



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO Y PUESTA A PUNTO DE UNA CÁMARA DE ELECTROHILADO CON CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD AMBIENTAL

AUTOR: ALEJANDRO HERRERO CARRIÓN

TUTOR: JOSE LUIS GOMEZ RIBELLES

COTUTOR: JOSE ANTONIO GOMEZ TEJEDOR

Curso Académico: 2014-15

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	5
I. MEMORIA.....	12
II. PRESUPUESTO.....	118
III. PLANOS	160

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a los tutores de este Trabajo de Fin de Grado, el Dr. D. José Luis Gómez Ribelles y el Dr. D. José Antonio Gómez Tejedor, quienes forman parte del Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT) de la Ciudad Politécnica de la Innovación (CPI) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Sin su ayuda y experiencia no habría sido posible la realización de este Trabajo. Asimismo, quiero agradecer a todo el personal del CBIT su interés en ayudar cuando aparecía algún problema o surgía cualquier duda.

Por último me gustaría agradecer de todo corazón el apoyo incondicional de toda mi familia. En especial de mis padres, que me han apoyado en todo momento y han conseguido motivarme en los momentos difíciles.

RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Grado se diseña una cámara de electrohilado con la que poder obtener nanofibras. Para poder realizar este diseño de forma correcta, se estudia el proceso de electrohilado, conociendo así cuáles son los equipos y elementos necesarios, así como los parámetros que intervienen en el mismo. Además, se diseña un sistema de control de la temperatura y de la humedad del interior de la cámara para poder estudiar cómo afectan estos parámetros a las fibras electrohiladas.

Por restricciones presupuestarias, no se ha podido construir la cámara diseñada ni el sistema de control de la temperatura y de la humedad. Se ha construido una cámara prototipo siguiendo el diseño realizado, utilizando para ello la misma estructura de perfiles de aluminio diseñada. Se han obtenido los equipos y elementos diseñados para realizar el proceso de electrohilado y se han colocado de forma adecuada en el interior de la cámara prototipo. A continuación, se han realizado varias pruebas de electrohilado utilizando una disolución de P (MA-co-MMA) con 12 % de DMF.

Finalmente, se ha realizado la caracterización de las muestras de fibras electrohiladas al microscopio óptico y al microscopio electrónico de barrido, analizando las imágenes obtenidas en este último. El resultado del análisis ha mostrado que se han obtenido nanofibras en todos los ensayos analizados, de hasta 320 nanómetros.

En aquest Treball de Fi de Grau es dissenya una cambra d'electrofilat amb la que poder obtenir nanofibres. Per a poder realitzar este disseny de forma correcta, s'estudia el procés d'electrofilat, coneixent així quins són els equips i elements necessaris, així com els paràmetres que hi intervenen. A més, es dissenya un sistema de control de la temperatura i de la humitat de l'interior de la cambra per a poder estudiar com afecten estos paràmetres a les fibres electrofilades.

Per restriccions pressupostàries, no s'ha pogut construir la cambra dissenyada ni el sistema de control de la temperatura i de la humitat. S'ha construït una cambra prototip seguint el disseny realitzat, utilitzant per a això la mateixa estructura de perfils d'alumini dissenyada. S'han obtingut els equips i elements dissenyats per a realitzar el procés d'electrofilat i s'han col·locat de forma adequada en l'interior de la cambra prototip. A continuació, s'han realitzat diverses proves d'electrofilat utilitzant una dissolució de P (MA-co-MMA) amb 12 % de DMF.

Finalment, s'ha realitzat la caracterització de les mostres de fibres electrofilades al microscopi òptic i al microscopi electrònic d'escombrat, analitzant les imatges obtingudes en aquest últim. El resultat de l'anàlisi ha mostrat que s'han obtingut nanofibres en tots els assajos analitzats, de fins a 320 nanòmetres.

In this academic work of final grade an electrospinning chamber is designed to obtain nanofibers. To perform this design correctly, the electrospinning process is studied in order to know which teams and elements are necessary, and the parameters involved in it too. Furthermore, a control system of the temperature and humidity inside the chamber is designed to study how these parameters affect the electrospun fibers.

For budgetary constraints, it has not been able to build the designed chamber or the control system of temperature and the humidity. It has been built a prototype chamber according to the design made, using the same structure designed of aluminum profiles. The apparatus designed have been obtained to perform the electrospinning process and have been properly positioned within the prototype chamber. Then, several electrospinning tests have been performed using a solution of P (MA-co-MMA) with 12% DMF.

Finally, the characterization of electrospun fibers samples by optical microscope and by the scanning electron microscope, analyzing the images obtained in the latter. The analysis result showed that nanofibers are obtained in all the assays tested, up to 320 nanometers.

I. MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. OBJETIVOS	17
1.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. INTRODUCCIÓN	18
2.1 ANTECEDENTES.....	18
2.1.1. <i>Ingeniería tisular</i>	18
2.1.2. <i>Nanofibras</i>	18
2.1.3. <i>Electrohilado</i>	19
2.1.3.1. Descripción del proceso de electrohilado.....	19
2.1.3.2. Parámetros que afectan al proceso de electrohilado.....	22
2.1.3.3. Otras técnicas de electrohilado	31
2.1.3.4. Aplicaciones de las nanofibraselectrohiladas	33
2.2. MOTIVACIÓN	40
2.3. JUSTIFICACIÓN	41
3. NORMATIVA	42
4. ÁMBITO DE APLICACIÓN Y RANGO DE SOLUCION	44
4.1. DISEÑO DE LA MÁQUINA DE ELECTROHILADO.....	44
4.1.1. <i>Equipos y elementos del proceso de electrohilado</i>	44
4.1.2. <i>Sistema de control de la temperatura y de la humedad</i>	47
4.1.2.1. Elementos de control de la humedad.....	47
4.1.2.2. Elementos de control de la temperatura.....	50
4.1.3. <i>Diseño de la cámara</i>	55
4.1.3.1. Elección de los materiales de las paredes de la cámara	56
4.1.3.2. Elección de los materiales de la puerta de la cámara.....	58
4.1.3.3. Elección de las dimensiones de la cámara	59
4.1.3.4. Cámara	60
4.2. PRUEBA DE CONCEPTO	63
4.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS OBTENIDAS.....	65
4.3.1. <i>Microscopio óptico</i>	65
4.3.2. <i>Microscopio electrónico de barrido</i>	66
4.4. SEGURIDAD	67
4.4.1. <i>Seguridad química</i>	68
4.4.2. <i>Seguridad eléctrica</i>	74
4.4.3. <i>Seguridad personal</i>	77
4.5. RESULTADOS.....	77
4.5.1. <i>Influencia de la tensión aplicada</i>	79
4.5.2. <i>Influencia del diámetro interno de la aguja</i>	80
4.5.3. <i>Conclusiones de la influencia de la tensión aplicada y del diámetro interno de la aguja utilizado</i>	80
5. ANEXOS	82
ANEXO 5.1. FICHAS DE SEGURIDAD QUÍMICA DE LOS DISOLVENTES.....	82
ANEXO 5.2. CÁLCULOS DE LA CANTIDAD DE DISOLVENTE EVAPORADO.	102
6. BIBLIOGRAFÍA	110

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1 Montaje básico de la técnica de electrohilado (Areias et al., 2012).	20
Figura 2.2 Cono de Taylor (Bajon et al., 2009).	21
Figura 2.3 Comportamiento del jet en electrohilado (Chitral y Shesha, 2011).	21
Figura 2.4 Imagen de varios jets cuando se produce electrospraying (Jaworek et al., 2009).	22
Figura 2.5 Efecto del ratio de los disolventes en las fibras electrohiladas, 70-30% (A), 90-10% (B) y 100-0% (C) como DCM-DMF ratio con PCL al 10%(p/v) (Silva et al., 2014).	25
Figura 2.6 Diagrama esquemático del montaje de electrohilado: (A) Colector vertical y (B) Colector horizontal (Nandana y Subhas, 2010).	27
Figura 2.7 Montaje de electrohilado con colector cilíndrico rotatorio.	27
Figura 2.8 (A) Imágenes SEM de fibras electrohiladas aleatoriamente orientadas; (B, C y D) Imágenes SEM de fibras electrohiladas alineadas obtenidas con un colector rotatorio con una velocidad de rotación de 1200, 2500 y 3800 rpm, respectivamente (Gómez et al., 2011).	28
Figura 2.9 Imágenes TEM y diámetros de fibras de núcleo (PHBV)-cubierta (Chitosan) formadas con distintas concentraciones de PHBV: (A) 15%(p/v), (B) 10%(p/v) y (C) 5%(p/v); (D) Gráfica diámetro medio total de las fibras y diámetro medio del núcleo de las fibras según la concentración del polímero del núcleo (Tong et al., 2012).	31
Figura 2.10 Esquema electrohilado coaxial e imagen del cono de Taylor coaxial (Heliazar, 2013).	32
Figura 2.11 (A) Nanofibras a partir de una solución de PEO; (B) Malla de nanofibras obtenida a partir de PS fundido; (C) Recolección de las nanofibras mientras se realiza la técnica de forcespinning; (D) Mallas no tejidas de nanofibras obtenidas por forcespinning (Sarkar et al., 2010).	32
Figura 2.12 Producción de fibras mediante forcespinning: (A) Vista en ángulo; (B) Vista superior en varios intervalos de tiempo (Padron et al., 2013).	33
Figura 4.1 Fuente de alta tensión.	45
Figura 4.2 Bomba de inyección.	46
Figura 4.3 Jeringuilla 10 ml.	46
Figura 4.4 (A) Aguja de 0.6 mm de diámetro interno; (B) Aguja de 1.36 mm de diámetro interno.	47
Figura 4.5 Colector: placa de acero inoxidable.	47
Figura 4.6 Trampa de condensación.	48
Figura 4.9 Esquema instalación de flujo de aire seco.	54
Figura 4.10 Esquema instalación de flujo de aire húmedo.	55
Figura 4.11 Esquema control de temperatura.	55
Figura 4.12 Estructura de aluminio.	60
Figura 4.13(A) Cierre/pasador; (B) Conectores angulares; (C) Bisagra.	61
Figura 4.14(A) Tornillos M5; (B) Tuercas M5.	61
Figura 4.15 Pared izquierda ya instalada del prototipo.	64
Figura 4.16 Cámara prototipo.	64
Figura 4.17 Disposición de los elementos y equipos del proceso de electrohilado dentro de la cámara prototipo. (1) Electrodo positivo, (2) Electrodo conectado a tierra, (3) Bomba de inyección, (4) Jeringuilla, (5) Aguja y (6) Colector.	65
Figura 4.18 Microscopio óptico modelo Nikon Eclipse E600.	66
Figura 4.19 Microscopio electrónico de barrido JEOL JSM – 5410 scanning electron microscope.	67
Figura 4.20 (A1, B1, C1, D1, E1 y F1) x500; (A2, B2, C2, D2, E2 y F2) x3500; (A1, A2, D1, D2) 10KV; (B1, B2, E1, E2) 15KV; (C1, C2, F1, F2) 20KV; (A1, B1, C1, A2, B2, C2) Diámetro interno de la aguja de 1.36 mm; (D1, E1 y F1, D2, E2 y F2) Diámetro interno de la aguja de 0.6 mm.	79

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1 Volumen cámara</i>	69
<i>Ecuación 2 Volumen disolvente evaporado</i>	69
<i>Ecuación 3 Comparación volúmenes</i>	69
<i>Ecuación 4 Gases ideales</i>	70
<i>Ecuación 5 Gases ideales (para el proceso de electrohilado)</i>	70
<i>Ecuación 6 Número de moles del disolvente</i>	70
<i>Ecuación 7 Volumen disolvente</i>	70
<i>Ecuación 8 Volumen polímero</i>	71
<i>Ecuación 9 Masa polímero</i>	71
<i>Ecuación 10 Temperatura de inflamación</i>	72
<i>Ecuación 11 Límite inferior de inflamabilidad a una temperatura distinta a 25°C</i>	73
<i>Ecuación 12 Amortización de la maquinaria utilizada.</i>	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1	Media de los diámetros de las fibras y la desviación media de cada muestra analizada al microscopio electrónico.	79
Tabla 6.1	Coefficientes utilizados para el resumen final del presupuesto.	121
Tabla 6.2	Nomenclatura utilizada en el presupuesto.	121

1.OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente Trabajo Fin de Grado es diseñar y poner a punto una máquina de electrohilado para generar nanofibras con posibles aplicaciones en el campo de la Ingeniería Tisular, entre otros.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Además del objetivo general, este Trabajo persigue la consecución de una serie de objetivos específicos, los cuales son:

- Elaborar un documento escrito con el formato de un Trabajo Fin de Grado donde se explique los métodos utilizados, el desarrollo del trabajo y queden reflejados todos los factores necesarios para la realización del mismo.
- Recopilar la información relativa al proceso de electrohilado, así como la bibliografía necesaria que permita llevar a cabo el presente Trabajo Fin de Grado.
- Diseñar un sistema de control de la temperatura y de la humedad del interior de una cámara donde se realiza el proceso de electrohilado.
- Aprender y utilizar técnicas de caracterización de las muestras de nanofibras obtenidas mediante el proceso de electrohilado.
- Analizar los resultados obtenidos en la caracterización de las muestras de nanofibras obtenidas mediante el proceso de electrohilado.
- Obtener un mayor conocimiento sobre la Ingeniería Tisular y las aplicaciones de las nanofibras electrohiladas.
- Aplicar la normativa y la forma de trabajar dentro de un laboratorio de investigación, además de realizar una buena gestión de residuos dentro del mismo.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1. Ingeniería tisular

La ingeniería tisular es un campo de investigación que involucra el uso de células vivas, manipuladas a través de su ambiente extracelular o genéticamente, para desarrollar sustitutos biológicos para su implantación en el cuerpo humano y/o para la remodelación de tejidos en forma activa. El objetivo principal de la ingeniería tisular es el de reparar, reemplazar, mantener o mejorar la función de un tejido o de un órgano.

Las tecnologías dedicadas a la ingeniería tisular pueden ser organizadas dentro de tres grupos: tecnología celular, tecnología de construcción de “scaffolds” (término en inglés que se traduce al castellano como andamio) y tecnologías de integración in vivo.

La tecnología de construcción de scaffolds se centra en el diseño, fabricación y caracterización de scaffolds tridimensionales para el cultivo celular, los cuales son matrices extracelulares que guían el crecimiento y la estructura de las células cultivadas, actuando como andamio o soporte para dichas células y tomando su nombre de dicha función. Para que un scaffold sea funcional se deben cumplir unos requisitos básicos:

- Un alto grado de porosidad con una apropiada distribución del tamaño de los poros.
- Una gran área de superficie.
- Ser biodegradables, con una velocidad de degradación controlada que acompañe la formación de nuevo tejido. En cualquier caso, en determinadas aplicaciones específicas se utilizan también materiales bioestables.
- Una integridad estructural que impida que los poros colapsen durante la formación de nuevo tejido, con unas propiedades mecánicas adecuadas.
- No debe de ser tóxico para las células y debe ser biocompatible, interactuando de esta forma positivamente con las células promoviendo una adhesión celular, proliferación, migración y funciones celulares diferenciadas.

Entre todos los materiales biomédicos, los scaffolds de nanofibras electrohiladas obtenidas a partir de disoluciones poliméricas han demostrado un gran rendimiento en la adhesión y proliferación celular, a través de ensayos *in vitro* e *in vivo*.

2.1.2. Nanofibras

Las nanofibras son estructuras en forma de fibras con un diámetro de nanómetros, generalmente se consideran nanofibras aquellas fibras con un diámetro inferior a 500 nm.

Al poseer un diámetro tan reducido, el área de superficie es muy elevada en relación al volumen, tienen una densidad muy baja y una gran porosidad con un tamaño de poro muy pequeño, lo que se traduce en una enorme mejora en las propiedades mecánicas de dichas fibras respecto a las que tienen con diámetros mayores.

Además, al ser nanofibras poliméricas se abre la posibilidad de obtener fibras de una inmensidad de materiales (polímeros), posibilitando así la obtención de fibras con una morfología y una porosidad a medida dependiendo del polímero utilizado para su elaboración, que junto a las excelentes propiedades que les confiere su reducido diámetro, las convierte en un material con un sinfín de aplicaciones.

La elaboración de materiales a partir de nanofibras poliméricas está siendo altamente estudiada y se ha demostrado que poseen un enorme potencial para la mejora de una gran cantidad de tecnologías, así como para el desarrollo de nuevas aplicaciones.

Actualmente existen varios métodos que permiten obtener nanofibras tales como:

- Drawing: Se pueden obtener nanofibras utilizando un mínimo equipo pero no se pueden fabricar nanofibras de forma continua.
- Síntesis de plantillas: Se filtra un líquido a través de una membrana con poros nanométricos, obteniéndose nanofibras gracias a la filtración. Se pueden obtener fibras a partir de una gran variedad de materiales y de diversos diámetros pero esta técnica no permite obtener fibras de forma continua.
- Separación de fase: Se puede elaborar una matriz nanofibrosa cuyas propiedades mecánicas se pueden ajustar variando la concentración del polímero utilizado. La desventaja de este método radica en la limitación de polímeros que se pueden emplear.
- Auto-ensamblaje: Se pueden obtener nanofibras pequeñas. El problema de esta técnica es la complejidad del proceso.

Sin embargo, es el proceso de electrohilado más estudiado y que ha demostrado ser el método más eficaz para la elaboración de nanofibras.

2.1.3. *Electrohilado*

2.1.3.1. Descripción del proceso de electrohilado

El electrohilado permite obtener nanofibras finas de forma continua de una gran cantidad de materiales y geometrías. Además, tiene la ventaja de ser un método de bajo coste con un equipamiento sencillo, solo necesita una fuente de alta tensión, una bomba de inyección, una jeringuilla, una aguja conductora eléctrica y un colector conductor eléctrico.

El proceso de electrohilado obtiene nanofibras de un polímero previamente disuelto mediante la aplicación de fuerzas electrostáticas. Dicho proceso consiste en la inyección de la solución polimérica mediante un sistema de inyección, la salida del cual está conectada a un alto potencial eléctrico, entre 20 y 50 kilovoltios (kV). A su vez se conecta un colector de un material conductor de la electricidad (normalmente una placa metálica) conectado a tierra (potencial eléctrico 0), lugar donde se depositan las nanofibras formando un tejido o matriz poroso. De esta forma se consigue formar un campo electrostático elevado entre dos polos (inyección-colector).

El sistema de inyección de la disolución polimérica ampliamente utilizado consiste en una jeringuilla de inyecciones impulsada por una bomba de inyección unida al émbolo de la jeringuilla, generando una presión sobre ella y un flujo de salida constante de la solución del

polímero, previamente preparada e introducida en la jeringa, a través de la aguja de la jeringuilla. También se puede conectar entre la salida de la jeringuilla y la aguja un tubo de plástico inerte.

Para conseguir la diferencia de tensión requerida para llevar a cabo el proceso de electrohilado, se utiliza un generador de tensión. Del mismo, salen dos electrodos, uno con la tensión necesaria, entre 10 y 20 kilovoltios y otro con potencial 0 (0 kV). El electrodo de tensión se conecta a la aguja y el electrodo de potencial 0 se conecta al colector.

Por el efecto de la polarización y la carga originadas por el campo eléctrico, la solución es atraída en forma de chorro hacia la superficie conductora, dispuesta a cierta distancia, conectada a tierra. Durante el recorrido aguja-colector, el disolvente se evapora gradualmente y el producto obtenido se deposita en forma de micro o nanofibras no tejidas distribuidas al azar (Ferrán y Alfonso, 2013).

El montaje general del proceso de electrohilado se muestra en la Figura 2.1.

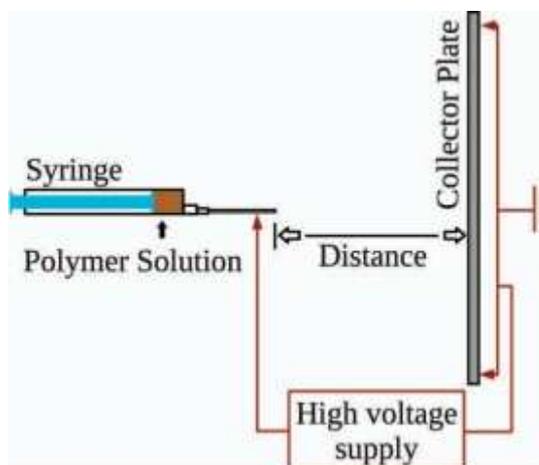


Figura 2.1 Montaje básico de la técnica de electrohilado (Areias et al., 2012).

La impulsión de la solución por la bomba, hace que se forme una gota colgante en la punta de la aguja y al aplicarse el alto voltaje a la aguja, la solución polimérica se carga eléctricamente. Este aumento de la carga hace que las fuerzas de repulsión entre las cargas iguales presentes en la solución y las fuerzas de atracción entre las cargas opuestas de la solución y el colector generen fuerzas de tensión sobre la solución, alargándose así la gota en la punta de la aguja. La superficie de la gota sufre progresivamente el efecto de dichas fuerzas de tensión mientras se va incrementando la intensidad del campo eléctrico, alargándose y alcanzando un equilibrio entre las fuerzas electrostáticas. Este equilibrio provoca una tensión superficial en la gota que provoca la formación de un cono invertido, llamado cono de Taylor, el cual se muestra en la Figura 2.2. El proceso de elongación llega a un límite en el que si se sigue aumentando la intensidad del campo eléctrico se sobrepasa la tensión superficial y se origina un haz en la punta del cono. Este haz es un chorro de fibras acelerado o jet que se dirige hacia el colector conectado a tierra.

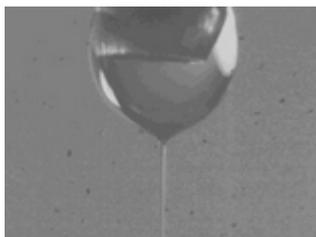


Figura 2.2 Cono de Taylor (Bajon et al., 2009).

Durante el trayecto entre la aguja hasta el colector se produce una inestabilidad en la solución polimérica, produciéndose una aceleración significativa en el jet a medida que su diámetro va disminuyendo y los disolventes de la solución polimérica se evaporan, depositándose en el colector fibras del polímero de nanómetros de diámetro.

Esta inestabilidad en la solución polimérica ha sido objeto de diversas hipótesis, ya que se pensaba que la fibra del jet se dividía en otras fibras más pequeñas durante esta inestabilidad. Se ha sugerido que es debida a la repulsión entre las cargas de la solución polimérica (Yarin et al., 2001). También se ha pensado que es debida al aumento de la densidad de carga a medida que el jet va disminuyendo su diámetro, produciéndose un incremento de la repulsión de la carga (Doshi y Reneker, 1995). A partir de la aparición de la fotografía de alta velocidad se han podido obtener imágenes de la zona inestable del jet, observándose que el jet no se divide en fibras más pequeñas durante la inestabilidad, sino que la única fibra que forma el jet se dobla y gira a una velocidad muy elevada dando la impresión de dividirse en fibras más pequeñas (Warner, 1998; Shin et al., 2001), como muestra la Figura 2.3.

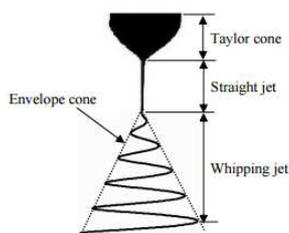


Figura 2.3 Comportamiento del jet en electrohilado (Chitral y Shesha, 2011).

Mediante el proceso de electrohilado no siempre es posible obtener resultados positivos, ya que en ocasiones, según la naturaleza del disolvente empleado para solución del polímero, la concentración de éste o las variables de la máquina de electrohilado, podemos observar que el polímero no se transforma en nanofibra, simplemente se queda como polímero en forma de gotas (electrospraying) o fibras mezcladas con gotas (Usero et al., 2010), como se muestra en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Imagen de varios jets cuando se produce electrospinning (Jaworek et al., 2009).

2.1.3.2. Parámetros que afectan al proceso de electrohilado

La obtención de nanofibras mediante el proceso de electrohilado se ve afectada por un conjunto de parámetros, los cuales se dividen generalmente en tres tipos: parámetros que dependen de la disolución (internos), parámetros que dependen del procedimiento empleado (del proceso) y parámetros ambientales.

Aunque se diferencien tres tipos de parámetros, en realidad todos los parámetros están relacionados entre sí, y la variación de uno de ellos afecta al resto, impidiendo así la posibilidad de realizar una clasificación de las condiciones óptimas de cada parámetro por separado. De esta forma, los parámetros óptimos para una determinada disolución (parámetros internos) se consiguen empleando un determinado procedimiento de electrohilado (parámetros del proceso) con unas condiciones ambientales determinadas (parámetros ambientales), siendo dichos parámetros óptimos únicos para dicha disolución.

A) Parámetros internos

— Efecto de la concentración del polímero:

La concentración del polímero determina la capacidad de formación de fibras mediante el proceso de electrohilado. Es necesaria una concentración mínima de polímero en la solución para que se puedan formar fibras, ya que a concentraciones menores se forman gotas entre las fibras como se observa en el estudio de Yang et al. (2005), donde se disolvió PLLA (ácido poli-L-láctico) en la combinación de disolventes DCM (diclorometano)/DMF (n, n-dimetil-formamida) (70:30) a las concentraciones de 1 % w/w (%w es el tanto por ciento en peso) obteniéndose fibras con gotas. Por el contrario, si la concentración de polímero en la solución es demasiado grande, no se pueden formar fibras largas ni uniformes.

Además, se ha observado que dentro del rango óptimo de concentración del polímero, se obtienen fibras de diámetro mayor a medida que se aumenta la concentración del polímero. Megelski et al. (2002) observaron que al aumentar la concentración de THF (poliestireno) el diámetro de la fibra aumenta y Yang et al. (2005) obtuvieron fibras con diámetros de 150-500 nm para concentraciones de 2 % y 3 % de PLLA y fibras con diámetros de 800-3000 nm para concentraciones de 5 % de PLLA. Areias et al. (2012) observaron una reducción del diámetro de las fibras de TFA (ácido trifluoroacético) disuelto con DCM

obtenidas mediante la técnica de electrohilado de 650nm a 350nm al reducir la concentración de TFA de 12 %w a 8 %w.

— Efecto del peso molecular:

El peso molecular del polímero refleja el número de enredos de las cadenas del polímero en una solución, la probabilidad de formarse enredos entre las cadenas del polímero aumenta a medida que el peso molecular del mismo es mayor, relacionándose dicho parámetro con la viscosidad del polímero.

Si el peso molecular del polímero es demasiado bajo, no se formarán suficientes enredos entre las cadenas del polímero para poderse formar nanofibras, con lo que existe un peso molecular mínimo para cada polímero para poderse llevar a cabo el proceso de electrohilado. Este valor mínimo del peso molecular del polímero produce un jet uniforme durante el electrohilado al contrarrestar la tensión superficial de la disolución, que juega un rol significativo en la formación de gotas en las fibras electrohiladas.

Según el estudio de Tan et al. (2005) realizado con PLLA a distintos pesos moleculares del polímero, se observa que se forman fibras con mayor facilidad a menor peso molecular. Las gotas se observan por primera vez a una concentración mínima de 9 %w, siendo la porción de fibra sin gotas de un diámetro de 400 ± 50 nm. Mientras que con un diámetro similar, con un alto peso molecular de solución de PLLA, con un 4.5 %w de concentración, es capaz de producir fibras sin gotas. Además, cuando PLLA se electrohila a una menor concentración de polímero de 3.5 %w, se producen nanofibras más estrechas con un diámetro de 322 nm.

En resumen, el peso molecular del polímero juega un papel fundamental al determinar la concentración mínima de polímero necesaria para electrohilar fibras finas de polímero.

— Viscosidad:

Durante el proceso de electrohilado, la viscosidad de la solución juega un papel importante en la determinación del tamaño y la morfología de las fibras obtenidas. Ha sido estudiado que con una viscosidad demasiado baja no se consigue una formación continua de las fibras, y que con una viscosidad demasiado alta hay dificultad en la eyección del jet de la solución del polímero, por lo tanto una viscosidad óptima es un requisito principal para el procesos de electrohilado (Calderón y Martínez, 2012).

— Efecto de la conductividad eléctrica del disolvente:

Se observa un descenso significativo del diámetro de las fibras de polímero electrohiladas cuando la conductividad eléctrica de la solución aumenta. Así mismo, se observa la formación de gotas con una baja conductividad de la solución, lo que se traduce en un inconveniente para producir fibras uniformes. Las nanofibras de menor diámetro se obtienen con una conductividad eléctrica alta del disolvente. Sin embargo, existe un límite máximo en la conductividad eléctrica que pueden tener los disolventes, como observaron Tan et al. (2015) al estudiar los efectos de la conductividad con la concentración de pyridine en electrohilado,

obteniendo una saturación en la concentración de pyridine del 50 % al aumentar la conductividad de la solución.

Generalmente, una conductividad eléctrica de una solución refleja una densidad de carga en el jet y, así, un nivel de elongación del jet por una fuerza eléctrica. Bajo un mismo voltaje aplicado y una misma distancia de electrohilado, una disolución con mayor conductividad eléctrica puede causar una mayor elongación del jet a lo largo de su eje y, así, conseguir fibras de un diámetro menor.

Diversas investigaciones relacionadas con el factor de la conductividad eléctrica de los disolventes se han llevado a cabo, comprobándose que el radio de la fibra obtenido por electrohilado varía inversamente a la raíz cúbica de la conductividad eléctrica de la solución (Kim et al., 2005; Mit-uppatham et al., 2004; Baumgarten, 1971; Fong et al., 1999; Zong, Kim et al., 2002). Además, se ha observado que la utilización de sales en las soluciones permiten obtener fibras de mayor uniformidad con una disminución de la generación de gotas (Zong et al., 2002).

— Disolvente utilizado:

La función principal del disolvente es la de diluir el polímero permitiendo su transporte desde la aguja hasta el colector. Durante el recorrido entre la aguja y el colector, el disolvente se va evaporando hasta que solo queda polímero en forma de fibras captadas por el colector. Por lo que esta capacidad de evaporación del disolvente es clave para la obtención de fibras (Lannutti, Reneker, Ma, Tomasko y Farson, 2007).

Además de repercutir en las propiedades dieléctricas de la disolución, el disolvente afecta de forma directa a la viscosidad, conductividad y tensión superficial de la disolución.

Silva et al. (2014) estudiaron soluciones de PCL (policaprolactona) en DCM/DMF con ratios de 70/30, 90/10 y 100/0 con colector vertical y horizontal, y observaron que las fibras más homogéneas y finas se obtienen con un ratio de 70/30, mientras que aumentando el contenido de DCM por encima de 80 % se incrementa el tamaño de las fibras siendo éstas más irregulares y con discontinuidades en forma de cambio de tamaño a lo largo de las fibras. Algunas imágenes de las fibras obtenidas se muestran en la Figura 2.5.

Además, se tiene que tener en cuenta que se tratan de disolventes que, una vez evaporados, pueden dar lugar a una atmósfera explosiva al mezclarse con el aire en un recinto cerrado, con el consiguiente peligro de incendio. Otro efecto que se produce al evaporarse el disolvente dentro de un recinto cerrado es la posibilidad de saturación del disolvente evaporado, dado que esta saturación impide que se siga evaporando más disolvente y, por consiguiente, que se sigan formando fibras.

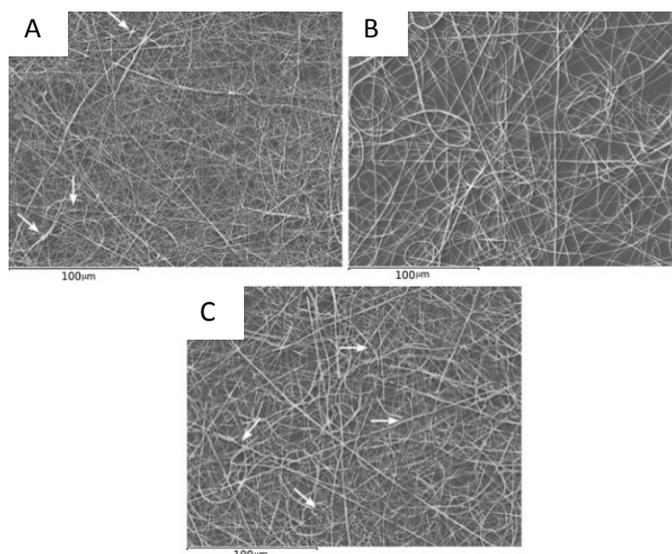


Figura 2.5 Efecto del ratio de los disolventes en las fibras electrohiladas, 70-30% (A), 90-10% (B) y 100-0% (C) como DCM-DMF ratio con PCL al 10%(w/v) (Silva et al., 2014).

B) Variables del proceso

— Efecto de la tensión aplicada:

Es necesario alcanzar un voltaje en la aguja tal que permita la formación de fibras, al formar el cono de Taylor y el posterior jet. Respecto al efecto que causa la variación del voltaje en el diámetro de las fibras obtenidas hay disparidad de opiniones. Estudios como el de Reneker y Chun (1996) muestran que no hay cambios significativos en el diámetro de las fibras de óxido de polietileno al variar la tensión aplicada. Otros estudios, como el de Zhang et al. (2005) y el de Demir et al. (2002) sugieren que se forman fibras de mayores diámetros al aumentar la tensión al expulsarse una mayor cantidad de polímero. Buchko et al. (1999) y Deitzel et al. (2001) muestran que a una mayor tensión se produce un mayor alargamiento de la fibra, reduciéndose así el diámetro de la misma y acelerándose la evaporación del disolvente. Mientras que Areias et al. (2012) obtuvieron fibras de menor diámetro para tensiones de 20 kV y de 30 kV, siendo los mayores diámetros obtenidos para una tensión de 25 kV.

Además, la tensión aplicada afecta al tiempo de vuelo entre la aguja y el colector de la disolución, ya que el campo eléctrico es potencial (tensión aplicada) dividido por distancia (entre la aguja y el colector) y como a mayor campo eléctrico mayor es la aceleración que alcanza la disolución, cuanto mayor sea la tensión aplicada menor será el tiempo de vuelo de la disolución entre la aguja y el colector.

Aparte de la necesidad de alcanzar un determinado voltaje para que se puedan formar fibras mediante la técnica de electrohilado, el efecto que produce la variación de la tensión utilizada depende de otros factores como de la concentración del polímero en la solución, la distancia entre la aguja y el colector, la conductividad de la disolución.

Con lo que un rango de tensión que vaya desde los 10 kV hasta los 30 kV es el óptimo para llevar a cabo el proceso de electrohilado de forma eficaz y eficiente.

— **Efecto de la velocidad del flujo:**

Una velocidad de flujo demasiado baja es incapaz de mantener la forma del cono de Taylor, ya que se expulsa una mayor cantidad de solución por el jet que la cantidad de solución que se introduce a través de la aguja (Taylor, 1969). El estudio realizado por Areias et al. (2012) ha mostrado que el diámetro de las fibras se reduce conforme se aumenta la velocidad del flujo, estando ésta dentro del rango de velocidades que permite la obtención de fibras mediante la técnica de electrohilado.

— **Tipos de colectores:**

La geometría de los colectores es una parte del proceso de electrohilado muy importante, ya que sobre su superficie se depositan las micro/nanofibras obtenidas. Un colector consiste en una placa fina y conductora eléctrica, normalmente de aluminio o algún tipo de metal, conectada a tierra. Entre la placa y la aguja (con tensión) se crea una diferencia de tensión que genera un campo eléctrico en la solución polimérica.

Debido a la necesidad de obtener fibras de distintas orientaciones y de distintas formas existe una gran variedad de colectores: papel conductor, tela conductora, malla de alambre, pasadores, barras paralelas o cuadrículadas, varillas de rotación, ruedas giratorias.

En electrohilado la orientación y forma de la fibra se determina por el tipo de colector y por su velocidad de rotación en caso de ser rotativo.

Los tipos de colectores más utilizados son: colectores planos estáticos y colectores rotatorios.

Colector plano estático

Sobre su superficie se recoge una matriz de fibras aleatoriamente orientadas. La disposición del colector puede ser horizontal o vertical, tal como se muestra en la Figura 2.6. No se observa diferencia alguna entre la utilización de un colector horizontal o de un colector vertical, ya que en todos los casos, las fuerzas debidas al campo eléctrico aplicado son mucho mayores que la fuerza gravitatoria. La mayor desventaja del colector vertical es la posibilidad de la caída de gotas de la disolución sobre el colector en los momentos de puesta en marcha o finalización del proceso de electrohilado.

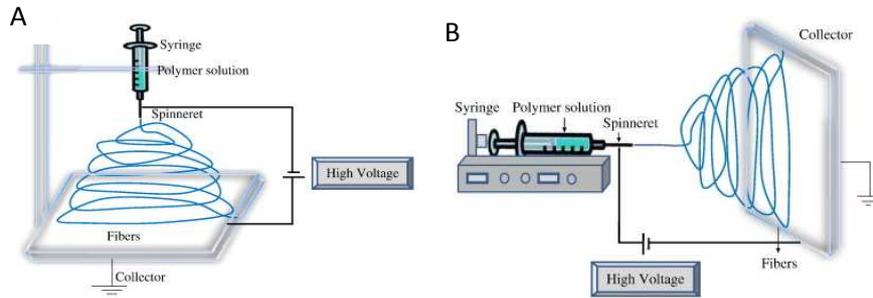


Figura 2.6 Diagrama esquemático del montaje de electrohilado: (A) Colector vertical y (B) Colector horizontal (Nandana y Subhas, 2010).

Colector cilíndrico rotatorio

El colector cilíndrico rotatorio consiste en hacer rotar sobre su eje un colector en forma de cilindro mediante un motor eléctrico, de esta forma la superficie donde se depositan las fibras electrohiladas se encuentra en rotación continua.

Este tipo de colector alinea las fibras, obteniéndose una matriz de fibras alineadas. La velocidad de rotación del colector afecta al alineamiento de las fibras, obteniéndose mayores alineaciones de las fibras a medida que se aumenta la velocidad de rotación, la Figura 2.7 muestra el esquema de montaje de los colectores cilíndricos rotatorios.

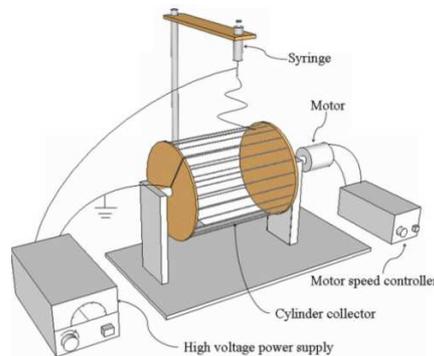


Figura 2.7 Montaje de electrohilado con colector cilíndrico rotatorio.

Gómez et al. (2011) han estudiado como afecta la velocidad de rotación del colector al alineamiento de las fibras, variando la velocidad entre 1200 rpm, 2500 rpm y 3800 rpm. La Figura 2.8 muestra fibras orientadas aleatoriamente y fibras alineadas para distintas velocidades de rotación del colector, observándose una mayor alineación de las mismas a medida que se aumenta la velocidad de rotación del colector.

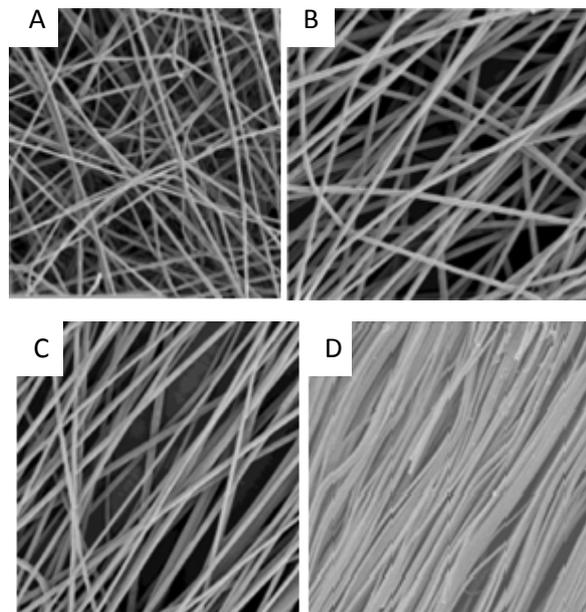


Figura 2.8 (A) Imágenes SEM de fibras electrohiladas aleatoriamente orientadas; (B, C y D) Imágenes SEM de fibras electrohiladas alineadas obtenidas con un colector rotatorio con una velocidad de rotación de 1200, 2500 y 3800 rpm, respectivamente (Gómez et al., 2011).

