-bbox="510 360 696 389"><u>Metano (CH<sub>4</sub>)</u></p> 	<p data-bbox="1032 352 1541 381">H220 Gas extremadamente inflamable.</p> <p data-bbox="1032 400 1379 429">H226 Vapores inflamables.</p> <p data-bbox="1032 448 1458 477">H315 Provoca irritación cutánea.</p> <p data-bbox="1032 496 1514 525">H319 Provoca irritación ocular grave.</p> <p data-bbox="1032 544 1554 572">H335 Puede irritar las vías respiratorias.</p>
<p data-bbox="510 619 696 647"><u>Hidrógeno (H<sub>2</sub>)</u></p> 	<p data-bbox="1032 681 1541 710">H220 Gas extremadamente inflamable.</p> <p data-bbox="1032 729 1637 758">H272 Puede agravar un incendio, comburente.</p>
<p data-bbox="421 865 786 893"><u>Monóxido de Carbono (CO)</u></p> 	<p data-bbox="1032 863 1541 892">H220 Gas extremadamente inflamable.</p> <p data-bbox="1032 911 1491 940">H331 Tóxico en caso de inhalación.</p> <p data-bbox="1032 959 1391 987">H360D Puede dañar al feto.</p> <p data-bbox="1032 1007 2033 1067">H372 Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.</p>
<p data-bbox="427 1114 779 1142"><u>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).</u></p> 	<p data-bbox="1032 1214 1615 1243">H336 Puede provocar somnolencia o vértigo.</p>




<p><u>Nitrógeno (N<sub>2</sub>)</u></p> 	<p>H336 Puede provocar somnolencia o vértigo.</p>
<p><u>Etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)</u></p> 	<p>H220 Gas extremadamente inflamable. H336 Puede provocar somnolencia o vértigo.</p>
<p><u>Etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)</u></p> 	<p>H220 Gas extremadamente inflamable. H225 Vapores muy inflamables. H319 Provoca irritación ocular grave.</p>

Tabla 3: Análisis de riesgos de las sustancias (Elaboración propia).

## 8. EQUIPOS A PRESIÓN

Mediante el Real Decreto 709/2015 se legislan los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión.

Este especifica en su artículo 1 apartado 2º que se considerará equipo a presión cualquiera que esté sometido una presión máxima admisible superior a 0,5bar. Por lo tanto, se deberán aplicar los requisitos que establece a la planta de pirólisis.

Atendiendo a lo descrito en el artículo 4 apartado 1.1 a.1) “Para los fluidos del grupo 1 del artículo 13, los que tengan un volumen (V) superior a 1 litro (L) y cuyo producto PS×V sea superior a 25 bar \* litro, así como los que tengan una presión PS superior a 200 bar.”

Prestando atención al artículo 13 apartado 1.1 se decreta la clasificación de los equipos a presión. Dadas las propiedades de los gases utilizados, el equipo a presión que nos concierne pertenece al Grupo 1. Dichas características nos refieren al cuadro 1 del anexo II.

Dado que nuestro recipiente está diseñado para aguantar una presión de 2 bar y un volumen de 40 litros, el producto entre ambos nos arroja un resultado:

$$PxV = 2x40 = 80bar * litro$$

Atendiendo a la figura 1, este resultado coloca al equipo de presión en la Categoría II.

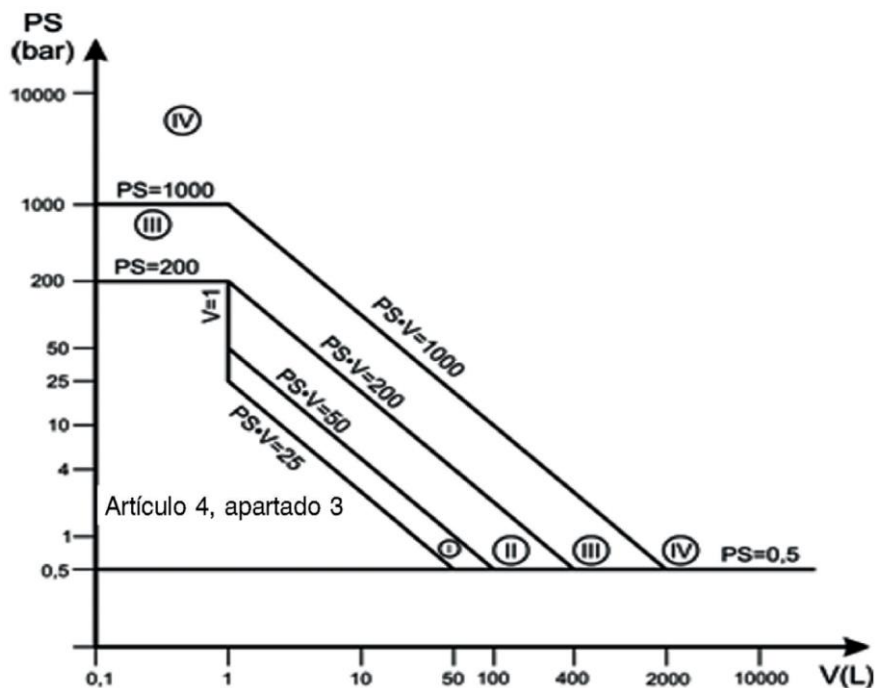


Ilustración 7: Recipientes contemplados en el artículo 4, apartado 1.1, párrafo a.1) Extraída del: Real Decreto 709/2015.

Por otra parte, los condensadores que contiene la planta también son considerados equipos a presión. Estos, están diseñados para aguantar una presión igual que la del reactor (2bar), poseen un radio de 5cm y una altura de 140cm. Por lo tanto, se calcularía el volumen de estos;

$$V = (\pi * r^2) * h = (\pi * 0,05^2) * 1,4 = 10,99 \approx 11 \text{ litros}$$

Habiendo hallado el volumen podemos realizar el producto de PxV para saber la categoría a la que pertenecen;

$$PxV = 2 * 11 = 22 \text{ bar} * \text{litro}$$

Si se presta atención a la Figura 1 y con este resultado si solo contáramos como equipo a presión con los condensadores, tendríamos que dirigirnos al 3º apartado del artículo 4 en el que se establece que estos equipos “deberán estar diseñados y fabricados de conformidad con las buenas prácticas de la técnica al uso en un Estado miembro de la Unión Europea, a fin de garantizar la seguridad en su utilización”.

El Real Decreto establece que el conjunto del equipo será sometido a las obligaciones aplicables al equipo sometido a mayor presión. Por lo que, como el reactor pirolizador está incluido en la categoría II, todo el equipo debe seguir los procedimientos de evaluación de la conformidad marcados para los módulos A2, D1 y E1, debiendo elegir el fabricante uno de ellos para cumplir con los requisitos. También podrá aplicar, en caso de así desearlo, los procedimientos para una categoría superior, siempre que esta exista.

## 9. MEDIDAS A TOMAR PARA UN PROCESO DE TRABAJO SEGURO

Antes del comienzo del trabajo:

1. Los trabajadores se deben colocar los equipos de protección individual (Calzado de seguridad, guantes...) proporcionados.
2. Se debe comprobar que los dispositivos se encuentran en buen estado y funcionan correctamente.
3. Comprobar que la zona de trabajo se encuentra en perfecto estado, en lo referente al orden y limpieza.

Proceso de trabajo:

1. Dicho proceso comienza con el pirolizador frío. Esta se enciende y comienza a calentarse hasta llegar a los 600°C, este proceso de calentamiento dura aproximadamente una hora. En el momento en que se enciende el equipo, se activa automáticamente el extractor ATEX con el fin de evacuar los gases del interior del equipo.
2. Se enciende el generador de nitrógeno.
3. Mientras el equipo se calienta se procede a la carga de la biomasa (pellets) quitando la tapadera e inclinando el pirolizador de manera que se evite la caída de la biomasa después de su carga.

4. Por los condensadores del equipo circulará agua de grifo para recuperar los gases condensables, con el fin de recibir el alquitrán. Se tendrán que retirar los residuos de estos cada 15 minutos.
5. A los 30 minutos de haber alcanzado la temperatura de operación se finaliza el proceso. Entonces, con el pirolizador y la biomasa todavía encontrándose a altas temperaturas, se inclina el reactor hacia arriba para evitar derramar el biochar, se abre la tapadera, se coloca el recipiente correspondiente y se vierte en él la biomasa.
6. Cuando el operario termina de extraer todo el biochar, este lo enfría con una manguera con agua mientras otro trabajador lo remueve para facilitar la tarea de enfriar todo el producto.

Después del trabajo:

1. Limpiar todas las superficies del equipo que se hayan podido ensuciar debido al alquitrán.
2. Comprobar que no ha habido fugas por cualquiera de las juntas del equipo.

## 10. ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS

La normativa aplicable a la prevención de riesgos en las atmósferas explosivas son las siguientes;

- **Real Decreto 144/2016**, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas.
- **Real Decreto 681/2003**, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
- **Artículo 43 de la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales**, el cual determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades para una adecuada protección de la salud de los trabajadores en el lugar de trabajo.



*Ilustración 8:  
Señalización de las zonas  
ATEX. Extraída de:  
[http://www.aitec-  
intl.com/blog/?p=540](http://www.aitec-intl.com/blog/?p=540)*

### Límites de explosividad

Para que se forme una atmósfera explosiva es necesario que se cumplan ciertas condiciones, dado que cada sustancia inflamable está estrechamente relacionada con su mezcla con el aire:

Todas las sustancias inflamables tienen un rango de concentración de aire en el cual la sustancia posee propiedades explosivas. Para seguir siendo explosiva debe mantenerse dentro del rango, por ello existe el límite inferior (LIE) y superior (LSE) de

explosividad dentro de los cuales la mezcla continúa siendo explosiva. En el caso de que la mezcla se encuentre fuera de estos límites no se produciría explosión.



