



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D’ALCOI



aitex®  
textile research institute

## *Trabajo Final de Grado*

Grado en [Ingeniería Química]

# **[DESARROLLO DE PRENDAS ACABADAS POR MICRONIZADO Y CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DEL ACABADO APLICADO]**

[Rubén Gómez Acosta]

Convocatoria de defensa: [noviembre de 2018]

Tutora UPV: **María Fernanda López Pérez**

Tutora AITEX: **María Blanes**

Universitat Politècnica de València - Campus d’Alcoi

Instituto Tecnológico Textil AITEX

## Resumen

En este trabajo se dispone a desarrollar el proceso de acabado técnico por micronizado en prendas, otorgándoles diversas propiedades, como bien podría ser capacidad ignífuga, repelencia a ciertos productos, o carácter antibacteriano, entre otras. A continuación, se lleva a cabo su caracterización, tanto cualitativa como cuantitativamente, para poder comprobar el rendimiento obtenido. Con este proyecto, se intenta obtener un proceso de acabado más ecológico y menos dañino para el medioambiente que con los métodos tradicionales. Para ello, se dispuso de una máquina de pulverizado (eFlow) con el fin de micronizar los productos sobre las prendas y reducir considerablemente los agentes químicos contaminantes, así como un menor gasto de agua y energía. Una vez comprobado que el proceso es rentable ecológicamente y que se consiguen unos resultados satisfactorios, se procedió a diseñar el proceso a escala industrial. Finalmente, se realizó un estudio económico para establecer la viabilidad del proceso.

**PALABRAS CLAVE:** micronizado, acabado, nanoburbujas, prendas, textil, eFlow, pulverizado...

## Abstract

In this work, technical micronized finishing in garments, which provide some properties, such as it, could be fire retardant, certain products’ repellency, or antibacterial character, and more, is going to be developed. Then, the garments characterization is carried out, both qualitatively and quantitatively, to be able to check the performance obtained. With this project, an ecological and less harmful process to the environment than the traditional methods are tried to obtain. For this, a spray machine was provided (eFlow) to micronize products above garments and reduce considerably polluting chemicals, although, reduce water and energy wasting. Once checked that the process is ecologically profitable and satisfactory results are achieved, an industrial scale process was proceeded to design. Finally, an economic study to establish the process viability was realized.

**KEYWORDS:** micronized, finishing, nanobubbles, garments, textile, eFlow, pulverized...

# ÍNDICE

Resumen .....	2
<b><u>1. INTRODUCCIÓN.....</u></b>	<b>5</b>
1.1. Antecedentes .....	5
1.2. Concepto de micronizado .....	14
1.2.1.Posibles aplicaciones en textil .....	24
1.3. Objetivos.....	27
1.4. eFlow .....	28
1.4.1.Conceptos previos.....	28
1.4.2.Funcionamiento .....	30
1.4.3.Aspectos a tener en cuenta.....	32
<b><u>2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....</u></b>	<b>33</b>
2.1. Acabados y productos necesarios .....	33
2.2. Protocolo de micronizado .....	37
2.3. Ensayos .....	38
<b><u>3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</u></b>	<b>41</b>
3.1. Caracterización cualitativa .....	41
3.2. Caracterización cuantitativa .....	47

<b><u>4.</u></b>	<b><u>DISEÑO INDUSTRIAL.....</u></b>	<b><u>50</u></b>
4.1.	Esquema del proceso .....	50
4.2.	Dimensionamiento .....	51
4.3.	Equipo .....	58
<b><u>5.</u></b>	<b><u>ANÁLISIS ECONÓMICO.....</u></b>	<b><u>71</u></b>
5.1.	Capital inicial .....	71
	5.1.1.Costes directos .....	71
	5.1.2.Costes indirectos .....	72
5.2.	Amortización .....	72
5.3.	Costes variables.....	73
5.4.	Precio de venta .....	75
<b><u>6.</u></b>	<b><u>CONCLUSIÓN.....</u></b>	<b><u>77</u></b>
<b><u>7.</u></b>	<b><u>ANEXO .....</u></b>	<b><u>78</u></b>
<b><u>8.</u></b>	<b><u>BIBLIOGRAFÍA.....</u></b>	<b><u>83</u></b>

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

Aunque el proceso de tintura ya se practicaba en la Edad Media, fue con la Revolución Industrial cuando se dio el auge de la industria textil, que gracias al avance en el comercio y a las innovadoras tecnologías de la época, se consiguió extender a lo largo de todo el mundo en cuestión de unos pocos años. Siendo cada vez más y más los países que manejaban este tipo de industria.

Más adelante, se inventaron nuevos métodos de tintura, y con la evolución de la industria química, llegaron tintes sintéticos producidos a partir de compuestos químicos, los cuales dotaban a las telas de mayor resistencia, durabilidad, y una amplia gama de colores que con los tintes naturales no se llegaba a conseguir [1].

Como añadido, debemos contar con la importancia que se le dio al sector secundario a lo largo del siglo XX, aumentando tanto la oferta como la demanda, cosa que provocó un aumento de las ventas de productos textiles, y, por lo tanto, la cantidad fabricada anualmente de dichos productos.