Además, se ha observado un cambio en las características mecánicas de las fibras alineadas respecto a las fibras aleatoriamente orientadas como muestra el estudio realizado por Gómez et al. (2011), donde se observó que el esfuerzo de rotura es mucho mayor en las fibras alineadas (módulo de Young 200MPa) que en las fibras aleatoriamente orientadas (módulo de Young 8.5MPa).

— Distancia colector:

La distancia entre la aguja y el colector sirve como parámetro de control de los diámetros de las fibras y de su morfología. Una distancia mínima entre aguja y colector es requerida para dar a las fibras el tiempo suficiente para secarse antes de llegar al colector. El efecto de la distancia entre la aguja y el colector en la morfología de la fibra no es tan significativo como en otros parámetros. Buchko et al. (1999) observaron que a distancias más cortas se obtienen fibras planas y que a distancias mayores se obtienen fibras redondeadas. Areias et al. (2012) obtuvieron fibras de menor diámetro a medida que reducían la distancia del colector a la aguja de 20cm a 10cm.

Además, como ya se ha comentado en el efecto del voltaje, la distancia entre la aguja y el colector afecta al campo eléctrico (potencial dividido por distancia), del cual depende la aceleración del disolvente (a mayor campo eléctrico, mayor aceleración). Si la distancia se

reduce demasiado, la aceleración aumentará y el disolvente no tendrá tiempo para evaporarse durante el vuelo entre la aguja y el colector, impidiendo la formación de fibras.

— Diámetro interno de la aguja:

El diámetro de la aguja es muy importante, ya que por ella se inyecta la disolución polimérica, con lo que la selección del diámetro óptimo de la aguja es fundamental para evitar la formación de atasco en la punta de la aguja de disolución (lo que impediría la inyección de disolución) y evitar la formación de gotas en las fibras obtenidas. Según Mo, Xu, Kotaki y Ramakrishna (2004) un diámetro interno pequeño de la aguja reduce la obstrucción que se produce en la punta de la misma y la formación de gotas en las fibras obtenidas.

C) Condiciones ambientales

Aunque no determinan el material de las nanofibras ni las propiedades de la disolución y no forman parte del proceso de la técnica, las condiciones ambientales afectan a la producción de nanofibraselectrohiladas al mejorar la calidad de las fibras obtenidas (ausencia de gotas, fineza de las fibras) si se realiza el electrohilado en unas condiciones ambientales óptimas. Además, unas condiciones ambientales determinadas pueden suponer la imposibilidad de obtener fibras aunque los parámetros internos y las variables del proceso sean las óptimas.

Con lo que el control de las condiciones ambientales en las que se lleva a cabo el proceso de electrohilado es muy importante, debiéndose conseguir una atmósfera determinada para cada disolución polimérica utilizada.

Como condiciones ambientales se distingue la humedad relativa, la temperatura y la presión, siendo las dos primeras las más críticas.

— Humedad relativa

Se ha observado que a alta humedad relativa (60 %) no es posible obtener nanofibras bien definidas de PVP-etanol (polivinilpirrolidona con etanol). La razón principal es que la solución de PVP-etanol (10 % de concentración) absorbe agua ambiente durante el proceso de electrohilado. La absorción de agua se ve favorecida con una humedad mayor a causa de la mayor presión parcial de agua en la atmósfera. Esto causa el depósito de una película transparente formada por la "fusión" de fibras en el colector porque a alta humedad, la absorción de agua no permite completar el proceso de secado durante el tiempo de vuelo del jet de la solución del polímero. Observándose a nivel macroscópico una deposición transparente, en vez de blanca, de PVP (polivinilpirrolidona) (Vrieze et al., 2009), sin la observación de nanofibras a nivel microscópico.

A menor concentración (7 %) de PVP tampoco se obtienen fibras a un 45 % de humedad relativa. Esto se debe que a menores concentraciones se necesita evaporar una mayor cantidad de disolvente durante el electrohilado, así que el proceso de formación de fibras requiere de un mayor tiempo. Sin embargo, el tiempo de vuelo del jet permanece constante así que el proceso de formación de fibras no puede completarse debido a la evaporación incompleta del disolvente. Teniendo en cuenta que el PVP-etanol absorbe agua

fácilmente, se explica por qué la formación de fibras a menor humedad relativa es incompleta (Vrieze et al., 2009).

El jet cargado solidifica con el mayor diámetro cuando el electrohilado se realiza a una baja humedad al evaporarse el agua en el jet rápidamente. El diámetro de las nanofibras de polióxido de etileno decrecen gradualmente de aproximadamente 253 nm, con una humedad relativa de 5.1 %, hasta aproximadamente 144 nm, con una humedad relativa de 48.7 %. Siendo la uniformidad de las fibras de electrohilado consistente entre 5.1 % y 48.7 % de humedad relativa. La velocidad de evaporación del fluido del jet disminuye a mayor humedad relativa, lo que permite al jet cargado continuar alargándose durante el mismo intervalo de tiempo (Tripatanasuwan et al., 2007).

Fibras con gotas se observan por primera vez a una humedad relativa de 52.6 %. Más gotas de menor longitud, mayor diámetro y con una separación entre gotas menor aparecen a una humedad mayor. El diámetro de la fibra entre las gotas continúa aumentando de forma más rápida a medida que la humedad aumenta después de la formación de las gotas (Tripatanasuwan et al., 2007).

— **Temperatura:**

La temperatura tiene un efecto interesante en el diámetro de las nanofibras. Vrieze et al., (2009) estudiaron los efectos de la temperatura en la obtención de nanofibras por electrohilado a partir de una disolución de PVP/etanol, obteniendo los siguientes resultados:

A 283 K y a 303 K, el diámetro de las nanofibras es menor que a 293 K. Hay dos efectos principales y opuestos en función de la temperatura.

El primer efecto es la velocidad de evaporación del disolvente, en este caso etanol. Esta velocidad disminuye exponencialmente con la disminución de la temperatura. Así al jet le cuesta más tiempo solidificar, continuando el alargamiento del mismo. El segundo efecto es la rigidez que sufren las cadenas del polímero. Las cadenas del polímero tienen mayor libertad de movimiento a mayores temperaturas, resultando en una menor viscosidad de la solución. La fuerza eléctrica aplicada durante el electrohilado es responsable del alargamiento de la solución del polímero del jet. El alargamiento se ve contrarrestado por las fuerzas de viscosidad y por la tensión superficial (el alargamiento resulta en el aumento del área de superficie). La menor viscosidad de la solución a causa de una temperatura mayor producirá una velocidad de alargamiento mayor y unas fibras más finas.

A menor temperatura (283 K) probablemente el primer efecto domina al segundo por la variación exponencial de la velocidad de evaporación del disolvente con la temperatura. A mayor temperatura el segundo efecto es dominante a causa de la disminución exponencial de la viscosidad como función del incremento de la temperatura. Ambos efectos producen una reducción del diámetro de las fibras. A una temperatura intermedia (293 K) el diámetro de las fibras alcanza el máximo diámetro.

2.1.3.3. Otras técnicas de electrohilado

— Electrohilado coaxial

El electrohilado coaxial es una variación de la técnica de electrohilado convencional que se basa en el mismo principio de formación de fibra al generar un elevado campo electrostático entre la aguja (alta tensión) desde donde se expulsa una disolución polimérica mediante un sistema de inyección y un colector conectado a tierra (tensión 0), pero la diferencia radica en que la técnica de electrohilado coaxial da lugar a la formación de nanofibras con una estructura de núcleo y cubierta, pudiéndose formar fibras de dos componentes distintos que combinan sus características.

El diámetro de las fibras coaxiales depende de la concentración del polímero en la solución polimérica que origina el núcleo de dichas fibras. Según el estudio de Tong et al. (2012) realizado con una solución de PHBV, un co-polímero de PHV (polihidroxivalerato) y PHB (polihidroxibutirato), para el núcleo y una solución de Chitosan (producto derivado de la quitina, un polímero natural que se encuentra en las cutículas de los crustáceos marinos) para la cubierta, variando únicamente la concentración de PHBV. Se ha podido apreciar un aumento del diámetro total de las fibras coaxiales obtenidas a medida que se aumenta la concentración de PHBV, llegando a un límite a partir de una concentración de 10 %w de PHBV. Además, se ha observado un aumento del diámetro del núcleo a medida que se aumenta la concentración de PHBV, produciéndose un aumento de la diferencia de diámetro entre la fibra y su núcleo, reduciéndose esta diferencia únicamente cuando se ha alcanzado el límite de diámetro de las fibras. En la Figura 2.9 se muestra imágenes de las fibras coaxiales de PHBV (núcleo) y Chitosan (cubierta) así como de un gráfico con el diámetro medio de las fibras coaxiales según la concentración de PHBV.

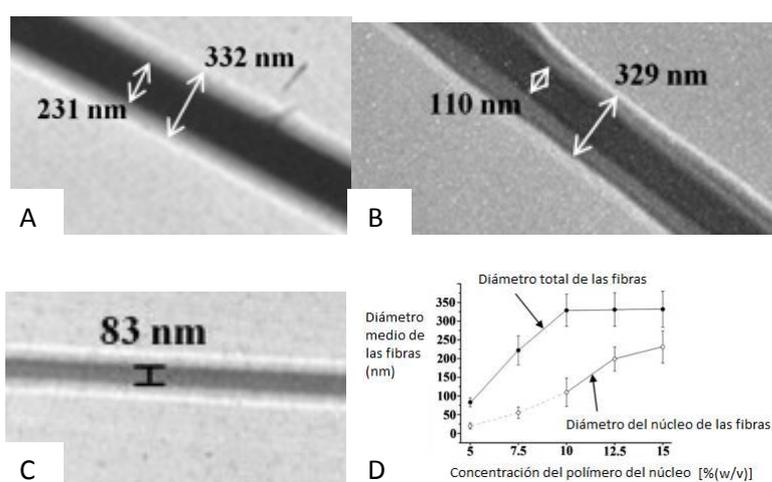


Figura 2.9 Imágenes TEM y diámetros de fibras de núcleo (PHBV)-cubierta (Chitosan) formadas con distintas concentraciones de PHBV: (A) 15%(w/v), (B) 10%(w/v) y (C) 5%(w/v); (D) Gráfica diámetro medio total de las fibras y diámetro medio del

núcleo de las fibras según la concentración del polímero del núcleo (Tong et al., 2012).

Para poder realizar dicha técnica, es necesario el uso de dos agujas concéntricas por las que se inyectan dos soluciones poliméricas, normalmente inmiscibles, desde dos jeringuillas o desde una doble jeringa. La solución de la aguja interior formará el núcleo de las fibras mientras que la solución de la aguja exterior constituirá la cubierta de las fibras.

El proceso es el mismo que en el electrohilado convencional, formándose el cono de Taylor al aplicar una tensión suficiente en la aguja, la diferencia está en que el cono de Taylor del electrohilado coaxial está compuesto por dos soluciones poliméricas.

El esquema del electrohilado coaxial y el cono de Taylor que se forma en dicho proceso se muestran en la Figura 2.10. Mediante este método, también se pueden obtener fibras huecas, utilizándose un material para el núcleo que pueda ser disuelto y eliminado fácilmente mediante un disolvente adecuado.

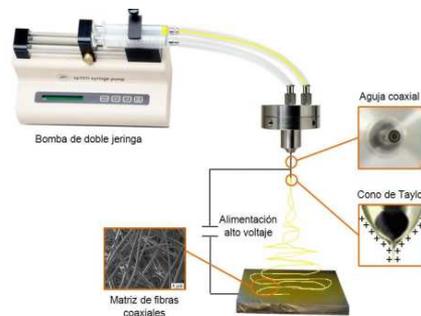


Figura 2.10 Esquema electrohilado coaxial e imagen del cono de Taylor coaxial (Heliazar, 2013).

— Forcespinning

El proceso de forcespinning permite obtener nanofibras mediante el uso de fuerzas centrífugas en lugar de fuerzas eléctricas como en electrohilado. Además de la ventaja de no necesitar producir un campo electrostático respecto al electrohilado, la técnica de forcespinning es capaz de producir nanofibras a partir de una cantidad mayor de materiales, al poder formar nanofibras a partir de materiales fundidos (Sarkar et al., 2010). En la Figura 2.11 se muestran nanofibras obtenidas por forcespinning.



Figura 2.9 (A) Nanofibras a partir de una solución de PEO; (B) Malla de nanofibras obtenida a partir de PS fundido; (C) Recolección de las nanofibras mientras se realiza la técnica de forcespinning; (D) Mallas no tejidas de nanofibras obtenidas por forcespinning (Sarkar et al., 2010).

El proceso de forcespinning funciona gracias a la acción combinada de la fuerza centrífuga y de la temperatura. El material del cual se quieren obtener las nanofibras se encuentra en una cámara a una temperatura tal que dicho material se encuentra en estado líquido (solución polimérica o material fundido), una vez conseguido esto, se hace rotar a la cámara, la cual posee unos orificios de salida (“spinnerets”) como los que se muestran en la Figura 2.12.

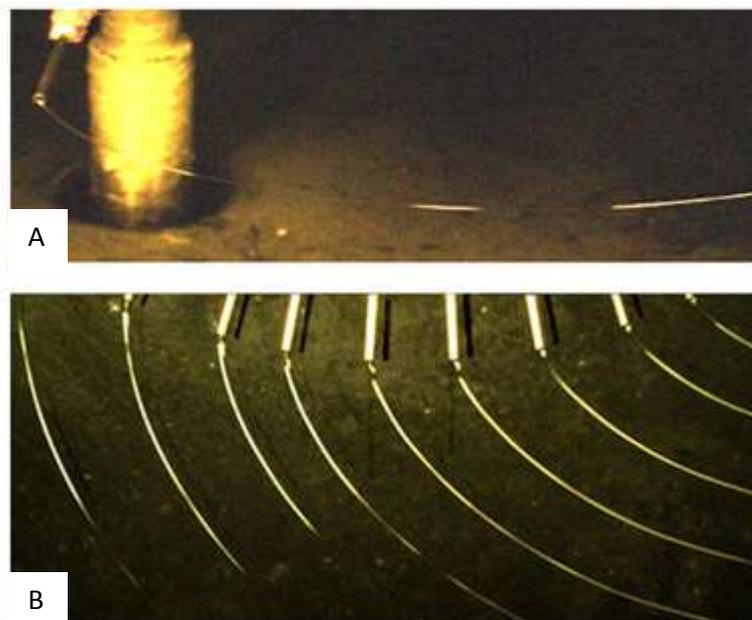


Figura 2.10 Producción de fibras mediante forcespinning: (A) Vista en ángulo; (B) Vista superior en varios intervalos de tiempo (Padron et al., 2013).

A través de los “spinnerets”, la fuerza centrífuga generada al rotar la cámara provoca la salida del material a través de dichos orificios en forma de fibras, las cuales se depositan en un colector que rodea a la cámara (Sarkar et al., 2010).

En el caso de utilizar la técnica de forcespinning con materiales fundidos es muy importante controlar la temperatura a la que se realiza la misma, ya que la viscosidad del material fundido tiene que permitir que éste fluya a través de los “spinnerets” en forma de nanofibras. En el caso de utilizar dicha técnica con soluciones poliméricas, la distancia del colector a los orificios de salida de las fibras tiene que permitir la evaporación del disolvente antes de que las fibras alcancen el colector (Padron et al., 2013).

2.1.3.4 Aplicaciones de las nanofibraselectrohiladas

A) Aplicaciones biomédicas:

— Vasos sanguíneos

Los vasos sanguíneos varían en tamaño, propiedades mecánicas y biomédicas, contenido celular y organización estructural, dependiendo de su localización y de su función

específica. Es indispensable que los injertos vasculares diseñados tengan las características deseadas. Para conseguir todo esto, las nanofibras electrohiladas han demostrado ser altamente viables.

Las matrices de nanofibras electrohiladas ofrecen un buen soporte durante el crecimiento inicial de células y pueden formar un buen andamio tridimensional para la ingeniería tisular de vasos sanguíneos (Mo et al., 2004).

Mediante la técnica de electrohilado coaxial se han fabricado estructuras de nanofibras electrohiladas bicapa para imitar las características morfológicas y mecánicas de los tejidos naturales de los vasos sanguíneos. Un andamio formado por PLA rígido en la cubierta de las nanofibras y PCL flexible en el núcleo de las nanofibras ha demostrado ser capaz de soportar la unión, propagación y crecimiento de fibroblastos (células del tejido conectivo de muchos animales) de ratón y de miofibroblastos (fibroblastos especializados) humanos (Vaz et al., 2005).

Modificaciones superficiales en las nanofibras electrohiladas han sido realizadas mediante la incorporación de proteínas naturales, como colágeno o gelatina demostrando ser una forma efectiva de promover la propagación y la proliferación celular. Se pueden encontrar algunos ejemplos en nanofibras electrohiladas de PCL con colágeno injertado (Ma et al., 2005) y en nanofibras electrohiladas de PET (tereftalato de polietileno) con gelatina injertada (Ma et al., 2005).

Para igualar las características mecánicas de los vasos sanguíneos naturales, los cuales poseen una respuesta mecánica de baja tensión ante el flujo de sangre y previene la disipación energética a través de ellos como del calor, se ha estudiado una mezcla de elastina/polímero (Sell et al., 2006), mostrando mediante cultivo celular que las células migraban a través de la fineza de la elastina pero eran incapaces de migrar a través del andamio de polímero, característica fundamental para poder imitar a los vasos sanguíneos naturales. Para imitar la proporción de colágeno y elastina que hay en los vasos sanguíneos naturales, nanofibras electrohiladas de colágeno/elastina/polímero sintético (PLLA, PCL) en proporción 45/15/40 w/w/w ha sido estudiado por Lee et al. (2007), mostrando una estabilidad dimensional con unas propiedades mecánicas similares a las de los vasos sanguíneos naturales.

Ensayos "*in vivo*" fueron realizados con nanofibras electrohiladas fabricadas con colágeno, gelatina y polímeros biodegradables como el PGA (ácido poliglicólico), PLA y un copolímero de PGA/PLA (Telemeco et al., 2005). Se implantaron en el espacio intersticial del músculo lateralis vastus de ratas, formándose vasos sanguíneos funcionales en 7 días.

— Huesos

Para la ingeniería tisular de huesos, nanofibras de PCL han sido estudiadas por Yoshimoto et al. (2003) y Ekaputra et al. (2009), observándose que células madre estromales MSC (células capaces de diferenciarse en distintas formas de células como en células óseas, de cartílago, grasas o del corazón) penetraron dentro del PCL después de una semana de crecimiento y colágeno de tipo I apareció a las cuatro semanas. Un experimento "*in vivo*" fue realizado mediante la implantación de células MSC en PCL en huesos de ratas (Shin et al.,

2004). Después de cuatro semanas, las construcciones mantuvieron el tamaño y la forma original de los scaffolds y se parecían a huesos reales.

Además de las nanofibras de PCL, nanofibras de una mezcla de gelatina/PCL (Zhang et al., 2005) y compuestos de PCL con nanopartículas de carbonato de calcio (CaCO₃) e hidroxiapatita (Fujihara et al., 2005) para scaffolds óseos han sido estudiados. Añadir un 50 % de gelatina al PCL mejoró la fuerza mecánica de las nanofibras así como la humectabilidad superficial, mejorando así la unión celular y el crecimiento en el andamio (Duan et al., 2007). También se ha observado una migración de las células mayor de 114 μm dentro del scaffold después de una semana de cultivo. Las nanofibras de PCL que contienen estas nanopartículas inorgánicas mostraron una proliferación mayor.

Se han realizado estimulaciones mecánicas durante la regeneración ósea, y los resultados han mostrado que una buena estimulación puede mejorar la curación de una fractura debido a los efectos osteogénicos anabólicos, es decir, a la regeneración ósea (Rath et al., 2008). Estrés mecánico inducido por nanopartículas magnéticas incrustadas ha sido aplicado en scaffolds de PCL para simular el crecimiento, la proliferación y la diferenciación de células óseas (Kannarkat et al., 2010). Estudios “*in vivo*” como los realizados por Ko et al. (2008) y Schneider et al. (2009) han demostrado el gran potencial de los scaffolds de nanofibraselectrohiladas en ingeniería tisular ósea debido a sus adecuadas propiedades mecánicas.

— Músculos

Nanofibras de colágeno se han utilizado para el cultivo de células musculares finas (Matthews et al., 2002), mostrándose un crecimiento de dichas células en las nanofibras integrándose dichas células dentro de la red de nanofibras después de siete días de cultivo. Las células musculares finas también se añadieron y proliferaron en nanofibras de una mezcla de polímero con colágeno (Stankuset al., 2004; Chen et al. 2010), observándose una mejora de la elasticidad de las nanofibras y del esfuerzo de tensión, incrementándose la unión celular.

La degradación de las células musculares finas en cultivos de nanofibras de PGA, PLGA (derivado del ácido láctico y del ácido glicólico), y PLLA con cloro (P(LLA-CL)) ha sido investigada por Dong et al., (2010), observándose que dicho cultivo celular aumentó la degradación de los scaffolds de nanofibras especialmente para el PGA, lo que se traduce en un inconveniente al disponer de un menor tiempo para el crecimiento celular. En las nanofibras de P(LLA-CL) se observó que facilitaban un crecimiento celular de entre uno y tres meses al presentar una velocidad de degradación menor.

B) Cicatrización de heridas

La cicatrización de heridas es un proceso de regeneración natural de los tejidos dermal y epidermal. Cuando se produce una herida, un conjunto de acciones bioquímicas tienen lugar para acabar reparando el daño producido. Estas acciones se pueden clasificar en inflamatorias, proliferativas y fases de remodelación y epitelización (curación de la piel o crecimiento de la misma sobre una herida). Sin embargo, el cuerpo no suele ser capaz de curar una herida

profunda, así como suele ser incapaz de curar grandes quemaduras o úlceras profundas. En estos casos las células no son capaces de regenerarse más allá de los bordes de la herida. Como resultado, una epitelización completa es complicada y lleva mucho tiempo, produciéndose cicatrices en la base de la herida, como han podido observar Marler et al. (1998).

Para poderse realizar una buena cicatrización de una herida es necesario tapar la herida para protegerla, hacer que el cuerpo exuda fluidos extra en la zona de la herida, descontaminarla, mejorar su apariencia y acelerar el proceso de curación. Para llevar a cabo estas funciones, un apósito o tapón en la herida debe ser de un material que proporcione una barrera física a la herida, pero también tiene que ser permeable para la humedad y el oxígeno.

Las mallas de nanofibraselectrohiladas son un buen candidato de apósito para heridas debido a sus propiedades únicas:

- Estructura altamente porosa y buena interconexión de los poros que permiten exudar fluido desde la herida.
- Poros pequeños y una gran superficie específica que inhiben la invasión de microorganismos, además de asistir al control del fluido drenado.
- El proceso de electrohilado permite añadir medicamentos en las nanofibras para cualquier posible tratamiento médico y/o antibacterial.

Un estudio realizado con poliuretano (PU) electrohilado formando una malla como apósito para heridas reveló que la malla exudaba fluido de la herida eficientemente sin producirse una acumulación de dicho fluido debajo de la malla. También se ha observado que no se produce desecación en la herida. La malla ha mostrado una pérdida controlada de agua por evaporación y una excelente permeabilidad al oxígeno junto con la habilidad de drenaje de fluidos, además de inhibir la invasión de microorganismos a la herida (Khil et al., 2003).

C) Administración de fármacos y control de su administración

La administración controlada de fármacos es un proceso fundamental en los tratamientos médicos. Este control permite equilibrar la velocidad de la administración de los fármacos e inmunizar la toxicidad y los efectos secundarios, beneficiando así al paciente (Yihy Al-Fandi, 2006). En un sistema de administración de fármacos controlada, la sustancia activa es cargada dentro de un portador o dispositivo primero, para después ser administrada a una velocidad predecible "*in vivo*", administrándose tanto inyectada o sin ser inyectada.

Como potencial portador de fármacos, las nanofibraselectrohiladas han demostrado poseer muchas ventajas. La carga del fármaco es muy sencilla de realizar mediante la técnica de electrohilado y el alto potencial eléctrico aplicado durante el proceso tiene muy poca influencia en la actividad del fármaco. La gran superficie específica y la estrecha zona de paso para la difusión del fármaco le dan al sistema de administración de fármacos por nanofibras una velocidad de administración que puede ser controlada, suponiendo una mejora significativa sobre la administración tradicional de fármacos sin control de la velocidad de administración de los mismos. Dicha administración controlada se realiza mediante la

modulación de la morfología de las nanofibras, de su porosidad y de su composición. Las nanofibras destinadas a esta función provienen en su mayoría de polímeros biodegradables y de polímeros hidrofílicos. (Kenawy et al., 2002), (Verreck et al., 2003) y (Zeng et al., 2003).

D) Filtración:

— Filtración

La filtración ha sido ampliamente utilizada tanto por los hogares como por la industria para eliminar sustancias sólidas de un gas o de un líquido. Un ejemplo son máscaras protectoras, las cuales tienen que tener una gran habilidad de filtración.

Para un filtro basado en fibras, la eliminación de partículas está determinada por varios mecanismos. Las partículas más grandes son bloqueadas en la superficie del filtro por el efecto de un tamiz. Las partículas más pequeñas, que la superficie de los poros, todavía pueden ser atrapadas por mecanismos como la intercepción o la atracción por electricidad estática.

Sin embargo, la eficiencia de filtración depende en gran medida de la estructura física de las fibras del filtro, así como de sus propiedades químicas. Las matrices de nanofibras electrohiladas producen incrementos enormes en la eficiencia de la filtración ante pequeñas disminuciones de permeabilidad. En comparación con filtros de fibras convencionales, las nanofibras, al tener un diámetro tan reducido poseen una capacidad mucho mayor de atrapar partículas finas dado que el flujo de deslizamiento alrededor de las nanofibras aumenta la eficiencia de la difusión, la intercepción y los choques inerciales (Kosmider y Scott, 2002).

Una aplicación práctica de la capacidad de filtración de las nanofibras electrohiladas es el apósito o tapón, comentado anteriormente en la cicatrización de heridas, realizado a partir de nanofibras, gracias a la alta porosidad de las mismas y al reducido tamaño de los poros se obtiene un tejido con una excelente resistencia a la penetración de agentes químicos nocivos en forma de aerosoles a través del mismo (Zussman et al., 2002).

— Adsorción de iones metálicos y su recuperación

El elevado nivel de iones metálicos (cargados positivamente) se ha convertido en un problema de contaminación de los recursos de agua, lo que supone un riesgo a largo plazo para la salud y para el medio ambiente. Existen diversos métodos que permiten eliminar estos iones metálicos, siendo la adsorción de los mismos aprovechando su afinidad química y física un método muy efectivo a la par que económico. Dentro del método de adsorción de iones metálicos destacan las nanofibras electrohiladas, las cuales gracias a su gran superficie específica, a su alta porosidad y a su capacidad de controlar su afinidad con los iones metálicos en su superficie son ideales para llevar a cabo la adsorción de iones metálicos, un ejemplo es el estudio realizado por Ki et al., (2007) en el que se ha demostrado la gran capacidad de adsorción de iones metálicos de Cu^{2+} en agua de una mezcla de fibras electrohiladas de queratina y seda.

E) Catálisis y enzimas

La catálisis en química (mediante el empleo de catalizadores) y biología (utilizando enzimas como catalizadores) es muy importante al acelerar y mejorar la estabilidad de reacciones químicas y procesos biológicos. Las nanofibras electrohiladas son un candidato ideal como portadores de catalizadores al tratarse de un material inerte a la reacción, poseer una alta permeabilidad a los reactivos utilizados en la reacción y al ser un material muy poroso con una gran superficie específica. Esta última característica permite colocar una gran cantidad de catalizadores en una malla electrohilada de nanofibras, los poros de la cual están bien interconectados y garantizan una interacción efectiva entre el reactivo de la reacción y el catalizador que porta la malla electrohilada de nanofibras, además de permitir un flujo continuo tanto en las reacciones químicas como en los procesos biológicos. Se distingue entre mallas electrohiladas de nanofibras portadoras de catalizadores para las reacciones químicas y portadoras de enzimas para los procesos biológicos.

— Catálisis

Mediante el estudio realizado por Demir et al., (2004) se ha demostrado que la acción catalítica de mallas de nanofibras portadoras de paladio (Pd) como catalizador es 4.5 veces superior a la acción catalítica utilizando el catalizador tradicional de Pd/Al₂O₃ (óxido de aluminio).

— Enzimas

Las enzimas utilizadas como catalizadores se suelen tener que inmovilizar para que se lleve a cabo de forma eficiente la reacción, dependiendo su inmovilización en gran medida de la porosidad de la estructura portadora de las enzimas. Con lo que las mallas electrohiladas de nanofibras con su gran porosidad y superficie específica son un material ideal para llevar a cabo esta inmovilización de las enzimas.

Para conseguir la inmovilización de enzimas en mallas electrohiladas de nanofibras se han utilizado varias técnicas, una de las cuales es el injerto de enzimas en la superficie de las mallas electrohiladas de nanofibras (Wang y Hsieh, 2004).

F) Sensores

Los sensores han sido ampliamente utilizados para detectar sustancias químicas en la protección del medio ambiente, para procesos de control industrial, para diagnósticos médicos... Un buen sensor debe tener unas dimensiones reducidas, un bajo coste de

fabricación y debe ser capaz de realizar varias funciones al mismo tiempo, además de tener una alta sensibilidad, selectividad y fiabilidad (Hall, 1998).

Una alta sensibilidad y una respuesta rápida requieren que el sensor utilizado disponga de una gran superficie específica y de una estructura muy porosa, lo que convierte a las nanofibras en un material ideal. Algunas nanofibras electrohiladas han sido utilizadas, incorporando en ellas moléculas sensibles o injertando un material sensible en la superficie de las nanofibras. Ejemplos de la utilización de nanofibras electrohiladas como sensores han sido los estudios realizados por Wang et al., (2001) y por Wang et al., (2002), en los que se ha injertado PM (pyrene-metanol, material sensible en la detección de los iones metálicos de Fe^{3+} y Hg^{2+}) en nanofibras electrohiladas de PAA (ácido poliacrílico) obteniendo una respuesta lineal con la concentración de los iones metálicos de Fe^{3+} y Hg^{2+} y mostrando grandes sensibilidades a la variación de la concentración de los mismos.

G) Compuestos

Las fibras obtenidas mediante electrohilado se pueden usar como refuerzo en materiales compuestos para obtener una mejora de las prestaciones mecánicas de los mismos con un menor peso que el del componente original. Los compuestos reforzados con nanofibras de carbón y nanotubos están siendo los más estudiados en la actualidad.

Los nanotubos son tubos largos y delgados donde sus paredes están formadas por estructuras hexagonales de carbono (grafito). Estos nanotubos han demostrado poseer propiedades excepcionales como consecuencia de su estructura simétrica, superando sus propiedades mecánicas a las propiedades mecánicas de la mayoría de materiales existentes hasta el momento. Se ha observado que pueden llegar a tener un módulo elástico de un valor muy cercano al que presenta el diamante de 1.2 TPa (Thostenson et al., 2001).

Además se ha estudiado que pueden alcanzar una dureza mayor que la del acero del orden de ser de 10 a 100 veces superior. Los nanotubos de carbono también poseen propiedades térmicas y eléctricas excelentes, siendo estables a 2800°C en vacío y teniendo una conductividad térmica el doble que la del diamante, superando además a la capacidad de transportar la electricidad de los cables de cobre (Collins y Avouris, 2000).

A parte de los nanotubos de carbono, se han estudiado diversos tipos de refuerzo de compuestos, entre ellos se ha estudiado el efecto de las fibras de polibenzimidazola (PBI) como películas no orientadas en matrices de caucho obteniéndose una mejora en el módulo de Young, el cual aumentó 10 veces su valor, y de la tensión de rotura, la cual aumentó el doble su valor (Kim y Reneker, 1999), lo que se traduce en una gran mejora de las propiedades mecánicas.

También se ha estudiado el uso de membranas no orientadas de nylon-4, 6 en matriz epoxy obteniéndose una mejora de la rigidez y de la resistencia del material (Yarin et al., 2001).

Pero el uso de compuestos no está limitado a su refuerzo para la obtención de una mejora en las propiedades mecánicas, como ha demostrado el estudio realizado por Nirmalaa et al. (2011), en el cual se ha observado que el uso de nanofibras de PVA (acetato de polivinilo)

mezcladas con Baicalein (medicamento con múltiples efectos) preparadas mediante la técnica de electrohilado lograba una acción antibacteriana muy elevada con la bacteria *Escherichia coli*, aumentando dicha acción si se combinaban los compuestos con protección a los rayos UV.

2.2. MOTIVACIÓN

El presente documento es un Trabajo Fin de Grado en Tecnologías Industriales. Gracias a todos los conocimientos que se han adquirido durante la realización del citado grado ha sido posible la realización de forma correcta de este documento. De entre todas las asignaturas estudiadas durante el grado, las más importantes para haber podido desarrollar el Trabajo Fin de Grado han sido las siguientes:

- Ciencia y Tecnología de Materiales: ha sido necesaria para poder entender el comportamiento de los materiales poliméricos, así como para poder realizar el análisis de las muestras de fibras obtenidas tras la realización del proceso de electrohilado. Además, ha permitido el análisis de diferentes materiales y la elección de los más óptimos para conseguir una cámara cerrada donde se realiza el proceso de electrohilado en su interior.
- Química Orgánica Industrial: ha permitido el conocimiento de las sustancias químicas utilizadas para conseguir la disolución polimérica que se ha utilizado en el proceso de electrohilado, tanto los reactivos como los disolventes.
- Física y Máquinas Eléctricas: han sido fundamentales para entender el proceso de electrohilado, en especial la generación del campo electrostático necesario para poder llevar a cabo el proceso de electrohilado.
- Teoría de circuitos: ha hecho posible entender las conexiones eléctricas de los elementos y equipos de electrohilado, así como del diseño del circuito eléctrico de dichos elementos y equipos, así como de la conexión del sistema de control de la temperatura y humedad en el interior de una cámara cerrada.
- Métodos estadísticos: ha sido necesaria para poder entender y analizar los resultados tras la caracterización óptica de las muestras obtenidas mediante el proceso de electrohilado.
- Tecnología del Medio Ambiente: ha sido fundamental para comprender el peligro medioambiental que supone la mala gestión en el laboratorio de los productos químicos utilizados tras su uso.
- Proyectos de Ingeniería: ha permitido el desarrollo del presente documento al poder realizar de forma correcta una memoria, un presupuesto y unos planos.
- Termodinámica: ha sido de gran utilidad al comprender el comportamiento de los fluidos necesarios para el control de la humedad en una cámara cerrada.
- Transmisión de calor: ha sido necesaria para poder entender los mecanismos involucrados en el control de la temperatura del interior de una cámara cerrada.
- Máquinas hidráulicas: ha permitido entender y diseñar el sistema de control de la humedad, así como de los elementos que forman dicho sistema.

- Prevención de riesgos laborales: ha sido necesaria para entender y reducir al mínimo posible los riesgos presentes en toda máquina, que en el caso del presente Trabajo son los riesgos químicos y eléctricos.

Todos estos conocimientos adquiridos, además de las oportunidades de adquirir habilidades que todo el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales otorga, han permitido desarrollar el presente estudio. En especial el haber realizado prácticas de varias asignaturas en laboratorios ha permitido la rápida adaptación a la dinámica de trabajo en un laboratorio. Además, el estudio de este conjunto de asignaturas ha permitido el aprendizaje de nuevos contenidos, la adquisición de las competencias necesarias para trabajar en el ámbito de la Ingeniería Tisular, así como el estudio y comprensión de artículos científicos relacionados con el proceso de electrohilado.

Por todo lo descrito anteriormente, el presente Trabajo cumple los requerimientos para ser llevado a cabo por un Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, pues éste aplica muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo de su trayectoria universitaria, además de aprender nuevas técnicas y ramas de conocimiento, siempre de interés para cualquier Ingeniero Industrial.

2.3. JUSTIFICACIÓN

El interés académico del presente Trabajo Fin de Grado radica en el aprendizaje del proceso de electrohilado y de los parámetros que lo afectan. El electrohilado es un proceso reciente que se encuentra en un estado de investigación y, aunque está demostrando un gran potencial en una gran variedad de campos, aun no se tiene una certeza de las condiciones óptimas bajo las que se tiene que realizar. Entre todos los campos en los que las nanofibras electrohiladas pueden aplicarse, destaca el campo de la Ingeniería Tisular al ser también un campo novedoso y en estado de investigación, cuyo interés se encuentra en auge ante el potencial de la regeneración de tejidos dañados que ofrece.

El interés científico y tecnológico del presente Trabajo Fin de Grado consiste en posibilitar la obtención de nanofibras por el proceso de electrohilado para su posterior estudio, al crear un lugar de trabajo dedicado únicamente al electrohilado. Además, posibilita la futura implantación de un sistema de control de temperatura y humedad para poder estudiar cómo afectan estos parámetros a las nanofibras electrohiladas.

3. NORMATIVA

A la hora de la realización de un proyecto es obligatorio que tanto el alumno autor del trabajo como los directores del mismo conozcan y cumplan con la legislación vigente a fecha de entrega del Trabajo Fin de Grado, 4 de septiembre de 2015.

El presente proyecto se ha llevado a cabo en un laboratorio, con lo que la legislación vigente a fecha de entrega a la que deben estar sujetas las actividades realizadas en un laboratorio es la siguiente:

LEY 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la Ley 31/1995 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales. BOE, n. 298 13/12/2003. Su principal objetivo promover la mejora de las condiciones de trabajo de forma que se aumente la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores. Para ello se establecen unos principios generales que ordenan las obligaciones y responsabilidades de empresarios y trabajadores en cuanto a la acción preventiva de riesgos profesionales.

REAL DECRETO 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Esta tiene como objeto, en el marco de la Ley 31/1995 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales, establecer las disposiciones mínimas para la protección de los trabajadores contra los riesgos derivados de la presencia de agentes químicos en el lugar de trabajo.

REAL DECRETO 822/1993, de 28 de mayo, por el que se establecen los principios de buenas prácticas de laboratorio y su aplicación en la realización de estudios no clínicos sobre sustancias y productos químicos. Estos principios son: organización y personal del laboratorio, programa de garantía de calidad, laboratorio, aparatos, materiales y reactivos, sistemas experimentales, sustancias a ensayar y de referencia, procedimientos normalizados de trabajo, realización del estudio y realización del informe a partir de los resultados del estudio.

REAL DECRETO 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban las medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas. BOE n. 172 20/60/1999. Su objetivo es la prevención de accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, así como la limitación de sus consecuencias con la finalidad de proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente.

REAL DECRETO 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

REAL DECRETO 99/2003, de 24 de enero, que modifica el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo. Se definen las modalidades del sistema de información específica respecto a los preparados peligrosos.

LEY 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases, donde se fijan las normas sobre gestión de envases y residuos de los diferentes países de la Unión Europea para prevenir o reducir su impacto medio ambiental, así como facilitar la comercialización entre los

países. Además, fija unos objetivos de reciclado y valorización que deberán cumplir los Estados de la Unión Europea en un plazo de cinco años a partir de la incorporación de la norma.

REAL DECRETO 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias (MIEAPQ-1 a 7), donde se establecen las condiciones de seguridad de las instalaciones de almacenamiento, carga, descarga y trasiego de productos químicos peligrosos.

LEY 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. En ella se regula la gestión de los residuos impulsando medidas que prevengan su generación y disminuyan los impactos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos. Además, se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados.

4. ÁMBITO DE APLICACIÓN Y RANGO DE SOLUCIÓN

4.1. DISEÑO DE LA MÁQUINA DE ELECTROHILADO

En la realización de un proyecto se hace necesario conocer su orden de magnitud para poder establecer los recursos necesarios que permiten llevar a cabo dicho proyecto. Además se requiere conocer el alcance y los objetivos del mismo.

Como se ha dicho en el apartado 1.1. Objetivo general, el objetivo principal del presente proyecto es el diseño y puesta a punto de una máquina de electrohilado mediante la cual se consiga elaborar nanofibras. Además, un objetivo específico que aparece en el apartado 1.2. Objetivos específicos es el diseño de un sistema capaz de controlar la temperatura y la humedad en la que se lleva a cabo el proceso de electrohilado.