Ilustración 9: Rango de explosividad de una sustancia inflamable. Extraído de: <http://www.demsa.com.ar>

Los datos referentes a los límites de explosividad pueden encontrarse en las fichas de datos de seguridad de cada sustancia. En ellas vendrán dados en forma de porcentaje en volumen y/o en masa por unidad de volumen. Para las sustancias que se van a encontrar en nuestra planta tenemos los siguientes límites:

Sustancia	Límites de explosividad	%(V)
<b>Metano (CH<sub>4</sub>).</b>	Límite Inferior de Explosividad (LIE).	5%
	Límite Superior de Explosividad (LSE).	15%
<b>Hidrógeno (H<sub>2</sub>).</b>	Límite Inferior de Explosividad (LIE).	4%
	Límite Superior de Explosividad (LSE).	77%
<b>Monóxido de Carbono (CO).</b>	Límite Inferior de Explosividad (LIE).	12,5%
	Límite Superior de Explosividad (LSE).	74%
	Límite Inferior de Explosividad (LIE).	No aplicable

<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).</b>	Límite Superior de Explosividad (LSE).	No aplicable
<b>Nitrógeno (N<sub>2</sub>).</b>	Límite Inferior de Explosividad (LIE).	No aplicable
	Límite Superior de Explosividad (LSE).	No aplicable
<b>Etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).</b>	Límite Inferior de Explosividad (LIE).	2,4%
	Límite Superior de Explosividad (LSE).	32%
<b>Etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>).</b>	Límite Inferior de Explosividad (LIE).	3,1%
	Límite Superior de Explosividad (LSE).	27,7%

Tabla 4: Límites de Explosividad de las sustancias contenidas (Elaboración propia).

Debido a la formación de estas sustancias pueden formarse atmósferas explosivas, por ello deben tomarse medidas para que la actividad laboral pueda realizarse de una manera segura. Siguiendo estas prioridades:

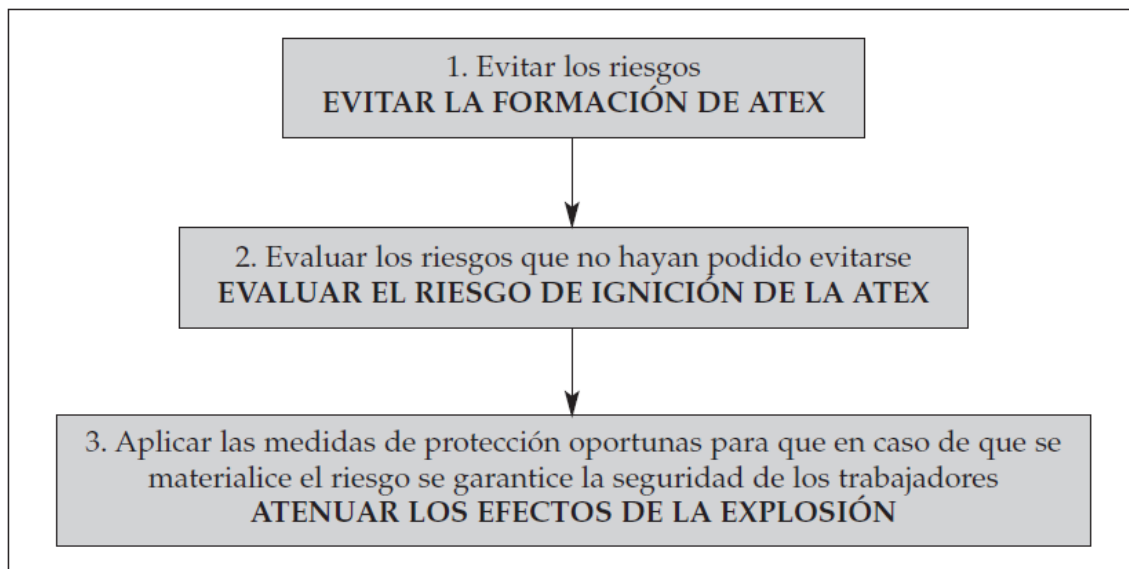


Ilustración 10: Prioridades para impedir la formación de ATEX (Documento INSST).

## Clasificación de las áreas de riesgos por atmósferas explosivas

El Real Decreto 681/2003 establece unas zonas en las que existirá riesgo de que se formen atmósferas explosivas.

Se considerarán áreas de riesgo todas en las que se puedan formar atmósferas explosivas en suficiente cantidad como para que sea necesaria la adopción de unas medidas de seguridad específicas para proteger la seguridad y salud de los trabajadores.

Lo recomendable para este tipo de equipos con riesgos de atmósferas explosivas sería realizar los cálculos pertinentes para delimitar las zonas con riesgo. En este caso estos cálculos no se han realizado, por lo que se supondrán las zonas que serían recomendables. Se han clasificado teniendo en cuenta:

- La frecuencia con la que se producen las atmósferas explosivas
- La duración de las atmósferas explosivas.

Las zonas con presencia de gases o vapores inflamables son aquellas en las que hay o puede existir la posibilidad de haber un gas, vapor o niebla en la cantidad suficiente para producir una atmósfera explosiva.

Este real decreto establece unas zonas de riesgo, las cuales especificarán sus requisitos y características propias, son principalmente tres;

### Zona 0:

Según el Real Decreto 681/2003 se refiere al “Área de trabajo en la que una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla está presente de modo permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia.”

La zona 0 se encontraría en:

- El reactor de pirólisis.
- El extractor ATEX y por su conducción hasta el exterior.
- Los condensadores.

En estos últimos sería por el gas de síntesis que se crea a consecuencia del proceso químico a altas temperaturas a la que se somete a la biomasa. Por todos los equipos se encuentran circulando los gases inflamables/explosivos generados.

### Zona 1:

El real decreto se refiere a la zona 1 como el área de trabajo en la que “es probable, en condiciones normales de explotación, la formación ocasional de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla.”

Por los equipos de esta zona es probable que se emita de manera prevista un gas o vapor a la atmósfera, en unos intervalos definidos. Este tipo de actividades pueden dar



a consecuencia que se generen atmósferas explosivas en el momento en que se realizan. Siempre que se realicen en unos intervalos definidos, dará lugar a una zona 1. Los equipos que se incluyen dentro de la zona 1 son aquellos que se encuentran **un metro alrededor** de una posible fuga, es decir donde en condiciones normales de funcionamiento no deberían formarse atmósferas explosivas o en el caso de formarse solo permanecerán durante periodos breves de tiempo. Por ello se consideran dentro de esta zona aquellas en las que un escape o avería pudiera producir una atmósfera explosiva:

- La válvula de seguridad del reactor de pirólisis.
- La tapadera del reactor.
- Las uniones y juntas del conjunto del equipo, así como 1 metro alrededor de todas ellas.

### Zona 2:

Es el área “en la que no es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva consistente en una mezcla con aire de sustancias inflamables en forma de gas, vapor o niebla o en la que, en caso de formarse, dicha atmósfera explosiva sólo permanece durante breves períodos de tiempo.”

En el caso de la planta piloto de pirólisis, nos referimos a una distancia de seguridad mayor que la de la zona 1. Entre **1 y 5 metros alrededor de el equipo**, donde, en condiciones normales de funcionamiento, no deben formarse atmósferas explosivas o en caso de formarse solo permanecerán durante periodos breves de tiempo. Por ello se consideran dentro de esta zona aquellas en las que un escape o avería pudiera producir una atmósfera explosiva.

### Elección De Los Equipos Y Sistemas De Protección

El Real Decreto 144/2016 establece que en todas las áreas en las que se puedan formar atmósferas explosivas deben utilizarse equipos y sistemas de protección que aseguren la protección de los trabajadores mientras se realiza la actividad laboral.

Estos equipos se distinguen en tres categorías, dependiendo de la seguridad que proporcionan ante las atmósferas explosivas. Deben resultar adecuados para utilizarlos en presencias de gases, vapores o nieblas inflamables. La categoría de estos depende de la zona ATEX en la que se encuentren;

- En la **Zona 0** se deberán colocar aparatos de **categoría 1** (Nivel de protección muy alto).
- En la **Zona 1** aparatos de **categoría 2** (Nivel de protección alto).
- En la **Zona 2** aparatos de **categoría 3** (Nivel de protección normal).

Los aparatos de categoría 1 utilizados para la zona 0, podrán utilizarse en las otras dos zonas, así como, los de la zona 1 en la 2. Que se utilice la categoría de aparatos adecuada para cada zona garantiza que a consecuencia de estos equipos no se provocará ninguna atmósfera explosiva, ni serán fuentes de ignición efectiva.

## 11. MEDIDAS ORGANIZATIVAS

Este tipo de medidas van destinadas a asegurar y minimizar los posibles riesgos que puedan surgir con el desarrollo de la acción laboral.

Formación e información de los trabajadores:

Todos los trabajadores que accedan a un área considerada como peligrosa por riesgo de explosión deberá ser informado de los riesgos que presenta dicha zona, así como, recibir la formación adecuada en cuanto a los riesgos de las atmósferas explosivas.

Los trabajadores que tengan que acceder a algún área que esté clasificada como peligrosa por el riesgo de atmósferas explosivas deberán recibir la siguiente formación e información:

- Las medidas preventivas adoptadas a consecuencia de la evaluación de riesgos sobre el riesgo de explosiones.
- El manejo adecuado sobre los equipos y sistemas de protección a utilizar.
- Acciones prohibidas en las inmediaciones de la zona considerada de riesgo por explosión (fumar, comer, etc.).
- Rutas y señales de evacuación.

Además, deberán recibir los siguientes medios para trabajar en estas zonas:

- Ropa de trabajo.
- Equipos de protección individual.
- Medios de protección colectivos.
- Herramientas y equipos necesarios para el trabajo.

Los trabajadores deberán conocer a la perfección el plan de emergencia para saber de qué manera debe actuar cada uno en caso de incendio o explosión. También se deberá ofrecer esta información al personal presente en estas zonas pero que no sean empleados de la empresa, con el fin de garantizar su seguridad.