Por su parte, también se descubrieron nuevos productos que aportaban características interesantes a las prendas tratadas, tales como propiedades ignífugas utilizadas en trajes de protección, telas antibacterianas, prendas con repelencia a ciertos productos u olores... El empleo de estas sustancias dotó a esta industria con cierto nivel de juego a la hora de fabricar prendas con distintas combinaciones y propiedades.

Todo esto conlleva a un crecimiento de la industria textil, y con ello, los métodos de acabado utilizados. Pero toda esta industria tiene grandes desechos con una alta cantidad en contaminantes químicos, los cuales, sumados a los tintes industriales que se vierten al agua, se acumulan en las aguas residuales perjudicando el medioambiente. Los niveles exigidos en distintas aguas se detallan en la **Tabla 1**. Algunos de los compuestos más contaminantes son [2]:

- **Alquilfenoles:** utilizados para procesos de lavado y teñido. Se incluyen los nonilfenoles (NPs) y octilfenoles y sus etoxilados. Son tóxicos para la vida acuática, bioacumulativos en los tejidos corporales y persistentes en el medioambiente. Entre sus efectos destaca las disrupciones hormonales de carácter sexual en algunos organismos.

- **Ftalatos:** son capaces de ablandar el PVC, y se utilizan en cuero artificial, caucho, PVC y en algunos tintes. Uno de ellos, el DEHP, se considera tóxico para la reproducción en mamíferos, llegando a interferir en el desarrollo de los testículos durante los primeros años de desarrollo, así como el dibutil ftalato (DBP), categorizados como “tóxicos para la reproducción”.
- **Retardantes de llama bromados y clorados(BFR-CFR):** los difeniléteres polibromados (PBDE) son los más comunes, utilizándose para reducir la inflamabilidad del producto. Muchos BFR son sustancias persistentes y bioacumulativas presentes en el medioambiente. Algunos PBDEs son capaces de interferir en los sistemas hormonales implicados en el crecimiento y en el desarrollo sexual. Los PBDE están fuertemente restringidos, llegando a ser catalogados algunos como “sustancias peligrosas prioritarias”.
- **Colorantes azoicos:** principales tipos de tintes utilizados por la industria textil. Algunos de estos tintes, al degradarse, pueden causar cáncer al entrar en contacto con la piel.
- **Compuestos organoestánicos:** se utilizan en biocidas y como fungicidas. En la industria textil son muy empleados en calcetines, zapatos, y ropa deportiva para prevenir olores. Uno de los productos más conocidos es el tributilestaño (TBT). Estos productos persisten en el medioambiente, además de que se acumulan en el organismo afectando a los sistemas inmunológico y reproductivo. Son catalogados como “sustancias peligrosas prioritarias”.
- **Perfluorados (PFC):** sustancias químicas sintéticas empleadas para propiedades antiadherentes e hidrófugas. En la industria textil, sirven para fabricar productos antimanchas. Muchos PFCs persisten en el medioambiente, y pueden ser acumulados en el tejido corporal a través de la cadena trófica, donde, una vez dentro, afectan al hígado y pueden afectar como disruptores hormonales alternando los niveles de crecimiento. Uno de los más conocidos es el sulfonato de perfluorooctano (PFOS), altamente resistente a la degradación, con grandes periodos de permanencia en el medioambiente.

- **Clorobencenos:** sustancias químicas persistentes y bioacumulativas que se utilizan como disolventes y biocidas, en fabricación de tintes y como intermediarios químicos. Se les relaciona con afecciones al hígado, tiroides y sistema nervioso central. El hexaclorobenceno (HCB) es la sustancia más tóxica y persistente de este grupo, la cual actúa también como disruptor hormonal. Son clasificados como “sustancias peligrosas prioritarias” y “contaminantes orgánicos persistentes”.
- **Disolventes clorados:** se utilizan en fabricación para disolver otras sustancias durante la fabricación y lavado de tejidos, como el tricloroetanol (TCE), sustancia que agota la capa de ozono y que puede llegar a persistir en el medio ambiente. También afecta al sistema nervioso central, al hígado y los riñones.
- **Clorofenoles:** sustancias químicas que se usan como biocidas en una amplia gama de aplicaciones, desde pesticidas, hasta conservantes de madera y textiles. Uno de los más conocidos es el pentaclorofenol (PCP), el cual es altamente tóxico para los seres humanos y puede llegar a afectar a muchos órganos. También es altamente tóxico para los organismos acuáticos.
- **Parafinas cloradas de cadena corta (PCCC):** se utilizan como retardantes de llama y para el acabado de cuero y textiles. Tiene efectos altamente tóxicos para los organismos acuáticos., y no se degradan fácilmente en el medioambiente, conteniendo un alto potencial para acumularse en organismos vivos.
- **Metales pesados (cadmio, plomo, mercurio, cromo (VI)...):** los metales pesados se suelen utilizar en ciertos tintes y pigmentos. Pueden llegar a acumularse en el cuerpo de forma irreversible, siendo altamente tóxicos, ya que incluyen lesiones del sistema nervioso, riñones o incluso producción de enfermedades cancerígenas. El cromo (VI) es altamente tóxico incluso en concentraciones bajas, también para organismos acuáticos. Algunos metales han sido catalogados como “sustancias peligrosas prioritarias”.