A la hora de poder diseñar de forma sencilla y eficiente la máquina de electrohilado deseada, se ha dividido este diseño en diferentes tareas según el problema a resolver. A continuación se exponen las diferentes tareas o problemas estudiados:

- El primer problema consiste en la elección de los equipos y elementos necesarios para poder llevar a cabo el proceso de electrohilado.
- El segundo problema al que nos hemos enfrentado en este proyecto es el diseño de un sistema capaz de controlar la temperatura y la humedad en un recinto cerrado.
- Para conseguir controlar la temperatura y la humedad del proceso, es necesario que éste se realice en un recinto cerrado, con lo que el tercer problema a resolver será el diseño de la cámara en el que poder realizar el proceso de electrohilado.

4.1.1. Equipos y elementos del proceso de electrohilado

Para poder realizar un diseño correcto y funcional de los equipos y elementos de una máquina de electrohilado, se hace necesario el estudio de artículos relacionados con el proceso de electrohilado y de las diferentes máquinas de electrohilado disponibles en el mercado. Después de realizar dicho estudio en el apartado 2.1.3.2. Parámetros que afectan al proceso de electrohilado, se ha llegado a la conclusión de que los equipos y elementos que se utilizan tanto en la realización de artículos como en los equipos comerciales son básicamente los mismos, variando únicamente en la forma, modelo, orientación y disposición de los mismos, siendo los equipos y elementos básicos para que se pueda realizar el proceso de electrohilado los siguientes: fuente de alta tensión, bomba de inyección, jeringuilla, aguja y colector. Además en el apartado 2.1.3.2. Parámetros que afectan al proceso de electrohilado se han estudiado los valores y características de los parámetros de tensión (fuente de alta tensión), bomba de inyección (velocidad de inyección), aguja (diámetro interno de la aguja) y colector (tipo, forma, material y distancia del mismo a la aguja).

— Fuente de alta tensión

El proceso de electrohilado se lleva a cabo gracias a la generación de un campo electrostático elevado, esto se consigue creando una diferencia de tensión entre la aguja y el colector, estando la aguja entre 10 kV y 30 kV mientras que el colector está conectado a tierra (tensión 0).

Por todo esto, se hace necesario el empleo de una fuente de alta tensión que sea capaz de generar una tensión desde los 10 kV hasta los 30 kV, además de tener un electrodo de alta tensión (desde los 10 kV hasta los 30 kV) y otro de tensión 0 para poderse conectar a la aguja y al colector, respectivamente.

En el laboratorio se dispone de una fuente de alta tensión Glassman modelo Series FC-R04 que es capaz de generar tensiones entre los 10 kV y los 30 kV necesarios para que se pueda realizar el proceso de electrohilado, con electrodos para poderse conectar a la aguja y al colector. Ideal para ser la fuente de tensión del proceso de electrohilado. La Figura 4.1 muestra la fuente de alta tensión utilizada.



Figura 4.1 Fuente de alta tensión.

— Bomba de inyección

En el proceso de electrohilado se tiene que inyectar una solución polimérica a través de una jeringuilla de forma continua. Por lo tanto, la bomba de inyección del proceso debe ser capaz de poder albergar una jeringuilla y de poder impulsar el émbolo de la misma a una velocidad de inyección entre 1 ml/h y 10 ml/h.

En el laboratorio se dispone de una bomba de inyección modelo Syringe-Pump NE-1000 capaz de impulsar el contenido de una jeringuilla a una velocidad entre los 1 ml/h y 10 ml/h necesarios para poder realizar el proceso de electrohilado. Dicha bomba de inyección es perfecta para el proceso de electrohilado y se muestra en la Figura 4.2.



Figura 4.2 Bomba de inyección.

— **Jeringuilla:**

La jeringuilla es el elemento que alberga la disolución polimérica. Además, es el elemento por el que se impulsa la solución polimérica en el proceso de electrohilado. Además, se tiene que poder colocar una aguja metálica en su orificio de salida.

En el laboratorio se dispone de jeringuillas de 10 ml de volumen perfectas para el proceso de electrohilado. Se puede ver la jeringuilla utilizada de 10 ml de volumen en la Figura 4.3.



Figura 4.3 Jeringuilla 10 ml.

— **Aguja:**

La aguja es el elemento del proceso de electrohilado que se conecta a una alta tensión, con lo que sin ella se hace imposible llevar a cabo el proceso. Se tiene que tener en cuenta que la aguja tiene que ser metálica para poder transmitir dicha tensión a la disolución polimérica. Además, se tiene que conectar a la jeringuilla por la que se impulsa la solución polimérica.

En el laboratorio se dispone de agujas de alta precisión que cumplen con los requisitos y que se pueden conectar a la jeringuilla anteriormente descrita. Sus diámetros internos son de 0.6 mm y de 1.36 mm. Ambas agujas se muestran en la Figura 4.4.

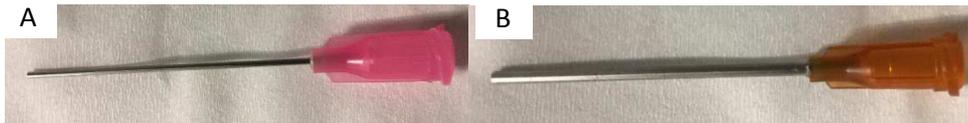


Figura4.4 (A) Aguja de 0.6 mm de diámetro interno;
(B) Aguja de 1.36 mm de diámetro interno.

— **Colector:**

Es el elemento en el que se depositan las nanofibras gracias a que está conectado a tierra (tensión 0). Para poder estar a tensión 0, tiene que ser de un material conductor eléctrico. Por ello se ha decidido la utilización de una placa de acero inoxidable. El colector utilizado se muestra en la Figura 4.5.



Figura 4.5 Colector: placa de acero inoxidable.

El colector se recubre con papel de aluminio. De esta forma las fibras formadas durante el proceso de electrohilado se depositan sobre el papel de aluminio, facilitando así la posterior recogida y caracterización de las fibras.

4.1.2. Sistema de control de la temperatura y de la humedad

Como se ha estudiado anteriormente en el apartado 2.1.3.2. Parámetros que afectan al proceso de electrohilado, el sistema de control de la temperatura y de la humedad del interior de la cámara de electrohilado tiene que ser capaz de funcionar en rangos de temperatura de 20°C a 30°C y rangos de humedad relativa de 0% a 60%.

Para facilitar el estudio del sistema de control de la temperatura y la humedad, se ha estudiado primero los diferentes elementos que permiten un control de la humedad y los distintos elementos que permiten un control de la temperatura en el interior de una cámara, como es el caso del presente Trabajo Fin de Grado.

4.1.2.1. Elementos de control de la humedad

El sistema de control de la humedad tiene que ser capaz de trabajar desde 0% de humedad relativa (HR) hasta 60%, variando la humedad relativa del interior de la cámara en dicho rango.

Para conseguir dicho control de la humedad relativa en el interior de la cámara, se han planteado dos alternativas: el uso de sales disueltas en agua y la mezcla de un flujo de aire seco (humedad relativa 0%) con un flujo de aire húmedo.

Sales disueltas en agua

Se ha demostrado que las sales disueltas en agua pueden aportar una determinada humedad relativa a un flujo de aire que se hace burbujear en un baño saturado de dichas sales disueltas, como muestra el estudio realizado por Rennenberg, H. y Weber, P. (1995) y Vasu, G., Tangirala, A.K., Viswanathan, B. y Dhathathreyan, K.S. (2008).

Para que se pueda realizar esta técnica, solo es necesario hacer pasar un flujo de aire comprimido seco que aporta un compresor a través de una trampa de condensación con sales disueltas en agua. Aunque la función principal de las trampas de condensación o trampas frías consiste en conseguir realizar el vacío en el interior de un sistema donde se llevarán a cabo experimentos en vacío, también se pueden utilizar dichas trampas para hacer burbujear un flujo de aire en un líquido, en nuestro caso en un baño de sales disueltas en agua. Se puede ver un esquema de una trampa de condensación en la Figura 4.6.

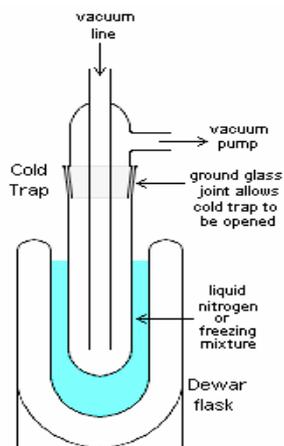


Figura 4.6 Trampa de condensación.

Las bondades de las trampas de condensación hacen posible la saturación de un flujo de aire seco, requisito a conseguir en el presente Trabajo. Si se introduce un baño saturado de sales disueltas en agua dentro de la trampa de condensación y se hace pasar un flujo de aire seco por la misma, se obliga a hacer burbujear el flujo de aire seco en el baño de sales disueltas en agua. Al hacer burbujear el aire seco, el flujo de aire que sale de la trampa de condensación tendrá una humedad relativa cuyo valor dependerá de las sales disueltas utilizadas. Con lo que se puede variar la humedad relativa del flujo de aire que sale de la trampa de condensación según el baño de sales disueltas en agua empleado, desde una humedad relativa baja (HR < 10 %) hasta una humedad relativa alta (HR = 60 %).

Sin embargo, la necesidad de tener que utilizar unas sales determinadas para poder obtener la humedad relativa deseada hace a esta técnica poco atractiva para este proyecto al

tener que preparar una disolución de sales distinta para cada humedad relativa a la que se quiera realizar el proceso de electrohilado.

Mezcla de flujo de aire seco con flujo de aire húmedo

Para conseguir una determinada humedad relativa se puede mezclar un flujo de aire seco (0 % humedad relativa) con un flujo de aire húmedo, jugando con los caudales de dichos flujos se puede variar la humedad relativa del interior de la cámara de electrohilado y mantener dicha humedad relativa una vez alcanzada.

Para estudiar este sistema de control de la humedad, vamos a separar los elementos que aportan un flujo de aire húmedo de los elementos que aportan un flujo de aire seco.

- **Flujo de aire húmedo**

- **Humidificador**

Un humidificador es un dispositivo capaz de aumentar la humedad relativa del entorno de diferentes formas según el tipo de humidificador que sea. Se distinguen humidificadores de vapor frío y humidificadores de vapor caliente.

Los humidificadores de vapor frío expulsan al ambiente vapor a una temperatura baja. Según el proceso de obtención del vapor frío se distinguen dos tipos de humidificadores: evaporativos y ultrasónicos.

Los humidificadores evaporativos absorben aire del ambiente mediante un ventilador, haciendo circular dicho aire a través de un filtro húmedo que se encuentra en el interior del humidificador. Cuando expulsan el aire ya filtrado, éste posee una humedad mayor que la del ambiente. Este tipo de humidificadores son los más baratos, sin embargo necesitan un mantenimiento mayor ya que los filtros se tienen que ir limpiando y cambiando con el paso del tiempo.

Los humidificadores ultrasónicos evaporan el agua mediante el uso de vibraciones generadas por sonidos de alta frecuencia, expulsando el vapor formado en forma de una fina capa de agua nebulizada. Este tipo de humidificadores es más caro pero no necesitan utilizar filtros ni ventiladores, lo que los convierte en más silenciosos y no necesitan casi mantenimiento.

Para poder utilizar el humidificador de la forma deseada se necesita el empleo de un higróstato, un dispositivo que permite la selección de una humedad deseada y de encender el dispositivo conectado a él cuando la humedad seleccionada es inferior a la humedad que registra un sensor conectado al higróstato, o de apagar el dispositivo conectado a él cuando la humedad seleccionada es superior a la deseada.

- **Baño en agua**

Se ha demostrado que al hacer burbujear un flujo de aire por un baño de agua el flujo de aire que sale de dicho baño está saturado en agua, lo que significa que tiene una humedad

relativa muy próxima al 100%. Un ejemplo de este sistema de humidificación del aire lo podemos encontrar en el estudio realizado por Brandl, D. y Forney, F. (1992).

Para que se pueda realizar esta técnica, solo es necesario hacer pasar un flujo de aire comprimido seco que aporta un compresor a través de una trampa de condensación con agua. El procedimiento es el mismo que el explicado anteriormente en el baño de sales en agua, la diferencia es que el agua en este caso no tiene sales, con lo que se consigue una saturación del flujo de aire, es decir, se consigue un flujo de aire húmedo con una humedad relativa muy próxima al 100%.

Este sistema de obtención de un flujo de aire húmedo a partir de un flujo de aire seco es sencillo.

- **Flujo de aire seco**

- **Deshumidificador**

Un deshumidificador es un dispositivo capaz de reducir la humedad relativa del entorno. Para conseguir dicha reducción de humedad, el deshumidificador aspira el aire húmedo a través de un ventilador y lo hace pasar por una batería del evaporador donde se enfría por debajo de su temperatura de rocío, condensando así en forma de agua, la cual es recogida y evacuada por una tubería de desagüe. El aire que queda es frío y seco, el cual se recircula por la batería condensadora, es calentado y expulsado al entorno. De esta forma se absorbe aire del entorno con una cierta humedad y se devuelve al mismo seco.

Los inconvenientes que presenta un deshumidificador para el proceso de electrohilado es que al funcionar aspirando el aire del interior de la cámara se produce una circulación de aire que puede hacer peligrar la consecución de nanofibras, al interferir la circulación de aire con el jet electrohilado. Además, su coste es algo elevado y ocupa un espacio dentro de la cámara.

- **Gas seco**

Al añadir gas seco (HR = 0 %) se reduce la humedad relativa del interior de la cámara, aunque únicamente mediante la adición de gas seco no se consigue que HR = 0, sí que se obtienen valores de la humedad relativa baja (HR < 10 %). Se puede conseguir gas seco de varias formas, entre ellas utilizando aire comprimido seco, válvulas que le quitan la humedad al fluido que las atraviesa o algún gas inerte cuya HR = 0 %.

Como gases inertes se ha pensado en el nitrógeno y en el argón, ya que su comercialización es amplia y de un bajo coste.

4.1.2.2. Elementos de control de la temperatura

El sistema de control de la temperatura tiene que ser capaz de trabajar en un rango de temperatura de entre 10 °C y 30 °C. Teniendo en cuenta que el laboratorio en el que se va a localizar la cámara de electrohilado diseñadase encuentra a una temperatura de entre 20 °C y

25 °C, la potencia a suministrar al interior de la cámara por este sistema de control es pequeña.

Se ha estudiado la utilización de un intercambiador de calor y el uso de células Peltier, elementos capaces de aumentar y de disminuir la temperatura del interior de la cámara.

— **Intercambiador de calor**

Un intercambiador de calor es un dispositivo que transmite calor entre dos fluidos separados por un material con muy buena conductividad térmica, la transmisión de calor se produce del fluido a mayor temperatura hacia el fluido de menor temperatura. Como el objetivo es controlar la temperatura del interior de la cámara, la transmisión de calor líquido-aire es la que nos interesa. Se hace circular un fluido líquido por unos conductos en el intercambiador, la parte exterior de los cuales estará en contacto con el aire que se absorba del entorno, realizándose un intercambio de calor entre ambos fluidos. Este intercambio de calor en el interior de la cámara de electrohilado se realiza absorbiendo el aire del interior y haciéndolo circular por el interior del intercambiador, lugar donde entra en contacto con el material que separa a un fluido líquido a mayor o menor temperatura que dicho aire, calentando o enfriando respectivamente el aire. El problema que presentan los intercambiadores de calor es su elevado coste y la necesidad de tener que aumentar o disminuir la temperatura del aire del interior de la cámara hace que para llevar a cabo la transmisión de calor deseada se necesite variar el líquido del intercambiador, o bien calentarlo o enfriarlo antes de realizar el intercambio de calor. Por todo esto, unido al hecho de que los intercambiadores de calor están diseñados pensando en producir diferencias de temperatura grandes, se ha descartado su uso para regular la temperatura del interior de la cámara de electrohilado.

— **Células Peltier**

Una célula Peltier es un dispositivo termoeléctrico (TEC) en forma de placa formado por varios termopares situados térmicamente en paralelo, estando así los termopares que absorben calor a un lado de la placa y los que desprenden calor al otro lado de la placa. La Figura 4.7 muestra una célula Peltier.

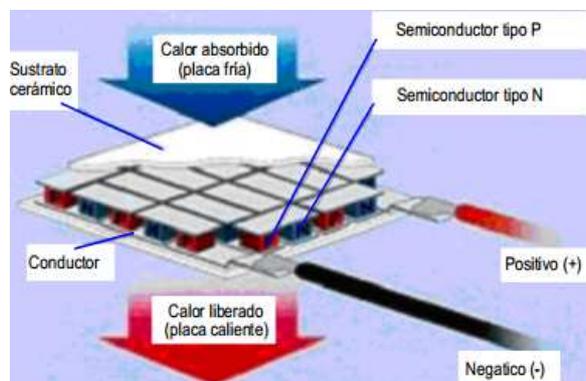


Figura 4.7 Célula Peltier (Meca y Jiménez, 2004).

El funcionamiento de las células Peltier consiste en que al aplicar una tensión continua, los termopares transmiten calor de una cara de la célula a la otra. Desde un lado de la célula se extra el calor (cara fría) y se transmite al otro lado (cara caliente), disminuyendo y aumentando la temperatura de cada cara de la célula, respectivamente. Este efecto es reversible, es decir, el sentido de transmisión de calor (la cara fría y la cara caliente) está determinado por el sentido de la corriente eléctrica aplicada a la célula. Esta reversibilidad se muestra en la Figura 4.8 (Meca y Jiménez, 2004).

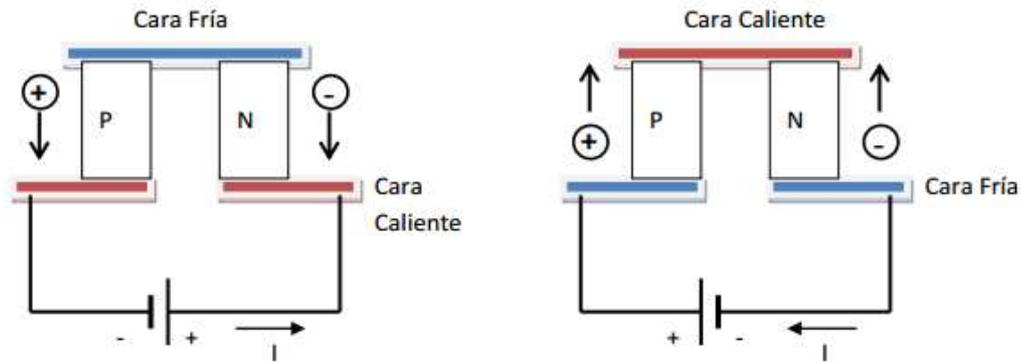


Figura 4.8 Cara fría y cara caliente de un módulo termoeléctrico dependiendo del sentido de circulación de la corriente eléctrica (Meca y Jiménez, 2004).

La potencia que puede aportar una célula Peltier es limitada (100 W como máximo), haciendo necesaria la instalación de varias células para poder variar y controlar la temperatura del interior de un espacio cerrado. Este inconveniente incrementa el precio del sistema de control de la temperatura mediante células Peltier y, además, es necesario la utilización de un software de control, haciendo más complejo el uso de las células y teniendo que utilizar un ordenador y comprar el hardware y el software necesario para su control.

Después del estudio de los intercambiadores de calor y de las células Peltier se ha llegado a la conclusión de que no pueden ser soluciones al problema de control de la temperatura del presente proyecto, ya que la utilización de un intercambiador de calor implica un elevado coste y el uso de células Peltier es inviable al tener que utilizar muchas de ellas para conseguir controlar la temperatura de un volumen grande como el de la cámara diseñada.

Al no ser opciones adecuadas los sistemas de control de temperatura estudiados anteriormente, se ha pensado en utilizar de forma coordinada elementos de aumento de la temperatura y elementos de reducción de la temperatura para conseguir la temperatura deseada.

Elementos de aumento de la temperatura

Se ha estudiado el uso de resistencias térmicas para lograr un aumento de la temperatura. Las resistencias térmicas son resistencias propiamente dichas con la particularidad de que su función principal es la de transmitir energía en forma de calor a su entorno. De entre todas las resistencias térmicas (mantas térmicas, cables calefactores,

resistencias térmicas de cartucho...) se ha valorado la utilización de bombillas diseñadas para cumplir la función de transmisión de calor, siendo éstas bombillas cerámicas, ya que la instalación de los otros tipos de resistencias térmicas es más complicada o están pensadas para transmitir una mayor cantidad de calor al entorno que la necesaria en la cámara de electrohilado.

Las bombillas cerámicas tienen la ventaja de transmitir toda su energía en forma de calor al ambiente, pudiendo suponer una eficiencia en la transferencia de dicha energía en forma de calor muy cercana al 100 %. Además, su instalación es muy sencilla y económica.

Sin embargo, se hace necesario el uso de un dispositivo capaz de encender y apagar las bombillas según la temperatura del interior de la cámara sea inferior o superior a la temperatura deseada del mismo, respectivamente. Este dispositivo es un termostato, el cual está conectado a un sensor de temperatura a través de una sonda, obteniendo así en todo momento la temperatura a la que se encuentra el interior de la cámara. Cuando la temperatura es inferior a la seleccionada, el termostato enciende las bombillas conectadas a él y cuando la temperatura seleccionada es superior a la deseada, apaga las bombillas.

Elementos de reducción de la temperatura

Para reducir la temperatura del interior de la cámara, se ha optado por aprovechar que el aire comprimido/gas inerte y el aire humidificado que proporciona el humidificador de vapor frío se encuentran a una temperatura inferior al rango de temperatura deseado durante el proceso de electrohilado (20 °C – 30 °C) y, así, no tener que instalar un elemento más para reducir la temperatura, el cual resultaría redundante y, por lo tanto, innecesario.

De esta forma, tanto si se aumenta como si se reduce la humedad, la temperatura en el interior de la cámara disminuye.

Durante el proceso de electrohilado se recomienda que haya un flujo de aire continuo en su interior y un sistema de extracción del aire del interior de la cámara, para desplazar y extraer de la cámara el disolvente evaporado, evitando de esta forma alcanzar la cantidad máxima permitida de disolvente evaporado, por encima de la cual existe un riesgo real de incendio de la atmósfera en el interior de la cámara. Además, se evita que el disolvente evaporado sature, lo que supondría la imposibilidad de poder realizar el proceso de electrohilado al impedir la saturación del mismo y que siga evaporándose disolvente y, por lo tanto, que se sigan formando nanofibras.

Para conseguir dicho flujo continuo se ha querido aprovechar un flujo de aire utilizado para controlar la humedad, haciendo que el flujo de dicho aire sea constante y coincida con el flujo continuo de aire deseado en el interior de la cámara.

Teniendo en cuenta todo esto, se ha diseñado el siguiente sistema de control de la humedad y de la temperatura. Para controlar la humedad se utilizará la mezcla de un flujo de aire seco y otro de aire húmedo. Para conseguirlo es necesario que la instalación conste de una fuente de aire comprimido (un compresor), un elemento de control del caudal del aire comprimido (válvula reguladora), y elementos que conecten la fuente de aire comprimido y el elemento de control del caudal (mangueras para aire comprimido).

El flujo de aire seco se aportará desde un compresor de aire comprimido y la instalación constará de:

Compresor: es la fuente de aire comprimido del sistema. Se ha aprovechado que el Centro de Biomateriales dispone de un compresor de la marca ABAC AIR COMPRESSORS modelo Silent-LN-HP4.

Dos mangueras para aire comprimido: una conectada a la salida del compresor y a la entrada de una válvula reguladora, y la otra manguera conectada a la salida de la válvula reguladora y al lado derecho de la cámara. A través de las mangueras circulará el flujo de aire seco. La manguera seleccionada ha sido una manguera de nylon en espiral de la marca ABAC AIR COMPRESSORS.

Válvula reguladora: válvula capaz de controlar el caudal de fluido que pasa a través de ella. Se fijará un caudal igual al flujo de aire continuo deseado en el interior de la cámara. La válvula seleccionada ha sido de la marca IndustrialVima modelo RE-04, una válvula reguladora de caudal unidireccional.

Dicha instalación funciona de la siguiente manera: un flujo de aire comprimido seco sale del compresor por el tubo, al llegar a la válvula se fija su caudal al flujo continuo que se quiere conseguir en el interior de la cámara, el flujo de aire sale de la válvula y fluye a través del tubo hacia el interior de la cámara. El esquema de la instalación de aire seco se muestra en la Figura 4.9.

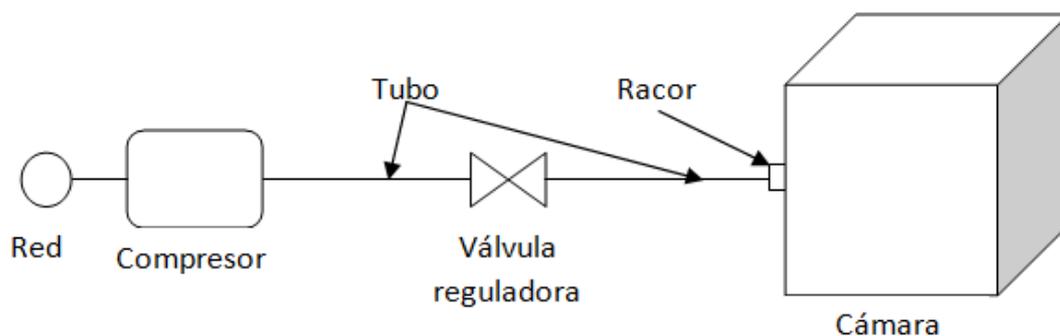


Figura 4.7 Esquema instalación de flujo de aire seco.

El flujo de aire húmedo se aportará mediante un humidificador, el cual tiene un tubo conectado a su salida y al interior de la cámara. El humidificador estará conectado a un higrostató, el cual posee una sonda con un sensor de humedad colocado en el interior de la cámara que medirá la humedad del interior. Cuando dicha humedad sea inferior a la humedad seleccionada en el higrostató, éste encenderá el humidificador que proporcionará un flujo de aire húmedo, cuando la humedad del interior de la cámara sea mayor que la seleccionada, el higrostató apagará el humidificador, realizándose un control denominado ON/OFF. El higrostató estará conectado a la red eléctrica para su funcionamiento. El esquema de la instalación de flujo de aire húmedo se muestra en la Figura 4.10.

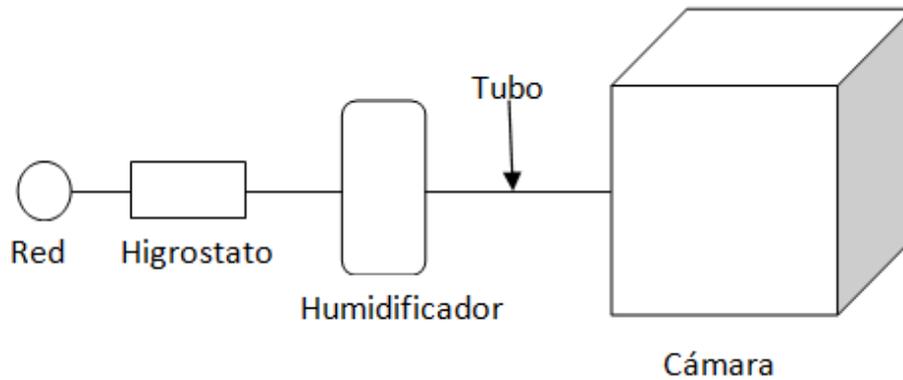


Figura 4.8 Esquema instalación de flujo de aire húmedo.

Para controlar la temperatura solo es necesario la instalación de elementos de aumento de la temperatura, ya que, como se ha dicho antes los flujos de aire seco y húmedo están por debajo del rango de temperatura deseado (entre 20 °C – 30 °C) y como siempre va a haber un flujo de aire seco y otro de aire húmedo cuando sea necesario, la temperatura en el interior de la cámara se mantendrá por debajo de la deseada.

El elemento que aumentará la temperatura del interior de la cámara es la bombilla cerámica. Ésta se instalará en el techo de la cámara, justo encima del jet durante el proceso de electrohilado. Además, para poder conseguir la temperatura deseada se hará uso de un termostato conectado a la bombilla, en el que se seleccionará la temperatura deseada y éste encenderá la bombilla cuando la temperatura en el interior de la cámara sea inferior a la seleccionada. Esto se consigue al tener el termostato una sonda con un sensor de temperatura, el cual medirá la temperatura del interior de la cámara al estar instalado en su interior. El termostato se conectará a la red eléctrica para su funcionamiento. El esquema de control de temperatura se muestra en la Figura 4.11.

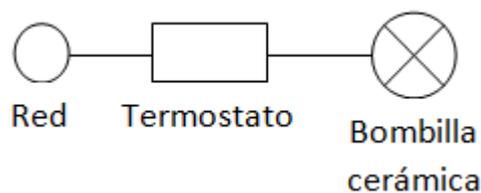


Figura 4.9 Esquema control de temperatura.

4.1.3. Diseño de la cámara

Para el diseño de la cámara se ha tenido en cuenta los requisitos que tiene que cumplir para poder realizar el proceso de electrohilado. Estos requisitos son:

- La cámara tiene que ser aislante tanto de la temperatura como de la humedad, con lo que se busca un material con baja o nula absorción de humedad y que sea un buen aislante térmico.

- Como se trabaja con sustancias químicas corrosivas tales como ácidos, el material tiene que ser capaz de resistir químicamente los agentes químicos evaporados producto del proceso de electrohilado.
- Se tiene que poder ver el interior de la cámara para poder observar cómo se lleva a cabo el proceso, así como poder detectar cualquier problema que surja durante la realización del mismo.
- La cámara tiene que poseer una cierta robustez para poder ser trasladada de forma segura sin tener que ser desmontada.

Por todo esto, se ha decidido dotar a la cámara de una puerta a través de la cual se pueda ver el interior de la misma.

Se han estudiado materiales como posibles candidatos para construir las paredes y la puerta de la cámara de electrohilado, utilizando esos materiales en forma de placa.

4.1.3.1. Elección de los materiales de las paredes de la cámara

Se han valorado los siguientes tres materiales como posibles componentes de las paredes de la cámara:

— **PVC:**

Se ha estudiado el PVC espumado por presentar características beneficiosas para este diseño:

- a) Bajo peso.
- b) Baja absorción de agua.
- c) Resistencia al impacto.
- d) Gran facilidad de transformación.
- e) Elevada resistencia a los agentes químicos.
- f) Resistencia a la intemperie.
- g) Buen comportamiento al fuego M1 (Material combustible, pero no inflamable).
- h) Aislante térmico.

Por todo lo mencionado se considera un buen candidato para la construcción de las paredes de la cámara.

Por contra, la resistencia a los agentes químicos no lo convierte en un material inmune al efecto de los mismos, pudiéndose producir decoloración del PVC en contacto con dichos agentes e incluso llegando a producirse corrosión a largo plazo. Por todo esto es un material que podría servir temporalmente pero no de forma indefinida.

— **Teflón (PTFE):**

El teflón es un polímero cuya estructura está formada por largas cadenas de carbonos saturados de flúor, los cuales actúan como protectores de la cadena carbonada, dotando al teflón de una fisiología prácticamente inerte. Las características del teflón son:

- a) Es un material prácticamente inerte, es decir, no reacciona con sustancias químicas, exceptuando algunas ocasiones especiales.
- b) Tiene una toxicidad casi nula gracias a su falta de reactividad con otras sustancias químicas.
- c) Es un material impermeable, manteniendo esta cualidad en ambientes húmedos.
- d) Es un gran aislante eléctrico.
- e) No se altera por la acción de la luz y soporta temperaturas desde -200°C hasta 360°C .
- f) Es un material incombustible.
- g) Tiene un muy bajo coeficiente de fricción y es un material antiadherente.

Por todo lo enunciado, este material podría ser un buen candidato para la construcción de las paredes de la cámara.

Sin embargo, es un material relativamente caro, por lo que dentro de este Trabajo Fin de Grado se ha desestimado su utilización.

— **Polietileno (PE):**

El polietileno es un polímero de cadena larga de átomos de carbono con dos átomos de hidrógeno unidos a cada átomo de carbono, formado a partir de la polimerización del etileno ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$). Las características del polietileno son:

- a) Es un material fisiológicamente inerte, con resistencia a la abrasión.
- b) Tiene una muy baja absorción de agua.
- c) Liviano y resistente.
- d) Resistente a temperaturas desde -100°C hasta 80°C .
- e) Bajo coeficiente de fricción.
- f) Buena resistencia al impacto.
- g) Aprobado por FDA para contacto con alimentos.

Dadas estas propiedades, se puede considerar el polietileno un material candidato para ser utilizado en las paredes de la cámara.

La principal contrapartida observada es que no es un material aislante térmico propiamente dicho.

Por todo lo expuesto anteriormente el material elegido para construir las paredes de la cámara es el polietileno (PE). Aunque el teflón (PTFE) es el material idóneo, su precio hace que sea descartado para el diseño de esta cámara.

4.1.3.2. Elección de los materiales de la puerta de la cámara

Se investigaron los siguientes materiales transparentes para ser utilizados en la construcción de la puerta:

— **Metacrilato (PMMA):**

El metacrilato se fabrica a partir del metacrilato de metilo monómero (MMA) por extrusión o colada. Es un material termoplástico y termo-moldeable con múltiples posibilidades de transformación. Las características del metacrilato son:

- a) Una elevada transparencia.
- b) Es un material ligero.
- c) Resistencia a agentes químicos, aunque no muy buena.
- d) Resistencia mecánica y alta flexibilidad y facilidad de manipulación.

La baja resistencia a los agentes químicos no lo convierte en un material inmune al efecto de los mismos, pudiéndose producir decoloración del PMMA en contacto con dichos agentes e incluso llegando a producirse corrosión, por lo que ha sido descartado en este diseño.

— **Polietileno tereftalato de glicol (PET-G):**

El PET-G es un material sintético que pertenece al grupo de los poliésteres, cuyas características son:

- a) Es un material ligero.
- b) Elevada transparencia.
- c) Resistencia a la rotura.
- d) Fácil manipulación.
- e) Buena resistencia química.
- f) Puede entrar en contacto con alimentos.
- g) Comportamiento al fuego M2 (difícilmente inflamable).

Aunque tiene una buena resistencia química, no es un material inerte y algunos de los disolventes utilizados durante el proceso de electrohilado pueden llegar a producir la corrosión del mismo.

Por todo lo expuesto con anterioridad se elige el PET-G frente al PMMA como material para la construcción de la puerta de la cámara.

4.1.3.3. Elección de las dimensiones de la cámara

Una vez estudiados los materiales que van a formar las paredes, el suelo y el techo de la cámara, se ha estudiado la forma, estructura y tamaño de la cámara.

En una primera instancia, se ha pensado en construir la cámara con los materiales elegidos, pero conseguir una cámara robusta (característica que debe poseer la cámara como se expone al comienzo de este apartado de diseño de la cámara) a partir únicamente de dichos materiales tiene ciertos inconvenientes, ya que supondría utilizar placas de PET-G y de PE de un espesor demasiado grande, lo que aumentaría en gran medida el coste de los materiales de la cámara.

Por consiguiente, se ha llegado a la conclusión de que es necesario dotar a los materiales que forman la cámara de una estructura donde asentarse, permitiendo así utilizar materiales de un espesor reducido. La solución elegida ha sido la construcción de una estructura de perfiles de aluminio, la cual otorga rigidez estructural a la cámara y permite añadir perfiles con posterioridad. De este modo, ante la posible necesidad de futuras modificaciones, se podría reajustar el diseño permitiendo así colocar guías, construir una doble pared para mejorar el aislamiento o colocar perfiles de aluminio de cualquier forma deseada sin necesidad de desmontar y de volver a construir la cámara desde cero.

Sin embargo, construir una estructura de perfiles de aluminio que albergue en su interior el proceso de electrohilado puede tener un inconveniente a tener en cuenta: los perfiles de aluminio pueden interferir con el proceso de electrohilado, específicamente con el jet. Como el aluminio es un material conductor, y el proceso de electrohilado se realiza creando un campo electrostático, se puede producir una desviación del jet hacia los perfiles de aluminio, depositándose las fibras en ellos en vez de en el colector. No obstante, en el estudio realizado por Boyer et al., (2010) se utilizó una estructura de perfiles de aluminio en el interior de la cual se realizó el proceso de electrohilado, estando el colector colocado sobre perfiles de aluminio (lo que significa que la distancia entre la aguja y los perfiles era inferior a 30 cm) sin producirse interferencia con el jet de los perfiles de aluminio.

También se ha tenido en cuenta en la elección del volumen de la cámara la existencia de un límite de concentración de los disolventes evaporados en el interior de un espacio cerrado y la posibilidad de que dichos disolventes evaporados saturen impidiendo la evaporación de más disolvente. Por lo que se ha llegado a la conclusión de que un volumen relativamente grande retrasaría la aparición de los efectos negativos mencionados. Si no se evacuara aire del interior de la cámara se tardaría más tiempo en alcanzar el límite de concentración de los disolventes evaporados y en llegar a la saturación de los mismos.

Por todo lo expuesto, se ha decidido construir una estructura rectangular de tipo bastidor de 70×70×100 cm, es decir, de un volumen de 0.49 m³ o 490 litros, capaz de albergar en su interior todos los equipos y elementos de electrohilado, además de quedar espacio libre para poder añadir nuevos elementos en un futuro. Más adelante, en el apartado 4.4.1. Seguridad química, se comprueba que el volumen de 0.49 m³ es suficiente para evitar alcanzar el límite de concentración de disolvente evaporado antes citado. Por lo tanto, se ha continuado con el diseño de la cámara.

4.1.3.4. Cámara

Para la construcción de la estructura de aluminio se ha decidido emplear perfiles de aluminio tal y como se muestran en la Figura 4.12. Estos perfiles son de 45×45 mm de sección cuadrada con cuatro ranuras de 10 mm de ancho y 14 mm de profundidad a lo largo de la longitud del perfil, con una ranura en cada cara del perfil, y un núcleo de 10 mm de diámetro para rosca M12. Se ha considerado que es un perfil suficiente para dotar de la rigidez deseada a la estructura.

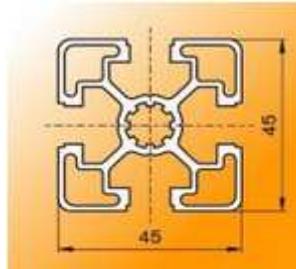


Figura 4.10 Estructura de aluminio

A la hora de comprar los perfiles de aluminio para construir el bastidor se han evaluado diferentes opciones, obteniendo un presupuesto de cada una de ellas:

- **Assemblingprofiles**
- **Sinerges**
- **Motedis**: es el único sitio que ofrece la posibilidad de comprar un bastidor ya montado o con toda la mecanización necesaria para su montaje ya realizada.

Al final se ha elegido comprar el material necesario en Motedis al ser la opción más económica.

Para el montaje de la estructura del bastidor se ha dispuesto de los perfiles de aluminio con las uniones necesarias fijadas a los núcleos de los mismos compradas en Motedis, con lo que solo se ha necesitado unir los perfiles de la forma adecuada y apretar con una llave allen las uniones para fijar los perfiles. El esquema de esta estructura de perfiles de aluminio en forma de bastidor se observa en el Plano 1.

Para conseguir la visualización del interior de la cámara se ha montado una puerta en la parte frontal de 1 metro de largo de la cámara. El esquema de la estructura de perfiles de aluminio de cada cuadro de la puerta se muestra en el Plano 2. La puerta de materiales transparentes consta de dos láminas coincidentes en el centro de la cara con un cierre que realiza a su vez la función de pasador como el que se observa en la Figura 4.13.

Todos los tornillos y tuercas de métrica M5 utilizados para la construcción de la cámara se muestran en la Figura 4.14. Para el montaje del cuadro de las puertas se han utilizado conectores angulares de 90°, como los que se pueden ver en la Figura 4.13, por la cara interior de los perfiles, los cuales tienen tornillos en su interior que al apretarlos con una llave allen se han fijado a los perfiles. Para la rotación de las puertas se han empleado bisagras de plástico

como las mostradas en la Figura 4.13. Para el montaje de las bisagras se han utilizado 2 tornillos M5 avellanados con 2 tuercas M5 por bisagra para conectar las bisagras con los perfiles. Para el montaje del cierre de las puertas se han utilizado 2 tornillos M5 con 2 tuercas M5 por cada parte del cierre (una parte por cuadro de la puerta, es decir, dos) para conectar y fijar el cierre a la puerta.

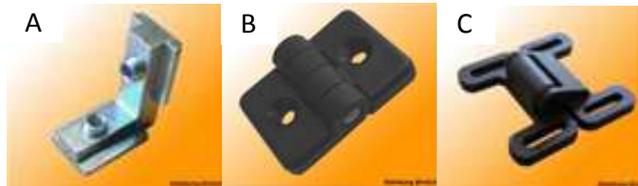


Figura 4.11(A) Cierre/pasador; (B) Conectores angulares; (C) Bisagra.