### Instrucciones y permisos de trabajo

Estos permisos deben ser expedidos por el empresario y se deben entregar a los trabajadores antes del comienzo de los trabajos que entrañen riesgo de explosión, deberán contemplar todas aquellas acciones y aspectos que puedan entrañar riesgo de explosión. Este documento deberá contener:

- Las medidas preventivas a adoptar.
- Los equipos de protección necesarios, tanto individuales como colectivos.
- Comunicación de las irregularidades que surjan en el desarrollo de la actividad laboral.
- Inicio y finalización de los trabajos.
- Revisión de las instalaciones para su comprobación y la reanudación del servicio.
- Indicaciones de los riesgos.

- Personal que va a realizar la actividad.

Cuando se finalicen los trabajos se deberá comprobar si sigue manteniéndose o se ha restablecido la seguridad de la instalación.


#### Medidas de protección contra las explosiones

- Evitar la existencia de focos de ignición como resultado de la electricidad estática.
- Colocar pararrayos para evitar la existencia de focos de ignición por descarga atmosférica.
- Ubicar en zona correctamente ventilada con el fin de evitar altas concentraciones de sustancias explosivas.
- Antes de cada utilización comprobar que no existe fuga alguna o derrame de los materiales explosivos/inflamables utilizados o generados durante el proceso.
- Introducir un gas inerte, como el nitrógeno, para evitar explosiones por el contacto de los gases inflamables del interior del reactor con el oxígeno.
- Colocar una válvula de seguridad de alivio de presión de 2 bar, conducida a algún lugar seguro (exterior, antorcha). Sería recomendable que los gases fueran conducidos a una antorcha para disminuir el grado de contaminación de estos.
- Proporcionar formación e información en lo referente a atmósferas explosivas.
- Establecer un procedimiento de trabajo que permita dejar enfriar el pirolizador antes de su apertura.
- Calzado antiestático y ropa de trabajo que no dé lugar a descargas electrostáticas.
- Señalización de que se encuentra en una zona con riesgos de atmósferas explosivas.

#### Plan de emergencia

Se deberá contar con un plan de emergencia que considere las posibles emergencias que se puedan producir, la forma detallada de controlar estas por el personal de la empresa, la actuación ante las emergencias, los procedimientos a seguir de acuerdo a las distintas emergencias, el plan de evacuación del trabajo y la posible comunicación con los servicios de emergencia.


## 12. VALORACIÓN DE LOS RIESGOS

 CARTIF	FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EVITABLES	
Riesgos	Causas	Medidas Preventivas
<b>Atrapamiento por o entre objetos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipo de trabajo con parte móvil accesible.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enrejado recubriendo las partes giratorias que evite llegar hasta el tanque del pirolizador.</li> <li>- Uso de ropa de trabajo ajustada y cabello recogido.</li> <li>- Prohibido llevar joyas durante el proceso de trabajo.</li> <li>- Colocación de botón de parada de emergencia, de manera que se alcance desde la zona de trabajo.</li> </ul>
<b>Caídas al mismo nivel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resbalones por suelos húmedos.</li> <li>- Resbalones por sustancias derramadas.</li> <li>-Tropiezos con obstáculos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantener el orden y la limpieza del entorno de trabajo.</li> <li>- Señalizar en caso de encontrarse húmedo el suelo.</li> <li>- Calzado de seguridad con goma antideslizante.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- En caso de derrame de líquidos limpiar de inmediato o recoger con un material absorbente.</li> </ul>
<b>Exposición a contaminantes químicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposición a gases del interior.</li> <li>- Exposición a alquitrán.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ubicar el equipo en lugar bien ventilado.</li> <li>- Máscara combinada con protección respiratoria y facial, con filtros de carbón activo, adecuados a los gases que se desprenden (Colocar en caso de fuga de gases).</li> <li>- Conocer las indicaciones de seguridad propias de los contaminantes. Formación e información.</li> <li>- Ducha de emergencia.</li> <li>- Guantes resistentes a químicos.</li> </ul>
<b>Contactos térmicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contacto con la tapadera a altas temperaturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Guantes contra los riesgos de origen térmico. (EN 407)</li> <li>- Colocar aislante en la tapadera.</li> <li>- Automatizar las operaciones necesarias para la recogida del biochar caliente (Apertura, volcado del biochar y refrigeración de este.).</li> </ul>
<b>Explosiones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fugas o derrames.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Antes de cada utilización comprobar que no existe ninguna fuga o derrame de alguno de los materiales explosivos/inflamables.</li> </ul>

<b>Equipos a presión</b>	- Fugas o derrames.	- Utilización y mantenimiento según el RD 2060/2008.
<b>Sobretensiones.</b>	- Conexión de equipos de mayor potencia para lo que está diseñada la línea.	- Colocación de interruptores automáticos magnetotérmicos.


Tabla 5: Riesgos Evitables (Elaboración propia).

 <b>CARTIF</b>				<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE EVALUACIÓN DE RIESGOS (Pirolizador)</b>		
Riesgos	Evaluación			Causas	Medidas Preventivas	
	P	C	R			
<b>Caída de objetos en manipulación</b>	M	D	Mo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocación y quitado de la tapa de el equipo.</li> <li>- Carga del material al interior de el equipo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calzado de Seguridad con puntera reforzada.</li> <li>- Guantes que faciliten el agarre.</li> <li>- Mantener los recipientes limpios y exentos de sustancias resbaladizas o pegajosas.</li> <li>- Mantener el orden y limpieza del puesto de trabajo.</li> </ul>	
<b>Exposición a sustancias nocivas, tóxicas, cáusticas y/o corrosivas</b>	B	M	To	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posible contacto con alquitranes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilización de los Epis correspondientes al manipular el alquitrán (Guantes resistentes a químicos (EN 374), máscara y gafas con protección ocular y guardas laterales).</li> <li>- No fumar, comer ni beber en los alrededores de los productos.</li> </ul>	

<b>Explosiones.</b>	B	ED	Mo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calentamiento de los gases en el interior del pirolizador y contacto de estos con el oxígeno al abrir la tapadera.</li> <li>- Aumento de la presión en el interior del tanque.</li> <li>- Contacto de los gases del interior del pirolizador con el oxígeno del exterior.</li> <li>- Operar con herramientas eléctricas que puedan generar chispas en las inmediaciones los polvos o vapores de las sustancias inflamables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar una válvula de seguridad de alivio de presión de 2 bar, conducida a algún lugar seguro (exterior, antorcha). Sería recomendable que los gases fueran conducidos a una antorcha para disminuir el grado de contaminación de estos.</li> <li>- Proporcionar formación e información en lo referente a atmósferas explosivas.</li> <li>- Establecer un procedimiento de trabajo que permita dejar enfriar el pirolizador antes de su apertura.</li> <li>- Calzado antiestático y ropa de trabajo que no dé lugar a descargas electrostáticas.</li> <li>- Señalización de que se encuentra en una zona con riesgos de atmósferas explosivas.</li> </ul>
<b>Riesgo de incendio.</b>	B	ED	Mo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Químicos inflamables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conectar el pirolizador a tierra para evitar la inflamación de vapores por la descarga de la electricidad estática.</li> <li>- No almacenar productos inflamables cerca de fuentes de calor.</li> <li>- Equipos contra incendios en las inmediaciones.</li> </ul>

*Valoración: (P) Probabilidad: B (Baja), M (Media), A (Alta). (C) Consecuencia: LD (Ligeramente Dañino), D (Dañino), ED (Extramadamente Dañino). (R) Valor del Riesgo: T (Trivial), To (Tolerable), Mo (Moderado), I (Importante), IN (Intolerable).*


*Tabla 6: Evaluación de Riesgos del Pirolizador.*

				<b>FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE EVALUACIÓN DE RIESGOS (Condensadores)</b>		
Riesgos	Evaluación			Causas	Medidas Preventivas	
	P	C	R			
<b>Caída de objetos por desplome o derrumbamiento</b>	B	D	To	- Caída de los condensadores.	- Fijar los condensadores al suelo/pared.	
<b>Golpes contra objetos inmóviles</b>	M	LD	To	- Golpes contra los condensadores.	- Colocar los condensadores de forma ordenada, de manera que haya un carril libre para la circulación.	
<b>Explosiones.</b>	B	ED	Mo	- Circulación por el interior de gases inflamables a altas temperaturas.	- Mantener el equipo adecuadamente mantenido. - Conectar el equipo a tierra para evitar cargar electrostáticas	

*Valoración: (P) Probabilidad: B (Baja), M (Media), A (Alta). (C) Consecuencia: LD (Ligeramente Dañino), D (Dañino), ED (Extramadamente Dañino). (R) Valor del Riesgo: T (Trivial), To (Tolerable), Mo (Moderado), I (Importante), IN (Intolerable).*

*Tabla 7: Evaluación de Riesgos de los Condensadores (Elaboración).*



 CARTIF				FICHA DE IDENTIFICACIÓN DE EVALUACIÓN DE RIESGOS (Generador de N <sub>2</sub> )	
Riesgos	Evaluación			Causas	Medidas Preventivas
	P	C	R		
Exposición a contaminantes químicos.	B	ED	Mo	- Riesgo de asfixia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Señalizar de manera que se indique se existe riesgo de asfixia por inhalación del gas.</li> <li>- Uso de máscaras en caso de fuga.</li> <li>- Colocar en un lugar bien ventilado.</li> <li>- Colocar un detector de oxígeno.</li> </ul>

*Valoración: (P) Probabilidad: B (Baja), M (Media), A (Alta). (C) Consecuencia: LD (Ligeramente Dañino), D (Dañino), ED (Extramadamente Dañino). (R) Valor del Riesgo: T (Trivial), To (Tolerable), Mo (Moderado), I (Importante), IN (Intolerable).*

*Tabla 8: Evaluación de Riesgos del Generador N<sub>2</sub> (Elaboración propia).*

### 13. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS

Atendiendo a las medidas preventivas mencionadas en las tablas anteriores, para el reactor de pirólisis, los condensadores y el generador de Nitrógeno y suponiendo que el trabajo relacionado con la planta de pirólisis lo realizarán dos trabajadores conjuntamente, se obtiene la siguiente tabla de gastos referente a los EPIs:

Medida Preventiva	N.º de equipos necesarios	Coste de la medida	Coste Total
1- Enrejado (4m²).	1	300, 00 €	300,00 €
2- Pulsador de emergencia.	1	53,35 €	53,35 €
3- Señal suelo húmedo.	1	8,47 €	8,47 €
4- Aislante Tapadera.	1	27,00 €	27,00 €
5- Compra y colocación de ducha de emergencia.	1	500, 00 €	500, 00 €
6- Automatización recogida biochar.	1	5. 000 €	5. 000 €
7- Válvula de seguridad de presión.	1	61,07 €	61,07 €
8- Formación en ATEX (6h).	2	411,40 €	822,80 €
9- Señalización zona ATEX.	1	4,90 €	4,90 €
10- Fijación condensadores al suelo.	2	200, 00 €	400,00 €
11- Fijación del generador.	1	200, 00 €	200 €
12- Señalización riesgo por asfixia.	1	5,90 €	5,90 €
<b>Coste Total</b>			<b><u>7.383,49 €</u></b>

Tabla 9: Coste de las medidas preventivas propuestas (Elaboración propia).