Por último, en la **Tabla 2** y en la **Tabla 3** se muestran los valores paramétricos obtenidos en las aguas residuales.

**Tabla 1:** normas de calidad ambiental (NCA) para las sustancias prioritarias y otros contaminantes (MA=media anual; CMA=concentración máxima admisible) [3]

(1) N°	(2) Nombre de la sustancia	(3) Número CAS (µg/L)	(4) MA-NCA Aguas (µg/L) superficiales continentales	(5) MA- NCA Otras aguas superficiales (µg/L)	(6) CMA- NCA Aguas (µg/L) superficiales continentales	(7) CMA- NCA Otras aguas superficiales (µg/L)	(8) NCA Biota (µg/kg)
(10)	1,2-Dicloroetano	107-06-2	10	10	no aplicable	no aplicable	
(11)	Diclorometano	75-09-2	20	20	no aplicable	no aplicable	
(12)	Di(2-etilhexil)-ftalato (DEHP)	117-81-7	1.3	1.3	no aplicable	no aplicable	
(13)	Diurón	330-54-1	0.2	0.2	1.8	1.8	
(14)	Endosulfán	115-29-7	0.005	0.0005	0.01	0.004	
(15)	Fluoranteno	206-44-0	0.1	0.1	1	1	
(16)	Hexaclorobenceno	118-74-1	0.01	0.01	0.05	0.05	10
(17)	Hexaclorobutadieno	87-68-3	0.1	0.1	0.6	0.6	55
(18)	Hexaclorociclohexano	608-73-1	0.02	0.002	0.04	0.02	
(19)	Isoproturón	34123-59-6	0.3	0.3	1.0	1.0	
(20)	Plomo y sus compuestos	7439-92-1	7.2	7.2	no aplicable	no aplicable	
(21)	Mercurio y sus compuestos	7439-97-6	0.05	0.05	0.07	0.07	20
(22)	Naftaleno	91-20-3	2.4	1.2	no aplicable	no aplicable	
(23)	Níquel y sus compuestos	7440-02-0	20	20	no aplicable	no aplicable	
(24)	Nonilfenol (4-(para)Nonilfenol)	104-40-5	0.3	0.3	2.0	2.0	
(25)	Octilfenol (4-(1,1',3,3'-tetrametilbutil)- fenol))	140-66-9	0.1	0.01	no aplicable	no aplicable	
(26)	Pentaclorobenceno	608-93-5	0.007	0.0007	no aplicable	no aplicable	¡Error! Marcador no definido.
(27)	Pentaclorofenol	87-86-5	0.4	0.4	1	1	
(28)	Hidrocarburos poliaromáticos (HAP)	no aplicable	no aplicable	no aplicable	no aplicable	no aplicable	

(1) N°	(2) Nombre de la sustancia	(3) Número CAS (µg/L)	(4) MA-NCA Aguas (µg/L) superficiales continentales	(5) MA- NCA Otras aguas superficiales (µg/L)	(6) CMA- NCA Aguas (µg/L) superficiales continentales	(7) CMA- NCA Otras aguas superficiales (µg/L)	(8) NCA Biota (µg/kg)
	Benzo(a)pireno	50-32-8	0.05	0.05	0.1	0.1	
	Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	Σ=0.03	Σ=0.03	no aplicable	no aplicable	
	Benzo(k)fluoranteno	207-08-9					
	Benzo(g,h,i)-perileno	191-24-2	Σ=0.002	Σ=0.002	no aplicable	no aplicable	
	Indeno(1,2,3-cd)-pireno	193-39-5					
(29)	Simazina	122-34-9	1	1	4	4	
(29a)	Tetracloroetileno	127-18-4	10	10	no aplicable	no aplicable	
(29b)	Tricloroetileno	79-01-6	10	10	no aplicable	no aplicable	
(30)	Compuestos de tributiltin (tributiltin-catión)	36643-28-4	0.0002	0.0002	0.0015	0.0015	
(31)	Triclorobencenos (todos los isómeros)	12002-48-1	0.4	0.4	no aplicable	no aplicable	
(32)	Triclorometano	67-66-3	2.5	2.5	no aplicable	no aplicable	
(33)	Trifluralina	1582-09-8	0.03	0.03	no aplicable	no aplicable	