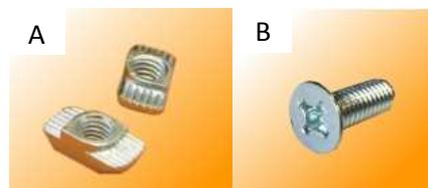


Figura 4.12(A) Tornillos M5; (B) Tuercas M5.

Una vez construida la estructura de perfiles de aluminio se hace necesario dotar a la estructura de estanqueidad. Para ello se ha optado por fijar a los lados de la estructura placas de los materiales seleccionados anteriormente, los cuales formarán las paredes de la cámara. El color de la placa se ha decidido que sea negro para conseguir un contraste con el jet que sale de la aguja hasta el colector, de color blanquecino, en aras a facilitar la visualización del mismo mientras tiene lugar el proceso. Los lados de la estructura se pueden dividir en cuatro grupos, cada uno de los cuales se diferencia del resto en el tamaño y/o en la necesidad de instalación de otros elementos.

— Lado izquierdo de la cámara

En este caso la superficie es de 70×70 cm, con la peculiaridad de que se le va a conectar un tubo de 2.5 cm de diámetro por el que se realizará la extracción de aire del interior de la cámara. El material a utilizar es polietileno (PE), específicamente placas de PE de 70×70 cm y 3 mm de espesor. Además, se hace necesaria la realización de un agujero en la placa para instalar el tubo extractor de aire. También se realizarán agujeros para fijar la placa a los perfiles de aluminio mediante tornillos M5 y tuercas M5, las cuales irán en los raíles de los perfiles de aluminio. El plano de dicha placa se puede ver en el Plano 3.

La extracción de aire se realizará al colocar el orificio de salida del tubo en el interior de una cámara extractora.

— **Lado derecho de la cámara**

En este caso la superficie es de 70×70 cm, con lo que se usará una placa de polietileno (PE) de 70×70 cm y 3 mm de espesor. Por este lado se quiere instalar el sistema de control de la humedad. Por esto, además de la realización de agujeros para fijar la placa a los perfiles de aluminio mediante tornillos M5 y tuercas M5 que irán en los raíles de los perfiles de aluminio, se hace necesaria la realización de dos agujeros, uno para instalar el tubo por el que entrará un flujo de aire seco al interior de la cámara y otro para la instalación del tubo por el que entrará un flujo de aire húmedo al interior de la misma. El plano de dicha placa se puede ver en el Plano 4.

— **Fondo**

La superficie del fondo, el opuesto a la puerta de la cámara, es de 100×70 cm. El material a utilizar es polietileno (PE), específicamente una placa de PE de 100×70 cm y 3 mm de espesor. Se realizarán agujeros a la placa para fijarla a los perfiles de aluminio mediante tornillos M5 y tuercas M5, las cuales irán en los raíles de los perfiles de aluminio. Además, se le realizará un agujero (B1) por el que poder introducir el electrodo de tensión 0 que irá conectado al colector durante el proceso de electrohilado. El diseño de esta placa es el mostrado en el Plano 5.

— **Suelo**

La superficie del fondo, el opuesto a la puerta de la cámara, es de 100×70 cm. El material a utilizar es polietileno (PE), específicamente una placa de PE de 100×70 cm y 3 mm de espesor. Se realizarán agujeros a la placa para fijarla a los perfiles de aluminio mediante tornillos M5 y tuercas M5, las cuales irán en los raíles de los perfiles de aluminio. El diseño de esta placa es el mostrado en el Plano 6.

— **Techo**

La superficie del techo de la estructura de perfiles de aluminio es de 100×70 cm, por lo que se instalará una placa de PE de 100×70 cm y 3 mm de espesor de color negro por la misma razón de conseguir un contraste con el jet del electrohilado. También se le realizarán agujeros para poder fijar dicha placa a los perfiles de aluminio mediante los mismos tornillos y tuercas M5 de las placas anteriores. También se realizará un agujero (B1) por el que pasará el electrodo de alta tensión de la fuente de tensión que se pondrá en la aguja a la hora de realizar el proceso de electrohilado. El diseño de la placa lo podemos ver en el Plano 7.

En este lado de la cámara se instalan la bombilla cerámica que aumentarán la temperatura del interior de la cámara cuando sea necesario. Además, en esta placa se instalan los sensores de temperatura y de humedad del termostato y del higrostatato, respectivamente.

— Puerta de la cámara

La puerta se divide en dos cuadros, es decir, dos estructuras rectangulares formadas por perfiles de aluminio conectadas al bastidor por bisagras y conectadas entre ellas por un cierre/pasador, como se ha descrito anteriormente. En cada cuadro se instalará una placa de PET-G transparente de 355×605 cm y 3 mm de espesor. A cada placa se le realizarán agujeros para poder fijar en ella los perfiles de aluminio mediante los mismos tornillos y tuercas M5 de las placas anteriores. Además se le realizarán dos agujeros por los que pasarán los tornillos M5 que fijarán el cierre al cuadro. El plano de una de estas placas se puede ver en el Plano 8.

En el Plano 9 se muestra el conjunto de la cámara, con todos los elementos descritos anteriormente integrados.

4.2. PRUEBA DE CONCEPTO

Por razones económicas, no se ha podido construir la cámara de electrohilado diseñada. Sin embargo, se ha realizado una prueba de concepto para comprobar que se puede llevar a cabo el diseño realizado.

Por ello, se ha construido un prototipo de cámara de electrohilado para realizar las pruebas necesarias para confirmar el funcionamiento de todos los equipos y elementos involucrados en el proceso. Además, se han obtenido muestras de mallas de fibras electrohiladas para su posterior caracterización óptica.

Una vez construida la estructura de la cámara diseñada en el apartado 4.1.3. Diseño de la cámara, es necesario dotarla de una relativa estanqueidad, para ello se ha resuelto cubrir todos los lados de la misma, incluida la puerta, con plástico transparente de policarbonato, exceptuando el lado izquierdo de la cámara, en el cual se ha instalado una placa de PVC espumado de 70×70cm y 3mm de espesor, cuyo esquema es el mismo de la placa de PE diseñada para la cámara y que se muestra en el Plano 3. Dicha placa ha sido difícil de encontrar, aunque se han encontrado empresas que comercializan con PVC espumado, todas ellas vendían una superficie de placa de PVC espumado muy superior (2 metros cuadrados) a la deseada (0.49 metros cuadrados). Dadas las restricciones presupuestarias y tras una intensa búsqueda se optó por la empresa local de serigrafía y rotulación llamada *Savamont* (C/ Río Nervión, 5 bajo, 46025, Valencia) que utiliza PVC espumado y que ofrece estas placas a medida.

El plástico transparente se ha sujetado a los lados de la cámara con cinta adhesiva. Tanto el plástico como la cinta se han comprado en LeroyMerlin.

A la placa de PVC espumado se le ha realizado un agujero de 2.5 cm de diámetro en la parte superior izquierda de la misma, exactamente a 8 cm del extremo izquierdo y a 8 cm del extremo superior. Este agujero se ha realizado para poder instalar una manguera al mismo que realice la función de extractor de aire al estar su extremo de salida en una campana extractora del laboratorio. La manguera se ha adquirido en LeroyMerlin también, y se ha pegado al agujero de la placa descrito con pegamento para plásticos.

También se le han realizado a la placa agujeros de 0.413 cm de diámetro a 2.25 cm de sus extremos para poder introducir tornillos M5 por ellos y roscarlos a tuercas M5, ambos como los vistos en la figura 5.4, por dentro del raíl de los perfiles de aluminio.

Podemos ver el esquema de la placa de PVC espumado en el plano 3, el mismo diseño que para la placa de PE del lado izquierdo descrita en el apartado 1.1. Además se puede ver una imagen de la placa con la manguera ya instalada en la estructura de perfiles de aluminio en la Figura 4.15.



Figura 4.13 Pared izquierda ya instalada del prototipo.

Después de realizar los agujeros a la placa de PVC y de su instalación, junto con la instalación del plástico transparente, se ha conseguido una cámara apta para realizar pruebas mediante el proceso de electrohilado. Dicha cámara se puede ver en la Figura 4.16.

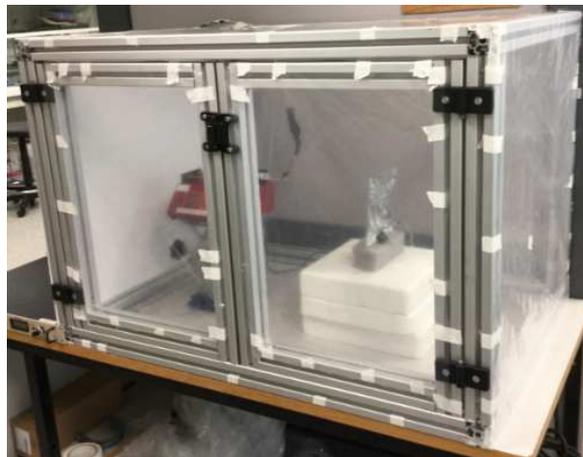


Figura 4.14 Cámara prototipo.

Una vez construido el prototipo, se ha continuado con la realización de diversas pruebas. Pero para poder llevar a cabo el proceso de electrohilado primero que nada se debe diseñar el sistema de conexión eléctrica de los elementos y equipos que intervienen durante el proceso, el cual se puede ver en el Plano 9. Además, la colocación de los elementos y equipos dentro de la cámara prototipo se puede ver en la Figura 4.17.

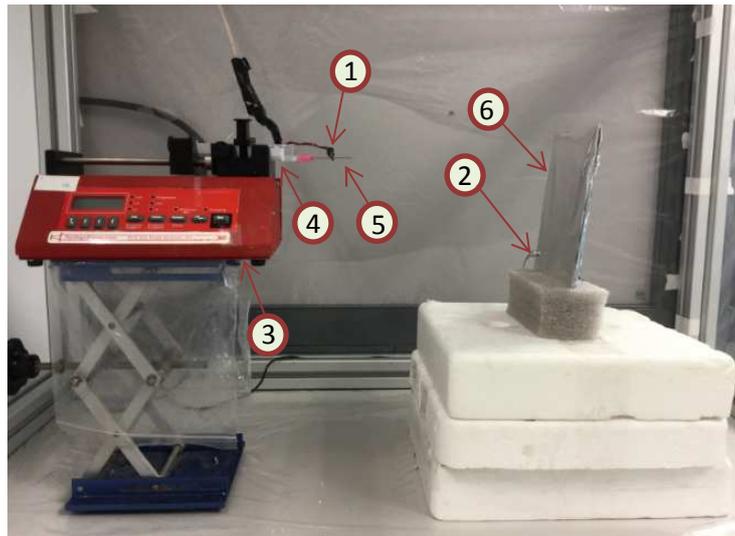


Figura 4.15 Disposición de los elementos y equipos del proceso de electrohilado dentro de la cámara prototipo. (1) Electrodo positivo, (2) Electrodo conectado a tierra, (3) Bomba de inyección, (4) Jeringuilla, (5) Aguja y (6) Colector.

La primera prueba que se ha realizado ha sido la comprobación de que la distancia de los perfiles de aluminio que forman la cámara con el jet no interfiere durante el proceso de electrohilado. Este ensayo se ha realizado mediante la técnica de electrohilado con una disolución de P(MA-co-MMA) al 12 % de DMF.

A continuación se han realizado diferentes ensayos utilizando para ello una disolución de P(MA-co-MMA) al 12 % de DMF. Los ensayos se han llevado a cabo a diferentes tensiones (10 kV, 15 kV y 20kV), así como con dos agujas de diámetros internos distintos (0.6 mm y 1.36 mm), siendo la distancia entre la aguja y el colector de 10 cm y la velocidad de inyección de la bomba de 1 ml/h, estos dos últimos parámetros se han mantenido constantes al ser los óptimos para la disolución empleada según Bochons, Mar (2015).

4.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS FIBRAS OBTENIDAS

4.3.1. Microscopio óptico

Una vez realizado el proceso de electrohilado es necesario poder confirmar si se han obtenido fibras. Para ello se ha realizado una primera observación al microscopio óptico.

Como las fibras electrohiladas se han depositado en un colector recubierto por papel de aluminio, éstas se encuentran sobre el papel de aluminio. Con lo que para poder observarlas al microscopio óptico el papel de aluminio se tiene que separar del colector, con mucho cuidado de no estropear la muestra. Una vez separados, se procede a la observación al microscopio óptico de la muestra obtenida en el papel de aluminio.

Se ha utilizado un microscopio óptico modelo Nikon Eclipse E600, el cual se muestra en la Figura 4.18. Este microscopio se encuentra en el Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular de la Universidad Politécnica de Valencia y posee diferentes objetivos con un aumento distinto

cada uno: objetivo 10X (100 aumentos), objetivo 20X (200 aumentos), objetivo 50X (500 aumentos) y objetivo 100X (1000 aumentos).



Figura 4.16 Microscopio óptico modelo Nikon Eclipse E600.

Además, dicho microscopio tiene instalada una cámara digital que permite visualizar las imágenes en un ordenador con el software LINKAM ISIS. Sin embargo, este microscopio tiene una profundidad focal limitada, impidiendo realizar un enfoque correcto de las superficies irregulares y, por tanto, de las membranas de electrohilado formadas por varias capas de fibras como las obtenidas mediante el proceso de electrohilado.

Por lo tanto, únicamente podemos visualizar las membranas muy poco densas y comprobar si de verdad se han formado fibras. También sirve para poder seleccionar las mejores muestras recogidas durante los ensayos de electrohilado para una posterior visualización en el microscopio electrónico de las mismas.

4.3.2. Microscopio electrónico de barrido

Una vez seleccionadas las mejores muestras con el microscopio óptico, éstas pasan a observarse en el microscopio electrónico de barrido o SEM. El microscopio electrónico de barrido permite la visualización en un amplio rango de aumentos, desde 50 hasta 100.000 aumentos, pudiendo observar detalles de hasta 4 nanómetros, sobrepasando de esta manera al microscopio óptico. Pero la característica que hace del SEM un microscopio mucho mejor que el óptico es su gran profundidad focal. A diferencia del microscopio óptico, el SEM permite observar con gran detalle todo tipo de superficie incluidas las superficies irregulares. Además, con el SEM se pueden observar distintas zonas en diferentes planos. Con lo que es un instrumento ideal para poder observar las membranas obtenidas por electrohilado formadas por varias capas de fibras, como en el caso de nuestras muestras.

El microscopio electrónico que se ha utilizado es el modelo: JEOL JSM – 5410 scanningelectronmicroscope, el cual se muestra en la Figura 4.19. Dicho microscopio se encuentra en el Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad Politécnica de Valencia, en el edificio 8D.



Figura 4.17 Microscopio electrónico de barrido JEOL JSM – 5410 scanningelectronmicroscope.

Antes de poder observar las muestras, éstas se tienen que preparar de una forma determinada. Se tienen que colocar un cilindro porta-muestras conductor eléctrico, con lo que se tiene que cortar en cuadrados pequeños que quepan dentro de la superficie circular de un porta-muestras. Para fijarse al porta-muestras se hace uso de una cinta adhesiva de doble cara conductora eléctrica, la cual se colocó entre el porta-muestras y el cuadrado cortado de la muestra, pegándose a ambos. Para asegurar la conductividad de la muestra, se le aplica una gota de una sustancia conductora que esté en contacto con la muestra y el porta-muestras denominado “puente”, nombre que proviene de su función de realizar un puente eléctrico entre la muestra y el porta-muestras. Por último se recubre con oro para hacer conductoras eléctricas a las muestras, característica fundamental para poderse observar al microscopio electrónico.

Una vez preparadas las muestras, se introducen en la cámara de vacío del SEM, ajustando los parámetros de éste a 15 kV y a 9mm de distancia de trabajo y ajustando sus controles.

Para su visualización, se manipula el enfoque y el contraste, así como los aumentos del SEM para realizar la visualización y tomar fotografías. En el presente proyecto se han realizado fotografías de las muestras en aumentos de 500X y de 3500X.

Las imágenes obtenidas con microscopía electrónica se encuentran en el apartado 4.5. RESULTADOS.

4.4. SEGURIDAD

El conjunto de la estructura de perfiles de aluminio junto con los equipos y elementos del proceso de electrohilado forman una máquina y, como tal, se hace necesario el estudio de los riesgos presentes durante la utilización de la misma. Se ha diferenciado entre los riesgos químicos derivado de la utilización de disolventes, los cuales se evaporan durante el proceso de electrohilado y suponen un problema dado el riesgo que la mayoría de ellos tienen de formar una atmósfera explosiva dentro de la cámara y provocar un incendio, y los riesgos eléctricos presentes en todo equipo eléctrico, como la fuente de alta tensión y la bomba de inyección, así como el sistema de control de la temperatura y la humedad. Por ello se distingue entre seguridad química y seguridad eléctrica.

4.4.1. Seguridad química

En relación a la protección frente a cargas electrostáticas el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo hace referencia a las mismas en los siguientes términos:

“Medidas de prevención y protección

Teniendo en cuenta que una descarga electrostática sólo puede ser foco de ignición si está en presencia de una atmósfera inflamable, se concluye que la mejor medida de prevención es evitar la formación de mezclas explosivas. Sin embargo esta medida puede presentar dificultades de aplicación, por lo que se tendrá que evaluar el riesgo viendo si se pueden desarrollar atmósferas inflamables en la zona de posibles descargas electrostáticas. En caso afirmativo se deberán valorar las concentraciones de atmósfera inflamable según las condiciones del proceso y del ambiente y ver si tales concentraciones originan un riesgo en su proximidad y en las condiciones presentes de trabajo. La finalidad de las medidas correctoras es proporcionar un medio por el cual las cargas electrostáticas de signos contrarios, generadas y que han quedado separadas y aisladas en dos cuerpos distintos por cualquier causa, se puedan recombinar y neutralizar sin ocasionar daños, antes de alcanzar un potencial generador de chispa o evitar espacios en que se supere la rigidez dieléctrica del medio y pueda saltar la descarga electrostática en forma de chispa. En cuanto a la eliminación de las cargas electrostáticas existen diversas medidas, aunque no aplicables de forma universal, que se deducen de los factores que influyen en el propio proceso de generación de cargas. Esto nos lleva a la necesidad de adoptar una serie de medidas que se enumeran y comentan a continuación.¹”

Por todo ello, para asegurar que no exista un peligro de generación de chispa en la atmósfera de la cámara de electrohilado durante el proceso y el consecuente riesgo de incendio se tiene que calcular la concentración máxima permisible de los disolventes evaporados que se vayan a utilizar dentro del volumen conocido de la cámara (0.49 m³).

Los parámetros a tener en cuenta a la hora de calcular el volumen máximo de disolvente evaporado en el interior de la cámara durante el proceso de electrohilado para evitar que se produzca un incendio son los límites de inflamabilidad. Se distinguen dos límites de inflamabilidad: el límite inferior de inflamabilidad (L.I.I.) y el límite superior de inflamabilidad (L.S.I.). El L.I.I. establece *“la concentración mínima de vapor o gas en mezcla con el aire, por debajo de la cual, no existe propagación de la llama al ponerse en contacto con una fuente de ignición²”*, es decir, a partir de dicha concentración de disolvente evaporado dentro del volumen interior de la cámara existe riesgo de incendio. El L.S.I. fija *“la concentración*

¹ Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. NTP 567: Protección frente a cargas electrostáticas, medidas de prevención y protección.

² Idem.

máxima de vapor o gas en aire, por encima de la cual, no tiene lugar la propagación de la llama, al entrar en contacto con una fuente de ignición³”, es decir, la concentración del disolvente evaporado por encima de la cual no existe riesgo de incendio. En el caso práctico del presente Trabajo en el que se parte de una atmósfera en el interior de la cámara de electrohilado formada únicamente por aire y en la que se va evaporando disolvente a medida que se lleva a cabo el proceso de electrohilado, es el límite de inflamabilidad inferior de los disolventes utilizados el que interesa estudiar sin necesidad de calcular su límite superior de inflamabilidad, ya que el L.I.I. es el primero en ser alcanzado y para llegar a tener una concentración de disolvente evaporado igual o superior al L.S.I. se tiene que superar el L.I.I. y encontrarse la atmósfera del interior de la cámara en el rango de riesgo de incendio que va desde el valor de L.I.I. al de L.S.I.

Para poder realizar estos cálculos es necesario disponer de un listado de disolventes con sus fichas técnicas. Se supondrá que los disolventes se utilizarán con la concentración máxima en la solución, cada uno por separado, obteniendo así la concentración máxima posible que se puede dar dentro de la cámara de electrohilado para cada disolvente.

La cantidad máxima de disolvente evaporado que puede haber en el interior de la cámara se corresponde al volumen máximo que puede ocupar dentro de la misma ($V_{\text{solvente, evaporado, LÍMITE}}$). Para calcular dicho volumen es necesario conocer el límite de explosividad inferior del disolvente ($L.I.I.\text{.inf}$), el cual se encuentra en su ficha técnica de seguridad química. Como se conoce el valor del volumen de la cámara ($V_{\text{Cámara}}$), resultado del producto de la longitud (X) por el ancho (Y) y por la altura (Z) de la misma:

$$V_{\text{Cámara}} = X \times Y \times Z$$

Ecuación 1 Volumen cámara.

Multiplicando $V_{\text{Cámara}}$ por el $L.I.I.\text{.inf}$ se obtiene el volumen máximo de disolvente evaporado que puede contener el interior de la cámara sin que haya peligro de incendio:

$$V_{\text{solvente, evaporado, LÍMITE}} = V_{\text{Cámara}} \times L.I.I.\text{.inf}$$

Ecuación 2 Volumen disolvente evaporado.

Una vez conocido el volumen máximo que puede ocupar el disolvente dentro de la cámara, bastará con compararlo con el volumen real que ocupa el disolvente cuando se evapora durante el proceso de electrohilado $V_{\text{disolvente, evaporado}}$.

$$\frac{V_{\text{solvente, evaporado, LÍMITE}}}{V_{\text{solvente, evaporado}}}$$

Ecuación 3 Comparación volúmenes.

³ Idem.

Este cociente nos dará el tiempo (horas) que se tarda en alcanzar el $V_{\text{solvente, evaporado, LÍMITE}}$ al elegir como volumen de solución utilizado durante el proceso el equivalente a una hora de trabajo.

El $V_{\text{solvente, evaporado}}$ se ha calculado mediante la fórmula de los gases ideales, la cual permite obtener el volumen que ocupa un gas encerrado a una presión y a una temperatura determinados conociendo el número de moles de dicho gas.

$$P \times V = n \times R \times T$$

Ecuación 4 Gases ideales.

En nuestro caso, la presión de la cámara ($P_{\text{cámara}}$) se encuentra a la presión ambiente de 1atm, supondremos que la temperatura de la cámara ($T_{\text{cámara}}$) es la más alta posible que se corresponde a 303K (30°C) y R es la constante universal de los gases ideales cuyo valor es de

$$8.31 \frac{J}{mol K}$$

$$P_{\text{cámara}} \times V_{\text{solvente, evaporado}} = n_{\text{solvente}} \times R \times T_{\text{cámara}}$$

Ecuación 5 Gases ideales (para el proceso de electrohilado).

Para resolver la ecuación solo hace falta conocer el número de moles del disolvente que se ha utilizado durante el proceso de electrohilado, el cual lo podemos calcular conociendo la masa de dicho disolvente ($masa_{\text{solvente}}$) y su peso molecular (M_{solvente}). El peso molecular aparece en la ficha de seguridad química del disolvente. La $masa_{\text{solvente}}$ no la conocemos pero la podemos calcular multiplicando su densidad (ρ_{PCL}) por su volumen (V_{solvente}).

$$n_{\text{solvente}} = \frac{masa_{\text{solvente}}}{M_{\text{solvente}}} = \frac{V_{\text{solvente}} \times \rho_{\text{solvente}}}{M_{\text{solvente}}}$$

Ecuación 6 Número de moles del disolvente.

El V_{solvente} lo podemos calcular si al volumen de la solución ($V_{\text{solución}}$) que se utiliza durante el proceso de electrohilado le restamos el volumen del polímero ($V_{\text{polímero}}$) que hay en la misma

$$V_{\text{solvente}} = V_{\text{solución}} - V_{\text{polímero}}$$

Ecuación 7 Volumen disolvente.

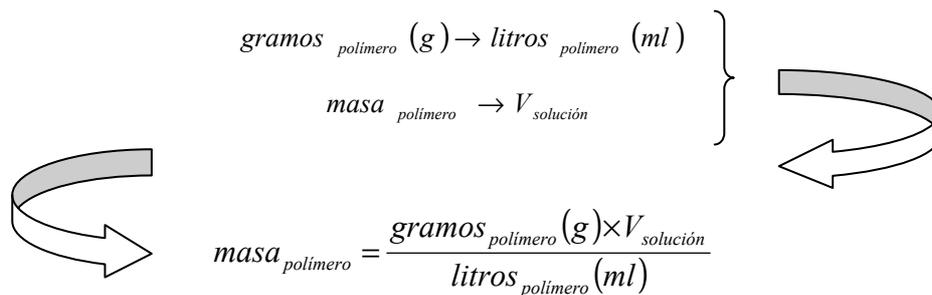
Como valor de $V_{solución}$ tomamos la cantidad de volumen de solución que impulsa la bomba de inyección en una hora de trabajo, conociendo la velocidad de inyección de la bomba (ml/h) se conoce el valor de $V_{solución}$ que se corresponderá con los ml.

El volumen de polímero ($V_{polímero}$) lo calculamos realizando el cociente de su masa ($masa_{polímero}$) entre su densidad ($\rho_{polímero}$).

$$V_{polímero} = \frac{masa_{polímero}}{\rho_{polímero}}$$

Ecuación 8 Volumen polímero.

La densidad del polímero aparece en su ficha de seguridad química, mientras que la $masa_{polímero}$ tenemos que calcularla realizando una regla de tres simple, sabiendo la concentración del polímero en la solución (g/ml), tenemos que calcular cuántos gramos de polímero hay en $V_{solución}$.



$$masa_{polímero} = \frac{gramos_{polímero} (g) \times V_{solución}}{litros_{polímero} (ml)}$$

Ecuación 9 Masa polímero.

Por todo esto, los datos necesarios para poder calcular la cantidad de disolvente evaporado máxima permisible dentro de la cámara son los siguientes:

Datos del polímero: concentración $\left(\frac{g}{ml}\right)$ y densidad ($\rho_{polímero}$).

Datos del disolvente: peso molecular ($M_{solvente}$), densidad ($\rho_{polímero}$) y límite de explosividad inferior ($L.I.I._{inf}$).

La elección de los valores de la concentración del polímero, de la temperatura de la cámara y de la velocidad de inyección de la bomba se ha realizado suponiendo unas condiciones de trabajo críticas, es decir, las condiciones a través de las cuales se consigue evaporar la mayor cantidad de disolvente durante la realización del proceso de electrohilado. Estos valores serán de la temperatura máxima de funcionamiento de 303K (30 °C) ya que al aumentar la temperatura se aumenta el volumen de disolvente evaporado, la menor concentración del polímero (2% w/v) que será la que permita una mayor cantidad de disolvente en la solución y la velocidad de inyección más alta de 10 ml/h que es la que inyecta

una mayor cantidad de disolvente en menos tiempo. El cálculo de los límites inferiores de inflamabilidad para los distintos disolventes utilizados se encuentran en el anexo 2.

Además, la norma *NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad* hace referencia a una serie de parámetros de los productos inflamables como los disolventes utilizados en el presente Trabajo que hay que tener en cuenta a la hora de evitar que dichos disolventes cuando se evaporan y generan una atmósfera explosiva acaben provocando un incendio.

Los parámetros a tener en cuenta en las condiciones en las que se lleva a cabo el proceso de electrohilado en el presente Trabajo según la citada norma son los siguientes:

— **Temperatura de inflamación o destello (t_i)**

“Es la temperatura mínima a la cual un líquido inflamable desprende suficiente vapor para formar una mezcla inflamable con el aire que rodea la superficie del líquido o en el interior del recipiente empleado. Si la temperatura de un líquido está por debajo de su punto de inflamación, no puede existir suficiente concentración de vapor inflamable para que pueda ocurrir la ignición⁴”.

La temperatura de inflamación o punto de inflamación aparece en las fichas de seguridad química en el Anexo 5.1 del presente documento, observándose que todas son superiores a 60 °C, temperatura que dista mucho de los 30 °C como valor máximo de temperatura en la que se va a trabajar, con lo que no supone un problema.

En el caso de no tener como dato la temperatura de inflamación (t_i) de algún disolvente, ésta se puede aproximar mediante la Ecuación 10:

$$t_i = 0,683 \times t_e - 71,7$$

Ecuación 10 Temperatura de inflamación.

Siendo t_i la temperatura de inflamación en grados centígrados y t_e la temperatura de ebullición inicial en grados centígrados.

— **Efecto de la presión sobre la temperatura de inflamación:**

“Los valores de las temperaturas de inflamación, normalmente están determinados a nivel del mar y la variación de la presión atmosférica tiene influencia sobre los mismos. Un aumento de presión eleva el punto de inflamación y una disminución de la presión lo reduce⁵”. Como el proceso de electrohilado que llevado a cabo en el presente Trabajo Fin de Grado se

⁴ Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad.

⁵ Idem.

realiza a una presión constante siendo ésta la atmosférica, o lo que es lo mismo, siendo la presión de 1 atm, se hace innecesario recalcular la temperatura de inflamación al ser ésta la calculada en el punto anterior.

— **Temperatura de autoignición o autoinflamación:**

Es la temperatura mínima, a presión de una atmósfera, a la que una sustancia en contacto con el aire, arde espontáneamente sin necesidad de una fuente de ignición. A esta temperatura se alcanza la energía de activación suficiente para que se inicie la reacción de combustión.

— **Límites de inflamabilidad:**

Se han estudiado anteriormente al comienzo de este apartado 4.4.1. Seguridad química y el cálculo de los mismos para los disolventes utilizados se encuentran en el Anexo 5.2.

— **Cálculo de los límites de inflamabilidad en condiciones diferentes a las ambientales:**

“Los límites de inflamabilidad encontrados en tablas y manuales de propiedades físico-químicas se han obtenido en condiciones ambientales de temperatura y presión⁶”. La fórmula para calcular el límite de inflamabilidad inferior a una temperatura distinta a la ambiental de 25 °C es la siguiente:

$$L.I.I._t = L.I.I._{25^{\circ}C} - (0,8 \times L.I.I._{25^{\circ}C} \times 10^{-3}) \times (t - 25)$$

Ecuación 11 Límite inferior de inflamabilidad a una temperatura distinta a 25°C.

Siendo t la temperatura a la que se encuentra la atmósfera inflamable, L.I.I._t el límite inferior de inflamabilidad a dicha temperatura y L.I.I._{25°C} el límite inferior de inflamabilidad que aparece en las fichas de seguridad química de los disolventes que se encuentran en el Anexo 5.1 del presente documento.

Teniendo en cuenta que la temperatura del interior de la cámara se encuentra entre una temperatura de 20 °C y de 30 °C, utilizando 35 °C y 15 °C en la Ecuación 11 para tener un margen de seguridad, se observa despreciable la variación del límite inferior de inflamabilidad a dichas temperaturas respecto a los límites inferiores de inflamabilidad que aparecen en las fichas de seguridad química que se encuentran en el anexo 1:

- Para una temperatura de 35 °C y un L.I.I. de 2 % (siendo éste el más bajo y por lo tanto el más crítico de los disolventes estudiados) se obtiene un nuevo límite de inflamabilidad mediante la Ecuación 11 de 1.984 %, que respecto al 2 % a

⁶ Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. NTP 379: Productos inflamables: variación de los parámetros de peligrosidad.

temperatura de 25 °C supone una disminución del 0.8 %, la cual se considera despreciable.

- Para una temperatura de 15 °C y un L.I.I. de 2 % (siendo éste el más bajo y por lo tanto el más crítico de los disolventes estudiados) se obtiene un nuevo límite de inflamabilidad mediante la Ecuación 11 de 2.016 %, que respecto al 2 % a temperatura de 25 °C supone un aumento del 0.8 %, el cual se considera despreciable.

Por lo tanto, no se necesitan recalcular los límites inferiores de inflamabilidad.

4.4.2. Seguridad eléctrica

El esquema eléctrico de conexión se puede ver en el Plano 9, sabiendo que todos los equipos y elementos conectados a la red eléctrica se encuentran enchufados a un ladrón con un botón de encendido y apagado (I/O).

Se hace necesario establecer un protocolo de encendido y de apagado de la máquina de electrohilado del presente Trabajo Fin de Grado, así como de normas de utilización tratarse de un equipo que trabaja con alta tensión y, por lo tanto, la existencia de un riesgo eléctrico para las personas que utilicen la máquina de electrohilado. Es de suma importancia seguir estas instrucciones y normas para evitar riesgos innecesarios para el trabajador que utilice la máquina de electrohilado, los cuales supondrán un peligro para el mismo en el caso de no seguir los siguientes protocolos y normas:

NORMAS DE UTILIZACIÓN

1. Mientras se está llevando a cabo el proceso de electrohilado, no se debe tocar ningún equipo o elemento del mismo, así como no se debe tocar la estructura de perfiles de aluminio. De esta forma se evita el riesgo eléctrico propio de la fuente de alta tensión mientras ésta se encuentra encendida.
2. Únicamente encender la fuente de tensión cuando está todo listo y a punto para empezar a electrohilar.
3. Tener el colector envuelto en papel de aluminio y la jeringuilla con la disolución en su interior preparados antes de empezar el protocolo de encendido.

PROTOCOLO DE ENCENDIDO

1. Encender la bomba de inyección y seleccionar los parámetros (diámetro de la aguja y velocidad de inyección).
2. Parar la bomba de inyección.
3. Colocar la jeringuilla con la disolución ya en su interior en la bomba de inyección.

4. Colocar el colector ya envuelto en papel de aluminio a la distancia deseada entre la aguja de la jeringuilla y el mismo.
5. Conectar los electrodos de alta tensión y de tensión 0 a la aguja y al colector, respectivamente.
6. Activar la bomba de inyección.
7. Cerrar la cámara.
8. Cuando se observe que sale disolución por la aguja, encender la fuente de alta tensión y seleccionar la tensión deseada.

PROTOCOLO DE APAGADO

1. Apagar la fuente de alta tensión.
2. Esperar 5 segundos.
3. Abrir la cámara y parar la bomba de inyección.
4. Quitar los electrodos de la aguja y del colector.

PROTOCOLO DE EMERGENCIA

- Desconectar el ladrón en el que se enchufan todos los equipos y elementos que necesitan electricidad colocando el botón (I/O) en la posición de apagado (O) en el que se encuentran conectados los equipos y elementos de electrohilado, consiguiendo así parar la circulación eléctrica a cualquier elemento y/o equipo, apagando la máquina por completo.
- Actuar conforme las indicaciones que aparecen en la ficha de seguridad química de cada disolvente, localizadas en el Anexo 1.

A la hora de estudiar los riesgos eléctricos, cabe destacar el uso de una fuente de alta tensión que puede dar hasta 30 kV, el cual es una tensión muy grande que hace necesario su análisis al poder suponer un serio riesgo para la salud de los trabajadores que utilicen la máquina de electrohilado.

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), el riesgo que corren las personas al entrar en contacto con una corriente eléctrica menor de 10 mA se traduce en ningún efecto fisiopatológico peligroso habitualmente, siendo capaz de “desengancharse” de la fuente que le transmite esa intensidad. Como la fuente de alta tensión, a pesar del peligro aparente que suponen los 30 kV con los que trabaja, solo proporciona una intensidad de 4 mA no supone un peligro eléctrico real para las personas, las baterías de los teléfonos móviles tienen una intensidad de alrededor de 1500 mA, estando dentro de la zona donde existe una probabilidad de hasta el 50% de sufrir fibrilación con el consiguiente peligro de muerte. Además, es necesario estudiar la energía que proporciona la fuente de tensión, siendo ésta una potencia de 120 W (30 000 V×0,004 A), la misma potencia que posee una bombilla por ejemplo. Con lo que tanto la intensidad como la energía que proporciona la fuente de alta tensión no suponen un riesgo para la salud de las personas.

Sin embargo, es necesario suponer que se produce un fallo en el funcionamiento de la fuente de alta tensión durante el proceso de electrohilado y que se toca con la mano tanto la estructura de perfiles de aluminio como cualquier equipo o elemento del proceso de electrohilado. Se han evaluado ambas opciones por separado:

En caso de tocar la estructura de perfiles de aluminio en el hipotético caso de que se produzca una derivación en la misma (se hace mención a este caso como hipotético al no entrar en contacto ningún elemento de alta tensión con los perfiles de aluminio) la fuente de alta tensión posee fusibles e interruptores automáticos que saltan cuando se produce un fallo eléctrico (cortocircuito, subida de tensión) en la fuente de alta tensión, protegiendo así al posible trabajador que esté tocando la estructura de aluminio durante el proceso de electrohilado. Además, la fuente de tensión está conectada a la red, la cual dispone de elementos de protección frente a cortocircuitos y subidas de tensión, lo que supone una doble protección.

En el caso en que el trabajador entre en contacto con los equipos y elementos durante la realización del proceso de electrohilado, las mismas protecciones antes mencionadas, tanto las de la fuente de alta tensión como las de la red eléctrica, le protegen ante un fallo eléctrico de la fuente de tensión.

Después de haber evaluado el elemento que a priori suponía un alto riesgo para el trabajador como era la fuente de alta tensión, hay que evaluar el resto de equipos y elementos que trabajan con electricidad como son la bomba de inyección, la jeringuilla y los sistemas de control de la temperatura y la humedad.

Todos ellos, excepto la jeringuilla, se encuentran conectados a la red eléctrica ya sea mediante un transformador de 12 V como es el caso de la bomba de inyección o mediante un cable. Todos ellos son equipos que trabajan a una baja tensión (12 V) y a intensidades que no suponen un peligro para las personas como pasa con todos los equipos comerciales y cabe destacar que al estar conectados a la red eléctrica se encuentran protegidos por sus protecciones antes mencionadas.

Sin embargo, la jeringuilla se encuentra conectada al electrodo de 30 kV de la fuente de alta tensión, o para ser más exactos, es su aguja la que se puede encontrar a una tensión de 30kV. Esta aguja metálica sólo se encuentra en contacto con el electrodo y con la jeringuilla, pero no entra en contacto con esta última sino que es un material aislante como lo es el plástico, el cual forma la base de la aguja y es esta base la que se encuentra en contacto con la jeringuilla. Con lo que a no ser que se toque a propósito la aguja, que es lo mismo que tocar a propósito el electrodo de alta tensión, no existe un riesgo eléctrico para la salud. De todas formas, en caso de algún problema, las protecciones mencionadas anteriormente de la fuente de alta tensión y las de la red eléctrica a la que está conectada la fuente actuarán para proteger al trabajador.

Como posible mejora, se podría instalar un cuadro eléctrico con una seta de emergencia que, en caso de que ocurriera algún problema, al presionarla se desconectaría todo equipo eléctrico de la máquina de electrohilado (fuente de alta tensión, bomba de inyección y sistema de control de la temperatura y la humedad).

4.4.3. Seguridad personal

La seguridad de las personas que utilicen la máquina de electrohilado diseñada en el presente Trabajo es prioritaria. Por lo tanto, es de imperiosa necesidad incluir dentro del apartado 4. SEGURIDAD, equipos de protección individual (EPIs) que proporcionen esta seguridad a las personas. Los EPIs son:

- Guantes de látex: como se manipulan disoluciones poliméricas con disolventes peligrosos, es imprescindible protegerse ante el riesgo de contacto con la solución con guantes de látex. Además, se trabaja con agujas, con lo que se recomienda el uso de dos pares de guantes (dos guantes en cada mano) para dificultar así el paso de la aguja a través de ellos.
- Mascarilla autofiltrante: al trabajar con disolventes peligrosos que se evaporan es importante la protección ante el riesgo de respirar dichos disolventes. Para ello es necesario el uso de una mascarilla autofiltrante que cubra boca y nariz.
- Gafas: como se trabaja con solventes que se evaporan, se hace imprescindible proteger los ojos ante el peligro de entrar en contacto con los disolventes evaporados.
- Bata: es necesario el uso de una bata que cubra los brazos, el cuerpo y la mayor parte de las piernas por la posibilidad de entrar estas partes del cuerpo en contacto con una disolución polimérica.

Aunque no son EPIs propiamente dichos, el uso de pantalones largos gruesos, es decir, que no sean de un material fino como la seda que no otorga ninguna protección real, y de zapatos o zapatillas y calcetines (o similares) que cubran todo el pie se hace imprescindible para evitar posible contacto entre la piel y la disolución polimérica utilizada en el proceso de electrohilado. Además, no se tiene que olvidar que se está trabajando dentro de un laboratorio, con lo que se tiene que ir vestido con una bata y con la citada ropa como norma general.