Medida Preventiva	Nº de EPIs necesarios	Coste de los EPIs	Coste Total
13- Calzado de seguridad contra riesgo químico, con propiedades antiestáticas, con puntera reforzada y suela antideslizante.	2	26,20 €	52,40 €
14- Guantes no desechables de protección química.	2	4,17 €	8,34 €
15- Guantes de piel.	2	7,85 €	15,70 €
16- Máscara combinada con protección respiratoria, con filtros de carbón activo (Adecuados a los gases que se desprenden), y facial.	2	69,95 €	139,9 €
<b>Coste Total</b>			<b><u>226,34 €</u></b>

Tabla 10: Coste de los EPIs propuestos (Elaboración propia).

Coste Total de las Medidas Preventivas	7.383,49 €
Coste Total de los Equipos de Protección Individual	226,34 €
<b>Coste Total</b>	<b><u>7.609,83 €</u></b>

Tabla 11: Costes Totales de las medidas acordadas (Elaboración propia).

El coste del presupuesto puede parecer elevado, pero se debe tener en cuenta que está realizado para minimizar los accidentes y mejorar las condiciones laborales de los trabajadores, además es posible que algunos de los EPIs requeridos ya se posean, como los guantes, calzado de seguridad, etc. no siendo necesaria de esta manera la inversión en ellos.

El plan de acción de las medidas preventivas comenzará el 10 de septiembre de 2021, estas medidas se irán implementando gradualmente, comenzando con las más necesarias por orden prioridad.

<b>Plan de Acción</b>		
<b>Nº Medida</b>	<b>Responsable</b>	<b>Orden de Implantación</b>
<b>1. Enrejado (4m<sup>2</sup>).</b>	Responsable de Seguridad	<b>15</b>
<b>2. Pulsador de emergencia.</b>	Responsable de Seguridad	<b>14</b>
<b>3. Señal suelo húmedo.</b>	Responsable de Seguridad	<b>13</b>
<b>4. Aislante Tapadera.</b>	Responsable de Seguridad	<b>12</b>
<b>5. Compra y colocación de ducha de emergencia.</b>	Responsable de Seguridad	<b>4</b>
<b>6. Automatización recogida biochar.</b>	Responsable de Seguridad	<b>11</b>
<b>7. Válvula de seguridad de presión.</b>	Responsable de Seguridad	<b>1</b>
<b>8. Formación en ATEX (6h).</b>	Responsable de Seguridad	<b>3</b>
<b>9. Señalización zona ATEX.</b>	Responsable de Seguridad	<b>5</b>
<b>10. Fijación condensadores al suelo.</b>	Responsable de Seguridad	<b>10</b>
<b>11. Fijación del generador.</b>	Responsable de Seguridad	<b>8</b>
<b>12. Señalización riesgo por asfixia.</b>	Responsable de Seguridad	<b>9</b>
<b>13. Calzado de seguridad contra riesgo químico, con propiedades antiestáticas, con puntera reforzada y suela antideslizante.</b>	Responsable de Seguridad	<b>6</b>
<b>14. Guantes no desechables de protección química.</b>	Responsable de Seguridad	<b>7</b>
<b>15. Guantes de piel.</b>	Responsable de Seguridad	<b>16</b>
<b>16. Máscara combinada con protección respiratoria, con filtros de carbón activo (Adecuados a los gases que se desprenden), y facial.</b>	Responsable de Seguridad	<b>2</b>

*Tabla 12: Plan de Acción (Elaboración Propia).*

## 14. ACTUACIÓN EN CASO DE ACCIDENTE LABORAL

Las actuaciones que deben seguir los trabajadores en caso de que resulten accidentados en el desarrollo de sus actividades laborales son las siguientes:

El primer paso debe ser estimar la gravedad del accidente:

- **Accidente leve** (las lesiones que produce no resultan en ningún tipo de secuelas):

Se debe comunicar de manera inmediata al responsable directo, además de solicitar un parte de asistencia a la mutua.



El parte debe solicitarse al responsable directo.



Al cumplimentar el parte se debe acudir con él a la mutua.

En el caso de que el accidente necesite que se traslade urgentemente al herido al centro médico más cercano, será el responsable directo el encargado de su traslado.

- **Accidente grave** (resultan en lesiones que incapacitan al trabajador para el desempeño de su trabajo):  
Aviso inmediato al 112.

## 15. CONCLUSIONES EXTRAÍDAS

En la elaboración del Proyecto Fin de Máster, se ha podido desarrollar una evaluación de riesgos sobre una planta piloto de pirólisis, profundizando para ello en la utilización del método del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Gracias a la realización de dicha evaluación he podido descubrir en profundidad cómo se utiliza el método, así como adquirir amplios conocimientos sobre la seguridad y salud en los lugares de trabajo. Del mismo modo, sobre la manipulación de sustancias químicas por parte de los trabajadores, además de los peligros que estos suponen para ellos.

Debido a este método se han podido caracterizar y valorar los riesgos derivados de la utilización de la planta piloto de pirólisis.

Para poder desarrollar correctamente esta evaluación se ha estudiado en profundidad el Real Decreto 709/2015, observando en él los procedimientos de evaluación de la conformidad marcados para los módulos en los que se encuentra incluido el equipo por las características de las que dispone.

Se ha realizado un profundo análisis de las atmósferas explosivas, se han investigado los límites de explosividad con los que cuentan las diferentes sustancias químicas que son utilizadas en el proceso, para ello se ha estudiado cada una de las Fichas de Datos de Seguridad de los componentes.

Siguiendo con lo referente a las atmósferas explosivas, se han decretado distintas zonas de riesgo, dependiendo del peligro de posibles explosiones que hubiera en cada una de ellas. Lo realmente recomendable sería la realización de los cálculos para la delimitación de estas zonas dado que en este informe se han supuesto las que serían recomendables.

De la misma manera, para la elección de los equipos y sistemas de protección sobre las atmósferas explosivas (ATEX) se ha estudiado el Real Decreto 144/2016, el cual establece tres categorías dependiendo de la protección que deban ofrecer.

Se ha diseñado un proceso de trabajo seguro de modo que se minimicen los riesgos a los que se exponen los trabajadores.

Se debe tener en cuenta que, al tratarse de un prototipo, los resultados que se han obtenido se han basado en suposiciones, de cualquier manera, este trabajo bien se podría aplicar a un entorno real.

Finalmente, hay que recalcar que uno de los papeles más importantes en lo que respecta a la prevención de riesgos laborales es la formación e información de los trabajadores, dado que se pueden evitar la mayoría de los accidentes laborales si se concientia a las personas trabajadoras de los peligros que entraña su trabajo, así como la importancia de mantener su integridad física durante el desarrollo de la actividad.

## 16. BIBLIOGRAFÍA

Azules de Vergara. Guante Neopreno Flockado Algodón. 2021. Recuperado el 12 de Julio de 2021, <https://www.azulesdevergara.com/riesgos-quimicos/434-guante-neopreno.html>

Basañaez A. La Prevención de Riesgos Laborales en La Organización del Trabajo. UPV - EHU. 2019. p. 1-90. Recuperado el 25 de Julio de 2021.

Boletín Oficial del Estado. Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995. Boletín del Estado. 1996;19(209):8-9. Recuperado el 7 de Julio de 2021, <https://www.boe.es/buscar/pdf/1995/BOE-A-1995-24292-consolidado.pdf>

Ceupe. El riesgo por incendio. Ceupe Mag. Recuperado el 20 de Julio de 2021, <https://www.ceupe.com/blog/el-riesgo-por-incendio.html>

Colaudio. Vesubio, zapato S1P de nobuck marrón aireado. Recuperado el 25 de Julio de 2021, <https://colaudio.es/producto/vesubio-zapato-s1p-de-nobuck-marron-aireado/>

CYPE Ingenieros. Enrejado de alambre galvanizado. Recuperado el 10 de Agosto de 2021, [http://www.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Seguridad\\_y\\_salud/Sistemas\\_de\\_proteccion\\_colectiva/Proteccion\\_de\\_taludes/YCD020\\_Malla\\_de\\_proteccion\\_de\\_talud\\_con\\_en.html#gsc.tab=0](http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Seguridad_y_salud/Sistemas_de_proteccion_colectiva/Proteccion_de_taludes/YCD020_Malla_de_proteccion_de_talud_con_en.html#gsc.tab=0)

Divetis. Señal de suelo - Advertencia pavimento mojado. Recuperado el 4 de Agosto de 2021, [https://www.gdstore.eu/es/senalizacion/2212-senal-de-suelo-advertencia-pavimento-mojado.html?search\\_query=suelo+humedo&results=40](https://www.gdstore.eu/es/senalizacion/2212-senal-de-suelo-advertencia-pavimento-mojado.html?search_query=suelo+humedo&results=40)