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Nº	Nombre de la sustancia	Número CAS  (µg/L)	MA-NCA Aguas superficiales continentales (µg/L)	MA- NCA Otras aguas superficiales (µg/L)	CMA- NCA Aguas superficiales continentales (µg/L)	CMA- NCA Otras aguas superficiales (µg/L)	NCA Biota (µg/kg)
(1)	Alacloro	15972-60-8	0.3	0.3	0.7	0.7	
(2)	Antraceno	120-12-7	0.1	0.1	0.4	0.4	
(3)	Atrazina	1912-24-9	0.6	0.6	2.0	2.0	
(4)	Benceno	71-43-2	10	8	50	50	
(5)	Difenileter bromado	32534-81-9	0.0005	0.0002	<i>no aplicable</i>	<i>no aplicable</i>	
(6)	Cadmio y sus compuestos (dependiendo de las clases de dureza del agua)	7440-43-9	≤ 0.08 (Clase 1) 0.08 (Clase 2) 0.09 (Clase 3) 0.15 (Clase 4) 0.25 (Clase 5)	0.2	≤ 0.45 (Clase 1) 0.45 (Clase 2) 0.6 (Clase 3) 0.9 (Clase 4) 1.5 (Clase 5)		
(6a)	Tetracloruro de carbono	56-23-5	12	12	<i>no aplicable</i>	<i>no aplicable</i>	
(7)	C10-13 Cloroalcanos	85535-84-8	0.4	0.4	1.4	1.4	
(8)	Clorofeninfos	470-90-6	0.1	0.1	0.3	0.3	
(9)	Cloropirifos (Cloropirifos-etil)	2921-88-2	0.03	0.03	0.1	0.1	
(9a)	Ciclodiene plaguicidas: Aldrina Dieldrina Endrina Isodrina	309-00-2 60-57-1 72-20-8 465-73-6	Σ=0.01	Σ=0.005	<i>no aplicable</i>	<i>no aplicable</i>	
(9b)	DDT total	<i>no aplicable</i>	0.025	0.025	<i>no aplicable</i>	<i>no aplicable</i>	
	para-para-DDT	50-29-3	0.01	0.01	<i>no aplicable</i>	<i>no aplicable</i>	

Tabla 2: parámetros químicos regulados en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el cual se establecen los criterios de calidad del agua de consumo humano [3]

Parámetro	Valor paramétrico
1. Antimonio	5,0 µg/l
2. Arsénico	10 µg/l
3. Benceno	1,0 µg/l
4. Benzo(a)pireno	0,010 µg/l
5. Boro	1,0 mg/l
6. Bromato:	
A partir de 01/01/2009	10 µg/l
De 01/01/2004 a 31/12/2008	25 µg/l
7. Cadmio	5,0 µg/l
8. Cianuro	50 µg/l
9. Cobre	2,0 mg/l
10. Cromo	50 µg/l
11. 1,2-Dicloroetano	3,0 µg/l
12. Fluoruro	1,5 mg/l
13. Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPA)	0,10 µg/l
Suma de:	
Benzo(b)fluoranteno	µg/l
Benzo(ghi)perileno	µg/l
Benzo(k)fluoranteno	µg/l
Indeno(1,2,3cd)pireno	µg/l
14. Mercurio	1,0 µg/l
15. Microcistina	1 µg/l
16. Níquel	20 µg/l
17. Nitrato	50 mg/l

Parámetro	Valor paramétrico
18. Nitritos:	
Red de distribución	0,5 mg/l
A la salida de la ETAP/depósito	0,1 mg/l
19. Total de plaguicidas	0,50 µg/l
20. Plaguicida individual	0,10 µg/l
Excepto por los de:	
Aldrina	0,03 µg/l
Dieldrina	0,03 µg/l
Heptacoloro	0,03 µg/l
Heptacoloro epóxido	0,03 µg/l
21. Plomo:	
A partir de 01/01/2014	10 µg/l
De 01/01/2004 a 31/12/2013	25 µg/l
22. Selenio	10 µg/l
23. Trihalometanos (THMs):	
Suma de:	
A partir de 01/01/2009	100 µg/l
De 01/01/2004 a 31/12/2008	150 µg/l
Bromodiclorometano	µg/l
Bromofomo	µg/l
Cloroformo	µg/l
Dibromoclorometano	µg/l
27. Tricloroetano + Tetracloroetano	10 µg/l

*Tabla 3: parámetros químicos que se controlan según las especificaciones del producto, regulados en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el cual se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano [3]*

Parámetro	Valor paramétrico	Notas
1. Archilamida.	0,10 µg/l	(1)
2. Epiclorhidrina	0,10 µg/l	(1)
3. Cloruro de vinilo	0,50 µg/l	(1)

(1) Estos valores paramétricos corresponden a la concentración monomérica residual en el agua, calculada conforme a las características de la migración máxima del polímero correspondiente en contacto con el agua.

Sin embargo, el principal problema de esta industria se basa en el gran desperdicio de agua, siendo uno de los sectores que más cantidad de agua desecha, después de la agricultura, y la energía que se requiere debido a la necesidad de grandes cantidades para un completo acabado durante los procesos de secado y polimerización.

Antiguamente, los procesos de acabado, como por ejemplo el blanqueamiento, se realizaba con un lavado a la piedra utilizando pumicita para conseguir un efecto de desgaste en la prenda. El proceso se llevaba a cabo en una solución la cual contenía un agente oxidante, ayudando de esta forma a conseguir un mejor desgaste y con mayor rapidez [4].