4.5. RESULTADOS

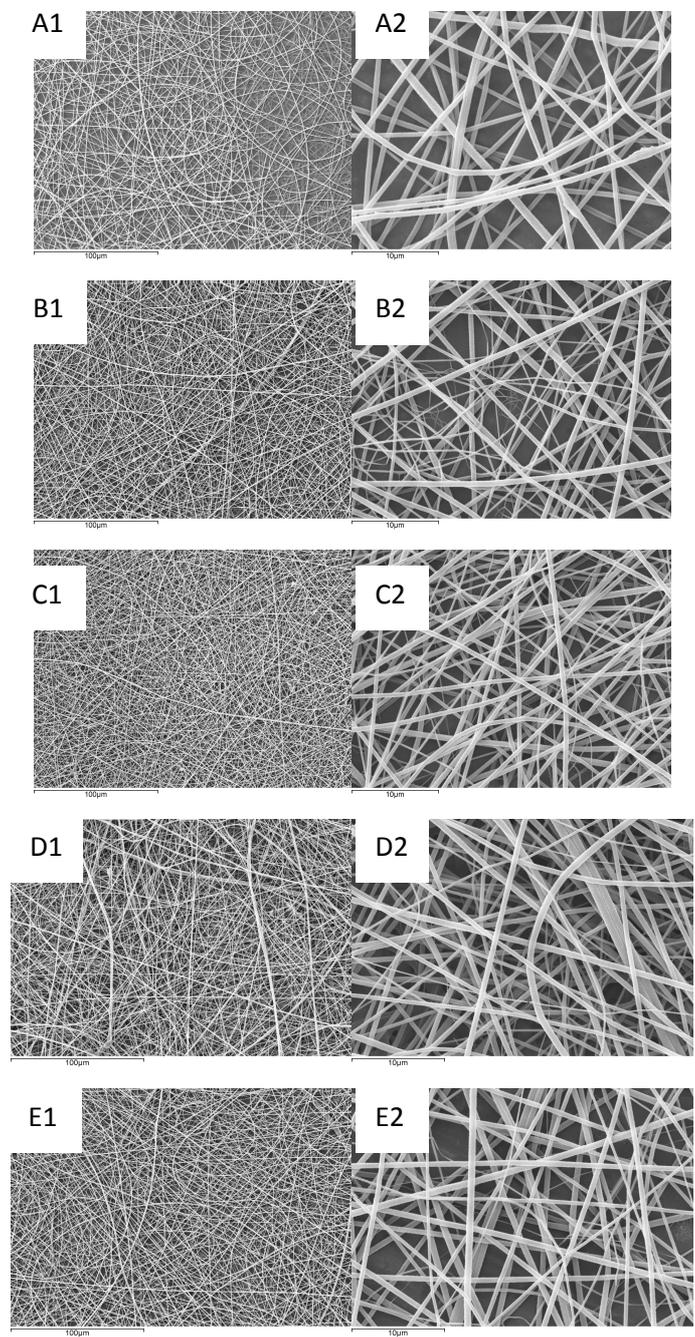
La primera prueba realizada, como se explica en el apartado 4.2. Montaje y puesta a punto de la cámara de electrohilado, para comprobar que los perfiles de aluminio que forman la cámara no interfieren con el jet que sale de la aguja durante el electrohilado ha resultado ser satisfactoria, ya que únicamente se han depositado fibras en el colector, sin observarse fibras depositadas en los perfiles de aluminio. Con lo que se puede afirmar con seguridad que el tamaño de la cámara es el adecuado y que los perfiles de aluminio no interfieren con el jet durante el proceso de electrohilado.

A continuación se muestran y analizan los resultados obtenidos tras realizarlos diversos ensayos del proceso de electrohilado con la disolución de P(MA-co-MMA) con DMF al 12 %.

Después de realizar el proceso de electrohilado con la citada disolución y variando los parámetros del proceso (tensión y diámetro interno de la aguja) descritos en el apartado 4.2. Montaje y puesta a punto de la cámara de electrohilado, se han depositado fibras en el colector en forma de malla, pasando a ser cada malla de fibras depositadas en el papel de

aluminio que envuelve el colector las muestras a analizar. Estas muestras de fibras obtenidas se han analizado al microscopio óptico tal y como se expone en el apartado 4.3.1. Microscopio óptico. Después se han seleccionado las mejores muestras para cada una de las tensiones ensayadas en cada uno de los diámetros de aguja, las cuales se han observado al microscopio electrónico como se explica en el apartado 4.3.2. Microscopio electrónico de barrido.

Se han realizado observaciones de cada una de las muestras a x500 aumentos y varias observaciones a x3500 aumentos en distintas zonas de cada muestra. Las mejores imágenes que se han obtenido han sido analizadas con el programa "imageJ", software de descarga gratuito enfocado al uso científico que permite medir el diámetro de las nanofibras que aparecen en las imágenes del microscopio electrónico de barrido, estas imágenes se muestran en la Figura 4.20.



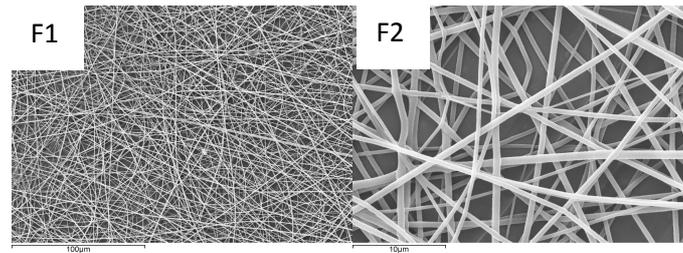


Figura 4.18 (A1, B1, C1, D1, E1 y F1) x500; (A2, B2, C2, D2, E2 y F2) x3500; (A1, A2, D1, D2)10KV; (B1, B2, E1, E2) 15KV; (C1, C2, F1, F2) 20KV; (A1, B1, C1, A2, B2, C2) Diámetro interno de la aguja de 1.36mm; (D1, E1 y F1, D2, E2 y F2) Diámetro interno de la aguja de 0.6mm.

Utilizando el programa “imageJ” se ha medido el diámetro de 20 fibras por imagen, midiendo en tres puntos distintos el diámetro de una fibra, con lo que se obtienen 60 medidas por imagen. De esta forma, se ha calculado el valor medio y la desviación típica para cada muestra estudiada. En la Tabla 4.1 se muestra la media de los diámetros de las fibras y la desviación típica de los diámetros de las fibras de las muestras analizadas con el programa imageJ.

TENSIÓN APLICADA Y DIÁMETRO INTERNO DE AGUJA	MEDIA DE LOS DIÁMETROS DE LAS FIBRAS (nm)	DESVIACIÓN TÍPICA (nm)
10 kV y 1.36mm	500	200
15 kV y 1.36mm	330	170
20 kV y 1.36mm	320	160
10 kV y 0.6mm	360	200
15 kV y 0.6mm	360	150
20 kV y 0.6mm	360	160

Tabla 4.1 Media de los diámetros de las fibras y la desviación media de cada muestra analizada al microscopio electrónico.

4.5.1. Influencia de la tensión aplicada

Se estudia la influencia de la tensión aplicada durante el proceso de electrohilado a partir de la información mostrada en la Tabla 4.1, distinguiendo entre las muestras obtenidas con un diámetro interno de aguja de 1.36 mm y con uno de 0.6 mm.

- Diámetro interno de aguja de 1.36 mm: Se observa una reducción del diámetro medio de las fibras obtenidas a medida que se aumenta la tensión aplicada en el proceso, lo que coincide con el estudio realizado por Buchko et al. (1999) y Deitzel

et al. (2001) expuesto en el apartado “2.1.3.2. Parámetros que afectan al proceso de electrohilado: B) Variables del proceso: Efecto de la tensión aplicada”. Esta reducción es muy significativa al pasar de una tensión de 10 kV a una tensión de 15 kV, con un diámetro medio de fibra de 334 nm. Además, se observa una reducción de la desviación típica de los diámetros de fibra a medida que se aumenta la tensión aplicada, lo que indica que las fibras, además de ser más finas son también más homogéneas.

- Diámetro interno de aguja de 0.6 mm: Se aprecia un diámetro medio de fibra prácticamente constante para las diferentes tensiones aplicadas, lo que coincide con el estudio de Reneker y Chun (1996) expuesto en el apartado “2.1.3.2. Parámetros que afectan al proceso de electrohilado: B) Variables del proceso: Efecto de la tensión aplicada”.

También se observa que se produce una pequeña reducción de la desviación típica al aumentar la tensión aplicada de 10 kV (200 nm) a 15 kV (150 nm). Sin embargo, la desviación media se mantiene prácticamente constante al aumentar la tensión aplicada a 20 kV (160 nm).

4.5.2. Influencia del diámetro interno de la aguja

Se estudia la influencia del diámetro interno de la aguja utilizado durante el proceso de electrohilado a partir de la información mostrada en la Tabla 4.1, diferenciando entre tres tensiones aplicadas (10 kV, 15 kV y 20 kV):

- Tensión aplicada de 10 kV: Se observa una reducción del diámetro medio de fibra al emplear una aguja de un diámetro interno de 0.6 mm (360 nm) respecto al obtenido con una aguja de un diámetro interno de 1.36 mm (500nm). La desviación media obtenida en ambos casos es la misma para un diámetro interno de 0.6 mm (200 nm) que para uno de 1.36 mm (200 nm).
- Tensión aplicada de 15 kV y 20 kV: No se aprecian diferencias significativas en los resultados obtenidos para esta tensión, de modo que se puede afirmar que en este rango de tensiones el diámetro de la aguja no tiene influencia en el proceso de electrohilado. .

4.5.3. Conclusiones de la influencia de la tensión aplicada y del diámetro interno de la aguja utilizado

Tras el análisis de la influencia de la tensión aplicada durante el proceso de electrospinnig y del diámetro interno de la aguja utilizada realizado en los apartados 4.5.2. Influencia de la tensión aplicada y 4.5.2. Influencia del diámetro interno de la aguja, respectivamente, las conclusiones extraídas son:

- La utilización de un diámetro de aguja menor en el proceso de electrohilado supone la obtención de fibras de menor tamaño para la tensión de 10 kV, no teniendo influencia significativa en los otros casos.

Para el caso de la aguja más gruesa, se observa una reducción del diámetro medio de las fibras obtenidas a medida que se aumenta la tensión aplicada en el proceso.

Tras todo lo citado se corrobora que se ha cumplido el principal objetivo del presente Trabajo Fin de Grado expuesto en el apartado 1.1. Objetivo general: la obtención de nanofibras mediante el proceso de electrohilado.

5. ANEXOS

5.1- FICHAS DE SEGURIDAD QUÍMICA DE LOS DISOLVENTES

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACETONA		ICSC: 0087 Abril 2009	
CAS: 67-64-1 RTECS: AL3150000 NU: 1090 CE Índice Anexo I: 606-001-00-8 CE / EINECS: 200-662-2		2-Propanona Dimetil cetona Metil cetona C_3H_6O / $CH_3-CO-CH_3$ Masa molecular: 58,1	
		  	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades o dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas. El calentamiento intenso puede producir aumento de la presión con riesgo de estallido.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN			
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Confusión mental. Dolor de cabeza. Vertigo. Somnolencia. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio y reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Piel seca.	Gautes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.	Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Nauseas. Vómitos. (Ver inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Eliminar toda fuente de ignición. Ventilar. Protección personal: filtro para gases y vapores orgánicos de bajo punto de ebullición adaptado a la concentración de la sustancia en el aire. NO verterlo en el alcantarillado. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. Eliminarlo a continuación con agua abundante.		Clasificación UE Símbolo: F, Xi R: 11-36-65-67 S: (2)-9-10-20-46 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Líquido y vapores muy inflamables. Provoca irritación ocular.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H1; F3; R0		A prueba de incendio. Separado de: Ver Peligros Químicos. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2009			
      			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACETONA		ICSC: 0087
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro de olor característico.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo. Posible ignición en punto distante.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia puede formar peróxidos explosivos en contacto con oxidantes fuertes tales como ácido acético, ácido nítrico y peróxido de hidrógeno. Reacciona con cloroformo y bromoformo en medio básico, originando peligro de incendio y explosión. Ataca a los plásticos.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 500 ppm como TWA; 750 ppm como STEL. A4 (no clasificable como cancerígeno humano). BEI establecido (ACGIH 2009). LEP UE: 500 ppm, 1210 mg/m³ como TWA (EU 2000).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire, sin embargo, más rápidamente por pulverización o cuando se dispersa.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La exposición a altas concentraciones puede producir disminución del estado de alerta.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El líquido desengrasa la piel. El contacto repetido puede producir piel seca y agrietada.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 56°C Punto de fusión: -95°C Densidad relativa (agua = 1): 0.8 Solubilidad en agua: miscible. Presión de vapor, kPa a 20°C: 24 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.0</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.2 Punto de inflamación: -18°C c.c. Temperatura de autoignición: 465°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.2-13 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.24 Viscosidad, mm²/s a 40 °C: 0.34</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de Exposición Profesional (INSHT 2011):</p> <p>VLA-ED: 500 ppm; 1210 mg/m³</p> <p>VLB: 50 mg/l en orina. Nota I.</p>		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2009		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

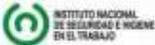
DICLOROMETANO			ICSC: 0058 Abril 2000
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	75-09-2 PA8050000 1593 602-004-00-3 200-838-9	Cloruro de metileno DCM CH ₂ Cl ₂ Masa molecular: 84.9	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible en condiciones específicas. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN	Riesgo de incendio y explosión (véanse Peligros Químicos).	Evitar la generación de cargas electrostáticas (por ejemplo, mediante conexión a tierra).	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡HIGIENE Estricta!	
Inhalación	Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Debilidad. Pérdida del conocimiento. Muerte.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Piel seca. Enrojecimiento. Sensación de quemazón.	Gautes de protección. Traje de protección.	Quitar los ropes contaminados. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	NO provocar el vómito. Enjuagar la boca. Reposo.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: Filtro respiratorio para vapores orgánicos y gases adaptado a la concentración de la sustancia en el aire. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Ventilar. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: Xn R: 40 S: (2)-(23-24/25-36/37) Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: III	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-6181593 Codigo NFPA: H 2; F 1; R 0;		Separado de metales (Véanse Peligros Químicos), alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco. Ventilación a ras del suelo. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2000			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

DICLOROMETANO		ICSC: 0058
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS El vapor es más denso que el aire. Como resultado del flujo, agitación, etc., se pueden generar cargas electrostáticas.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS En contacto con superficies calientes o con llamas esta sustancia se descompone formando humos tóxicos y corrosivos. Reacciona violentamente con metales como polvo de aluminio y de magnesio, bases fuertes y oxidantes fuertes, originando peligro de incendio y explosión. Ataca algunas formas de plásticos, caucho y revestimientos.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 50 ppm; (como TWA) A3, BEI establecido (ACGIH 2004). MAK: Cancerígeno: categoría 3A (DFG 2004).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La exposición podría causar disminución del estado de alerta. La exposición podría causar formación de carboxihemoglobina. En caso de ingestión la sustancia puede causar vómitos, lo que puede provocar neumonía por aspiración.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central e hígado. Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 40°C Punto de fusión: -95,1°C Densidad relativa (agua = 1): 1,3 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 1,3 Presión de vapor, kPa a 20°C: 47,4 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2,9</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,9 Temperatura de autoignición: 556°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 12-25 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1,25</p>	
DATOS AMBIENTALES		
Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente: debería prestarse atención especial a la contaminación de las aguas subterráneas.		
NOTAS		
La adición de pequeñas cantidades de una sustancia inflamable o el aumento del contenido de oxígeno en el aire mejora notablemente la combustibilidad. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. La alerta por el olor es insuficiente. NO utilizar cerca de un fuego, una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura. R30 es un nombre comercial. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición, y en abril de 2010: ver Efectos de exposición de corta duración, Ingestión- Primeros Auxilios, Almacenamiento.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 50 ppm, 177 mg/m³</p> <p>Notas: Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH.</p> <p>VLB: 0,3 mg/L en orina. Nota 5.</p>		
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2005		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ETANOL (ANHIDRO)		ICSC: 0044 Octubre 2000	
Alcohol etílico			
CAS:	64-17-5	CH ₃ CH ₂ OH / C ₂ H ₅ O	
RTECS:	K06300000	Masa molecular: 46.1	
NU:	1170		
CE Índice Anexo I:	603-002-00-5		
CE / EINECS:	200-578-6		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes fuertes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión, NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN			
Inhalación	Tos. Dolor de cabeza. Fatiga. Somnolencia.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo.
Piel	Piel seca.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemazón.	Gafas ajustadas de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Confusión. Vertigo. Pérdida del conocimiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Eliminar el residuo con agua abundante.		Clasificación UE Símbolo: F R: 11 S: (2)-7-16 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-30S1170. Código NFPA: H 0; F 3; R 0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes.	
IPCS International Programme on Chemical Safety	  	 	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ETANOL (ANHIDRO)		ICSC: 0044
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS: El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: Reacciona lentamente con hipoclorito cálcico, óxido de plata y amoníaco originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes tales como ácido nítrico, nitrato de plata, nitrato de mercurio o perclorato magnésico, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 1000 ppm (como TWA), A4 (no clasificable como cancerígeno humano) (ACGIH 2004). MAK: 500 ppm; 960 mg/m³: Categoría de limitación de pico: II(2). Cancerígeno: categoría 5, Mutágeno: categoría 5, Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La sustancia irrita los ojos. La inhalación de altas concentraciones del vapor puede originar irritación de los ojos y del tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al tracto respiratorio superior y al sistema nervioso central, dando lugar a irritación, dolor de cabeza, fatiga y falta de concentración. Ver Notas.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 79 °C Punto de fusión: -117 °C Densidad relativa (agua = 1): 0,8 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20 °C: 5,8 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1,6</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1,03 Punto de inflamación: 13 °C c.c. Temperatura de autoignición: 363 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 3.3-19 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.32</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
El consumo de etanol durante el embarazo puede afectar al feto. La ingesta crónica de etanol puede causar cirrosis hepática. El punto de inflamación de la disolución acuosa al 50% es 24 °C. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2013):</p> <p>VLA-EC: 1000 ppm; 1910 mg/m³</p> <p>Notas: Esta sustancia tiene prohibida total o parcialmente su comercialización y uso como fitosanitario y/o biocida.</p>		
Nota legal	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2005		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

TETRAHIDROFURANO

ICSC: 0578

			
TETRAHIDROFURANO Oxido de dietileno Oxido de tetrametileno THF OC_4H_8 Masa molecular: 72.1			
N° CAS 109-99-9 N° RTECS LU5950000 N° ICSC 0578 N° NU 2056 N° CE 603-025-00-0			
			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable.	Evitar llama abierta, NO producir chispas y NO fumar.	Polvos, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
EXPOSICION		EVITAR LA GENERACIÓN DE NIEBLAS!	
• INHALACION	Tos, vértigo, dolor de cabeza, náusea, dolor de garganta, pérdida de conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo y someter a atención médica.
• PIEL	Piel seca, enrojecimiento, dolor.	Guantes protectores.	Quitar la ropa contaminada. Aclarar con agua abundante o ducharse y someter a atención médica.
• OJOS	Enrojecimiento, dolor.	Gafas de protección de seguridad.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	Ver Inhalación	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca y someter a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Ventilación. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. Protección personal: respirador de filtro para gases y vapores orgánicos.	A prueba de incendio. Ver Peligros Químicos. Almacenar solamente si está estabilizado.	Hermético. símbolo F símbolo Xi R: 11-19-36/37 S: (2-)16-29-33 Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: II CE:	
 			
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			

ICSC: 0578 Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 2005

Fichas Internacionales de Seguridad Química

TETRAHIDROFURANO

ICSC: 0578

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro, de olor característico.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS El vapor es más denso que el aire y puede extenderse a ras del suelo; posible ignición en punto distante.	RIESGO DE INHALACION Por la evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
	PELIGROS QUIMICOS La sustancia puede formar peróxidos explosivos. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes, bases fuertes y ciertos haluros metálicos, originando riesgo de incendio y explosión. Ataca algunas formas de plástico, caucho y revestimientos	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia o el vapor irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso central a altas concentraciones, dando lugar a efecto narcótico.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV(como TWA): 50 ppm; (como STEL): 100 ppm (piel) A3 (ACGIH 2005) MAK: 50 ppm, 150 mg/m ³ ; Categoría de limitación de pico: I(2), H (absorción dérmica), Cancerígeno: categoría 4, Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2005).	EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 66°C Punto de fusión: -108,5°C Densidad relativa (agua = 1): 0.89 Solubilidad en agua: Miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 19.3	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire ^m): 1.26 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.5 Punto de inflamación: -14,5°C c.c. Temperatura de autoignición: 321°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2-11.8
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
p-Cresol o hidroquinona son los estabilizadores usados generalmente. El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Estabilizadores o inhibidores añadidos pueden influir sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia; consultar a un experto. La alerta por el olor es insuficiente cuando se supera el valor límite de exposición. Código NFPA: H 2; F 3; R 1; Antes de la destilación comprobar si existen peróxidos; en caso positivo eliminarlos.		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 1-187 TETRAHIDROFURANO		Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.insht.es/
ICSC: 0578	TETRAHIDROFURANO	
© CCE, IPCS, 2005		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales.	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

N,N-DIMETILFORMAMIDA		ICSC: 0457 Octubre 2000	
CAS: 68-12-2 RTECS: LQ2100000 NU: 2265 CE Índice Anexo I: 616-001-00-X CE / EINECS: 200-679-5		Dimetilformamida DMF DMFA N-Formildimetilamina $C_2H_5NO / HCON(CH_3)_2$ Masa molecular: 73.09	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Por encima de 58°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 58°C, sistema cerrado, ventilación.	En caso de incendio; mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLAS DEL PRODUCTO! ¡EVITAR LA EXPOSICIÓN DE MUJERES (EMBARAZADAS)!	
Inhalación	Dolor abdominal. Diarrea. Náuseas. Vómitos. Rubefacción facial.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	¡PUEDE ABSORBERSE!	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión		No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal adicional: traje de protección completo incluyendo equipo autónomo de respiración. Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.		Clasificación UE Símbolo: T R: 61-20/21-36 S: 53-45 Nota: E Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Grupo de Envasado NU: III	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-3052265 o 30GF1-III Código NFPA: H1; F2; R0;		Separado de oxidantes fuertes, halógenos.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

N,N-DIMETILFORMAMIDA		ICSC: 0457
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido de incoloro a amarillo, de olor característico.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia se descompone al calentarse intensamente o al arder, produciendo humos tóxicos, incluyendo óxidos de nitrógeno. Reacciona violentamente con oxidantes, nitratos e hidrocarburos halogenados. Ataca a algunos plásticos y el caucho.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 10 ppm como TWA; (piel); A4 (no clasificable como cancerígeno humano); BEI establecido (ACGIH 2004). MAK: 5 ppm, 15 mg/m³; Categoría de limitación de pico: H(4); H (absorción dérmica); Riesgo para el embarazo: grupo B (DFG 2005).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación y a través de la piel.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita los ojos. La sustancia puede afectar al hígado, dando lugar a ictericia. Ver Notas.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar al hígado, dando lugar a alteraciones funcionales. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 153°C Punto de fusión: -61°C Densidad relativa (agua = 1): 0.95 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, Pa a 25°C: sobre 492 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.5</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.00 Punto de inflamación: 58°C c.c. Temperatura de autoignición: 445°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 2.2-15.2 a 100°C Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.87</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
<p>El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Los síntomas no se ponen de manifiesto hasta que han pasado unas pocas horas o incluso días. Se han investigado los efectos de esta sustancia sobre el medio ambiente pero no se ha encontrado ninguno. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2005; ver Límites de exposición, Respuesta de emergencia.</p>		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2012):</p> <p>VLA-ED: 5 ppm; 15 mg/m³ VLA-EC: 10 ppm; 30 mg/m³</p> <p>Notas: agente químico que tienen establecido un valor límite indicativo por la UE. Vía dérmica. Sustancia tóxica para la reproducción humana de categoría 1B.</p> <p>VLB: 15 mg/L en orina de N-metilformamida; 40 mg/L en orina de N-Acetil-S-(N-metilcarbamol) cisteína, nota 5.</p>		
NOTA LEGAL	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
© IPCS, CE 2005		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÁCIDO ACÉTICO		ICSC: 0363 Mayo 2010	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	64-19-7 AF1225000 2789 607-002-00-6 200-580-7	Ácido acético glacial Ácido etanoico Ácido etílico Ácido metanocarboxílico $C_2H_4O_2$ / CH_3COOH Masa molecular: 60.1	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Inflamable.	Evitar las llamas. NO producir chispas y NO fumar.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua pulverizada o dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Por encima de 39°C pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire. Riesgo de incendio y explosión en contacto con oxidantes fuertes.	Por encima de 39°C, sistema cerrado, ventilación y equipo eléctrico a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fríos bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Dolor de garganta. Tos. Sensación de quemazón. Dolor de cabeza. Vertigo. Jadeo. Dificultad respiratoria.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semincorporado. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Dolor. Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Ampollas.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse durante 15 minutos como mínimo. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras graves. Pérdida de visión.	Pantalla facial o protección ocular combinada con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Dolor de garganta. Sensación de quemazón. Dolor abdominal. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber un vaso pequeño de agua, pocos minutos después de la ingestión. Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Eliminar toda fuente de ignición. Protección personal: traje de protección química. Incluyendo equipo autónomo de respiración. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Neutralizar con precaución el líquido derramado con carbonato sódico, solo bajo la responsabilidad de un experto. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: C R: 10-35 S: (1/2-2/3-26-45) Nota: B Clasificación NJ Clasificación de Peligros NU: 8 Riesgos Subsidiarios de las NU: 3 Grupo de Envasado NU: II Clasificación GHS Peligro Líquidos y vapores inflamables. Noctivo si se inhala el vapor. Noctivo en contacto con la piel. Puede ser nocivo en caso de ingestión. Provoca graves quemaduras en la piel y lesiones oculares. Puede provocar irritación respiratoria. Provoca daños en el sistema respiratorio tras exposiciones prolongadas o repetidas si se inhala. Noctivo para los organismos acuáticos.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Código NFPA: H3; F2; R0		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, ácidos fuertes, bases fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar bien ventilado. Bien cerrado. Almacenar en el recipiente original. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2010			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ÁCIDO ACÉTICO		ICSC: 0363
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro de olor acre.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia es un ácido débil. Reacciona violentamente con oxidantes fuertes originando peligro de incendio y explosión. Reacciona violentamente con bases fuertes, ácidos fuertes y muchos otros compuestos. Ataca a algunos tipos de plásticos, caucho y revestimientos.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: 10 ppm como TWA; 15 ppm como STEL (ACGIH 2010). LEP UE: 10 ppm; 25 mg/m³ como TWA (EU 1991).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN Efectos locales graves</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación puede causar edema pulmonar, pero solo tras producirse los efectos corrosivos iniciales en los ojos o las vías respiratorias.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Los pulmones pueden resultar afectados tras exposiciones prolongadas o repetidas a un aerosol de esta sustancia. Riesgo de erosión de los dientes tras exposiciones prolongadas o repetidas al aerosol de esta sustancia.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 118°C Punto de fusión: 16.7°C Densidad relativa (agua = 1): 1.05 Solubilidad en agua: miscible. Presión de vapor, kPa a 20°C: 1.5 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 2.1</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.02 Punto de inflamación: 39°C c.c. Temperatura de autoignición: 485°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 6.0-17 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.17</p>	
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
El nº NU 2789 corresponde al ácido acético, ácido acético glacal o un disolución de ácido acético con más del 80 % de ácido en peso. Otro nº NU: NU 2790 disolución de ácido acético (entre el 10 y el 80% de ácido acético en peso); clasificación de peligro NU 8, grupo de envasado II-III.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>VLA-ED: 10 ppm; 25 mg/m³</p> <p>VLA-EC: 15 ppm; 37 mg/m³</p>		
NOTA LEGAL	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
© IPCS, CE 2010		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO FORMICO

ICSC: 0485

 <p style="text-align: center;">ACIDO FORMICO Acido metanoico Acido hidroxicarboxilico $\text{HCOOH}/\text{CH}_2\text{O}_2$ Masa molecular: 46</p> <p>Nº CAS 64-18-6 Nº RTECS LQ4900000 Nº ICSC 0485 Nº NU 1779 Nº CE 607-001-00-0 (>90%)</p> <p style="text-align: right;"></p>			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Combustible.	Evitar llama abierta.	Polvos, espuma resistente al alcohol, pulverización de agua, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Por encima de 69°C: pueden formarse mezclas explosivas vapor/aire.	Por encima de 69°C: sistema cerrado, ventilación.	En caso de incendio: mantener frios los bidones y demás instalaciones por pulverización con agua.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	
• INHALACION	Sensación de quemazón, tos, dolor de garganta, dificultad respiratoria, jadeo, pérdida de conocimiento, síntomas no inmediatos: (véanse Notas).	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo, posición de semiincorporado y someter a atención médica.
• PIEL	¡PUEDE ABSORBERSE! Dolor, ampollas, quemaduras cutáneas graves.	Guantes protectores, traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse y solicitar atención médica.
• OJOS	Dolor, enrojecimiento, visión borrosa, quemaduras profundas graves.	Pantalla facial o protección ocular en combinación con protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después consultar a un médico.
• INGESTION	Dolor de garganta, sensación de quemazón, dolor abdominal, calambres abdominales, diarrea, vómitos.	No comer, beber ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca; NO provocar el vómito y someter a atención médica.
DERRAMAS Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO
Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes herméticos; neutralizar con precaución el líquido derramado con una disolución alcalina débil (p.ej: carbonato disódico). Eliminar a continuación con agua abundante. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).		Separado de alimentos y piensos; separado de oxidantes fuertes, bases y ácidos fuertes. Mantener en una habitación bien ventilada. Bien cerrado.	NO transportar con alimentos y piensos. símbolo C R: 35 S: (1/2-)23-26-45 Nota: B Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: II CE: 
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			

ICSC: 0485 Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión de las Comunidades Europeas © CCE, IPCS, 2008

Fichas Internacionales de Seguridad Química

ACIDO FORMICO

ICSC: 0485

D A T O S I M P O R T A N T E S	ESTADO FISICO; ASPECTO Líquido incoloro humeante, de olor acre.	VIAS DE EXPOSICION La sustancia se puede absorber por inhalación del vapor, a través de la piel y por ingestión.
	PELIGROS FISICOS PELIGROS QUIMICOS La sustancia se descompone al calentarla intensamente y en contacto con ácidos fuertes (ácido sulfúrico), produciendo monóxido de carbono. La sustancia es moderadamente ácida. Reacciona violentamente con oxidantes; reacciona violentamente con bases fuertes, originando riesgo de incendio y explosión. Ataca muchos plásticos y metales.	RIESGO DE INHALACION Por la evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.
	LIMITES DE EXPOSICION TLV (como TWA): 5 ppm; 9.4 mg/m ³ ; (como STEL): 10 ppm; 19 mg/m ³ (ACGIH 1996). LEP UE: (como TWA): 5 ppm; 9 mg/m ³ (UE 2006)	EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION La sustancia es muy corrosiva de los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión. La inhalación del vapor puede originar edema pulmonar (véanse Notas). La sustancia puede causar efectos en el metabolismo energético, dando lugar a acidosis.
PROPIEDADES FISICAS	Punto de ebullición: 101°C Punto de fusión: 8°C Densidad relativa (agua = 1): 1.2 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 4.6 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.6	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1.03 Punto de inflamación: 69°C Temperatura de autoignición: 520°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 18-51 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.54
DATOS AMBIENTALES	Esta sustancia es nociva para los organismos acuáticos.	
NOTAS		
Los síntomas del edema pulmonar no se ponen de manifiesto a menudo hasta pasadas algunas horas y se agravan por el esfuerzo físico. Reposo y vigilancia médica son por ello imprescindibles. Debe considerarse la inmediata administración de un spray adecuado por un médico o persona por él autorizada. La alerta por el olor cuando se supera el límite de exposición es insuficiente. Tarjeta de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-89 Código NFPA: H 3; F 2; R 0;		
INFORMACION ADICIONAL		
FISQ: 1-020 ACIDO FORMICO		Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.insht.es/
ICSC: 0485	© CCE, IPCS, 2006	ACIDO FORMICO
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales.	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CLOROFORMO		ICSC: 0027 Abril 2000	
CAS: 67-66-3 RTECS: FS9100000 NU: 1888 CE Índice Anexo I: 602-006-00-4 CE / EINECS: 200-663-8		Triclorometano Tricloruro de metilo Tricloruro de formilo CHCl ₃ Masa molecular: 119,4	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. Véanse Notas. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: usar agente de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡HIGIENE ESTRICTA! EVITAR LA EXPOSICIÓN DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
Inhalación	Tos. Vertigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor. Piel seca.	Gautes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Vómitos. (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber agua abundante. Reposo. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal adicional: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).		Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: Xn R: 22-38-40-48/20/22 S: (2-)36/37 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: III	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-6151888 Código NFPA: H 2; F 0; R 0;		Separado de alimentos y piensos y materiales incompatibles (Véanse Peligros Químicos). Ventilación a ras del suelo.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CLOROFORMO		ICSC: 0027
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Líquido incoloro volátil, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS El vapor es más denso que el aire.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS En contacto con superficies calientes o con llamas esta sustancia se descompone formando humos tóxicos y corrosivos (cloruro de hidrógeno ICSC0163, fosgeno ICSC0007 y vapores de cloro ICSC0126). Reacciona violentamente con bases fuertes, oxidantes fuertes, algunos metales, como aluminio, magnesio y zinc, originando peligro de incendio y explosión. Ataca plástico, caucho y revestimientos.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV (como TWA): 10 ppm; A3 (ACGIH 2004). MAK: 0.5 ppm; 2.5 mg/m³; Carcinógeno categoría 4, H (absorción dérmica). Categoría de limitación de pico: II(2). Riesgo para el embarazo: grupo C (DFG 2004).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita los ojos. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, hígado y riñón. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar al hígado y al riñón. Esta sustancia es posiblemente carcinógena para los seres humanos.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 62°C Punto de fusión: -64°C Densidad relativa (agua = 1): 1,48 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0,8 Presión de vapor, kPa a 20°C: 21,2 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 4,12</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,7 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 1,97</p>	
DATOS AMBIENTALES		
La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos.		
NOTAS		
Se puede volver combustible por la adición de pequeñas cantidades de una sustancia inflamable o por el aumento del contenido de oxígeno en el aire. El consumo de bebidas alcohólicas aumenta el efecto nocivo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. La alerta por el olor es insuficiente. NO utilizar cerca de un fuego, una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005; ver Límites de exposición.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 2 ppm; 10 mg/m³</p> <p>Notas: vía dérmica. Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH. Agente químico que tiene establecido un valor límite indicativo por la UE.</p>		
NOTA LEGAL	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>	
© IPCS, CE 2005		

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL		ICSC: 0057 Abril 2000	
Alcohol metílico		Carbínol	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	67-56-1 PC1400000 1230 603-001-00-X 200-659-6	CH ₄ O / CH ₃ OH Masa molecular: 32.0	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Altamente inflamable. Ver Notas.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar. NO poner en contacto con oxidantes.	Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.
EXPLOSIÓN	Las mezclas vapor/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.	En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA EXPOSICIÓN DE ADOLESCENTES Y NIÑOS!	
Inhalación	Tos. Vértigo. Dolor de cabeza. Náuseas. Debilidad. Alteraciones de la vista.	Ventilación. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Jadeo. Vómitos. Convulsiones. Pérdida del conocimiento (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!). Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Eliminar el residuo con agua abundante. Eliminar vapor con agua pulverizada. Traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.		No transportar con alimentos y piensos. Clasificación UE Símbolo: F, T R: 11-23/24/25-39/23/24/25; S: (1/2-)7-16-36/37-45 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 3 Riesgos Subsidiarios de las NU: 6.1; Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-3051230. Código NFPA: H 1; F 3; R 0;		A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes, alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco.	
IPCS International Programme on Chemical Safety	  		 
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2000			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

METANOL		ICSC: 0057
DATOS IMPORTANTES		
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido incoloro, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FÍSICOS: El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: Reacciona violentamente con oxidantes, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 200 ppm como TWA, 250 ppm como STEL; (piel); BEI establecido (ACGIH 2004). MAK: Riesgo para el embarazo: grupo (DFG 2004). LEP UE: 200 ppm; 260 mg/m³ como TWA (piel) como TWA (UE 2006).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante rápidamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN: La sustancia irrita los ojos la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a pérdida del conocimiento. La exposición puede producir ceguera y muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar sistema nervioso central, dando lugar a dolores de cabeza persistentes y alteraciones de la visión.</p>	
PROPIEDADES FÍSICAS		
<p>Punto de ebullición: 65 °C Punto de fusión: -98 °C Densidad relativa (agua = 1): 0.79 Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20 °C: 12.3 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 1.1</p>	<p>Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20 °C (aire = 1): 1.01 Punto de inflamación: 12 °C c.c. Temperatura de autoignición: 464 °C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 5.5-44 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.82/-0.66</p>	
DATOS AMBIENTALES		
NOTAS		
Arde con llama azulada. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2006: ver Límites de exposición.		
INFORMACIÓN ADICIONAL		
Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 200 ppm; 266 mg/m ³ Notas: vía dérmica. VLB: 15 mg/L en orina. Notas F, I.		
Nota legal	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	
© IPCS, CE 2000		

ANEXO 5.2. CÁLCULOS DE LA CANTIDAD DE DISOLVENTE EVAPORADO.