Eaton. Seta Emergencia Eaton. Recuperado el 12 de Agosto de 2021, [https://es.rs-online.com/web/p/botones-pulsadores-de-parada-de-emergencia/3993129/?cm\\_mmc=ES-PLA-DS3A-\\_-google-\\_-PLA\\_ES\\_ES\\_Interruptores\\_Whoop-\\_\(ES:Whoop!\)+Botones+Pulsadores+de+Parada+de+Emergencia-\\_-3993129&matchtype=&pla-341187609788&gclid=CjwKCAjwlrqHBhByEiwAnLmYUAFtSuIMb9ObDNyRE88964oolqbSNxWeNX-gLOlordBhDLsfAYenhoCEHIQAvD\\_BwE&gclidsrc=aw.ds](https://es.rs-online.com/web/p/botones-pulsadores-de-parada-de-emergencia/3993129/?cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_ES_ES_Interruptores_Whoop-_(ES:Whoop!)+Botones+Pulsadores+de+Parada+de+Emergencia-_-3993129&matchtype=&pla-341187609788&gclid=CjwKCAjwlrqHBhByEiwAnLmYUAFtSuIMb9ObDNyRE88964oolqbSNxWeNX-gLOlordBhDLsfAYenhoCEHIQAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds)

Epiplus. Mascara Elipse Integra A2P3. Recuperado el 3 de Agosto de 2021, <https://epiplus.es/mascara-elipse-integra-a2p3.html>

Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. 2021. Recuperado el 10 de Agosto de 2021, <https://www.insst.es/documents/94886/203536/Guía+Técnica+para+la+evaluac>

ión+y+prevención+de+los+riesgos+derivados+de+atmósferas+explosivas+en+el+lugar+de+trabajo/d54dcb4f-2814-4b12-a591-ba9be3b4b0da

- Linde Group. Ficha de datos de seguridad Etileno. Linde Group. 2013; 2006:1-9. Recuperado el 14 de Julio de 2021, [https://www.linde-gas.es/es/images/10021778.Etileno.rev.1.2\\_tcm316-89369.pdf](https://www.linde-gas.es/es/images/10021778.Etileno.rev.1.2_tcm316-89369.pdf)
- Liquide A. Ficha de datos de seguridad Monóxido de Carbono. Air Liq . 2019; 6:1-18. Recuperado el 10 de Julio de 2021, [http://fds.airliquide.es/SDS\\_ES/SDS\\_files/ES/019-1.pdf](http://fds.airliquide.es/SDS_ES/SDS_files/ES/019-1.pdf)
- Merck. Ficha de datos de seguridad Metano. Merck [Internet]. 2012;2(1907):1-10. Recuperado el 18 de Julio de 2021, [https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/METANOL+\\_MERCK.pdf/86a7addb-1698-46b5-a69d-f34b5f78a2ba?version=1.0](https://www.javeriana.edu.co/documents/4486808/5015300/METANOL+_MERCK.pdf/86a7addb-1698-46b5-a69d-f34b5f78a2ba?version=1.0)
- Messer. Fichas de datos de seguridad Nitrógeno Líquido. Messer [Internet]. 2017; 2006:1-11. Recuperado el 20 de Julio de 2021, [https://sds.edqm.eu/pdf/SDS/EDQM\\_201600316\\_1.0\\_SDS\\_ES.pdf?ref=1496721332](https://sds.edqm.eu/pdf/SDS/EDQM_201600316_1.0_SDS_ES.pdf?ref=1496721332)
- Ministerio de Industria Energía y Turismo. Real Decreto 144/2016, de 8 de abril, por el que se establecen los requisitos esenciales de salud y seguridad exigibles a los aparatos y sistemas de protección para su uso en atmósferas potencialmente explosivas y por el que se modifica el Real Decreto 45. 2016;1-41. Recuperado el 5 de Julio de 2021, en: <http://www.boe.es>
- Ministerio de industria turismo y comercio. Real Decreto 709/2015, de 24 de julio, por el que se establecen los requisitos esenciales de seguridad para la comercialización de los equipos a presión. Boletín del Estado. 2017;690-5. Recuperado el 6 de Julio de 2021, <http://www.boe.es>
- Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. Boletín del Estado. 2003;23341-5. Recuperado el 9 de Julio de 2021, <http://www.boe.es/boe/dias/2003/06/18/pdfs/A23341-23345.pdf>
- Ministerio de Vivienda. Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias. Boletín del Estado. 2008;51909. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2008/12/24/pdfs/A51909-51937.pdf>
- Praxair. Ficha de datos de seguridad Dióxido de Carbono. Praxair. 2016; 8:21. Recuperado el 20 de Julio de 2021, [https://www.linde.ar/-](https://www.linde.ar/)



/media/corporate/praxair-argentina/documents/hojas-de-datos-de-seguridad/hdsp-dioxido-de-carbono-comprimido.pdf

- Quirumed. Ducha de emergencia con lavaojos de acero galvanizado. Recuperado el 17 de Julio de 2021, [https://www.quirumed.com/es/ducha-de-emergencia-con-lavaojos-de-acero-galvanizado.html?gclid=CjwKCAjwgISIBhBfEiwALE19STVokFPkd32tjqWtxeg7-KzcDkDFg\\_8OPQBFzSivREZNgmbORvZekxoC2jIQAvD\\_BwEROTH](https://www.quirumed.com/es/ducha-de-emergencia-con-lavaojos-de-acero-galvanizado.html?gclid=CjwKCAjwgISIBhBfEiwALE19STVokFPkd32tjqWtxeg7-KzcDkDFg_8OPQBFzSivREZNgmbORvZekxoC2jIQAvD_BwEROTH). Ficha de datos de seguridad Etano. Roth. 2019;2006(1907):1-18. Recuperado el 16 de Julio de 2021, [https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/0/SDB\\_0183\\_ES\\_ES.pdf](https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/0/SDB_0183_ES_ES.pdf)
- Safetop. Gafa Protección Patriot Lente Clara. Recuperado el 5 de Agosto de 2021, <https://epiplus.es/gafa-proteccion-patriot-lente-clara.html>
- Senyals. Señal de Riesgo de Asfixia. Recuperado el 7 de Agosto de 2021, <https://www.senyals.com/senales-de-seguridad/senales-advertencia-de-peligro-iso7010/senal-riesgo-de-asfixia.html>
- Senyals. Señal de Riesgo de Atmósferas Explosivas. Recuperado el 4 de Agosto de 2021, <https://www.senyals.com/senal-riesgo-de-atmosferas-explosivas-tinta-uv.html>
- Servitrapo. Guantes Mixtos Brick Fit. Recuperado el 18 de Julio de 2021, <https://www.servitrapo.com/guantes-mixtos-de-serraje-y-lona/guantes-mixtos-brick-fit>
- SoloStocks. Aislante Térmico Reflexivo. Recuperado el 29 de Julio de 2021, <https://www.solostocks.com/venta-productos/materiales-ignifugos-aislantes/otros-materiales/aislante-termico-reflexivo-rollo-5-m-x-1-20-m-31091732>
- Thermo Fisher Scientific. Ficha de datos de seguridad Dióxido de Hidrógeno. Thermo Fisher Scientific. 2020;2(1907):2-13. Recuperado el 7 de Julio de 2021, <https://www.fishersci.es/store/msds?partNumber=10746291&productDescription=perxido-de-hidrogeno-al-pv--volmenes-puro-fisher-chemical&countryCode=ES&language=es>
- TUV SUD. Curso de Seguridad en Atmósferas Explosivas (ATEX). Recuperado el 3 de Agosto de 2021, <https://www.tuvsud.com/es-es/servicios/formacion/areas-formacion/seguridad/curso-seguridad-atmosferas-explosivas-atex>

## ANEXO I. MÓDULOS EQUIPOS A PRESIÓN

cumplir los requisitos esenciales de seguridad del presente real decreto; en caso de normas armonizadas que se apliquen parcialmente, se especificarán en la documentación técnica las partes que se hayan aplicado.

Los resultados de los cálculos de diseño realizados, de los exámenes efectuados, etc. Los informes sobre los ensayos.

### 3. Fabricación.

El fabricante tomará todas las medidas necesarias para que el procedimiento de fabricación y su seguimiento garanticen la conformidad del equipo a presión fabricado con la documentación técnica prevista en el apartado 2 y con los requisitos de este real decreto.

### 4. Marcado CE y declaración UE de conformidad.

4.1 El fabricante colocará el marcado CE en cada equipo a presión que satisfaga los requisitos aplicables del presente real decreto.

4.2 El fabricante redactará una declaración UE de conformidad para el modelo de equipo a presión y la mantendrá junto con la documentación técnica a disposición de las autoridades nacionales durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado. En la declaración UE de conformidad se identificará el equipo a presión para el que ha sido elaborada.

Se facilitará una copia de la declaración UE de conformidad a las autoridades competentes que lo soliciten.

### 5. Representante autorizado.

Las obligaciones del fabricante mencionadas en el apartado 4 podrá cumplirlas su representante autorizado, en su nombre y bajo su responsabilidad, siempre que estén especificadas en su mandato.

#### *Módulo A2*

(Control interno de la producción más control supervisado de los equipos a presión a intervalos aleatorios)

### 1. Concepto.

El control interno de la producción más el control supervisado de los equipos a presión a intervalos aleatorios constituyen el procedimiento de evaluación de la conformidad por el que el fabricante cumple las obligaciones establecidas en los apartados 2, 3, 4 y 5, y garantiza y declara, bajo su exclusiva responsabilidad que los equipos a presión en cuestión cumplen los requisitos de este real decreto.