El problema que tiene este método es la gran cantidad de agua con contenido en restos rocosos provenientes de la erosión de las piedras utilizadas durante el proceso. Esto conllevó a meditar una opción que se familiarizara más con el medioambiente.



*Fig. 1: equipo de lavado a la piedra*



*Fig. 2: técnica de inyección de arena*

A continuación, se pasó a utilizar procesos de inyección de arena, aplicación de resinas y sprays pulverizadores de polipropileno (PP), los cuales se aplicaban manualmente por operarios. Estas técnicas no dejaban de contaminar las aguas residuales, además de perjudicar a la salud de los trabajadores que se ponían en contacto con dichos productos para impregnar las prendas.

Estas nuevas técnicas, además de generar demasiados residuos que se vertían en el medioambiente, contaba con un factor de peligrosidad a la hora de trabajar con ellas, pues los trabajadores se exponían a los productos que aplicaban de forma directa. A pesar de ir protegidos, se han dado numerosos casos de enfermedades debido al contacto directo o indirecto con agentes nocivos para nuestro organismo.



Fig. 3: técnica de sprayado de PP

En la Fig.1 se muestra un ejemplo de equipo rotatorio de lavado a piedra, mientras que en las Fig.2 y 3 se pueden ver unos rociados de arena y polipropileno respectivamente.

Como se puede observar en la Fig.4, la contaminación de la industria textil es significativa para el medioambiente, sobre todo en el aspecto de aguas residuales, donde se desechan numerosos vertidos con alto contenido en químicos.

A su vez la cantidad de agua que se necesita para recubrir las prendas es demasiada, por lo que además de contaminar los ríos y lagos, estamos vertiendo una gran masa de agua, la cual podría ser reducida con tal de evitar un malgasto de agua innecesario con las nuevas técnicas existentes.



Fig. 4: contaminación de un río por parte de la industria textil tras el acabado de prendas de denim

Además, debemos destacar también el gasto energético que se debe utilizar para llevar a cabo los diversos procesos de acabado, puesto que, con tales cantidades de agua, la demanda energética requerida es muy elevada.

En el mundo, se producen 80 mil millones de prendas de vestir anualmente, 2 de ellos son para vaqueros. Se necesitan 7000 litros de agua para poder fabricar solamente un par de estos vaqueros, por lo que el malgasto de agua es excesivo, llegando a utilizar 8000 productos químicos diferentes. El sector textil abarca el 20% de la participación en la contaminación del agua, y, además, la energía para tratar todo esto, obviamente desmesurada, conlleva el gasto de una gran cantidad de recursos, produciendo una mayor rapidez en el agotamiento de estos.

Por su parte, en la actualidad, el consumismo ha aumentado de manera considerable entre la población, cuya necesidad de comprar prendas de ropa se ha visto afectada por las campañas publicitarias, sin llegar a aprovechar sus compras en su totalidad. El promedio europeo en el año 2000 es de 34 artículos comprados, mientras que en el 2010 es de 67. Se tiran 32kg de ropa, de los cuales el 85% acaba en vertederos, cantidad que va en aumento en los últimos años. Además, un 10% de la ropa producida ni siquiera llega a ser vendida.

Debido a los problemas expresados anteriormente, la industria textil se convierte en una industria altamente contaminante hoy en día, llegando a posicionarse en el segundo puesto por detrás de la industria petrolera. No obstante, tanto la contaminación como el gasto en exceso de agua y energía son factores que se pueden corregir desde el sistema productivo; por el contrario, el aumento del consumo en la sociedad no depende del proceso elegido para producir, por lo que este aspecto se escapa de nuestras manos.

Debido a ello, a finales de siglo, surgió un nuevo tipo de tecnología, la cual aportaba sostenibilidad, pues se trataban de procesos que lograban producir de forma que se reducía la cantidad de agua a utilizar, y, por lo tanto, la energía requerida por el proceso. Estos nuevos equipos son el láser, el ozonizador y la máquina de micronizado.

- **Láser:** con esta tecnología, se consigue abrasar la superficie de la prenda de forma que se puede obtener un efecto, figura o dibujo concreto. Actualmente, alrededor de un 25% de la producción global utiliza esta técnica (Levi’s, Jack & Jones, H&M, Pepe Jeans...) y se estima que, en unos años, el 50% de la producción global se base en esta tecnología.