5.2. CÁLCULOS DE LA CANTIDAD DE DISOLVENTE EVAPORADO

Solución: PCL (5%w/v) / DCM (100%v)

Polímero → PCL

Solvente → DCM

Datos necesarios para realizar los cálculos:

	PLC	DCM
Densidad (ρ)	1.31 g/ml	1.3 g/ml
Concentración	2g/ml	
Peso molecular (M)		84.9
Límite explosividad inferior ($L.I.I._{inf}$)		12%

$$V_{cámara} = X \times Y \times Z = 0.7 \times 0.7 \times 1 = 0.49 \text{ m}^3 = 490 \text{ litros}$$

$$V_{DCM, evaporado, LÍMITE} = V_{cámara} \times L.I.I._{inf} = 490 \times 12\% = 58.8 \text{ litros}$$

$$\text{gramos}_{PCL} (g) = 2 \text{ g} \rightarrow \text{litros}_{PCL} (ml) = 100 \text{ ml}$$

$$\text{masa}_{PCL} \rightarrow V_{solución} = 10 \text{ ml}$$

$$\text{masa}_{PCL} = \frac{\text{gramos}_{PCL} (g) \times V_{solución}}{\text{litros}_{PCL} (ml)} = \frac{2 \times 10}{100} = 0.2 \text{ gramos}$$

$$V_{PCL} = \frac{\text{masa}_{PCL}}{\rho_{PCL}} = \frac{0.2}{1.31} = 0.15 \text{ litros}$$

$$V_{DCM} = V_{solución} - V_{PCL} = 10 - 0.15 = 9.85 \text{ litros}$$

$$n_{DCM} = \frac{\text{masa}_{DCM}}{M_{DCM}} = \frac{V_{DCM} \times \rho_{DCM}}{M_{DCM}} = \frac{9.85 \times 1.3}{84.9} = 0.151 \text{ mol}$$

$$P_{cámara} \times V_{DCM, evaporado} = n_{DCM} \times R \times T_{cámara} \rightarrow V_{DCM, evaporado} = \frac{n_{DCM} \times R \times T_{cámara}}{P_{cámara}} = 3.75 \text{ litros}$$

$$\frac{V_{DCM, \text{LÍMITE}}}{V_{DCM, \text{evaporado}}} = \frac{58.8}{3.75} = 15.68 \text{ horas} \cong 15 \text{ horas y } 40 \text{ m}$$

Solución: PAA (5%w/v) / Etanol (100%v)

Polímero → PAA

Solvente → Etanol

Datos necesarios para realizar los cálculos:

	PAA	ETANOL
Densidad (ρ)	1.2 g/ml	0.8 g/ml
Concentración	2g/ml	
Peso molecular (M)		46.1
Límite explosividad inferior ($L.I.I._{\text{inf}}$)		3.3%

$$V_{\text{cámara}} = X \times Y \times Z = 0.7 \times 0.7 \times 1 = 0.49 \text{ m}^3 = 490 \text{ litros}$$

$$V_{\text{ETANOL, evaporado, LÍMITE}} = V_{\text{cámara}} \times L.I.I._{\text{inf}} = 490 \times 3.3\% = 16.17 \text{ litros}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{gramos}_{PAA} (g) &= 2 \text{ g} \rightarrow \text{litros}_{PAA} (ml) = 100 \text{ ml} \\ \text{masa}_{PAA} &\rightarrow V_{\text{solución}} = 10 \text{ ml} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{masa}_{PAA} = \frac{\text{gramos}_{PAA} (g) \times V_{\text{solución}}}{\text{litros}_{PAA} (ml)} = \frac{2 \times 10}{100} = 0.2 \text{ gramos}$$

$$V_{PAA} = \frac{\text{masa}_{PAA}}{\rho_{PAA}} = \frac{0.2}{1.2} = 0.167 \text{ litros}$$

$$V_{\text{ETANOL}} = V_{\text{solución}} - V_{PAA} = 10 - 0.167 = 9.833 \text{ litros}$$

$$n_{\text{ETANOL}} = \frac{\text{masa}_{\text{ETANOL}}}{M_{\text{ETANOL}}} = \frac{V_{\text{ETANOL}} \times \rho_{\text{ETANOL}}}{M_{\text{ETANOL}}} = \frac{9.833 \times 0.8}{46.1} = 0.171 \text{ mol}$$

$$P_{\text{cámara}} \times V_{\text{ETANOL, evaporado}} = n_{\text{ETANOL}} \times R \times T_{\text{cámara}} \rightarrow V_{\text{ETANOL, evaporado}} = \frac{n_{\text{ETANOL}} \times R \times T_{\text{cámara}}}{P_{\text{cámara}}} = 4.25 \text{ litros}$$

$$\frac{V_{ETANOL,LÍMITE}}{V_{ETANOL,evaporado}} = \frac{16.17}{4.25} = 3.80 \text{ horas} \cong 3 \text{ horas y } 45 \text{ m}$$

Solución: PCL (5%w/v) / Acetona (100%v)

Polímero → PCL

Solvente → Acetona

Datos necesarios para realizar los cálculos:

	PCL	ACETONA
Densidad (ρ)	1.31 g/ml	0.8 g/ml
Concentración	2 g/ml	
Peso molecular (M)		58.1
Límite explosividad inferior ($L.I.I._{inf}$)		2.2%

$$V_{cámara} = X \times Y \times Z = 0.7 \times 0.7 \times 1 = 0.49 \text{ m}^3 = 490 \text{ litros}$$

$$V_{ACETONA,evaporado,LÍMITE} = V_{cámara} \times L.I.I._{inf} = 490 \times 2.2\% = 10.78 \text{ litros}$$

$$\text{gramos}_{PCL} \rightarrow (g) = 2 \text{ g} \rightarrow \text{litros}_{PCL} (ml) 100 \text{ ml}$$

$$\text{masa}_{PCL} \rightarrow V_{solución} = 10 \text{ ml}$$

$$\text{masa}_{PCL} = \frac{\text{gramos}_{PCL} (g) \times V_{solución}}{\text{litros}_{PCL} (ml)} = \frac{2 \times 10}{100} = 0.2 \text{ gramos}$$

$$V_{PCL} = \frac{\text{masa}_{PCL}}{\rho_{PCL}} = \frac{0.2}{1.31} = 0.153 \text{ litros}$$

$$V_{ACETONA} = V_{solución} - V_{PCL} = 10 - 0.153 = 9.847 \text{ litros}$$

$$n_{ACETONA} = \frac{\text{masa}_{ACETONA}}{M_{ACETONA}} = \frac{V_{ACETONA} \times \rho_{ACETONA}}{M_{ACETONA}} = \frac{9.847 \times 0.8}{58.1} = 0.1356 \text{ mol}$$

$$P_{\text{cámara}} \times V_{\text{ACETONA, evaporado}} = n_{\text{ACETONA}} \times R \times T_{\text{cámara}} \rightarrow V_{\text{ACETONA, evaporado}} = \frac{n_{\text{ACETONA}} \times R \times T_{\text{cámara}}}{P_{\text{cámara}}} = 3.37 \text{ litros}$$

$$\frac{V_{\text{DMF, LÍMITE}}}{V_{\text{DMF, evaporado}}} = \frac{10.78}{3.37} = 3.19 \text{ horas} \cong 3 \text{ horas y } 10 \text{ m}$$

Solución: PCL (5%w/v) / DMF (100%v)

Polímero → PCL

Solvente → DMF

Datos necesarios para realizar los cálculos:

	PCL	DMF
Densidad (ρ)	1.31 g/ml	0.95 g/ml
Concentración	2 g/ml	
Peso molecular (M)		73.09
Límite explosividad inferior ($L.I.I._{\text{inf}}$)		2.2%

$$V_{\text{cámara}} = X \times Y \times Z = 0.7 \times 0.7 \times 1 = 0.49 \text{ m}^3 = 490 \text{ litros}$$

$$V_{\text{DMF, evaporado, LÍMITE}} = V_{\text{cámara}} \times L.I.I._{\text{inf}} = 490 \times 2.2\% = 10.78 \text{ litros}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{gramos}_{\text{PCL}} (\text{g}) &= 2 \text{ g} \rightarrow \text{litros}_{\text{PCL}} (\text{ml}) = 100 \text{ ml} \\ \text{masa}_{\text{PCL}} &\rightarrow V_{\text{solución}} = 10 \text{ ml} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{masa}_{\text{PCL}} = \frac{\text{gramos}_{\text{PCL}} (\text{g}) \times V_{\text{solución}}}{\text{litros}_{\text{PCL}} (\text{ml})} = \frac{2 \times 10}{100} = 0.2 \text{ gramos}$$

$$V_{\text{PCL}} = \frac{\text{masa}_{\text{PCL}}}{\rho_{\text{PCL}}} = \frac{0.2}{1.31} = 0.15 \text{ litros}$$

$$V_{\text{DMF}} = V_{\text{solución}} - V_{\text{PCL}} = 10 - 0.15 = 9.85 \text{ litros}$$

$$n_{\text{DMF}} = \frac{\text{masa}_{\text{DMF}}}{M_{\text{DMF}}} = \frac{V_{\text{DMF}} \times \rho_{\text{DMF}}}{M_{\text{DMF}}} = \frac{9.85 \times 0.95}{73.09} = 0.128 \text{ mol}$$

$$P_{\text{cámara}} \times V_{\text{DMF, evaporado}} = n_{\text{DMF}} \times R \times T_{\text{cámara}} \rightarrow V_{\text{DMF, evaporado}} = \frac{n_{\text{DMF}} \times R \times T_{\text{cámara}}}{P_{\text{cámara}}} = 3.18 \text{ litros}$$

$$\frac{V_{DMF, \text{LÍMITE}}}{V_{DMF, \text{evaporado}}} = \frac{10.78}{3.18} = 3.38 \text{ horas} \cong 3 \text{ horas y } 20 \text{ m}$$

Solución: PU (5%w/v) / THF (100%v)

Polímero → PU

Solvente → THF

Datos necesarios para realizar los cálculos:

	PU	THF
Densidad (ρ)	1.03 g/ml	0.89 g/ml
Concentración	2 g/ml	
Peso molecular (M)		72.1
Límite explosividad inferior ($L.I.I._{\text{inf}}$)		2%

$$V_{\text{cámara}} = X \times Y \times Z = 0.7 \times 0.7 \times 1 = 0.49 \text{ m}^3 = 490 \text{ litros}$$

$$V_{THF, \text{evaporado}, \text{LÍMITE}} = V_{\text{cámara}} \times L.I.I._{\text{inf}} = 490 \times 2\% = 9.8 \text{ litros}$$

$$\text{gramos}_{PU} (g) = 2 \text{ g} \rightarrow \text{litros}_{PU} (ml) = 100 \text{ ml}$$

$$\text{masa}_{PU} \rightarrow V_{\text{solución}} = 10 \text{ ml}$$

$$\text{masa}_{PU} = \frac{\text{gramos}_{PU} (g) \times V_{\text{solución}}}{\text{litros}_{PU} (ml)} = \frac{2 \times 10}{100} = 0.2 \text{ gramos}$$

$$V_{PU} = \frac{\text{masa}_{PU}}{\rho_{PU}} = \frac{0.2}{1.03} = 0.194 \text{ litros}$$

$$V_{THF} = V_{\text{solución}} - V_{PU} = 10 - 0.194 = 9.81 \text{ litros}$$

$$n_{THF} = \frac{\text{masa}_{THF}}{M_{THF}} = \frac{V_{THF} \times \rho_{THF}}{M_{THF}} = \frac{9.81 \times 0.89}{72.1} = 0.121 \text{ mol}$$

$$P_{\text{cámara}} \times V_{THF, \text{evaporado}} = n_{THF} \times R \times T_{\text{cámara}} \rightarrow V_{THF, \text{evaporado}} = \frac{n_{THF} \times R \times T_{\text{cámara}}}{P_{\text{cámara}}} = 3.01 \text{ litros}$$

$$\frac{V_{THF, LÍMITE}}{V_{THF, evaporado}} = \frac{9.8}{3.01} = 3.26 \text{ horas} \cong 3 \text{ horas y } 15 \text{ m}$$

Solución: PVB (2%w/v) / TVB (100%v)

Polímero → PVB
Solvente → Metanol

Datos necesarios para realizar los cálculos:

	PVB	METANOL
Densidad (ρ)	1.09 g/ml	0.79 g/ml
Concentración	2 g/ml	
Peso molecular (M)		32
Límite explosividad inferior ($L.I.I._{inf}$)		5.5%

$$V_{cámara} = X \times Y \times Z = 0.7 \times 0.7 \times 1 = 0.49 \text{ m}^3 = 490 \text{ litros}$$

$$V_{METANOL, evaporado, LÍMITE} = V_{cámara} \times L.I.I._{inf} = 490 \times 5.5\% = 26.95 \text{ litros}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{gramos}_{PVB} (g) &= 2 \text{ g} \rightarrow \text{litros}_{PVB} (ml) = 100 \text{ ml} \\ \text{masa}_{PVB} &\rightarrow V_{solución} = 10 \text{ ml} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{masa}_{PVB} = \frac{\text{gramos}_{PVB} (g) \times V_{solución}}{\text{litros}_{PVB} (ml)} = \frac{2 \times 10}{100} = 0.2 \text{ gramos}$$

$$V_{PVB} = \frac{\text{masa}_{PVB}}{\rho_{PVB}} = \frac{0.2}{1.09} = 0.183 \text{ litros}$$

$$V_{THF} = V_{solución} - V_{PU} = 10 - 0.183 = 9.817 \text{ litros}$$

$$n_{METANOL} = \frac{\text{masa}_{METANOL}}{M_{METANOL}} = \frac{V_{METANOL} \times \rho_{METANOL}}{M_{METANOL}} = \frac{9.817 \times 0.79}{32} = 0.242 \text{ mol}$$

$$P_{cámara} \times V_{METANOL, evaporado} = n_{METANOL} \times R \times T_{cámara} \rightarrow V_{METANOL, evaporado} = \frac{n_{METANOL} \times R \times T_{cámara}}{P_{cámara}} = 6.01 \text{ litros}$$

$$\frac{V_{METANOL, LÍMITE}}{V_{METANOL, evaporado}} = \frac{26.95}{6.01} = 4.48 \text{ horas} \cong 4 \text{ horas y } 25 \text{ m}$$

Solución: QUITOSANO (2%w/v) / ÁCIDO ACÉTICO (100%v)

Polímero → Quitosano

Solvente → Ácido acético

Datos necesarios para realizar los cálculos:

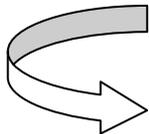
	QUITOSANO	ÁCIDO ACÉTICO
Densidad (ρ)	1 g/ml	1.05 g/ml
Concentración	2 g/ml	
Peso molecular (M)		60.1
Límite explosividad inferior ($L.I.I._{inf}$)		6%

$$V_{cámara} = X \times Y \times Z = 0.7 \times 0.7 \times 1 = 0.49 \text{ m}^3 = 490 \text{ litros}$$

$$V_{\text{ÁC.ACÉTICO, evaporado, LÍMITE}} = V_{cámara} \times L.I.I._{inf} = 490 \times 6\% = 29.4 \text{ litros}$$

$$\text{gramos}_{\text{QUITOSANO}}(g) = 2 \text{ g} \rightarrow \text{litros}_{\text{QUITOSANO}}(ml) = 100 \text{ ml}$$

$$\text{masa}_{\text{QUITOSANO}} \rightarrow V_{\text{solución}} = 10 \text{ ml}$$



$$\text{masa}_{\text{QUITOSANO}} = \frac{\text{gramos}_{\text{QUITOSANO}}(g) \times V_{\text{solución}}}{\text{litros}_{\text{QUITOSANO}}(ml)} = \frac{2 \times 10}{100} = 0.2 \text{ gramos}$$

$$V_{\text{QUITOSANO}} = \frac{\text{masa}_{\text{QUITOSANO}}}{\rho_{\text{QUITOSANO}}} = \frac{0.2}{1} = 0.2 \text{ litros}$$

$$V_{\text{ÁC.ACÉTICO}} = V_{\text{solución}} - V_{\text{QUITOSANO}} = 10 - 0.2 = 9.8 \text{ litros}$$

$$n_{\text{ÁC.ACÉTICO}} = \frac{\text{masa}_{\text{ÁC.ACÉTICO}}}{M_{\text{ÁC.ACÉTICO}}} = \frac{V_{\text{ÁC.ACÉTICO}} \times \rho_{\text{ÁC.ACÉTICO}}}{M_{\text{ÁC.ACÉTICO}}} = \frac{9.8 \times 1.05}{60.1} = 0.171 \text{ mol}$$

$$P_{cámara} \times V_{\text{ÁC.ACÉTICO, evaporado}} = n_{\text{ÁC.ACÉTICO}} \times R \times T_{cámara} \rightarrow V_{\text{ÁC.ACÉTICO, evaporado}} = \frac{n_{\text{ÁC.ACÉTICO}} \times R \times T_{cámara}}{P_{cámara}} = 4.25 \text{ litros}$$

$$\frac{V_{\text{ÁC.ACÉTICO, LÍMITE}}}{V_{\text{ÁC.ACÉTICO, evaporado}}} = \frac{29.4}{4.25} = 6.92 \text{ horas} \cong 6 \text{ horas y } 50 \text{ m}$$

i
n
u
t
o
s

Solución: QUITOSANO (2%w/v) / ÁCIDO FÓRMICO (100%v)

Polímero → Quitosano

Solvente → Ácido fórmico

Datos necesarios para realizar los cálculos:

	QUITOSANO	ÁCIDO FÓRMICO
Densidad (ρ)	1 g/ml	1.2 g/ml
Concentración	2 g/ml	
Peso molecular (M)		46
Límite explosividad inferior ($L.I.I._{inf}$)		18%

$$V_{cámara} = X \times Y \times Z = 0.7 \times 0.7 \times 1 = 0.49 \text{ m}^3 = 490 \text{ litros}$$

$$V_{\text{ÁCIDO FÓRMICO, evaporado, LÍMITE}} = V_{cámara} \times L.I.I._{inf} = 490 \times 18\% = 88.2 \text{ litros}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{gramos}_{\text{QUITOSANO}}(g) &= 2 \text{ g} \rightarrow \text{litros}_{\text{QUITOSANO}}(ml) = 100 \text{ ml} \\ \text{masa}_{\text{QUITOSANO}} &\rightarrow V_{\text{solución}} = 10 \text{ ml} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{masa}_{\text{QUITOSANO}} = \frac{\text{gramos}_{\text{QUITOSANO}}(g) \times V_{\text{solución}}}{\text{litros}_{\text{QUITOSANO}}(ml)} = \frac{2 \times 10}{100} = 0.2 \text{ gramos}$$

$$V_{\text{QUITOSANO}} = \frac{\text{masa}_{\text{QUITOSANO}}}{\rho_{\text{QUITOSANO}}} = \frac{0.2}{1} = 0.2 \text{ litros}$$

$$V_{\text{ÁCIDO FÓRMICO}} = V_{\text{solución}} - V_{\text{QUITOSANO}} = 10 - 0.2 = 9.8 \text{ litros}$$

$$n_{\text{ÁCIDO FÓRMICO}} = \frac{\text{masa}_{\text{ÁCIDO FÓRMICO}}}{M_{\text{ÁCIDO FÓRMICO}}} = \frac{V_{\text{ÁCIDO FÓRMICO}} \times \rho_{\text{ÁCIDO FÓRMICO}}}{M_{\text{ÁCIDO FÓRMICO}}} = \frac{9.8 \times 1.2}{46} = 0.256 \text{ mol}$$

$$P_{cámara} \times V_{\text{ÁCIDO FÓRMICO, evaporado}} = n_{\text{ÁCIDO FÓRMICO}} \times R \times T_{cámara} \rightarrow V_{\text{ÁCIDO FÓRMICO, evaporado}} = \frac{n_{\text{ÁCIDO FÓRMICO}} \times R \times T_{cámara}}{P_{cámara}} = 6.36 \text{ litros}$$

$$\frac{V_{\text{ÁCIDO FÓRMICO, LÍMITE}}}{V_{\text{ÁCIDO FÓRMICO, evaporado}}} = \frac{88.2}{6.36} = 13.86 \text{ horas} \approx 13 \text{ horas y } 50 \text{ m}$$

i
n
u
t
o
s

6. BIBLIOGRAFÍA

- Areias, A.C., Gómez, J.A., Sencadas, V., Alió, J., Gómez, J.L. y Lanceros, S. (2012), "Assessment of Parameters Influencing Fiber Characteristics of Chitosan Nanofiber Membrane to Optimize Fiber Mat Production", *Polymer Engineering and Science*, Vol.52 No.6, pp. 1293-300.
- Bajon, R., Balaji, S. y Guo, S.M. (2009), "Electrospun nanofiber for proton exchange membrane fuel cell application", *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, Vol.6 No.3, 031004-031004-6.
- Balguid, A., Mol, A., van, M.M.H., Bank, R.A., Bouten, C.V.C. y Baaijens, F.P.T. (2009)., "*Tailoring fiber diameter in electrospun poly(ϵ -caprolactone) scaffolds for optimal cellular infiltration in cardiovascular tissue engineering*", *Tissue Engineering, Part A*, Vol.15, No.2, pp 437-444.
- Baumgarten, P. K. (1971), "Electrostatic spinning of acrylic microfibers", *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 36 No.1, pp. 71–79.
- Brandl, D. y Forney, F. (1992), "*Control of humidity in small controlled-environment chambers using glycerol-water solutions*", *HortTechnology*, Vol. 2 No 1, pp. 52-54.
- Bochons Sania, M. (2015), *Desarrollo de membranas poliméricas microporosas para cultivos de barreras de células epiteliales: estudio de las condiciones óptimas de electrohilado y caracterización morfológica*, Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Valencia.
- Buchko, C.J., Chen, L.C., Shen, Y. y Martin, D.C. (1999) "Processing and microstructural characterization of porous biocompatible protein polymer thin films", *Polymer*, Vol. 40 No.26, pp. 7397–407.
- Calderón, J.M. y Martínez, H.A. (2012), *Obtención de fibras poliméricas a partir de la técnica de electrohilado para aplicaciones biomédicas*, Universidad autónoma de occidente. Facultad de ingeniería. Departamento de automática y electrónica. Programa de Ingeniería biomédica. Santiago de Cali.
- Chen, Z.G., Wang, P.W., Wei, B., Mo, X.M. y Cui, F.Z. (2010) "Electrospun collagen-chitosan nanofiber: A biomimetic extracellular matrix for endothelial cell and smooth muscle cell", *Acta Biomaterialia*, Vol.6 No.2, pp. 372-82.

- Chitral, A. y Shesha, H. (2011), "A theoretical understanding of the physical mechanisms of electrohilado", *Proc. ESA Annual Meeting on Electrostatics*, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, Canada.
- Collins, P.G. y Avouris, P.C. (2000) "Nanotubes for electronics", *Scientific American*, Vol.283 No.6, pp. 62–69.
- Deitzel, J.M., Kleinmeyer, J., Harris, D. y Tan, N.C.B. (2001), "The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles", *Polymer*, Vol.42, pp. 261–72.
- Demir, M.M., Yilgor, I., Yilgor, E. Y Erman, B. (2002), "Electrohilado of polyurethane fibers", *Polymer*, Vol.43, pp. 3303–9.
- Demir, M.M., Gulgun, M.A., Menciloglu, Y.Z., Erman, B., Abramchuk, S.S., Makhaeva, E.E., Khokhlov, A.R., Matveeva, V.G. y Sulman, M.G. (2004), "Palladium nanoparticles by electrohilado from poly(acrylonitrile-co-acrylic acid)-PdCl₂ solutions. Relations between preparation conditions, particle size, and catalytic activity", *Macromolecules*, Vol.37 No.5, pp. 1787-92.
- Dong, Y., Yong, T., Liao, S., Chan, C.K., Stevens, M.M. y Ramakrishna, S. (2010), "Distinctive degradation behaviors of electrospun polyglycolide, poly(L-lactide-co-glycolide), and poly(L-lactide-co-ε-caprolactone) nanofibers cultured with/without porcine smooth muscle cells", *Tissue Engineering, Part A*, Vol.16 No.1, pp. 283-98.
- Doshi J. y Reneker, D.H. (1995) "Electrohilado process and applications of electrospun fibers", *Journal of Electrostatics*, Vol.35 No2-3 pp.151-160.
- Duan, B., Wu, L., Li, X., Yuan, X., Li, X., Zhang, Y. y Yao, K. (2007), "Degradation of electrospun PLGA-chitosan/PVA membranes and their cytocompatibility in vitro", *Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition*, Vol.18 No.1, pp. 95-115.
- Ekaputra, A.K., Zhou, Y., Cool, S.M. y Hutmacher, D.W. (2009), "Composite electrospun scaffolds for engineering tubular bone grafts", *Tissue Engineering, Part A*, Vol.15 No.12, pp. 3779-88.
- F. Yang, R. Murugan, S. Wangy S. Ramakrishna. Electrohilado of nano/micro scale poly(L-lactic acid) aligned fibers and their potential in neural tissue engineering *Biomaterials* (2005); 26: 2603–2610.
- Ferrán, R. y Alfonso, L. Del V. (2013), *Preparación de scaffolds temporales con distintas hidrofobicidad y respuesta antibacteriana*, Universidad Politécnica De Catalunya. Departamento de Ingeniería Química.

- Fong, H., Chun, I. y Reneker, D.H. (1999), "Beaded nanofibers formed during electrohilado", *Polymer*, Vol.40, pp. 4585–92.
- Fujihara, K., Kotaki, M. y Ramakrishna, S. (2005), "Guided bone regeneration membrane made of polycaprolactone/calcium carbonate composite nano-fibers", *Biomaterials*, Vol.26 No.19, pp. 4139-47.
- Gómez, J. A., Van Overberghe, N., Rico, P., Gómez, J. L. (2011), "Assessment of the parameters influencing the fiber characteristics of electrospun poly (ethyl methacrylate) membranes", *European Polymer Journal*, Vol.47, pp. 119-29.
- Hall, E.A.H. (1998), "Chemical sensors & biosensors for medical and biological applications"
- Heliazar, I. A. (2013), *Electrohilado de fibras coaxiales constituidas por polibutilenosuccinato (PBS, Bionolle) y polietilenglicol (PEG). Funcionalización mediante carga de drogas*, Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Química.
- Jaworek, A., Krupa, A., Lackowski, M., Sobczyk, A.T., Czech, T., Ramakrishna, S., Sundarrajan, S. y Pliszka, D. (2009), "Electrohilado and electrospaying techniques for nanocomposite non-woven fabric production", *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol.17 No.4, pp. 77-81.
- Kannarkat, J.T., Battogtokh, J., Philip, J., Wilson, O.C. y Mehl, P.M. (2010), "Embedding of magnetic nanoparticles in polycaprolactone nanofiber scaffolds to facilitate bone healing and regeneration", *Journal of Applied Physics*, Vol.107 No.9 Pt. 2, pp.307-10.
- Kenawy, E.R., Bowlin, G.L., Mansfield, K., Layman, J., Simpson, D.G., Sanders, E.H. y Wnek, G.E. (2002), "Release of tetracycline hydrochloride from electrospun poly(ethylene-co-vinylacetate), poly(lactic acid), and a blend", *Journal of Controlled Release*, Vol.81 No.1-2, pp. 57-64.
- Khil, M.S., Cha, D.I., Kim, H.Y., Kim, I.S. y Bhattarai, N. (2003), "Electrospun nanofibrous polyurethane membrane as wound dressing", *Journal of Biomedical Materials Research, Part B: Applied Biomaterials*, Vol.67 No.2, pp. 675-79.
- Ki, C.S., Gang, E.H., Um, I.C. y Park, Y.H. (2007), "Nanofibrous membrane of wool keratose/silk fibroin blend for heavy metal ion adsorption", *Journal of Membrane Science*, Vol.302 No.1-2, pp. 20-26.
- Kim, B., Park, H., Lee, S.H. y Sigmund, W.M. (2005), "Poly (acrylic acid) nanofibers by electrohilado", *Materials Letters*, Vol.59 No. 7, pp. 829–32.

- Kim, T.G. y Park, T.G. (2006), "Surface functionalized electrospun biodegradable nanofibers for immobilization of bioactive molecules", *Biotechnology Progress*, Vol.22 No.4, pp. 1108-13.
- Kim, J.S. y Reneker, D. H. (1999), "Mechanical properties of composites using ultrafine electrospun fibers", *Polymercomposites*, Vol.20 No.1, pp. 124–31.
- Ko, E.K., Jeong, S.I., Rim, N.G., Lee, Y.M., Shin, H. y Lee, B.-K. (2008), "In vitro osteogenic differentiation of human Mesenchymal stem cells and in vivo bone formation in composite nanofiber meshes", *Tissue Engineering, Part A*, Vol.14 No.12, pp. 2105- 19.
- Kosmider, K. y Scott, J. (2002), "Polymeric nanofibres exhibit an enhanced air filtration performance", *Filtration & Separation*, Vol.39 No.6, pp. 20-22.
- Lee, S.J., Yoo, J.J., Lim, G.J., Atala, A. y Stitzel, J. (2007), "In vitro evaluation of electrospun nanofiber scaffolds for vascular graft application", *Journal of Biomedical Materials Research, Part A*, Vol.83 No.4, pp. 999-1008.
- Ma, Z., He, W., Yong, T. y Ramakrishna, S. (2005), "Grafting of gelatin on electrospun poly(caprolactone) nanofibers to improve endothelial cell spreading and proliferation and to control cell orientation", *Tissue Engineering*, Vol.11 No.7-8, pp. 1149-58.
- Ma, Z., Kotaki, M., Yong, T., He, W. y Ramakrishna, S. (2005), "Surface engineering of electrospun polyethylene terephthalate (PET) nanofibers towards development of a new material for blood vessel engineering", *Biomaterials*, Vol.26 No.15, pp. 2527- 36.
- Marín, P. y Martínez, P. (2009), *Diseño y estudio de una máquina de Electrohilado*, Universitat Politècnica de Catalunya. Departamento de Ingeniería Química.
- Marler, J.J., Upton, J., Langer, R. y Vacanti, J.P. (1998), "Transplantation of cells in matrixes for tissue regeneration", *Advanced Drug Delivery Reviews*, Vol.33 No.1-2, pp. 165-82.
- Matthews, J.A., Wnek, G.E., Simpson, D.G. y Bowlin, G.L. (2002), "Electrohilado of collagen nanofibers", *Biomacromolecules*, Vol.3 No.2, pp. 232-38.
- Meca, F. J. y Jiménez, J. A. (2004), *Horno-nevera basado en células Peltier para el ensayo térmico de dispositivos electrónicos*, Escuela Politécnica Universidad de Alcalá de Henares. Departamento de electrónica.
- Megelski, S., Stephens, J.S., Chase, D.B. y Rabolt, J.F. (2002), *Macromolecules*. Vol.35, pp.8456-66.

- Mendoza, J. A, Amaro, C. A., Almazán, S. y Chiquito, J. A. (2010), *Efecto Peltier aplicado en una unidad para equipo de medición*. Instituto Tecnológico de San Luis Potosí.
- Mit-uppatham, C., Nithitanakul, M., Supaphol, P. (2004), "Ultrafine electrospun polyamide-6 fibers: effect of solution conditions on morphology and average fiber diameter", *Macromolecular Chemistry and Physics*, Vol.205, pp. 2327–38.
- Mo, X.M., Xu, C.Y., Kotaki, M. y Ramakrishna, S. (2004), "Electrospun P(LLA-CL) nanofiber: a biomimetic extracellular matrix for smooth muscle cell and endothelial cell proliferation", *Biomaterials*, Vol.25 No.10, pp. 1883-90.
- Nandana, B. y Subhas, C.K. (2010), "Electrohilado: A fascinating fiber fabrication technique", *Biotechnology Advances*, Vol.28 No.3, pp. 325-47.
- Padron, S., Fuentes, A., Caruntu, D. y Lozano, K. (2013), "Experimental study of nanofiber production through forcespinning", *Journal of Applied Physics*, Vol. 113 No. 2.
- Prin, J.L., Hernández, G. y Rojas, B. (2010), "El microscopio electrónico como herramienta para el estudio de los polímeros y otros materiales. I. El microscopio electrónico de barrido (MEB)", *Revista Iberoamericana de Polímeros*, Vol.11 No.1. Enero.
- Rath, B., Nam, J., Knobloch, T.J., Lannutti, J.J. y Agarwal, S. (2008), "Compressive forces induce osteogenic gene expression in calvarial osteoblasts", *Journal of Biomechanics*, Vol.41 No.5, pp. 1095-103.
- Reneker, D.H. y Chun, L. (1996), "Nanometre diameters of polymer, produced by electrohilado", *Nanotechnology*, Vol.7, pp. 216–23.
- Rennenberg, H. y Weber, P. (1995), "*Dependency of nitrogen dioxide (NO₂) fluxes to wheat (Triticum aestivum L.) leaves from NO₂ concentration, light intensity, temperature and relative humidity determined from controlled dynamic chamber experiments*", *Atmospheric Environment*, Vol.30 No17, pp. 3001-09.
- Roque, M. A. (2012), *Diseño de un sistema de almacenaje de puros habanos controlando temperatura y humedad mediante termoelectricidad*, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Sarkar, K., Gómez, C., Zambrano, S., Ramírez, M., de Hoyos, E., Vásquez, H. y Lozano, K. (2010), "Electrohilado y Forcespinning", *Materialstoday*, Vol.13 No. 11, pp. 12-4.
- Schneider, O.D., Weber, F., Brunner, T.J., Loher, S., Ehrbar, M., Schmidlin, P.R. y Stark, W.J. (2009), "In vivo and in vitro evaluation of flexible, cottonwool-like nanocomposites as

- bone substitute material for complex defects”, *Acta Biomaterialia*, Vol.5 No.5, pp. 1775-84.
- Sell, S.A., McClure, M.J., Barnes, C.P., Knapp, D.C., Walpoth, B.H., Simpson, D.G. y Bowlin, G.L. (2006), “Electrospun polydioxanone-elastin blends: potential for bioresorbable vascular grafts”, *Biomedical Materials*, Vol.1 No.2, pp. 72-80.
- Shin, M., Yoshimoto, H. y Vacanti, J.P. (2004), “In vivo bone tissue engineering using mesenchymal stem cells on a novel electrospun nanofibrous scaffold”, *Tissue Engineering*, Vol.10 No.1-2, pp. 33-41.
- Shin, Y.M., Hohman, M.M., Brenner, M.P. y Rutledge, G. (2001), “Electrohilado and electrically forced jets”, *American Institute of Physics*, Vol.78, pp. 1149.
- Sill, M., Hohman, M.M., Brenner, M.P. y Rutledge, G.C. (2001), “Electrohilado: a whipping fluid jet generates submicron polymer fibers”, *American Institute of Physics*, Vol.13 No.8, pp. 2221-36.
- Sill, T.J., von Recum, H.A. (2008), “Electrohilado: Applications in drug delivery and tissue engineering”, *Biomaterials*, Vol.29 No.13, pp. 1989-2006.
- Silva, C.S.R., Luz, G.M., Gamboa, T.C., Mano, J.F., Gómez, J.L. y Gómez, J.A. (2014) “Poly(ϵ -caprolactone) Electrospun Scaffolds Filled with Nanoparticles. Production and Optimization According to Taguchi's Methodology”, *Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics*, Vol.53 No.5, pp. 781-99.
- Stankus, J.J., Guan, J. y Wagner, W.R. (2004), “Fabrication of biodegradable elastomeric scaffolds with sub-micron morphologies”, *Journal of Biomedical Materials Research, Part A*, Vol.70 No.4, pp. 603-14.
- Sureeporn, T., Zhenxin, Z., Darrell, H. y Reneker, D.H. (2007), “Effect of evaporation and solidification of the charged jet in electrohilado of poly(ethylene oxide) aqueous solution. Mesenchymal stem cells on a novel electrospun nanofibrous scaffold”, *Polimer*, Vol.49 No.19, pp.5742-46.
- Tan, S.H., Inai, R., Kotaki, M. y Ramakrishna, S. (2005), “Systematic parameter study for ultra-fine fiber fabrication via electrohilado process”, *Polymer*, Vol.46 No.16, pp.6128-34.
- Taylor G. (1969), “Electrically driven jets”, *Proceedings of the National Academy of Sciences London*, Vol.313, pp. 453-75.

- Telemeco, T.A., Ayres, C., Bowlin, G.L., Wnek, G.E., Boland, E.D., Cohen, N., Baumgarten, C.M., Mathews, J. y Simpson, D.G. (2005), "Regulation of cellular infiltration into tissue engineering scaffolds composed of submicron diameter fibrils produced by electrohilado", *ActaBiomaterialia*, Vol.1 No.4, pp. 377-85.
- Thostenson, E., Zhifeng, R. y Tsu-Wei, C. (2001), "Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review", *Composites Science and Technology*, Vol.61 No.13, pp. 1899-912.
- Tong, H.W., Zhang, X. y Wang, M. (2012), "A new nanofiber fabrication technique based on coaxial electrohilado", *Materials Letters*, Vol.66 No.1, pp. 257-60.
- Usero, R., Suárez, N., Oliver, R. y Rodríguez, R.A. (2010), *Electrohilado de poliéster amidas biodegradables*, Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Ingeniería Química.
- Vasu, G., Tangirala, A.K., Viswanathan, B. y Dhathathreyan, K.S. (2008), "Continuous bubble humidification and control of relative humidity of H₂ for a PEMFC system", Vol.33 No.17, pp.4640-48.
- Vaz, C.M., Van Tuijl, S., Bouten, C.V.C. y Baaijens, F.P.T. (2005), "Design of scaffolds for blood vessel tissue engineering using a multi-layering electrohilado technique", *ActaBiomaterialia*, Vol.1 No.5, pp. 575-82.
- Verreck, G., Chun, I., Peeters, J., Rosenblatt, J. y Brewster, M.E. (2003), "Preparation and characterization of nanofibers containing amorphous drug dispersions generated by electrostatic spinning", *Pharmaceutical Research*, Vol.20 No.5, pp. 810-17.
- Vrieze, S., Camp, T., Nelvig, A., Hagström, B., Westbroek, P. y Clerck, K. (2009), "The effect of temperature and humidity on electrohilado", *Journal of Materials Science*, Vol.44 No.5, pp.1357-62.
- Wang, X., Drew, C., Lee, S.-H., Senecal, K.J., Kumar, J. y Samuelson, L.A. (2002), "Electrospun nanofibrous membrane for highly sensitive optical sensors", *Nano Letters*, Vol.2 No.11, pp. 1273-75.
- Wang, X., Lee, S., Drew, C., Senecal, K.J., Kumar, J. y Samuelson, L.A. (2001), "Electrospun nanofibrous membranes for optical sensing", *Polymeric Materials Science and Engineering*, Vol.85, pp. 617-18.

- Wang, Y. y Hsieh, Y. (2004), "Enzyme immobilization to ultra-fine cellulose fibers via amphiphilic polyethylene glycol spacers", *Journal of Polymer Science, Part A*, Vol.42 No.17, pp. 4289-99.
- Warner, S., Buer, A., Grimler, M., Ugbohue, S., Rutledge, G., Shiny M. (1998), "A Fundamental Investigation of the Formation and Properties of Electrospun Fibers", *Nano fibers. National Textile Center Annual Report*, Vol.83.
- Yang, F., Murugan, R., Wang, S. y Ramakrishna, S. (2005), "Electrohilado of nano/micro scale poly(L-lactic acid) aligned fibers and their potential in neural tissue engineering", *Biomaterials*, Vol.26 No.15, pp. 2603-10.
- Yarin, A.L., Koombhongse, S. y Reneker, D.H. (2001), "Bending instability in electrohilado of nanofibers", *Journal of Applied Physics*, Vol.89 No.5, pp. 3018-26.
- Yih, T.C. y Al-Fandi, M. (2006), "Engineered nanoparticles as precise drug delivery systems", *Journal of Cellular Biochemistry*, Vol.97 No.6, pp. 1184-90.
- Yoshimoto, H., Shin, Y.M., Terai, H. y Vacanti, J.P. (2003), "A biodegradable nanofiber scaffold by electrohilado and its potential for bone tissue engineering", *Biomaterials*, Vol.24 No.12, pp. 2077-82.
- Zeng, J., Xu, X., Chen, X., Liang, Q., Bian, X., Yang, L. y Jing, X. (2003), "Biodegradable electrospunfibers for drug delivery", *Journal of Controlled Release*, Vol.92 No.3, pp. 227-31.
- Zhang, C., Yuan, X., Wu, L., Han, Y. y Sheng, J. (2005), "Study on morphology of electrospun poly (vinyl alcohol) mats", *European Polymer Journal*, Vol.41, pp. 423-32.
- Zhang, Y., Ouyang, H., Lim, C.T., Ramakrishna, S. y Huang, Z.M. (2005), "Electrohilado of gelatinfibers and gelatin/PCL composite fibrous scaffolds", *Journal of Biomedical Materials Research, Part B: Applied Biomaterials*, Vol.72 No.1, pp. 156-65.
- Zong, X., Kim, K., Fang, D., Ran, S., Hsiao, B.S. y Chu, B. (2002), "Structure and process relationship of electrospun bioadsorbable nanofiber membranes", *Polymer*, Vol.439, pp. 4403-12.
- Zussman, E., Yarin, A. L. y Weihs, D. (2002), "A micro-aerodynamic decelerator based on permeable surfaces on nanofiber mats", *Experiments in Fluids*, Vol. 33 No.2, p.p. 315-20.

II. PRESUPUESTO

EL APARATO DISEÑADO

ÍNDICE

NECESIDAD Y DETALLES DEL ESTUDIO ECONÓMICO 120

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

CUADRO DE PRECIOS Nº 1

CUADRO DE PRECIOS Nº 2

MEDICIONES Y PRESUPUESTO CON DESCOMPOSICIONES

PRESUPUESTO

RESUMEN DE CAPÍTULOS

NECESIDAD Y DETALLES DEL ESTUDIO ECONÓMICO

Para analizar la viabilidad económica del presente Trabajo Fin de Grado se hace necesaria la realización de un estudio económico del mismo. Para ello se ha elaborado un presupuesto de las distintas actividades involucradas en el Trabajo y se ha procedido a dividir dicho presupuesto en cuadros de precios y mediciones, así como en descompuestos tratando de clarificar y detallar lo máximo posible el presupuesto. Para su elaboración se ha utilizado una herramienta ofimática, el *Menfis8*, programa de *Prosoft* al cual se ha podido acceder desde los ordenadores de la Escuela Técnica de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia.

Cabe destacar que se han diferenciado las distintas actividades involucradas en el Trabajo y se han distinguido los distintos tipos de recursos que aparecen durante el mismo, siendo estos mano de obra, material y maquinaria. Esta división de los recursos es importante dado que dependiendo del tipo de recurso, el precio del mismo se obtiene de forma distinta.

Para la mano de obra se ha tenido en cuenta que se trata de un trabajo académico y que el autor del mismo no ha recibido honorario alguno durante su realización, sin embargo se ha incluido en el presente estudio económico como si se tratase de un Ingeniero Industrial que está empleado, obteniendo el valor del mismo del presupuesto mensual del Boletín Oficial del Estado.

En cuanto al material utilizado, se ha obtenido el valor de los mismos del precio dado por el fabricante.