### 2. Documentación técnica.

El fabricante elaborará la documentación técnica. La documentación permitirá evaluar si el equipo a presión cumple los requisitos pertinentes e incluirá un análisis y una evaluación del riesgo adecuados. Especificará los requisitos aplicables y contemplará en la medida en que sea pertinente para la evaluación, el diseño, la fabricación y el funcionamiento del equipo a presión. La documentación técnica incluirá, cuando proceda, al menos los siguientes elementos:

Una descripción general del equipo a presión.

Los planos de diseño y de fabricación y los esquemas de los componentes, subconjuntos, circuitos, etc.

Las descripciones y explicaciones necesarias para la comprensión de dichos planos y esquemas y del funcionamiento del equipo a presión.

Una lista de las normas armonizadas, aplicadas total o parcialmente, cuyas referencias se hayan publicado en el «Diario Oficial de la Unión Europea» y, cuando no se hayan aplicado esas normas armonizadas, la descripción de las soluciones adoptadas para cumplir los requisitos esenciales de seguridad del presente real decreto; en caso de normas armonizadas que se apliquen parcialmente, se especificarán en la documentación técnica las partes que se hayan aplicado.

Los resultados de los cálculos de diseño realizados, de los exámenes efectuados, etc. Los informes sobre los ensayos.

### 3. Fabricación.

El fabricante tomará todas las medidas necesarias para que el proceso de fabricación y su seguimiento garanticen la conformidad de los equipos a presión fabricados con la documentación técnica mencionada en el apartado 2 y con los requisitos de este real decreto que se le aplican.

### 4. Evaluación final y controles de los equipos a presión.

El fabricante efectuará una evaluación final del equipo a presión, sujeta a un seguimiento mediante visitas sin previo aviso de un organismo notificado elegido por el fabricante.

El organismo notificado efectuará o mandará efectuar controles de los productos a intervalos aleatorios que él mismo determinará para verificar la calidad de los controles internos de los equipos a presión, teniendo en cuenta, entre otras cosas, la complejidad tecnológica de los equipos a presión y el volumen de producción.

Durante estas visitas sin previo aviso, el organismo notificado:

Se asegurará de que el fabricante realiza efectivamente la evaluación final con arreglo al apartado 3.2 del anexo I.

Tomará muestras del equipo a presión en los locales de fabricación o de almacenamiento para efectuar los controles; el organismo notificado determinará el número de muestras de equipos que deberán tomarse, así como la necesidad de efectuar o mandar efectuar íntegra o parcialmente la evaluación final de las muestras.

El procedimiento de muestreo de aceptación que debe aplicarse tiene por objeto determinar si el proceso de fabricación del equipo a presión se lleva a cabo dentro de límites aceptables con vistas a garantizar la conformidad del equipo.

En caso de que uno o varios equipos a presión o conjuntos no resulten conformes, el organismo notificado tomará las medidas oportunas.

El fabricante, bajo la responsabilidad del organismo notificado, colocará el número de identificación del organismo notificado durante el proceso de fabricación.

### 5. Marcado CE y declaración UE de conformidad.

5.1 El fabricante colocará el marcado CE en cada equipo a presión que satisfaga los requisitos aplicables del presente real decreto.

5.2 El fabricante redactará una declaración UE de conformidad para el modelo de equipo a presión y la mantendrá junto con la documentación técnica a disposición de las autoridades nacionales durante un período de diez años después de la introducción del equipo a presión en el mercado. En la declaración UE de conformidad se identificará el equipo a presión para el que ha sido elaborada.

Se facilitará una copia de la declaración UE de conformidad a las autoridades competentes que lo soliciten.

### 6. Representante autorizado.

Las obligaciones del fabricante mencionadas en el apartado 5 podrá cumplirlas su representante autorizado, en su nombre y bajo su responsabilidad, siempre que estén especificadas en su mandato.

En el transcurso de dichas visitas, el organismo notificado podrá efectuar o hacer efectuar, si se considera necesario, ensayos del producto con objeto de comprobar el buen funcionamiento del sistema de calidad. Dicho organismo presentará al fabricante un informe de la visita y, si se hubiese realizado algún ensayo, un informe del mismo.

#### 5. Marcado CE y declaración UE de conformidad.

5.1 El fabricante colocará el marcado CE y, bajo la responsabilidad del organismo notificado mencionado en el apartado 3.1, el número de identificación de este último en cada equipo a presión que sea conforme con el tipo descrito en el certificado de examen UE de tipo y satisfaga los requisitos aplicables del presente real decreto.

5.2 El fabricante redactará una declaración UE de conformidad para cada modelo de equipo a presión y la mantendrá a disposición de las autoridades nacionales durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado. En la declaración UE de conformidad se identificará el modelo de equipo a presión para el que ha sido elaborada.

Se facilitará una copia de la declaración UE de conformidad a las autoridades competentes previa solicitud.

#### 6. Conservación de documentación.

Durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado, el fabricante tendrá a disposición de las autoridades nacionales:

La documentación a que se refiere el apartado 3.1.

La adaptación a que se refiere el apartado 3.5 que se haya aprobado.

Las decisiones y los informes del organismo notificado a que se refieren los apartados 3.3, 3.5, 4.3 y 4.4.

#### 7. Deberes de información del organismo notificado.

Cada organismo notificado informará a su autoridad notificante sobre las aprobaciones de sistemas de calidad expedidas o retiradas y, periódicamente o previa solicitud, pondrá a disposición de su autoridad notificante la lista de aprobaciones de sistemas de calidad que haya rechazado, suspendido o restringido de otro modo.

Cada organismo notificado informará a los demás organismos notificados sobre las aprobaciones de sistemas de calidad que haya rechazado, suspendido, retirado o restringido de otro modo y, previa solicitud, de las aprobaciones de sistemas de calidad que haya expedido.

#### 8. Representante autorizado.

Las obligaciones del fabricante mencionadas en los apartados 3.1, 3.5, 5 y 6 podrá cumplirlas su representante autorizado, en su nombre y bajo su responsabilidad, siempre que estén especificadas en su mandato.

### *Módulo D1*

(Aseguramiento de la calidad del proceso de producción)

#### 1. Concepto.

El aseguramiento de la calidad del proceso de producción es el procedimiento de evaluación de la conformidad mediante el cual el fabricante cumple las obligaciones que se determinan en los apartados 2, 4 y 7, y garantiza y declara, bajo su exclusiva responsabilidad, que el equipo a presión en cuestión satisface los requisitos de este real decreto que se le aplican.



## 2. Documentación técnica.

El fabricante elaborará la documentación técnica. La documentación permitirá evaluar si el equipo a presión cumple los requisitos pertinentes, e incluirá un análisis y una evaluación del riesgo adecuados. Especificará los requisitos aplicables y contemplará, en la medida en que sea pertinente para la evaluación, el diseño, la fabricación y el funcionamiento del producto. La documentación técnica incluirá, cuando proceda, al menos los siguientes elementos:

Una descripción general del equipo a presión.

Los planos de diseño y de fabricación y los esquemas de los componentes, subconjuntos, circuitos, etc.

Las descripciones y explicaciones necesarias para la comprensión de dichos planos y esquemas y del funcionamiento del equipo a presión.

Una lista de las normas armonizadas, aplicadas total o parcialmente, cuyas referencias se hayan publicado en el «Diario Oficial de la Unión Europea» y, cuando no se hayan aplicado esas normas armonizadas, la descripción de las soluciones adoptadas para cumplir los requisitos esenciales de seguridad del presente real decreto; en caso de normas armonizadas que se apliquen parcialmente, se especificarán en la documentación técnica las partes que se hayan aplicado.

Los resultados de los cálculos de diseño realizados, de los exámenes efectuados, etc. Los informes sobre los ensayos.

## 3. Documentación técnica.

El fabricante mantendrá la documentación técnica a disposición de las autoridades nacionales pertinentes durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado.

## 4. Fabricación.

El fabricante gestionará un sistema aprobado de calidad para la producción, así como para la inspección del producto acabado y los ensayos del equipo a presión en cuestión, según lo especificado en el apartado 5, y estará sujeto a la vigilancia a que se refiere el apartado 6.

## 5. Sistema de calidad.

5.1 El fabricante presentará una solicitud de evaluación de su sistema de calidad ante el organismo notificado de su elección, para los equipos a presión de que se trate.

Dicha solicitud comprenderá:

El nombre y la dirección del fabricante y, si la solicitud la presenta el representante autorizado, el nombre y la dirección de este.

Una declaración por escrito en la que se precise que la misma solicitud no ha sido presentada ante otro organismo notificado.

Toda la información pertinente sobre el tipo de equipo a presión de que se trate.

La documentación relativa al sistema de calidad.

La documentación técnica a que se refiere el apartado 2.

5.2 El sistema de calidad garantizará que los equipos a presión cumplen los requisitos de este real decreto que les son aplicables.

Todos los elementos, requisitos y disposiciones adoptados por el fabricante figurarán en una documentación llevada de manera sistemática y ordenada en forma de medidas, procedimientos e instrucciones, todos ellos por escrito. La documentación del sistema de calidad permitirá una interpretación uniforme de los programas, planes, manuales y expedientes de calidad.

En especial, incluirá una descripción adecuada de:

Los objetivos de calidad, el organigrama y las responsabilidades y poderes del personal de gestión en lo que se refiere a la calidad de los equipos a presión.

Las correspondientes técnicas, procesos y acciones sistemáticas de fabricación, control de la calidad y aseguramiento de la calidad que se utilizarán y, en particular, los procedimientos para la unión permanente de las partes de conformidad con el apartado 3.1.2 del anexo I.

Los exámenes y ensayos que se efectuarán antes, durante y después de la fabricación y su frecuencia.

Los expedientes de calidad, tales como los informes de inspección, los datos sobre ensayos y calibración, los informes sobre la cualificación o aprobación del personal afectado y, en particular, del personal encargado de la unión permanente de las partes de conformidad con el apartado 3.1.2 del anexo I, etc.

Los medios con los que se hace el seguimiento de la consecución de la calidad del producto exigida y el funcionamiento eficaz del sistema de calidad.