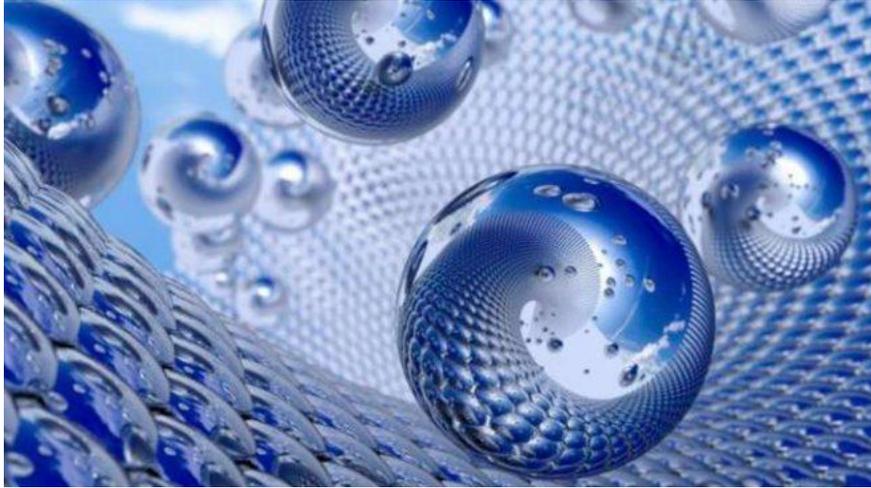
- **Ozonizador:** tomando aire de la atmósfera, este equipo consigue convertirlo en Ozono, el cual produce en la prenda un efecto de desgaste muy similar a los obtenidos con las técnicas convencionales. El Ozono sobrante se transforma en aire de nuevo y es expulsado a la atmósfera.
- **Máquina de micronizado:** este equipo combina los productos a utilizar y la tecnología de pulverizado para formar una nube de nanoburbujas de aire conteniendo agua y producto en su superficie, la cual, al entrar en contacto con la prenda, impregna el tejido aplicándole sus respectivas propiedades.

A parte de ser más estrictos con los contaminantes vertidos, con las nuevas tecnologías, las empresas dedicadas a la industria textil consiguieron reducir de forma significativa la cantidad de agua necesaria para obtener un acabado de igual o incluso mayor calidad que con las técnicas convencionales. La considerable disminución energética implica que las empresas también contribuyen a conservar los medios necesarios para producir dicha energía. Con la reducción de agua y el ahorro energético, se ayuda a conservar los recursos naturales, así como una cuantía económica que se ve reducida al aprovechar la mínima energía con los mínimos recursos posibles.

## 1.2. Concepto de micronizado

Debido al problema de la gran contaminación al medioambiente por parte de la empresa textil, se invirtieron recursos en encontrar algún método que permitiese reducir esta tasa de polución, debido a que las leyes que rigen las normas ecológicas cada vez eran más estrictas, permitiendo una menor concentración de residuos tóxicos en las aguas residuales.

Una gran solución fue el descubrimiento del micronizado. Esto es, el proceso por el cual se consigue reducir el diámetro medio de partículas. Con técnicas tradicionales, moliendo y golpeando el producto sólido, se conseguían partículas del orden de micrómetros; sin embargo, con las técnicas modernas se puede llegar a conseguir nanopartículas, detalladas en la Fig.5, hecho que aumenta el rendimiento del proceso.



*Fig. 5: nanopartículas adhiriéndose sobre una superficie*

Además de partículas sólidas, también es posible micronizar líquidos o gases, de forma que se obtienen pequeñas burbujas nanoscópicas, capaces de adherir sustancias a su superficie. De esta forma, es posible transportar dichas sustancias mediante una nube pulverizada. En este trabajo nos centraremos en el micronizado de aire, del cual hablaremos más adelante, pero primero se procederá a explicar por encima el uso de nanopartículas que puede existir en diferentes industrias.

En las técnicas modernas, se utiliza el fluido supercrítico para reducir el tamaño de partícula mediante altas temperaturas y presiones. Hay tres métodos destacables [5]:

- **RESS** (Expansión Rápida de Soluciones Supercríticas), donde el fluido supercrítico se utiliza para disolver el material sólido a elevadas presiones y temperaturas, formando, de esta forma, una fase supercrítica homogénea. Posteriormente, dicha solución se expande a través de un filtro, formándose las nanopartículas.

Grandes variaciones en el poder disolvente del fluido supercrítico conseguirán una variación de la presión, mientras que una disminución de éste debido a la despresurización permitirá obtener una supersaturación, producida por una perturbación mecánica propagada a velocidad ultrasónica, del orden de  $10^{-6}$  a  $10^{-4}$ s. Esta rápida propagación homogeniza el fluido en su totalidad, alcanzando la formación de pequeñas partículas con diámetros nanométricos.

El proceso puede ser mejorado al modificar la temperatura (normalmente sobre unos 80°C), adecuado para productos sensibles al calor sin necesidad de usar solventes orgánicos.

La principal limitación de este método es su exclusiva aplicación a sustancias relativamente poco solubles en un Fluido Supercrítico, principalmente componentes no polares o polares volátiles tales como los alcoholes o ésteres, mientras que los componentes no solubles, como los ácidos o las sales no pueden ser procesadas.

Otro problema es que la capacidad de producción está limitada. Sin embargo, esto se puede evitar con el uso de un codisolvente, pero en este caso, se pierde el beneficio de la eliminación del disolvente orgánico.

A continuación, en la Fig.6, se muestra un esquema del proceso.