Para la maquinaria utilizada, es decir, herramientas y equipos utilizados, se ha calculado su amortización siguiendo la ecuación 12.

$$A = \frac{C \times t}{T}$$

Ecuación 12 *Amortización de la maquinaria utilizada.*

Donde C es el coste de la maquinaria en el momento de su adquisición, t es el tiempo de uso de la misma durante la realización del presente Trabajo Fin de Grado y T es el periodo de amortización extraído de la "Tabla de años y porcentajes de amortización para sociedades". Según dicha tabla se ha tenido que distinguir los equipos de laboratorio y ensayos de las herramientas y útiles. Para los primeros se establece un mínimo de tiempo de amortización de 6.67 años y un máximo de 14 años, con lo que se ha escogido un periodo de amortización T=10 al ser el número redondo más próximo al valor medio (10.335). Para los segundos se establece un periodo de amortización mínimo de 3.33 años y un máximo de 8 años, con lo que se ha optado por utilizar un periodo de amortización T=6 años al ser el número redondo más próximo al valor medio (5.665).

Además, hay que tener en cuenta que la moneda utilizada ha sido el euro y que en el resumen final del presupuesto se han utilizado una serie de coeficientes, los cuales aparecen en la Tabla 6.1.

Costes indirectos	3%
Beneficio industrial	6%
Gastos generales	13%
IVA	21%

Tabla 6.1 *Coefficientes utilizados para el resumen final del presupuesto.*

Para finalizar, se puede ver la nomenclatura utilizada en el presupuesto en la Tabla 6.2.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
MG	Material General
MC	Material de Construcción
MV	Material Volumétrico
MO	Mano de Obra
R	Reactivos
PL	Personal de Laboratorio
E	Equipo de laboratorio
EPI	Equipo de Protección Individual
H	horas
U	unidades
L	litros
M	metros
m2	metros cuadrados
Kg	kilogramos

Tabla 6.2 *Nomenclatura utilizada en el presupuesto.*



Aparato diseñado	Pág.: 122
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

Aparato diseñado

01 Estructura de perfiles de aluminio

01.01 Materiales de la estructura de perfiles de aluminio
01.01

Total partida 01.01 1,00 190,39 190,39

Total capítulo 01 190,39



Aparato diseñado	Pág.: 123
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

02 Equipos y elementos de electrohilado

02.01 Equipos y elementos
02.01

Total partida 02.01 1,00 .. 2.352,06 2.352,06

Total capítulo 02 2.352,06



Aparato diseñado	Pág.: 124
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

03 Paredes de la cámara

03.01 Materiales de las paredes de la cámara
03.01

Total partida 03.01 1,00 99,4399,43

Total capítulo 0399,43



Aparato diseñado	Pág.: 125
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

04 Sistema de control de temperaturay humedad

04.01 Sistema de control de temperatura
04.01

Total partida 04.01 1,00 48,27 48,27

04.02 Sistema de control de humedad flujo aire húmedo
04.02

Total partida 04.02 1,00 78,65 78,65

04.03 Sistema de control de humedad flujo aire seco
04.03

Total partida 04.03 1,00 .. 1.716,69 1.716,69

Total capítulo 04 1.843,61



Aparato diseñado	Pág.: 126
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

05 Equipos de protección individual (EPIs)

05.01 EPIs de uso obligatorio
05.01

Total partida 05.01 1,00 62,75 62,75

Total capítulo 05 62,75



Aparato diseñado	Pág.: 127
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

06 Reuniones

06.01 Reuniones de preparación y diseño del Trabajo
06.01

Total partida 06.01 1,00 271,92 271,92

06.02 Reuniones de control y apoyo periódico
06.02

Total partida 06.02 1,00 679,80 679,80

06.03 Correcciones del trabajo
06.03

Total partida 06.03 1,00 135,96 135,96

Total capítulo 06 1.087,68



Aparato diseñado	Pág.: 128
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

07 Empleado

07.01 Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales
07.01

Total partida 07.01 1,00 .. 4.171,50 4.171,50

Total capítulo 07 4.171,50

Total presupuesto 9.807,42



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
--------------	--------	-------------------------------------	--------

01	01	Estructura de perfiles de aluminio	
01.01	01.01	Materiales de la estructura de perfiles de aluminio	190,39
		CIENTO NOVENTA EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS	



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
--------------	--------	-------------------------------------	--------

03

03

Paredes de la cámara

03.01 03.01 Materiales de las paredes de la cámara 99,43

NOVENTA Y NUEVE EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
--------------	--------	-------------------------------------	--------

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
06	06	Reuniones	
06.01	06.01	Reuniones de preparación y diseño del Trabajo DOSCIENTOS SETENTA Y UN EUROS CON NOVENTA Y DOS CÉNTIMOS	271,92
06.02	06.02	Reuniones de control y apoyo periódico SEISCIENTOS SETENTA Y NUEVE EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS	679,80
06.03	06.03	Correcciones del trabajo CIENTO TREINTA Y CINCO EUROS CON NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS	135,96



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
--------------	--------	-------------------------------------	--------

07

07

Empleado

07.01

07.01

Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

4.171,50

CUATRO MIL CIENTO SETENTA Y UN EUROS CON CINCUENTA CÉNTIMOS



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
--------------	--------	-------------------------------------	-------------	--------	---------

01 01 Estructura de perfiles de aluminio

01.01	01.01	Materiales de la estructura de perfiles de aluminio			
	MC.BL	u Bastidor ligero	1,000	114,21	114,21
	MC.PA355	u Perfil de aluminio ligero 45x45 cm de 355 mm de longitud	4,000	2,93	11,72
	MC.PA605	u Perfil de aluminio ligero 45x45 cm de 605 mm de longitud	4,000	4,99	19,96
	MC.AI	u Pack 8 ángulos interiores	1,000	11,83	11,83
	MC.BP	u Bisagra de plástico	4,000	2,05	8,20
	MC.CD	u Cerradura doble	1,000	2,52	2,52
	MC.TOR	u Pack 64 tornillos M5 DIN 7984	1,000	7,80	7,80
	MC.TUER	u Pack 64 tuercas M5	1,000	7,40	7,40
	MC.LLA	u Llave Allen	1,000	1,20	1,20
		Clase: Material			184,84
		Costes directos			184,84
		Costes indirectos			5,55
		Coste Total			190,39



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
--------------	--------	-------------------------------------	-------------	--------	---------

02 02 Equipos y elementos de electrohilado

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
02.01	02.01	Equipos y elementos			
	E.BOMB	u Bomba Syringe-Pump NE-1000	1,000	670,00	670,00
	E.FAV	u Fuente de alta tensión Glassman Series FC modelo 30P4	1,000	1.537,83	1.537,83
	MV.J	u Jeringuilla de 10 ml	2,000	0,52	1,04
	MG.PAC	u Placa de acero inoxidable	1,000	6,50	6,50
	MG.SP	u Soporte elevador	1,000	60,42	60,42
	MG.PAL	m Papel de aluminio industrial	0,100	12,19	1,22
	MG.AGUP	u Aguja de alta precisión de 0,6 mm de diámetro interno	1,000	0,23	0,23
	MG.AGUG	u Aguja de alta precisión de 1,36 mm de diámetro interno	1,000	0,31	0,31
	E.LAD	u Regleta de 4 tomas con interruptor	1,000	6,00	6,00
		Clase: Maquinaria			2.213,83
		Clase: Material			69,72
		Costes directos			2.283,55
		Costes indirectos			68,51
		Coste Total			2.352,06



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
--------------	--------	-------------------------------------	-------------	--------	---------

03 03 Paredes de la cámara

03.01	03.01	Materiales de las paredes de la cámara				
	MC.PE70	u	Placa PE 70x70 cm y 3 mm de espesor	2,000	8,70	17,40
	MC.PE100	u	Placa PE 100x70 cm y 3 mm de espesor	3,000	12,55	37,65
	MC.POPE	u	Portes del envío de las placas de PE	1,000	15,26	15,26
	MC.PET	u	Placa PET-G transparente 60,5x35,5 cm y 3 mm de espesor	2,000	13,11	26,22
			Clase: Material			96,53
			Costes directos			96,53
			Costes indirectos			2,90
			Coste Total			99,43



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
--------------	--------	-------------------------------------	-------------	--------	---------

04 04 Sistema de control de temperaturay humedad

04.01 04.01 Sistema de control de temperatura

MCT.BC	u	Bombilla cerámica 250 W	1,000	22,70	22,70
MCT.CAS	u	Casquillo para la bombilla cerámica	1,000	2,25	2,25
MCT.TER	u	Termostato con sonda y sensor de temperatura modelo MH1210A	1,000	21,00	21,00
MCT.REG	u	Regleta de conexión de dos contactos	1,000	0,20	0,20
MCT.DCAB	u	Doble cable rojo y negro	1,000	0,46	0,46
MCT.CAB	u	Cable azul	1,000	0,25	0,25

Clase: Material	46,86
Costes directos	46,86
Costes indirectos	1,41
Coste Total	48,27

04.02 04.02 Sistema de control de humedad flujo aire húmedo

MCH.HUM	u	Humidificador Super Fog Nano Lucky Reptile	1,000	38,82	38,82
MCH.HIG	u	Higrostatto con sonda y sensor de humedad WH8040	1,000	35,75	35,75
MCH.ENH	u	Enchufe hembra	1,000	1,33	1,33
MCH.DCAB	u	Doble cable rojo y negro	1,000	0,46	0,46

Clase: Material	76,36
Costes directos	76,36
Costes indirectos	2,29
Coste Total	78,65

04.03 04.03 Sistema de control de humedad flujo aire seco

MCH.COMP	u	Compresor Silent-LN-HP4	1,000	1.630,00	1.630,00
MCH.MAN	u	Manguera nylon espiral	2,000	13,50	27,00
MCH.VREG	u	Válvula reguladora de caudal unidireccional RE-04	1,000	9,69	9,69

Clase: Material	1.666,69
Costes directos	1.666,69
Costes indirectos	50,00
Coste Total	1.716,69



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra		Rendimiento	Precio	Importe
06	06	Reuniones				
06.01	06.01	Reuniones de preparación y diseño del Trabajo				
	PL.TT	h	Tutor del trabajo	6,000	22,00	132,00
	PL.CT	h	Cotutor del trabajo	6,000	22,00	132,00
			Clase: Mano de Obra			264,00
			Costes directos			264,00
			Costes indirectos			7,92
			Coste Total			271,92
06.02	06.02	Reuniones de control y apoyo periódico				
	PL.TT	h	Tutor del trabajo	15,000	22,00	330,00
	PL.CT	h	Cotutor del trabajo	15,000	22,00	330,00
			Clase: Mano de Obra			660,00
			Costes directos			660,00
			Costes indirectos			19,80
			Coste Total			679,80
06.03	06.03	Correcciones del trabajo				
	PL.TT	h	Tutor del trabajo	2,000	22,00	44,00
	PL.CT	h	Cotutor del trabajo	4,000	22,00	88,00
			Clase: Mano de Obra			132,00
			Costes directos			132,00
			Costes indirectos			3,96
			Coste Total			135,96



Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
--------------	--------	-------------------------------------	-------------	--------	---------

07 07 Empleado

07.01	07.01	Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales			
	MO.GITI	h Graduado en Ingeniería en Tecnología Industriales	300,000	13,50	4.050,00
		Clase: Mano de Obra			4.050,00
		Costes directos			4.050,00
		Costes indirectos			121,50
		Coste Total			4.171,50



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

Aparato diseñado

01 Estructura de perfiles de aluminio

01.01 Materiales de la estructura de perfiles de aluminio

01.01

MC.BL u Bastidor ligero	1,00	114,21	114,21
MC.PA355 u Perfil de aluminio ligero 45x45 cm de 355 mm de longitud	4,00	2,93	11,72
MC.PA605 u Perfil de aluminio ligero 45x45 cm de 605 mm de longitud	4,00	4,99	19,96
MC.AI u Pack 8 ángulos interiores	1,00	11,83	11,83
MC.BP u Bisagra de plástico	4,00	2,05	8,20
MC.CD u Cerradura doble	1,00	2,52	2,52
MC.TOR u Pack 64 tornillos M5 DIN 7984	1,00	7,80	7,80
MC.TUER u Pack 64 tuercas M5	1,00	7,40	7,40
MC.LLA u Llave Allen	1,00	1,20	1,20

Clase: Material

184,84

Total partida 01.01 1,00 184,84 190,39

Total capítulo 01 190,39



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

02 Equipos y elementos de electrohilado

02.01 Equipos y elementos

02.01

E.BOMB	u Bomba Syringe-Pump NE-1000	1,00				670,00		670,00
E.FAV	u Fuente de alta tensión Glassman Series FC modelo 30P4	1,00				1.537,83		1.537,83
MV.J	u Jeringuilla de 10 ml	2,00				0,52		1,04
MG.PAC	u Placa de acero inoxidable	1,00				6,50		6,50
MG.SP	u Soporte elevador	1,00				60,42		60,42
MG.PAL	m Papel de aluminio industrial	0,10				12,19		1,22
MG.AGUP	u Aguja de alta precisión de 0,6 mm de diámetro interno	1,00				0,23		0,23
MG.AGUG	u Aguja de alta precisión de 1,36 mm de diámetro interno	1,00				0,31		0,31
E.LAD	u Regleta de 4 tomas con interruptor	1,00				6,00		6,00

Clase: Maquinaria 2.213,83
Clase: Material 69,72

Total partida 02.01 1,00 .. 2.283,55 2.352,06

Total capítulo 02 2.352,06



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

03 Paredes de la cámara

03.01 Materiales de las paredes de la cámara

03.01

MC.PE70	u Placa PE 70x70 cm y 3 mm de espesor	2,00						8,70	17,40
MC.PE100	u Placa PE 100x70 cm y 3 mm de espesor	3,00						12,55	37,65
MC.POPE	u Portes del envío de las placas de PE	1,00						15,26	15,26
MC.PET	u Placa PET-G transparente 60,5x35,5 cm y 3 mm de espesor	2,00						13,11	26,22

Clase: Material

96,53

Total partida 03.01 1,00 96,53 99,43

Total capítulo 03 99,43



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

04 Sistema de control de temperaturay humedad

04.01 Sistema de control de temperatura

04.01

MCT.BC	u Bombilla cerámica 250 W	1,00				22,70		22,70	
MCT.CAS	u Casquillo para la bombilla cerámica	1,00				2,25		2,25	
MCT.TER	u Termostato con sonda y sensor de temperatura modelo MH1210A	1,00				21,00		21,00	
MCT.REG	u Regleta de conexión de dos contactos	1,00				0,20		0,20	
MCT.DCAB	u Doble cable rojo y negro	1,00				0,46		0,46	
MCT.CAB	u Cable azul	1,00				0,25		0,25	

Clase: Material 46,86

Total partida 04.01 1,00 46,86 48,27

04.02 Sistema de control de humedad flujo aire húmedo

04.02

MCH.HUM	u Humidificador Super Fog Nano Lucky Reptile	1,00				38,82		38,82	
MCH.HIG	u Higrostatto con sonda y sensor de humedad WH8040	1,00				35,75		35,75	
MCH.ENH	u Enchufe hembra	1,00				1,33		1,33	
MCH.DCAB	u Doble cable rojo y negro	1,00				0,46		0,46	

Clase: Material 76,36

Total partida 04.02 1,00 76,36 78,65

04.03 Sistema de control de humedad flujo aire seco

04.03

MCH.COMP	u Compresor Silent-LN-HP4	1,00				1.630,00		1.630,00	
MCH.MAN	u Manguera nylon espiral	2,00				13,50		27,00	
MCH.VREG	u Válvula reguladora de caudal unidireccional RE-04	1,00				9,69		9,69	

Clase: Material 1.666,69

Total partida 04.03 1,00 .. 1.666,69 1.716,69

Total capítulo 04 1.843,61



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

05 Equipos de protección individual (EPIs)

05.01 EPIs de uso obligatorio

05.01

EPI.MG u	Máscara de gases tipo V					1,00		29,50	29,50
EPI.GP u	Gafas de protección					1,00		5,11	5,11
EPI.BL u	Bata de laboratorio					1,00		14,95	14,95
EPI.GL u	Guantes de látex					2,00		5,68	11,36

Clase: Material 60,92

Total partida 05.01 1,00 60,92 62,75

Total capítulo 05 62,75



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

06 Reuniones

06.01 Reuniones de preparación y diseño del Trabajo

06.01

PL.TT	h	Tutor del trabajo					6,00	22,00	132,00
PL.CT	h	Cotutor del trabajo					6,00	22,00	132,00

Clase: Mano de Obra 264,00

Total partida 06.01 1,00 264,00 271,92

06.02 Reuniones de control y apoyo periódico

06.02

PL.TT	h	Tutor del trabajo					15,00	22,00	330,00
PL.CT	h	Cotutor del trabajo					15,00	22,00	330,00

Clase: Mano de Obra 660,00

Total partida 06.02 1,00 660,00 679,80

06.03 Correcciones del trabajo

06.03

PL.TT	h	Tutor del trabajo					2,00	22,00	44,00
PL.CT	h	Cotutor del trabajo					4,00	22,00	88,00

Clase: Mano de Obra 132,00

Total partida 06.03 1,00 132,00 135,96

Total capítulo 06 1.087,68



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

07 Empleado

07.01 Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

07.01

MO.GITI h Graduado en Ingeniería en Tecnología Industriales

300,00

13,50

4.050,00

Clase: Mano de Obra

4.050,00

Total partida 07.01 1,00 .. 4.050,00 4.171,50

Total capítulo 07 4.171,50

Total presupuesto 9.807,42



N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

Aparato diseñado

01 Estructura de perfiles de aluminio

01.01 01.01	Materiales de la estructura de perfiles de aluminio	1,00	190,39 €	190,39 €
----------------	---	------	----------	----------

Total Capítulo 01 190,39 €



N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

02 Equipos y elementos de electrohilado

02.01	Equipos y elementos	1,00	2.352,06 €	2.352,06 €
02.01				

Total Capítulo 02

2.352,06 €



N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

03 Paredes de la cámara

03.01	Materiales de las paredes de la cámara	1,00	99,43 €	99,43 €
03.01				

Total Capítulo 03 99,43 €



N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

04 Sistema de control de temperaturay humedad

04.01 04.01	Sistema de control de temperatura	1,00	48,27 €	48,27 €
04.02 04.02	Sistema de control de humedad flujo aire húmedo	1,00	78,65 €	78,65 €
04.03 04.03	Sistema de control de humedad flujo aire seco	1,00	1.716,69 €	1.716,69 €

Total Capítulo 04

1.843,61 €



N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

05 Equipos de protección individual (EPIs)

05.01	EPIs de uso obligatorio	1,00	62,75 €	62,75 €
05.01				

Total Capítulo 05 62,75 €



N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

06 Reuniones

06.01 06.01	Reuniones de preparación y diseño del Trabajo	1,00	271,92 €	271,92 €
06.02 06.02	Reuniones de control y apoyo periódico	1,00	679,80 €	679,80 €
06.03 06.03	Correcciones del trabajo	1,00	135,96 €	135,96 €

Total Capítulo 06

1.087,68 €



N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
-----------	-------------------------------------	----------	--------	---------

07 Empleado

07.01	Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	1,00	4.171,50 €	4.171,50 €
07.01				

Total Capítulo 07 4.171,50 €

Total Presupuesto 9.807,42 €



Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
01	01	Estructura de perfiles de aluminio	190,39
02	02	Equipos y elementos de electrohilado	2.352,06
03	03	Paredes de la cámara	99,43
04	04	Sistema de control de temperaturay humedad	1.843,61
05	05	Equipos de protección individual (EPIs)	62,75
06	06	Reuniones	1.087,68
07	07	Empleado	4.171,50
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL			9.807,42
13 % Gastos Generales.....			1.274,96
6 % Beneficio Industrial			588,45
TOTAL EJECUCIÓN POR CONTRATA.....			11.670,83
21 % I.V.A.....			2.450,87
TOTAL PRESUPUESTO C/IVA			14.121,70

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresada cantidad de:
CATORCE MIL CIENTO VEINTIUN EUROS CON SETENTA CÉNTIMOS

4 de Septiembre de 2015

PRUEBA DE CONCEPTO

INDICE

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

CUADRO DE PRECIOS Nº 1

CUADRO DE PRECIOS Nº 2

MEDICIONES Y PRESUPUESTO CON DESCOMPOSICIONES

PRESUPUESTO

RESUMEN DE CAPÍTULOS



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

Prueba de concepto

01 Estructura de perfiles de aluminio

01.01 Materiales estructura de perfiles de aluminio
01.01

Total partida 01.01 1,00 ... 190,39 190,39

Total capítulo 01 190,39



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

02 Equipos y elementos de electrohilado

02.01 Equipos y elementos

02.01

Total partida 02.01 1,00 2.352,06 2.352,06

Total capítulo 02 2.352,06



Prueba de concepto	Pág.: 161
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

03 Paredes de la cámara

03.01 Materiales de las paredes de la cámara

03.01

Total partida 03.01 1,00 25,75 25,75

Total capítulo 03 25,75



Prueba de concepto	Pág.: 162
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

04 Equipos de protección individual (EPIs)

04.01 EPIs de uso obligatorio
04.01

Total partida 04.01	.....	1,00	.....	62,75	.....	62,75
Total capítulo 04	.....		.....	62,75	.....	62,75



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

05 Pruebas de electrohilado

05.01 Disolución polimérica
05.01

Total partida 05.01 1,00 10,30 10,30

05.02 Limpieza de material
05.02

Total partida 05.02 1,00 5,15 5,15

Total capítulo 05 15,45



Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

06 Caracterización al microscopio electrónico de barrido de las muestras

06.01 Preparación de las muestras y toma de imágenes
06.01

Total partida 06.01	1,00	.....	40,17	.....	40,17
Total capítulo 06			40,17		
Total presupuesto					2.686,57



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Prueba de concepto	Pág.: 165	Pág.: 1
CUADRO DE PRECIOS Nº 1	Ref.: CBIT	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:03/092015

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
--------------	--------	-------------------------------------	--------

01 01 Estructura de perfiles de aluminio

01.01 01.01 Materiales estructura de perfiles de aluminio 190,39

CIENTO NOVENTA EUROS CON TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Prueba de concepto	Pág.: 167	Pág.: 1
CUADRO DE PRECIOS Nº 1	Ref.: CBIT	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:03/092015

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
--------------	--------	-------------------------------------	--------

03

03

Paredes de la cámara

03.01

03.01

Materiales de las paredes de la cámara

25,75

VEINTICINCO EUROS CON SETENTA Y CINCO CÉNTIMOS



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Prueba de concepto	Pág.: 170	Pág.: 1
CUADRO DE PRECIOS Nº 1	Ref.: CBIT	Ref.: CBIT
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:03/092015

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
--------------	--------	-------------------------------------	--------

06 06 Caracterización al microscopio electrónico de barrido de las muestras

06.01	06.01	Preparación de las muestras y toma de imágenes	40,17
		CUARENTA EUROS CON DIECISIETE CÉNTIMOS	

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
--------------	--------	-------------------------------------	-------------	--------	---------

02 02 Equipos y elementos de electrohilado

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
02.01	02.01	Equipos y elementos			
	E.BOMB	u Bomba Syringe-Pump NE-1000	1,000	670,00	670,00
	E.FAV	u Fuente de alta tensión Glassman Series FC modelo 30P4	1,000	1.537,83	1.537,83
	MV.J	u Jeringuilla de 10 ml	2,000	0,52	1,04
	MG.PAC	u Placa de acero inoxidable	1,000	6,50	6,50
	MG.SP	u Soporte elevador	1,000	60,42	60,42
	MG.PAL	m Papel de aluminio industrial	0,100	12,19	1,22
	MG.AGUP	u Aguja de alta precisión de 0,6 mm de diámetro interno	1,000	0,23	0,23
	MG.AGUG	u Aguja de alta precisión de 1,36 mm de diámetro interno	1,000	0,31	0,31
	E.LAD	u Regleta de 4 tomas con interruptor	1,000	6,00	6,00
		Clase: Maquinaria			2.213,83
		Clase: Material			69,72
		Costes directos			2.283,55
		Costes indirectos			68,51
		Coste Total			2.352,06



Prueba de concepto	Pág.: 173	Pág.: 1
CUADRO DE PRECIOS Nº 2	Ref.: CBIT	Ref.: procdp2a
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
--------------	--------	-------------------------------------	-------------	--------	---------

03 03 Paredes de la cámara

03.01 03.01 Materiales de las paredes de la cámara

MC.PVC	u	Placa PVC espumado Forex 70x70 cm y 3 mm de espesor	1,000	20,00	20,00
MC.PP	u	Plástico de pintor	1,000	5,00	5,00

Clase: Material	25,00
Costes directos	25,00
Costes indirectos	0,75
Coste Total	25,75

Prueba de concepto	Pág.: 174	Pág.: 1
CUADRO DE PRECIOS Nº 2	Ref.: CBIT	Ref.: procdp2a
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
--------------	--------	-------------------------------------	-------------	--------	---------

04 04 Equipos de protección individual (EPIs)

04.01	04.01	EPIs de uso obligatorio			
	EPI.MG	u Máscara de gases tipo V	1,000	29,50	29,50
	EPI.GP	u Gafas de protección	1,000	5,11	5,11
	EPI.BL	u Bata de laboratorio	1,000	14,95	14,95
	EPI.GL	u Guantes de látex	2,000	5,68	11,36
		Clase: Material			60,92
		Costes directos			60,92
		Costes indirectos			1,83
		Coste Total			62,75



Prueba de concepto	Pág.: 175	Pág.: 1
CUADRO DE PRECIOS Nº 2	Ref.: CBIT	Ref.: procdp2a
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
05	05	Pruebas de electrohilado			
05.01	05.01	Disolución polimérica			
	MD.PDMF	u Disolución de P(MA-co-MMA) al 12% de DMF	1,000	10,00	10,00
		Clase: Material			10,00
		Costes directos			10,00
		Costes indirectos			0,30
		Coste Total			10,30
05.02	05.02	Limpieza de material			
	MLIM.LAV	u Lavado de los materiales utilizados	1,000	5,00	5,00
		Clase: Material			5,00
		Costes directos			5,00
		Costes indirectos			0,15
		Coste Total			5,15



Prueba de concepto	Pág.: 176	Pág.: 1
CUADRO DE PRECIOS Nº 2	Ref.: CBIT	Ref.: procdp2a
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
--------------	--------	-------------------------------------	-------------	--------	---------

**06 06 Caracterización al microscopio electrónico de
barrido de las muestras**

06.01 06.01 Preparación de las muestras y toma de imágenes

E.MEB h Servicio de microscopía electrónica de barrido de la UPV 3,000 13,00 39,00

Clase: Maquinaria 39,00
Costes directos 39,00
Costes indirectos 1,17
Coste Total 40,17



Prueba de concepto	Pág.: 177	Pág.: 1
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT	Ref.: promyp2
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

Prueba de concepto

01 Estructura de perfiles de aluminio

01.01 Materiales estructura de perfiles de aluminio

01.01

MC.BL u Bastidor ligero	1,00	114,21	114,21
MC.PA355 u Perfil de aluminio ligero 45x45 cm de 355 mm de longitud	4,00	2,93	11,72
MC.PA605 u Perfil de aluminio ligero 45x45 cm de 605 mm de longitud	4,00	4,99	19,96
MC.AI u Pack 8 ángulos interiores	1,00	11,83	11,83
MC.BP u Bisagra de plástico	4,00	2,05	8,20
MC.CD u Cerradura doble	1,00	2,52	2,52
MC.TOR u Pack 64 tornillos M5 DIN 7984	1,00	7,80	7,80
MC.TUER u Pack 64 tuercas M5	1,00	7,40	7,40
MC.LLA u Llave Allen	1,00	1,20	1,20

Clase: Material 184,84

Total partida 01.01 1,00 ... 184,84 190,39

Total capítulo 01 190,39



Prueba de concepto	Pág.: 178	Pág.: 1
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT	Ref.: promyp2
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

02 Equipos y elementos de electrohilado

02.01 Equipos y elementos

02.01

E.BOMB u	Bomba Syringe-Pump NE-1000					1,00		670,00	670,00
E.FAV u	Fuente de alta tensión Glassman Series FC modelo 30P4					1,00		1.537,83	1.537,83
MV.J u	Jeringuilla de 10 ml					2,00		0,52	1,04
MG.PAC u	Placa de acero inoxidable					1,00		6,50	6,50
MG.SP u	Soporte elevador					1,00		60,42	60,42
MG.PAL m	Papel de aluminio industrial					0,10		12,19	1,22
MG.AGUP u	Aguja de alta precisión de 0,6 mm de diámetro interno					1,00		0,23	0,23
MG.AGUG u	Aguja de alta precisión de 1,36 mm de diámetro interno					1,00		0,31	0,31
E.LAD u	Regleta de 4 tomas con interruptor					1,00		6,00	6,00

Clase: Maquinaria 2.213,83
Clase: Material 69,72

Total partida 02.01 1,00 2.283,55 2.352,06

Total capítulo 02 2.352,06



Prueba de concepto	Pág.: 179	Pág.: 1
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT	Ref.: promyp2
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

03 Paredes de la cámara

03.01 Materiales de las paredes de la cámara

03.01

MC.PVC u Placa PVC espumado Forex 70x70 cm y 3 mm de espesor	1,00	20,00	20,00
MC.PP u Plástico de pintor	1,00	5,00	5,00

Clase: Material 25,00

Total partida 03.01 1,00 25,00 25,75

Total capítulo 03 25,75



Prueba de concepto	Pág.: 180	Pág.: 1
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT	Ref.: promyp2
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

04 Equipos de protección individual (EPIs)

04.01 EPIs de uso obligatorio

04.01

EPI.MG	u	Máscara de gases tipo V				1,00		29,50	29,50
EPI.GP	u	Gafas de protección				1,00		5,11	5,11
EPI.BL	u	Bata de laboratorio				1,00		14,95	14,95
EPI.GL	u	Guantes de látex				2,00		5,68	11,36

Clase: Material 60,92

Total partida 04.01 1,00 60,92 62,75

Total capítulo 04 62,75



Prueba de concepto	Pág.: 181	Pág.: 1
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT	Ref.: promyp2
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

05 Pruebas de electrohilado

05.01 Disolución polimérica

05.01

MD.PDMF u Disolución de P(MA-co-MMA) al 12% de DMF

1,00 10,00 10,00

Clase: Material 10,00

Total partida 05.01 1,00 10,00 10,30

05.02 Limpieza de material

05.02

MLIM.LAV u Lavado de los materiales utilizados

1,00 5,00 5,00

Clase: Material 5,00

Total partida 05.02 1,00 5,00 5,15

Total capítulo 05 15,45



Prueba de concepto	Pág.: 182	Pág.: 1
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	Ref.: CBIT	Ref.: promyp2
Estructura de perfiles de aluminio	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Orden	Descripción de las unidades de obra	Uds.	Longitud	Latitud	Altura	Subtotal	Medición	Precio	Importe
----------	-------------------------------------	------	----------	---------	--------	----------	----------	--------	---------

06 Caracterización al microscopio electrónico de barrido de las muestras

06.01 Preparación de las muestras y toma de imágenes

06.01

E.MEB h Servicio de microscopía electrónica de barrido de la UPV 3,00 13,00 39,00

Clase: Maquinaria 39,00

Total partida 06.01 1,00 39,00 40,17

Total capítulo 06 40,17

Total presupuesto 2.686,57



Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
----------	--------	------------------------------	---------

Prueba de concepto

01 Estructura de perfiles de aluminio

01.01		Materiales estructura de perfiles de aluminio	1,00	190,39 €	190,39 €
01.01					

Total Capítulo 01 190,39 €



Prueba de concepto	Pág.: 184	Pág.: 1
RESUMEN DE CAPÍTULOS	Ref.: CBIT	Ref.: proes1
	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
----------	--------	------------------------------	---------

02 Equipos y elementos de electrohilado

02.01	Equipos y elementos	1,00	2.352,06 €	2.352,06 €
02.01				

Total Capítulo 02 2.352,06 €



Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
----------	--------	------------------------------	---------

03 Paredes de la cámara

03.01		Materiales de las paredes de la cámara	1,00	25,75 €	25,75 €
03.01					

Total Capítulo 03 25,75 €



Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
----------	--------	------------------------------	---------

04 Equipos de protección individual (EPIs)

04.01	EPIs de uso obligatorio	1,00	62,75 €	62,75 €
04.01				

Total Capítulo 04 62,75 €



Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
----------	--------	------------------------------	---------

05 Pruebas de electrohilado

05.01	Disolución polimérica	1,00	10,30 €	10,30 €
05.01				

05.02	Limpieza de material	1,00	5,15 €	5,15 €
05.02				

Total Capítulo 05 15,45 €

Prueba de concepto	Pág.: 189	Pág.: 1
RESUMEN DE CAPÍTULOS	Ref.: CBIT	Ref.: proes1
	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
01	01	Estructura de perfiles de aluminio	190,39
02	02	Equipos y elementos de electrohilado	2.352,06
03	03	Paredes de la cámara	25,75
04	04	Equipos de protección individual (EPIs)	62,75
05	05	Pruebas de electrohilado	15,45
06	06	Caracterización al microscopio electrónico de barrido de las muestras	40,17
TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL			2.686,57
13 % Gastos Generales			349,25
6 % Beneficio Industrial.....			161,19
TOTAL EJECUCIÓN POR CONTRATA.....			3.197,01
21 % I.V.A.....			671,37
TOTAL PRESUPUESTO C/IVA.....			3.868,38

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresada cantidad de:
TRES MIL OCHOCIENTOS SESENTA Y OCHO EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS

4 de Septiembre de 2015

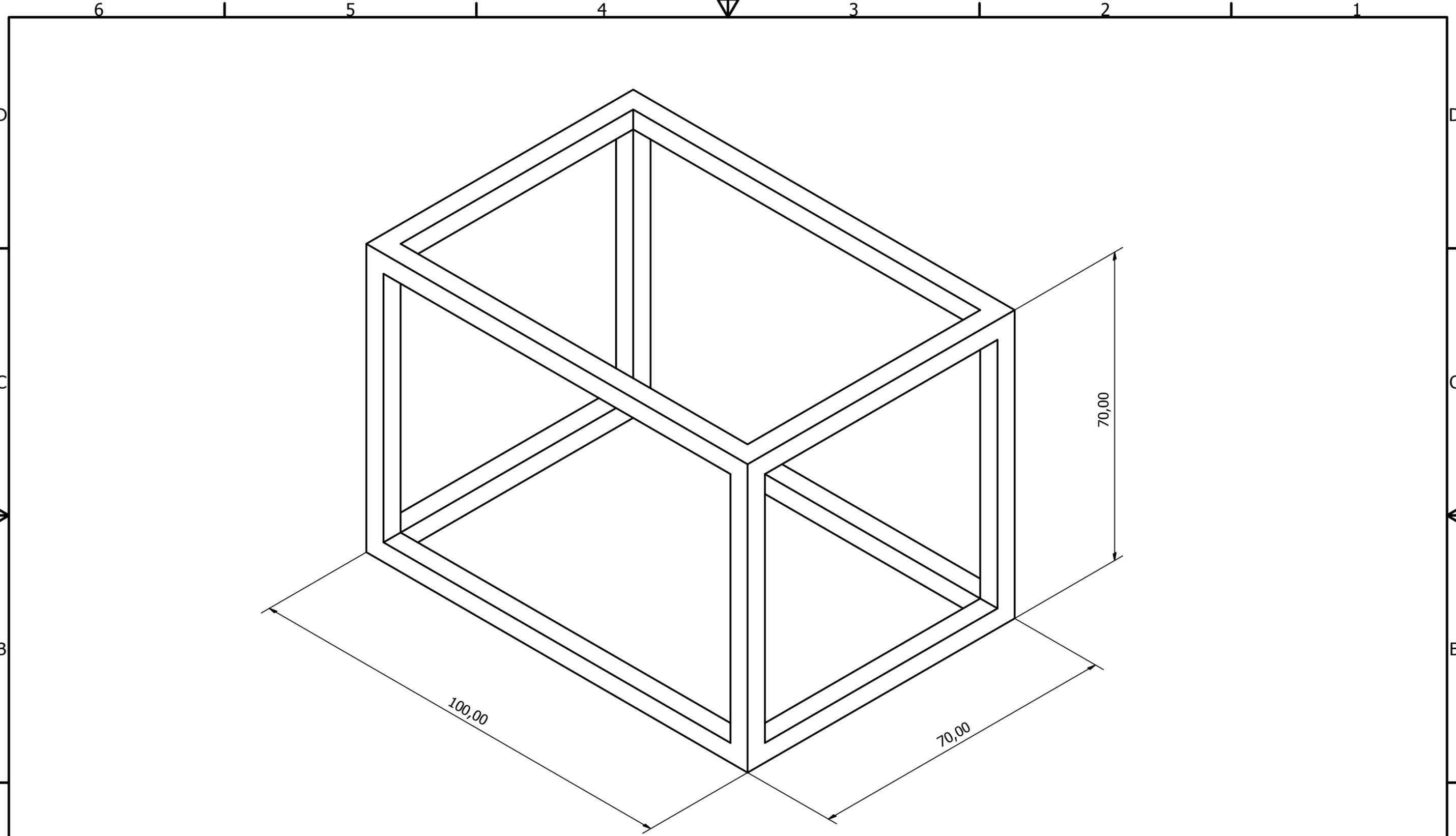


UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

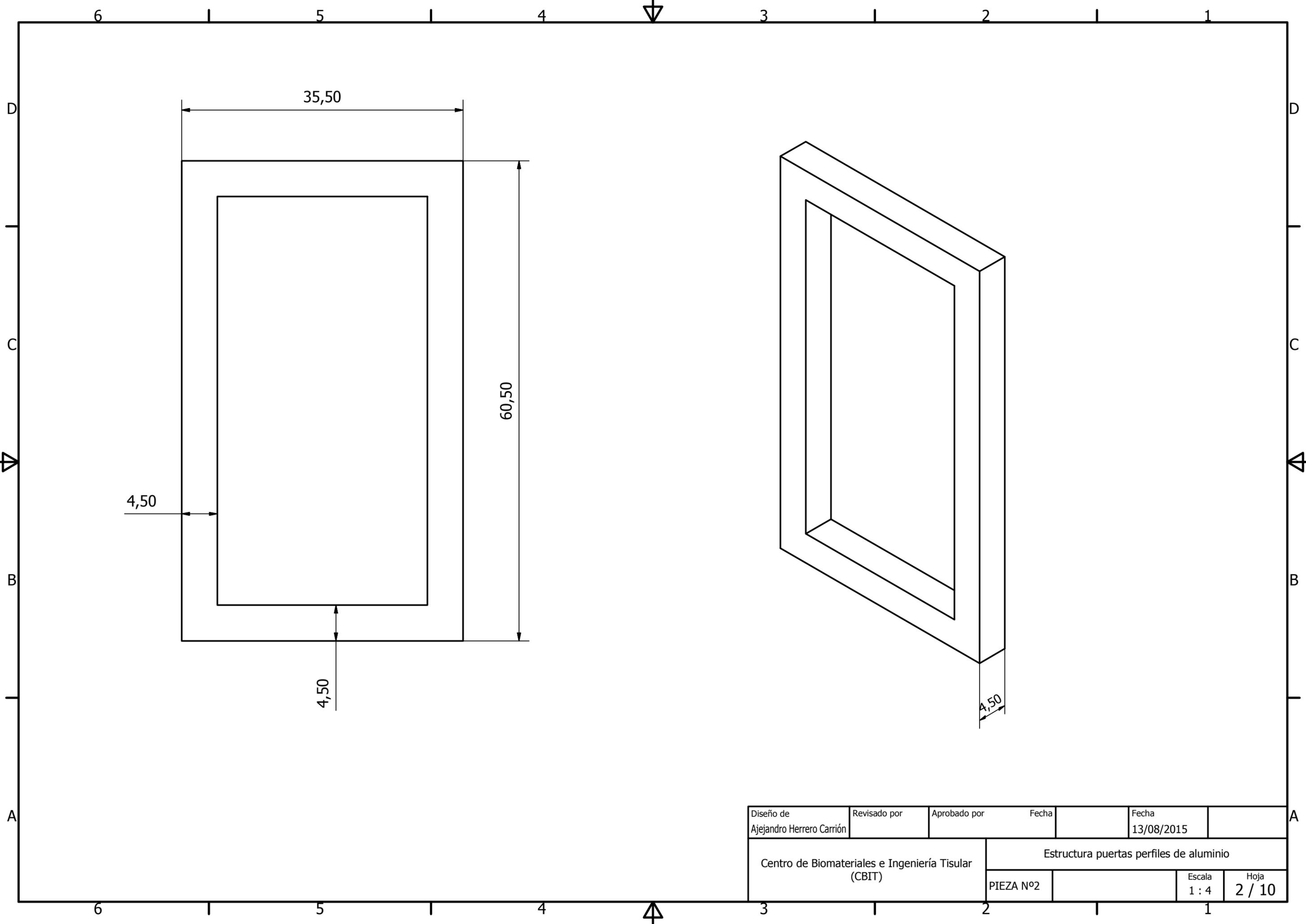
Prueba de concepto	Pág.: 190	Pág.: 1
RESUMEN DE CAPÍTULOS	Ref.: CBIT	Ref.: prores1
	Fec.: 04/09/2015	Fec.:

Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
----------	--------	------------------------------	---------

III. PLANOS



Diseño de Ajejandro Herrero Carrión	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 13/08/2015
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)		Estructura bastidor perfiles de aluminio		
PIEZA Nº1		Escala 0,15 : 1	Hoja 1 / 10	



Diseño de Ajejandro Herrero Carrión	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 13/08/2015
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)		Estructura puertas perfiles de aluminio		
PIEZA Nº2		Escala 1 : 4	Hoja 2 / 10	

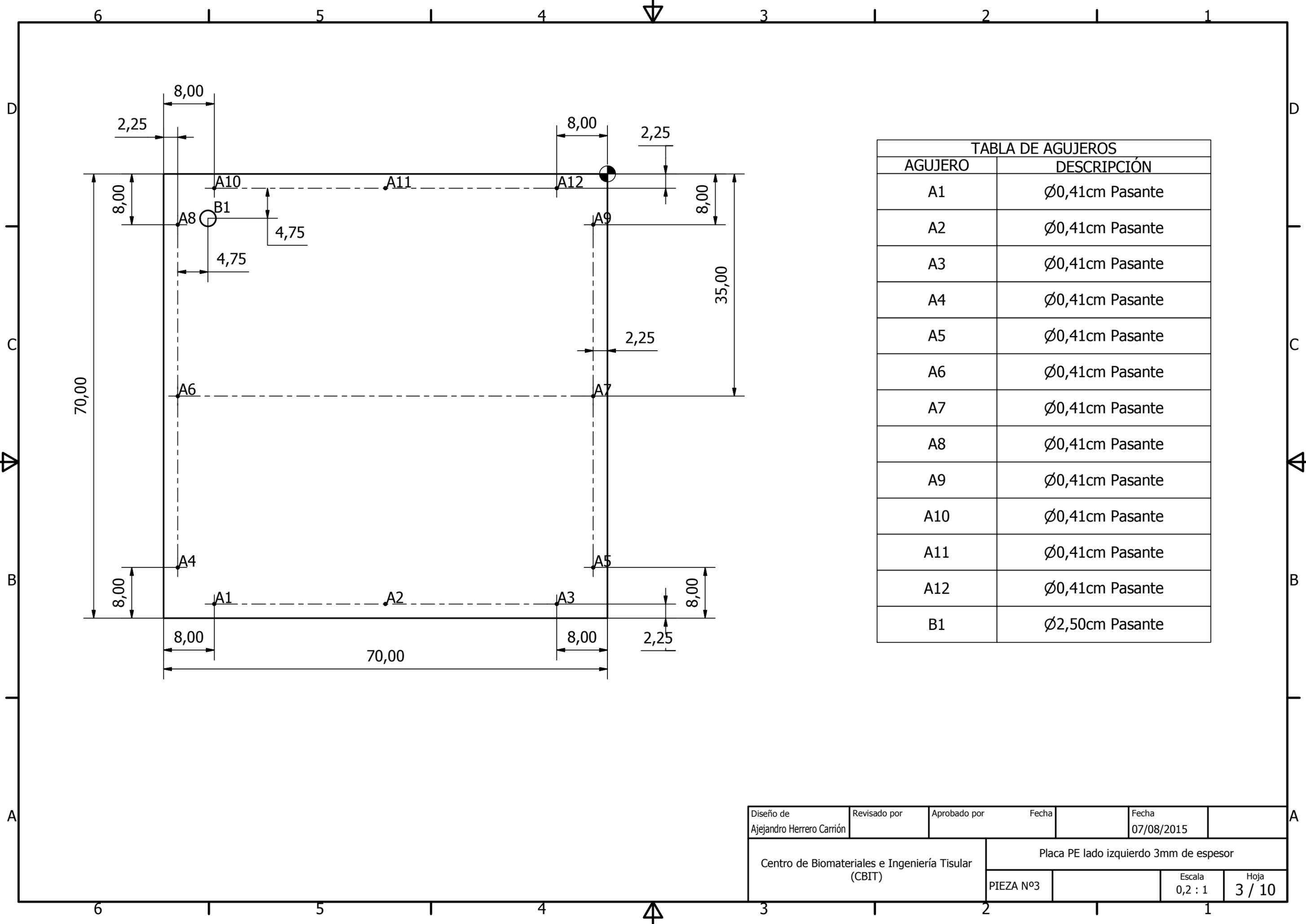


TABLA DE AGUJEROS	
AGUJERO	DESCRIPCIÓN
A1	Ø0,41cm Pasante
A2	Ø0,41cm Pasante
A3	Ø0,41cm Pasante
A4	Ø0,41cm Pasante
A5	Ø0,41cm Pasante
A6	Ø0,41cm Pasante
A7	Ø0,41cm Pasante
A8	Ø0,41cm Pasante
A9	Ø0,41cm Pasante
A10	Ø0,41cm Pasante
A11	Ø0,41cm Pasante
A12	Ø0,41cm Pasante
B1	Ø2,50cm Pasante

Diseño de Ajejandro Herrero Carrión	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 07/08/2015
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)		Placa PE lado izquierdo 3mm de espesor		
		PIEZA Nº3	Escala 0,2 : 1	Hoja 3 / 10

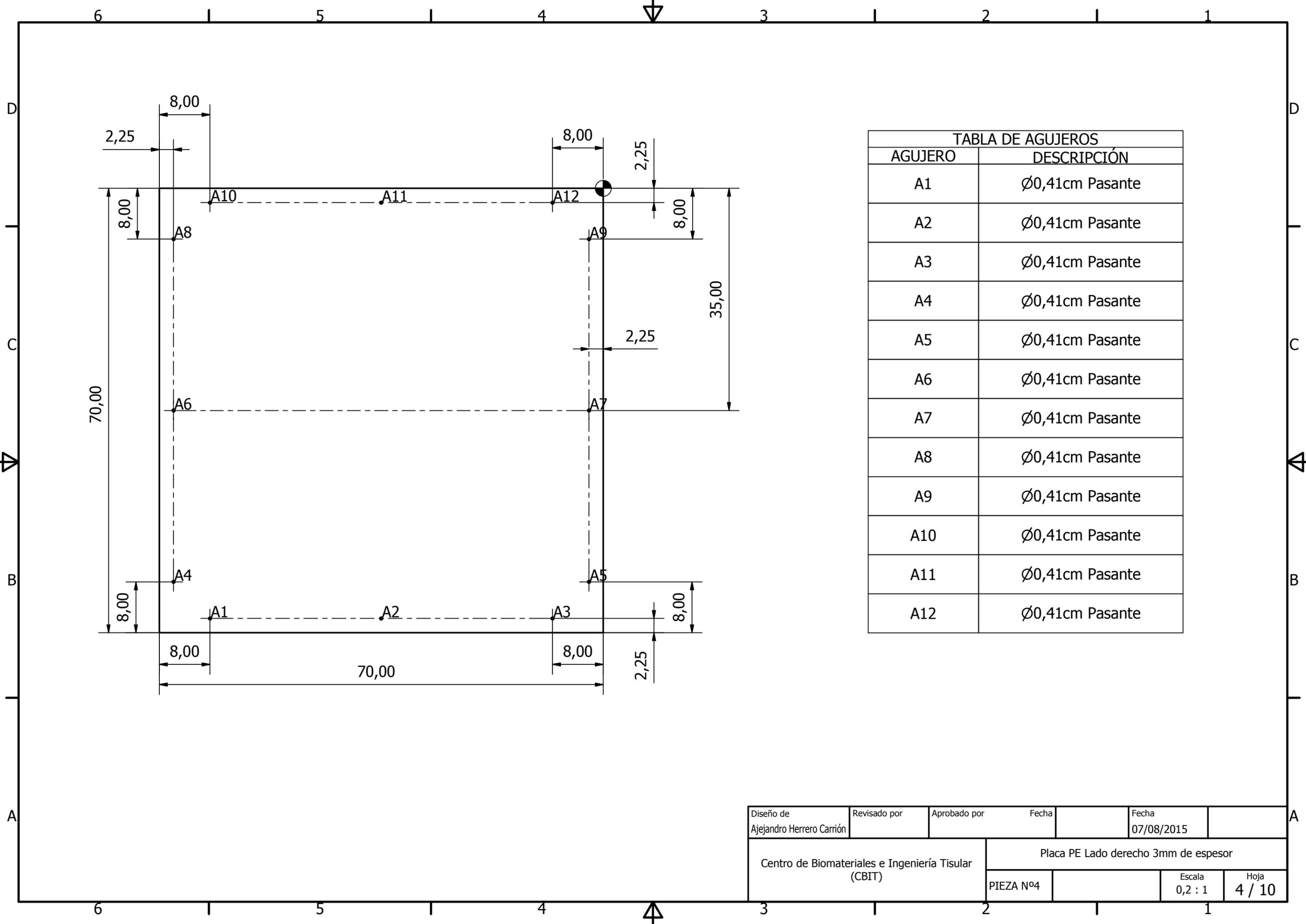


TABLA DE AGUJEROS	
AGUJERO	DESCRIPCIÓN
A1	Ø0,41cm Pasante
A2	Ø0,41cm Pasante
A3	Ø0,41cm Pasante
A4	Ø0,41cm Pasante
A5	Ø0,41cm Pasante
A6	Ø0,41cm Pasante
A7	Ø0,41cm Pasante
A8	Ø0,41cm Pasante
A9	Ø0,41cm Pasante
A10	Ø0,41cm Pasante
A11	Ø0,41cm Pasante
A12	Ø0,41cm Pasante

Diseño de Ajejandro Herrero Carrión	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 07/08/2015
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)		Placa PE Lado derecho 3mm de espesor		
PIEZA Nº4		Escala 0,2 : 1	Hoja 4 / 10	

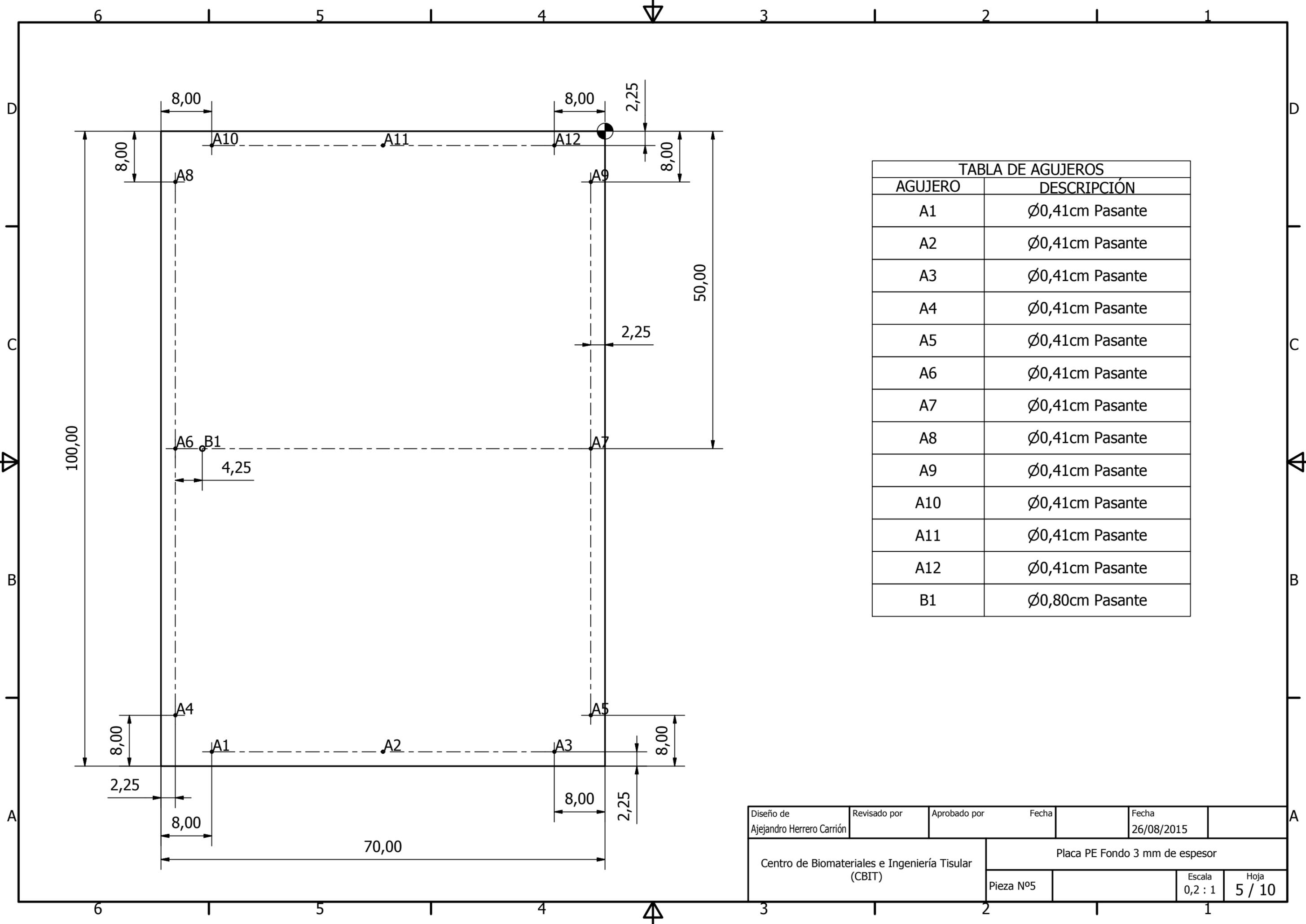


TABLA DE AGUJEROS	
AGUJERO	DESCRIPCIÓN
A1	Ø0,41cm Pasante
A2	Ø0,41cm Pasante
A3	Ø0,41cm Pasante
A4	Ø0,41cm Pasante
A5	Ø0,41cm Pasante
A6	Ø0,41cm Pasante
A7	Ø0,41cm Pasante
A8	Ø0,41cm Pasante
A9	Ø0,41cm Pasante
A10	Ø0,41cm Pasante
A11	Ø0,41cm Pasante
A12	Ø0,41cm Pasante
B1	Ø0,80cm Pasante

Diseño de Ajejandro Herrero Carrión	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 26/08/2015
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)		Placa PE Fondo 3 mm de espesor		
Pieza Nº5		Escala 0,2 : 1	Hoja 5 / 10	

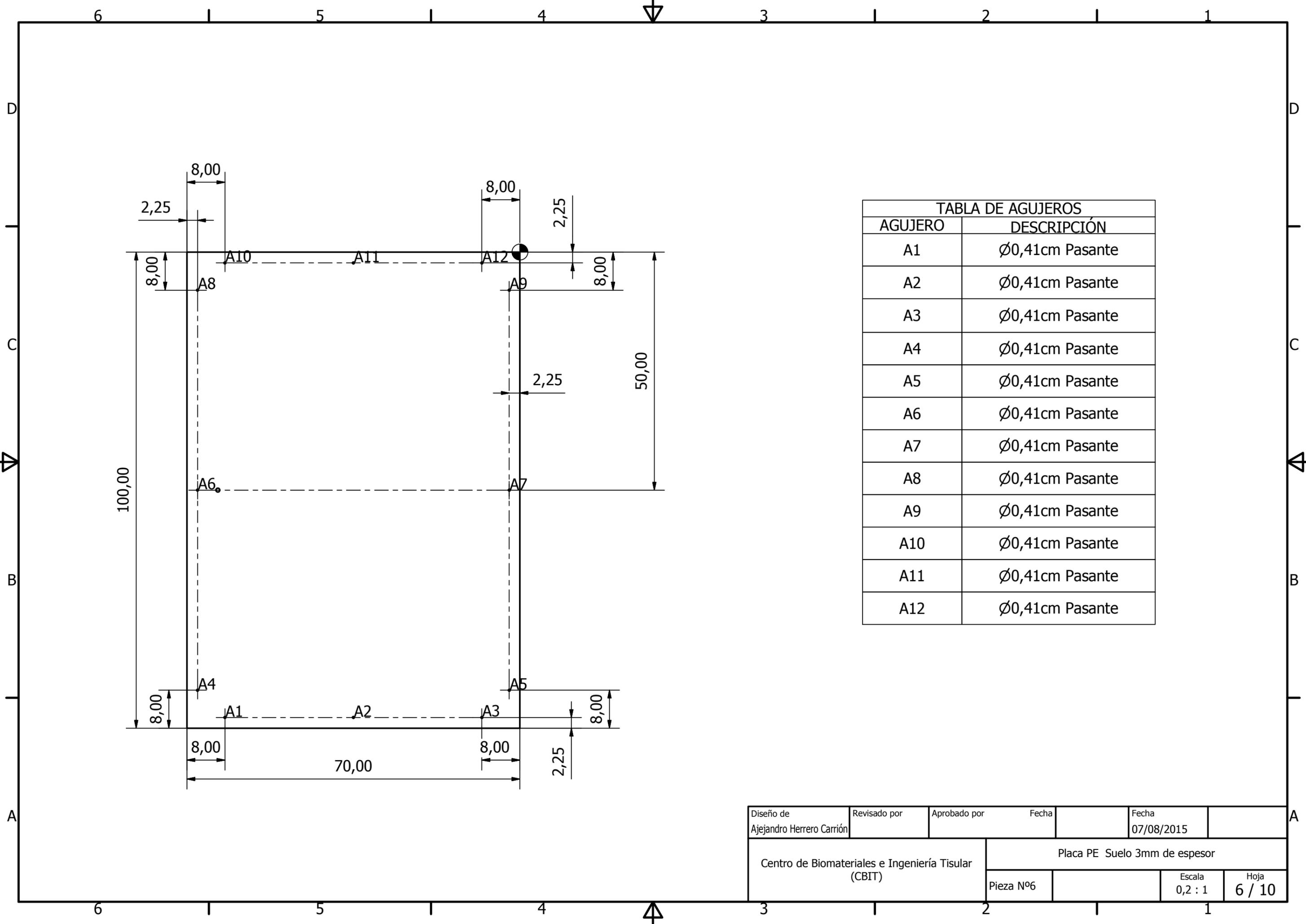


TABLA DE AGUJEROS	
AGUJERO	DESCRIPCIÓN
A1	∅0,41cm Pasante
A2	∅0,41cm Pasante
A3	∅0,41cm Pasante
A4	∅0,41cm Pasante
A5	∅0,41cm Pasante
A6	∅0,41cm Pasante
A7	∅0,41cm Pasante
A8	∅0,41cm Pasante
A9	∅0,41cm Pasante
A10	∅0,41cm Pasante
A11	∅0,41cm Pasante
A12	∅0,41cm Pasante

Diseño de Ajejandro Herrero Carrión	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 07/08/2015
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)		Placa PE Suelo 3mm de espesor		
		Pieza N°6	Escala 0,2 : 1	Hoja 6 / 10

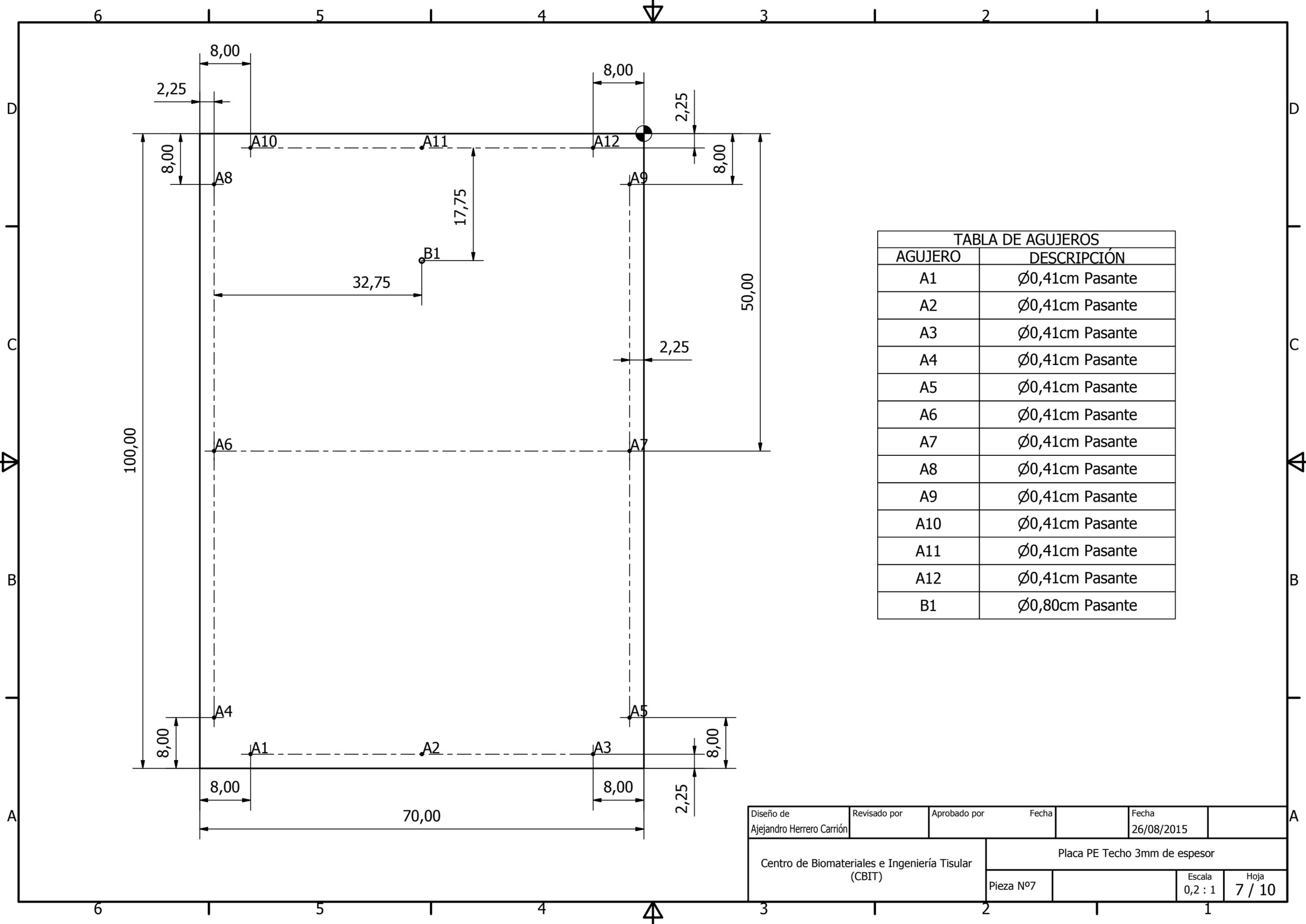


TABLA DE AGUJEROS

AGUJERO	DESCRIPCIÓN
A1	∅0,41cm Pasante
A2	∅0,41cm Pasante
A3	∅0,41cm Pasante
A4	∅0,41cm Pasante
A5	∅0,41cm Pasante
A6	∅0,41cm Pasante
A7	∅0,41cm Pasante
A8	∅0,41cm Pasante
A9	∅0,41cm Pasante
A10	∅0,41cm Pasante
A11	∅0,41cm Pasante
A12	∅0,41cm Pasante
B1	∅0,80cm Pasante

Diseño de Ajejandro Herrero Carrión	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 26/08/2015
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)		Placa PE Techo 3mm de espesor		
		Pieza N°7	Escala 0,2 : 1	Hoja 7 / 10

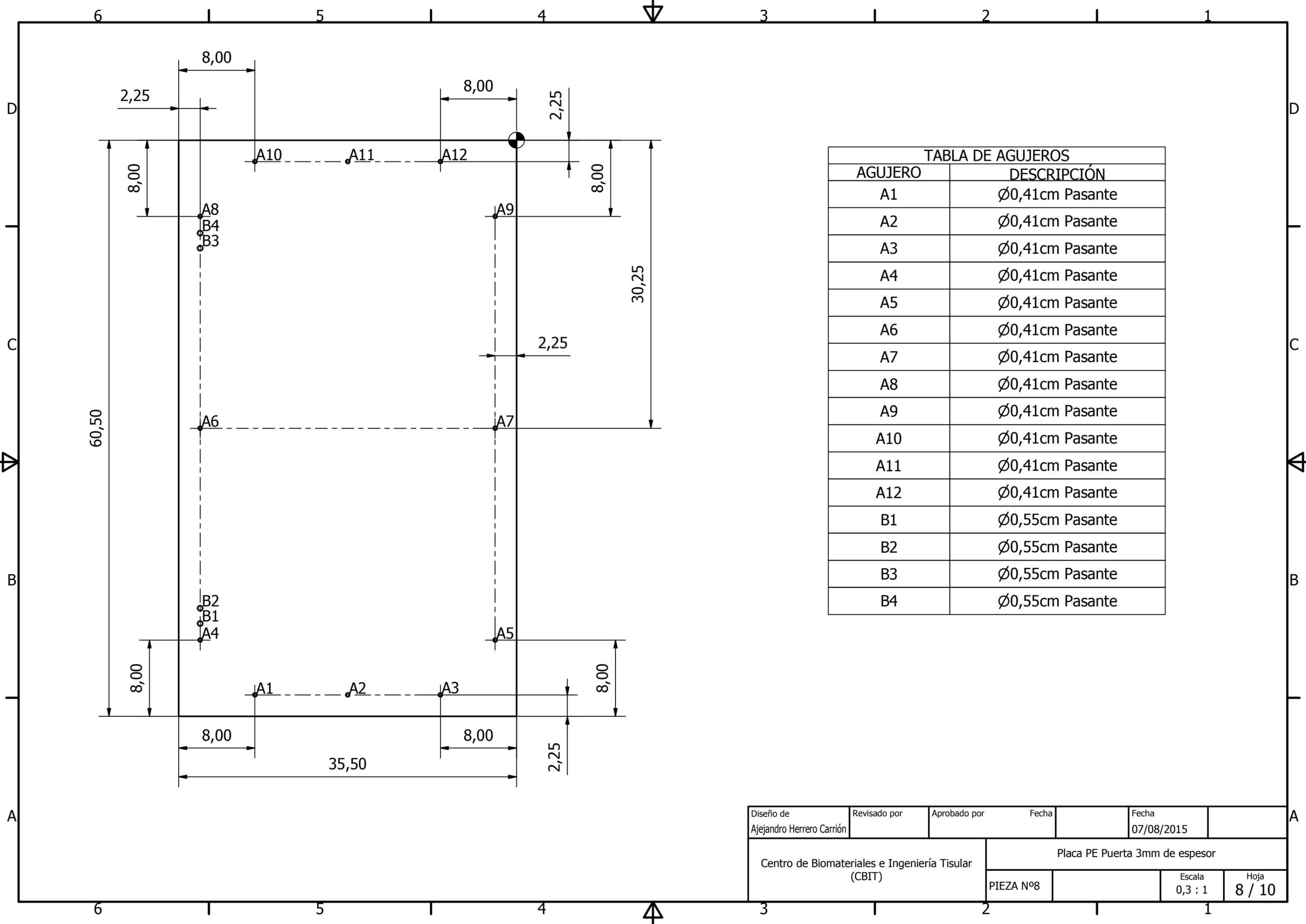
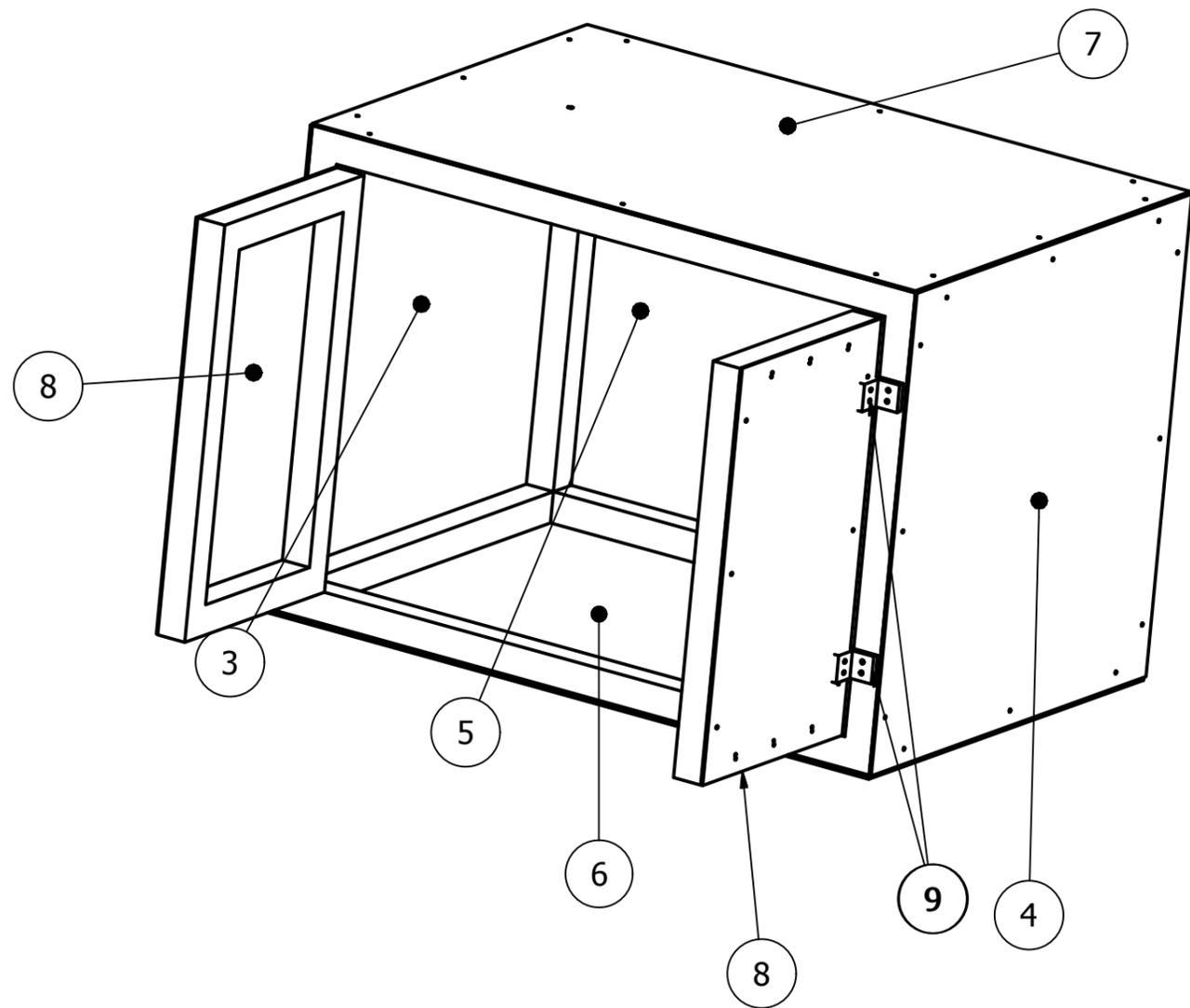
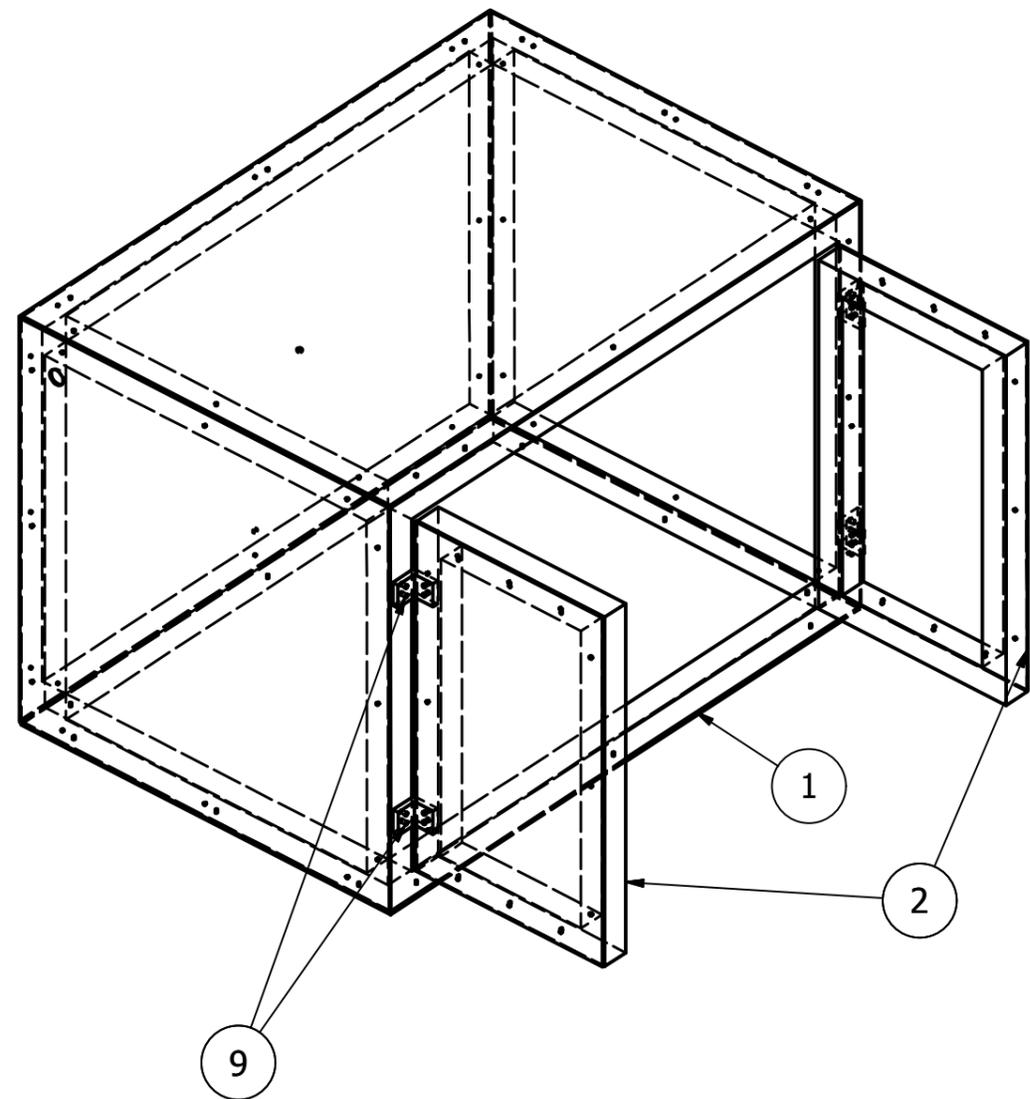
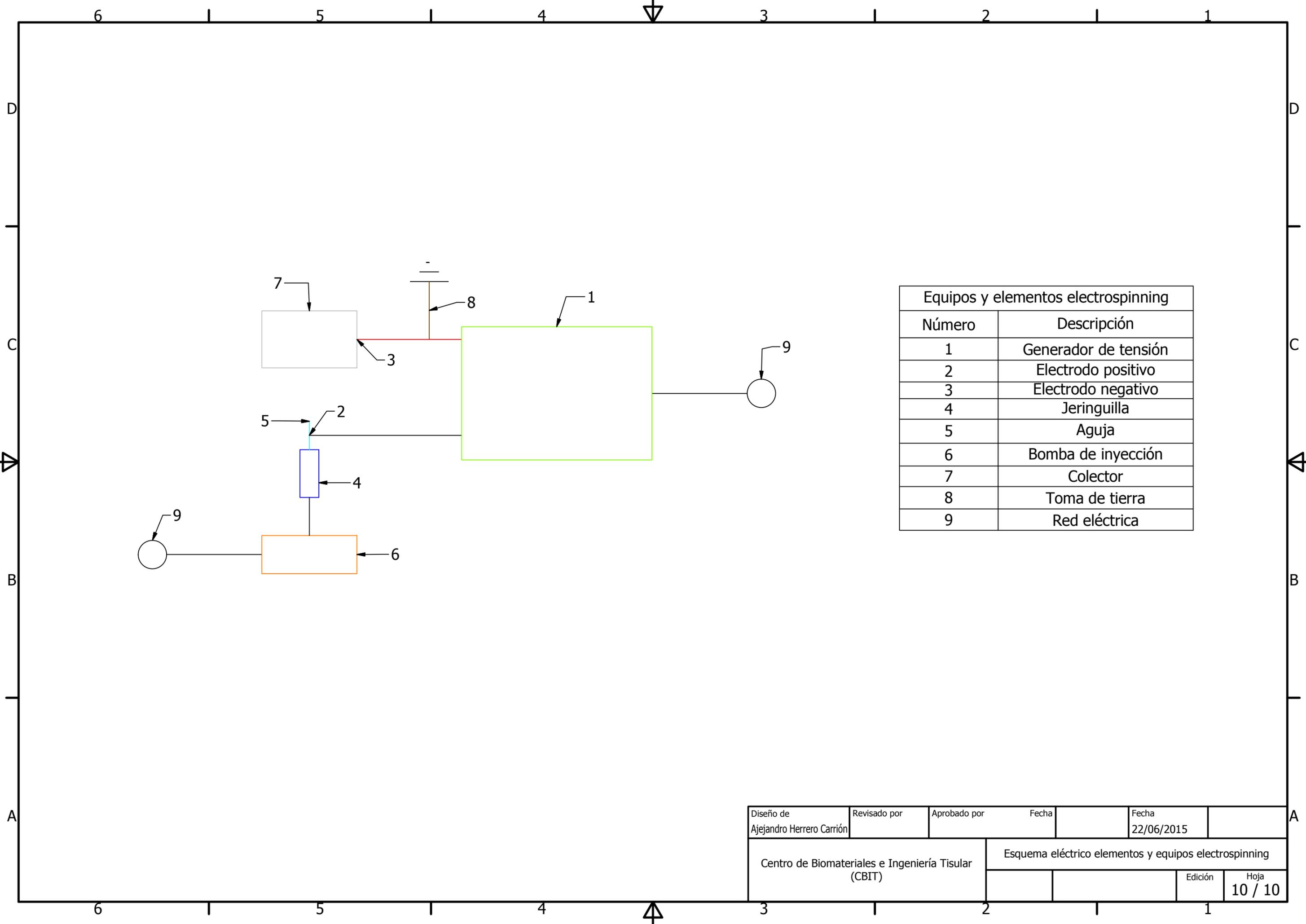


TABLA DE AGUJEROS	
AGUJERO	DESCRIPCIÓN
A1	Ø0,41cm Pasante
A2	Ø0,41cm Pasante
A3	Ø0,41cm Pasante
A4	Ø0,41cm Pasante
A5	Ø0,41cm Pasante
A6	Ø0,41cm Pasante
A7	Ø0,41cm Pasante
A8	Ø0,41cm Pasante
A9	Ø0,41cm Pasante
A10	Ø0,41cm Pasante
A11	Ø0,41cm Pasante
A12	Ø0,41cm Pasante
B1	Ø0,55cm Pasante
B2	Ø0,55cm Pasante
B3	Ø0,55cm Pasante
B4	Ø0,55cm Pasante

Diseño de Ajejandro Herrero Carrión	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 07/08/2015
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)		Placa PE Puerta 3mm de espesor		
PIEZA Nº8		Escala 0,3 : 1	Hoja 8 / 10	



Piezas de la cámara de electrospinning					
Número	Descripción				
1	Estructura bastidor perfiles de aluminio				
2	Estructura puertas perfiles de aluminio				
3	Placa PE Lado izquierdo 3mm de espesor				
4	Placa PE Lado derecho 3mm de espesor				
5	Placa PE Fondo 3mm de espesor				
6	Placa PE Suelo 3mm de espesor				
7	Placa PE Techo 3mm de espesor				
8	Placa PE Puerta 3mm de espesor				
9	Bisagras				
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha	
Ajejandro Herrero Carrión				26/08/2015	
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)			Cámara electrospinning		
			0_Camaras		Hoja 9 / 10



Equipos y elementos electrospinning	
Número	Descripción
1	Generador de tensión
2	Electrodo positivo
3	Electrodo negativo
4	Jeringuilla
5	Aguja
6	Bomba de inyección
7	Colector
8	Toma de tierra
9	Red eléctrica

Diseño de Ajejandro Herrero Carrión	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Fecha 22/06/2015
Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular (CBIT)			Esquema eléctrico elementos y equipos electrospinning	
			Edición	Hoja 10 / 10