5.3 El organismo notificado evaluará el sistema de calidad para determinar si cumple los requisitos a que se refiere el apartado 5.2. Se presumirán conformes a los requisitos correspondientes prescritos en el apartado 5.2 aquellos elementos del sistema de calidad que cumplan la norma armonizada pertinente.

Además de experiencia en sistemas de gestión de la calidad, el equipo de auditores contará por lo menos con un miembro que posea experiencia en la evaluación de la tecnología del equipo a presión de que se trate, así como conocimientos sobre los requisitos aplicables del presente real decreto. La auditoría incluirá una visita de evaluación a las instalaciones del fabricante.

El equipo de auditores revisará la documentación técnica mencionada en el apartado 2 para comprobar si el fabricante es capaz de identificar los requisitos pertinentes de este real decreto y de efectuar los exámenes necesarios a fin de garantizar que el equipo a presión cumple dichos requisitos.

La decisión se notificará al fabricante. La notificación incluirá las conclusiones de la auditoría y la decisión de evaluación motivada.

5.4 El fabricante se comprometerá a cumplir las obligaciones que se deriven del sistema de calidad tal como esté aprobado y a mantenerlo de forma que siga resultando adecuado y eficaz.

5.5 El fabricante mantendrá informado al organismo notificado que haya aprobado el sistema de calidad de cualquier adaptación prevista de dicho sistema.

El organismo notificado evaluará las adaptaciones propuestas y decidirá si el sistema de calidad modificado responde aún a los requisitos establecidos en el apartado 5.2 o si es necesaria una nueva evaluación.

Notificará su decisión al fabricante. La notificación incluirá las conclusiones del examen y la decisión de evaluación motivada.

6. Vigilancia bajo la responsabilidad del organismo notificado.

6.1 El objetivo de la vigilancia consiste en verificar que el fabricante cumple debidamente las obligaciones que le impone el sistema de calidad aprobado.

6.2 El fabricante permitirá la entrada del organismo notificado en los locales de fabricación, inspección, ensayo y almacenamiento, a efectos de evaluación, y le proporcionará toda la información necesaria, en especial:

La documentación relativa al sistema de calidad.

La documentación técnica a que se refiere el apartado 2.

Los expedientes de calidad, tales como los informes de inspección, los datos sobre ensayos y calibración, los informes sobre la cualificación del personal afectado, etc.

6.3 El organismo notificado efectuará auditorías periódicas a fin de asegurarse de que el fabricante mantiene y aplica el sistema de calidad, y facilitará al fabricante un informe de la auditoría. La frecuencia de las auditorías periódicas se establecerá de modo que cada tres años se lleve a cabo una reevaluación completa.

6.4 Por otra parte, el organismo notificado podrá efectuar visitas inesperadas al fabricante. La necesidad y frecuencia de estas visitas adicionales se determinará mediante un sistema de control de visitas que realizará el organismo notificado. En el sistema de control de visitas se tendrán en cuenta, en particular, los siguientes factores:

La categoría del equipo a presión.

Los resultados de las visitas de vigilancia anteriores.

La necesidad de comprobar el cumplimiento de las medidas correctivas.

Cuando proceda, las condiciones especiales relacionadas con la aprobación del sistema.

Las modificaciones significativas de la organización, la política o las técnicas de fabricación.

En el transcurso de dichas visitas, el organismo notificado podrá efectuar o hacer efectuar, si se considera necesario, ensayos de los productos con objeto de comprobar el buen funcionamiento del sistema de calidad. Dicho organismo presentará al fabricante un informe de la visita y, si se hubiese realizado algún ensayo, un informe del mismo.

#### 7. Marcado CE y declaración UE de conformidad.

7.1 El fabricante colocará el marcado CE y, bajo la responsabilidad del organismo notificado mencionado en el apartado 5.1, el número de identificación de este último en cada equipo a presión que satisfaga los requisitos aplicables del presente real decreto.

7.2 El fabricante redactará una declaración UE de conformidad para cada modelo de equipo a presión y la mantendrá a disposición de las autoridades nacionales durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado. En la declaración UE de conformidad se identificará el modelo de producto para el que ha sido elaborada.

Se facilitará una copia de la declaración UE de conformidad a las autoridades competentes previa solicitud.

#### 8. Conservación de documentación.

Durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado, el fabricante tendrá a disposición de las autoridades nacionales:

La documentación a que se refiere el apartado 5.1.

La adaptación a que se refiere el apartado 5.5.

Las decisiones y los informes del organismo notificado a que se refieren los apartados 5.5, 6.3 y 6.4.

#### 9. Deberes de información del organismo notificado.

Cada organismo notificado informará a su autoridad notificante sobre las aprobaciones de sistemas de calidad expedidas o retiradas y, periódicamente o previa solicitud, pondrá a disposición de su autoridad notificante la lista de aprobaciones de sistemas de calidad que haya rechazado, suspendido o restringido de otro modo.

Cada organismo notificado informará a los demás organismos notificados sobre las aprobaciones de sistemas de calidad que haya rechazado, suspendido o retirado y, previa solicitud, de las aprobaciones de sistemas de calidad que haya expedido.



**10. Representante autorizado.**

Las obligaciones del fabricante mencionadas en los apartados 3, 5.1, 5.5, 7 y 8 podrá cumplirlas su representante autorizado, en su nombre y bajo su responsabilidad, siempre que estén especificadas en su mandato.

*Módulo E*

(Conformidad con el tipo basada en el aseguramiento de la calidad del equipo a presión)

**1. Concepto.**

La conformidad con el tipo basada en el aseguramiento de la calidad del equipo a presión es la parte de un procedimiento de evaluación de la conformidad mediante la cual el fabricante cumple las obligaciones establecidas en los apartados 2 y 5, y garantiza y declara, bajo su exclusiva responsabilidad, que el equipo a presión en cuestión es conforme con el tipo descrito en el certificado de examen UE de tipo y satisface los requisitos de este real decreto que se le aplican.

**2. Fabricación.**

El fabricante gestionará un sistema aprobado de calidad para la inspección del producto acabado y los ensayos del equipo a presión en cuestión, según lo especificado en el apartado 3, y estará sujeto a la vigilancia a que se refiere el apartado 4.

**3. Sistema de calidad.**

3.1 El fabricante presentará una solicitud de evaluación de su sistema de calidad ante el organismo notificado de su elección, para los equipos a presión de que se trate.

Dicha solicitud comprenderá:

El nombre y la dirección del fabricante y, si la solicitud la presenta el representante autorizado, el nombre y la dirección de este.

Una declaración por escrito en la que se precise que la misma solicitud no ha sido presentada ante otro organismo notificado.

Toda la información pertinente sobre el tipo de equipo a presión de que se trate.

La documentación relativa al sistema de calidad.

La documentación técnica del tipo aprobado y una copia del certificado de examen UE de tipo.

3.2 El sistema de calidad garantizará que los productos son conformes con el tipo descrito en el certificado de examen UE de tipo y satisfacen los requisitos del presente real decreto que les son aplicables.

Todos los elementos, requisitos y disposiciones adoptados por el fabricante figurarán en una documentación llevada de manera sistemática y ordenada en forma de medidas, procedimientos e instrucciones, todos ellos por escrito. La documentación del sistema de calidad permitirá una interpretación uniforme de los programas, planes, manuales y expedientes de calidad.

En especial, incluirá una descripción adecuada de:

Los objetivos de calidad, el organigrama y las responsabilidades y poderes del personal de gestión en lo que se refiere a la calidad de los productos.

Los exámenes y ensayos que se efectuarán después de la fabricación.

Los expedientes de calidad, tales como los informes de inspección, los datos sobre ensayos y calibración, los informes sobre la cualificación o aprobación del personal afectado y, en particular, del personal encargado de la unión permanente de las partes y de la realización de los ensayos no destructivos de conformidad con los apartados 3.1.2 y 3.1.3 del anexo I.

Los medios con los que se hace el seguimiento del funcionamiento eficaz del sistema de calidad.

En el transcurso de dichas visitas, el organismo notificado podrá efectuar o hacer efectuar, si se considera necesario, ensayos de los productos con objeto de comprobar el buen funcionamiento del sistema de calidad. Dicho organismo presentará al fabricante un informe de la visita y, si se hubiese realizado algún ensayo, un informe del mismo.

#### 5. Marcado CE y declaración UE de conformidad.

5.1 El fabricante colocará el marcado CE y, bajo la responsabilidad del organismo notificado mencionado en el apartado 3.1, el número de identificación de este último en cada equipo a presión que sea conforme con el tipo descrito en el certificado de examen UE de tipo y satisfaga los requisitos aplicables de este real decreto.

5.2 El fabricante redactará una declaración UE de conformidad para cada modelo de equipo a presión y la mantendrá a disposición de las autoridades nacionales durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado. En la declaración UE de conformidad se identificará el modelo de producto para el que ha sido elaborada.

Se facilitará una copia de la declaración UE de conformidad a las autoridades competentes previa solicitud.

#### 6. Conservación de la documentación.

Durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado, el fabricante tendrá a disposición de las autoridades nacionales:

La documentación a que se refiere el apartado 3.1.

La adaptación a que se refiere el apartado 3.5 que se haya aprobado.

Las decisiones y los informes del organismo notificado a que se refieren los apartados 3.3, 3.5, 4.3 y 4.4.

#### 7. Deberes de información del organismo notificado.

Cada organismo notificado informará a su autoridad notificante sobre las aprobaciones de sistemas de calidad expedidas o retiradas y, periódicamente o previa solicitud, pondrá a disposición de su autoridad notificante la lista de aprobaciones de sistemas de calidad que haya rechazado, suspendido o restringido de otro modo.

Cada organismo notificado informará a los demás organismos notificados sobre las aprobaciones de sistemas de calidad que haya rechazado, suspendido o retirado y, previa solicitud, de las aprobaciones de sistemas de calidad que haya expedido.