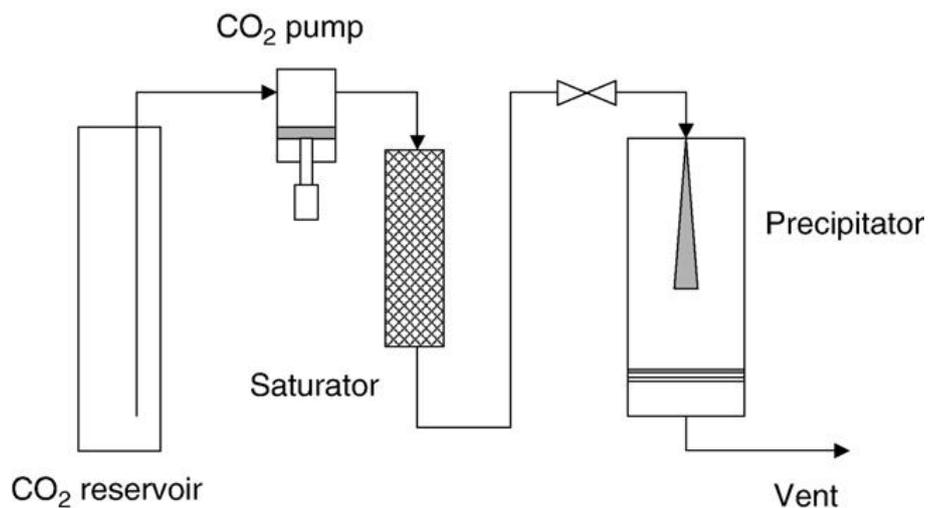


Fig. 6: diagrama esquemático del proceso de Expansión Rápida de Soluciones Supercríticas (RESS) [6]

- Con **Antidisolvente Supercrítico**, en el que el disolvente orgánico se bombea simultáneamente, a través de una boquilla en la cámara, con un fluido supercrítico, el cuál actúa como un antidisolvente. A causa de la alta presión, el material sólido se disuelve, lo que conlleva una expansión volumétrica y una disminución de la densidad, y, por lo tanto, también la solubilidad del sólido se ve reducida, sobresaturando la disolución y causando la precipitación en forma de nanopartículas. Esta técnica es ampliamente aplicada para ingredientes farmacéuticos cuya solubilidad en CO<sub>2</sub> está limitada.

Diferenciamos dos métodos, en el que uno de ellos, el proceso se da con Gas en lotes (GAS), a presiones de entre 5 y 8MPa donde encontramos el punto óptimo de solubilidad de los gases, llegando a obtener partículas de entre 1 y 10  $\mu\text{m}$ . La principal desventaja es el incremento en la complejidad mecánica del equipo debido a la necesidad de utilizar un agitador, el uso de un disolvente orgánico y, sobre todo, la relativamente pequeña capacidad de producción, limitado por la capacidad del recipiente de precipitación. Algunas de las aplicaciones más usuales utilizando  $\text{CO}_2$  como gas se dan en fármacos, polímeros, precursores de superconductores, y sustancias naturales y colorantes. En la Fig.7 se muestra un diagrama de dicho proceso.

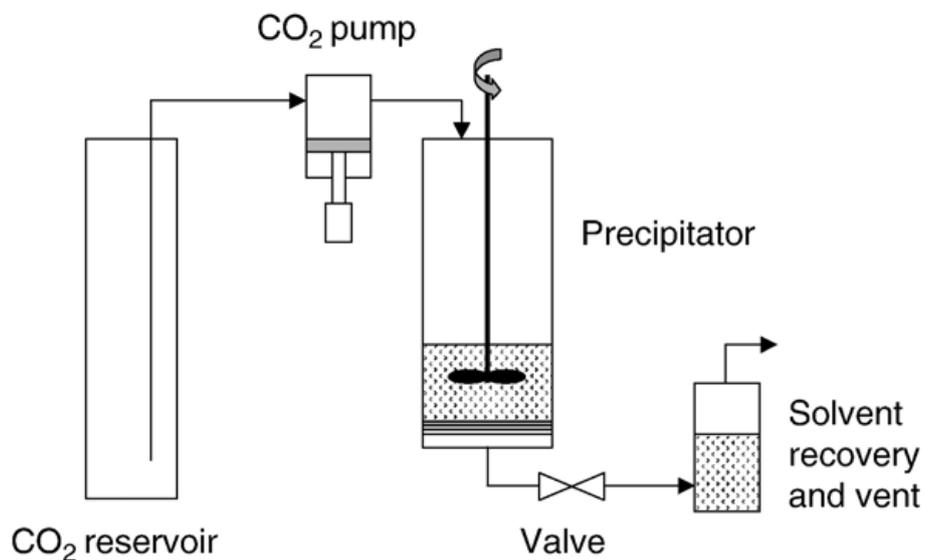


Fig. 7: diagrama esquemático del proceso Antidisolvente Supercrítico con Gas en lotes (GAS) [6]

Por otra parte, el proceso en Semicontinuo (SAS), se da a un mayor rango de presiones (entre 9 y 15MPa), corrigiendo de esta forma la limitación de la capacidad de producción anterior. A estas presiones, el gas es prácticamente miscible con la mayoría de disolventes orgánicos, teniendo lugar la mezcla sin ninguna limitación en la interfase. No obstante, la principal desventaja se da en el uso de disolventes orgánicos. A continuación, en la Fig.8 se detalla el diagrama del proceso descrito.