#### 8. Representante autorizado.

Las obligaciones del fabricante mencionadas en los apartados 3.1, 3.5, 5 y 6 podrá cumplirlas su representante autorizado, en su nombre y bajo su responsabilidad, siempre que estén especificadas en su mandato.

### *Módulo E1*

(Aseguramiento de la calidad de la inspección y el ensayo del equipo a presión acabado)

#### 1. Concepto.

El aseguramiento de la calidad de la inspección y el ensayo del equipo a presión acabado es el procedimiento de evaluación de la conformidad mediante el cual el fabricante cumple las obligaciones establecidas en los apartados 2, 4 y 7, y garantiza y declara, bajo su exclusiva responsabilidad, que el equipo a presión en cuestión satisface los requisitos del presente real decreto que se le aplican.

#### 2. Documentación técnica.

El fabricante elaborará la documentación técnica. La documentación técnica permitirá evaluar si el equipo a presión cumple los requisitos pertinentes e incluirá un análisis y una

evaluación del riesgo adecuados. La documentación técnica especificará los requisitos aplicables y contemplará, en la medida en que sea pertinente para la evaluación, el diseño, la fabricación y el funcionamiento del equipo a presión. La documentación técnica incluirá, cuando proceda, al menos los siguientes elementos:

Una descripción general del equipo a presión.

Los planos de diseño y de fabricación y los esquemas de los componentes, subconjuntos, circuitos, etc.

Las descripciones y explicaciones necesarias para la comprensión de dichos planos y esquemas y del funcionamiento del equipo a presión.

Una lista de las normas armonizadas, aplicadas total o parcialmente, cuyas referencias se hayan publicado en el «Diario Oficial de la Unión Europea» y, cuando no se hayan aplicado esas normas armonizadas, la descripción de las soluciones adoptadas para cumplir los requisitos esenciales de seguridad de este real decreto; en caso de normas armonizadas que se apliquen parcialmente, se especificarán en la documentación técnica las partes que se hayan aplicado.

Los resultados de los cálculos de diseño realizados, de los exámenes efectuados, etc. Los informes sobre los ensayos.

### 3. Documentación técnica.

El fabricante mantendrá la documentación técnica a disposición de las autoridades nacionales pertinentes durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado.

### 4. Fabricación.

El fabricante gestionará un sistema aprobado de calidad para la inspección del producto acabado y los ensayos del equipo a presión en cuestión, según lo especificado en el apartado 5, y estará sujeto a la vigilancia a que se refiere el apartado 6.

### 5. Sistema de calidad.

5.1 El fabricante presentará una solicitud de evaluación de su sistema de calidad ante el organismo notificado de su elección, para los equipos a presión de que se trate.

Dicha solicitud comprenderá:

El nombre y la dirección del fabricante y, si la solicitud la presenta el representante autorizado, el nombre y la dirección de este.

Una declaración por escrito en la que se precise que la misma solicitud no ha sido presentada ante otro organismo notificado.

Toda la información pertinente sobre el tipo de equipo a presión de que se trate.

La documentación relativa al sistema de calidad.

La documentación técnica a que se refiere el apartado 2.

5.2 El sistema de calidad garantizará que los equipos a presión cumplen los requisitos del presente real decreto que les son aplicables.

En el contexto del sistema de calidad, se examinará cada equipo a presión y se realizarán los ensayos oportunos según la norma o las normas correspondientes establecidas en el artículo 12, u otros ensayos equivalentes, y, en particular, la evaluación final contemplada en el apartado 3.2 del anexo I, con el fin de asegurar su conformidad con los requisitos de este real decreto que le son aplicables.

Todos los elementos, requisitos y disposiciones adoptados por el fabricante figurarán en una documentación llevada de manera sistemática y ordenada en forma de medidas, procedimientos e instrucciones, todos ellos por escrito. La documentación del sistema de calidad permitirá una interpretación uniforme de los programas, planes, manuales y expedientes de calidad.



En especial, incluirá una descripción adecuada de:

Los objetivos de calidad, el organigrama y las responsabilidades y poderes del personal de gestión en lo que se refiere a la calidad de los equipos a presión.

Los procedimientos de unión permanente de las partes aprobados de conformidad con el apartado 3.1.2 del anexo I.

Los exámenes y ensayos que se efectuarán después de la fabricación.

Los expedientes de calidad, tales como los informes de inspección, los datos sobre ensayos y calibración, los informes sobre la cualificación o aprobación del personal afectado y, en particular, del personal encargado de la unión permanente de las partes de conformidad con el apartado 3.1.2 del anexo I.

Los medios con los que se hace el seguimiento del funcionamiento eficaz del sistema de calidad.

5.3 El organismo notificado evaluará el sistema de calidad para determinar si cumple los requisitos a que se refiere el apartado 5.2.

Dará por supuesta la conformidad con dichos requisitos de los elementos del sistema de calidad que cumplan las especificaciones correspondientes de la norma armonizada correspondiente.

Además de experiencia en sistemas de gestión de la calidad, el equipo de auditores contará por lo menos con un miembro que posea experiencia en la evaluación en el campo de los equipos a presión y la tecnología del equipo a presión de que se trate, así como conocimientos sobre los requisitos aplicables del presente real decreto. La auditoría incluirá una visita de evaluación a las instalaciones del fabricante.

El equipo de auditores revisará la documentación técnica mencionada en el apartado 2 para comprobar si el fabricante es capaz de identificar los requisitos pertinentes de este real decreto y de efectuar los exámenes necesarios a fin de garantizar que el equipo a presión cumple dichos requisitos.

La decisión se notificará al fabricante. La notificación incluirá las conclusiones de la auditoría y la decisión de evaluación motivada.

5.4 El fabricante se comprometerá a cumplir las obligaciones que se deriven del sistema de calidad tal como esté aprobado y a mantenerlo de forma que siga resultando adecuado y eficaz.

5.5 El fabricante mantendrá informado al organismo notificado que haya aprobado el sistema de calidad de cualquier adaptación prevista de dicho sistema.

El organismo notificado evaluará las adaptaciones propuestas y decidirá si el sistema de calidad modificado responde aún a los requisitos preceptuados en el apartado 5.2 o si es necesaria una nueva evaluación.

Notificará su decisión al fabricante. La notificación incluirá las conclusiones del examen y la decisión de evaluación motivada.

6. Vigilancia bajo la responsabilidad del organismo notificado.

6.1 El objetivo de la vigilancia consiste en verificar que el fabricante cumple debidamente las obligaciones que le impone el sistema de calidad aprobado.

6.2 El fabricante permitirá la entrada del organismo notificado en los locales de fabricación, inspección, ensayo y almacenamiento, a efectos de evaluación, y le proporcionará toda la información necesaria, en especial:

La documentación relativa al sistema de calidad.

La documentación técnica a que se refiere el apartado 2.

Los expedientes de calidad, tales como los informes de inspección, los datos sobre ensayos y calibración, los informes sobre la cualificación del personal afectado, etc.

6.3 El organismo notificado efectuará auditorías periódicas a fin de asegurarse de que el fabricante mantiene y aplica el sistema de calidad, y facilitará al fabricante un informe de la auditoría. La frecuencia de las auditorías periódicas se establecerá de modo que cada tres años se lleve a cabo una reevaluación completa.

6.4 Por otra parte, el organismo notificado podrá efectuar visitas inesperadas al fabricante. La necesidad y frecuencia de estas visitas adicionales se determinará mediante un sistema de control de visitas que realizará el organismo notificado. En el sistema de control de visitas se tendrán en cuenta, en particular, los siguientes factores:

La categoría del equipo.

Los resultados de las visitas de vigilancia anteriores.

La necesidad de comprobar el cumplimiento de las medidas correctivas.

Cuando proceda, las condiciones especiales relacionadas con la aprobación del sistema.

Las modificaciones significativas de la organización, la política o las técnicas de fabricación.

En el transcurso de dichas visitas, el organismo notificado podrá efectuar o hacer efectuar, si se considera necesario, ensayos de los productos con objeto de comprobar el buen funcionamiento del sistema de calidad. Dicho organismo presentará al fabricante un informe de la visita y, si se hubiese realizado algún ensayo, un informe del mismo.

#### 7. Marcado CE y declaración UE de conformidad.

7.1 El fabricante colocará el marcado CE y, bajo la responsabilidad del organismo notificado mencionado en el apartado 5.1, el número de identificación de este último en cada equipo a presión que satisfaga los requisitos aplicables del presente real decreto.

7.2 El fabricante redactará una declaración UE de conformidad para cada modelo de equipo a presión y la mantendrá a disposición de las autoridades nacionales durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado. En la declaración UE de conformidad se identificará el modelo de equipo a presión para el que ha sido elaborada.

Se facilitará una copia de la declaración UE de conformidad a las autoridades competentes previa solicitud.

#### 8. Conservación de documentación.

Durante un período de diez años a partir de la introducción del equipo a presión en el mercado, el fabricante tendrá a disposición de las autoridades nacionales:

La documentación a que se refiere el apartado 5.1.

La adaptación a que se refiere el apartado 5.5 que se haya aprobado.

Las decisiones y los informes del organismo notificado a que se refieren los apartados 5.3, 5.5, 6.3 y 6.4.

#### 9. Deberes de información del organismo notificado.

Cada organismo notificado informará a su autoridad notificante sobre las aprobaciones de sistemas de calidad expedidas o retiradas y, periódicamente o previa solicitud, pondrá a disposición de su autoridad notificante la lista de aprobaciones de sistemas de calidad que haya rechazado, suspendido o restringido de otro modo.

Cada organismo notificado informará a los demás organismos notificados sobre las aprobaciones de sistemas de calidad que haya rechazado, suspendido o retirado y, previa solicitud, de las aprobaciones de sistemas de calidad que haya expedido.

#### 10. Representante autorizado.

Las obligaciones del fabricante mencionadas en los apartados 3, 5.1, 5.5, 7 y 8 podrá cumplirlas su representante autorizado, en su nombre y bajo su responsabilidad, siempre que estén especificadas en su mandato.