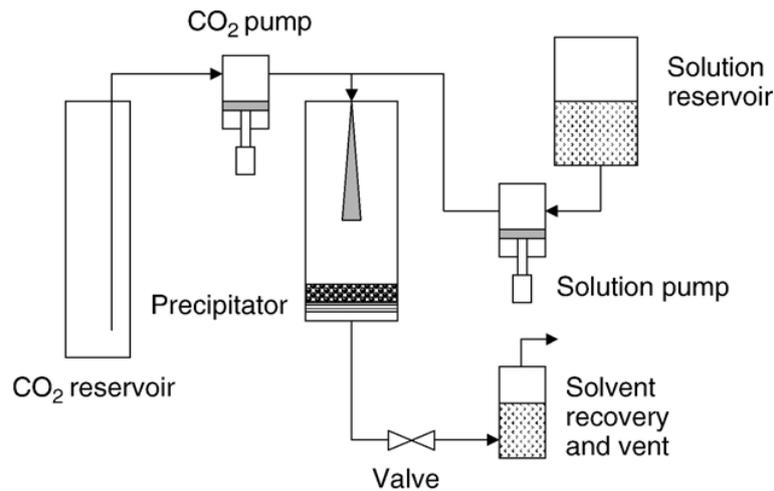


Fig. 8: diagrama esquemático del proceso Antidisolvente Supercrítico en semicontinuo [6]

- En el método **PGSS** (Partículas de Soluciones de Gas Natural), el material sólido se funde i el fluido supercrítico se disuelve en él. Prácticamente es parecida a la técnica anterior, sólo que, en ésta, la solución obtenida se ve forzada a expandirse a través de un filtro para formar las nanopartículas.

Sin embargo, estos métodos tienen una clara desventaja en comparación, y es que pueden llegar a ser demasiado caros, pudiendo alcanzar cuantías que no les salgan rentables económicamente a la empresa.

Tras el descubrimiento de las nanopartículas, se han desarrollado avances nanotecnológicos en gran variedad de campos, consiguiendo numerosas ventajas respecto a los métodos tradicionales. Algunos campos en los que se ha implantado la nanotecnología son [7]:

- **Medicina:** gasas para quemaduras serias o heridas crónicas con nanopartículas de plata actuando de bactericida. El pequeño tamaño de la plata incrementa el área superficial, mejorando la eficiencia bacteriana contra 150 tipos de microbios; crema para dolores musculares y articulares, las cuales contienen liposomas de 90nm; adhesivos dentales con nanopartículas de silicio para formar uniones más fuertes con el esmalte y las coronas en trabajos de restauración o incrustaciones de porcelana; además, se está investigando la utilización de nanopartículas metálicas, como el oro, para la detección de niveles de glucosa del organismo, así como nanopartículas magnéticas, para la detección de células cancerígenas, de VIH y Alzheimer en etapas tempranas.

- **Deporte:** pelotas de golf que corrigen vibraciones o pequeños corrimientos, canalizando la energía recibida del palo de golf; pelotas de tenis recubiertas de nanopartículas para alargar su duración.
- **Higiene:** desinfectantes grado militar, utilizado en aviones para combatir el problema del Síndrome Respiratorio Agudo Severo, a base de nanoemulsiones. Aunque se trata de uno de los ámbitos menos explorados, se están llevando a cabo numerosas investigaciones que permitan desarrollar nuevos productos.
- **Uso doméstico:** recubrimientos superhidrofóbicos repelentes de suciedad. Se emplea como recubrimiento de concreto, ladrillos y yeso. Se trata de un adhesivo a base de nanopartículas utilizado para reforzar el efecto hidrofóbico en materiales de construcción, reduciendo, de esta forma, la adhesión del agua y partículas de tierra al mínimo. De esta forma, las partículas de suciedad se lavan con el agua de lluvia; Lavadoras creadas con nanopartículas de plata incorporadas en la tina, reforzando el poder bactericida, como bien hemos comentado anteriormente.
- **Partículas como aditivos inertes químicamente:** rellenos de polímero silícico, titanio y carbono, aumentando la fuerza, resistencia abrasiva y la reología provocada por la producción en masa de nanopartículas de carbón químicamente funcionalizadas, detallado en la Fig.9; Partículas 2D como relleno polimérico, capaces de modificar sus propiedades mecánicas, eléctricas, superficiales, ópticas, e incluso su permeabilidad; Pigmentos, tintes y protecciones UV, pudiendo manufacturarse a un menor coste con nanopartículas de óxido de zinc y de titanio, lo cual permite un efecto óptico más fuerte y una profundidad de color mayor; Filtros de ayuda, de sílice amorfo, utilizado en reología como aditivo en polvos, agentes antitorta en productos alimenticios, como aditivos en alimentación animal o como soporte catalítico heterogéneo; Superficies funcionales, donde tienen numerosas aplicaciones, dependiendo de la industria.

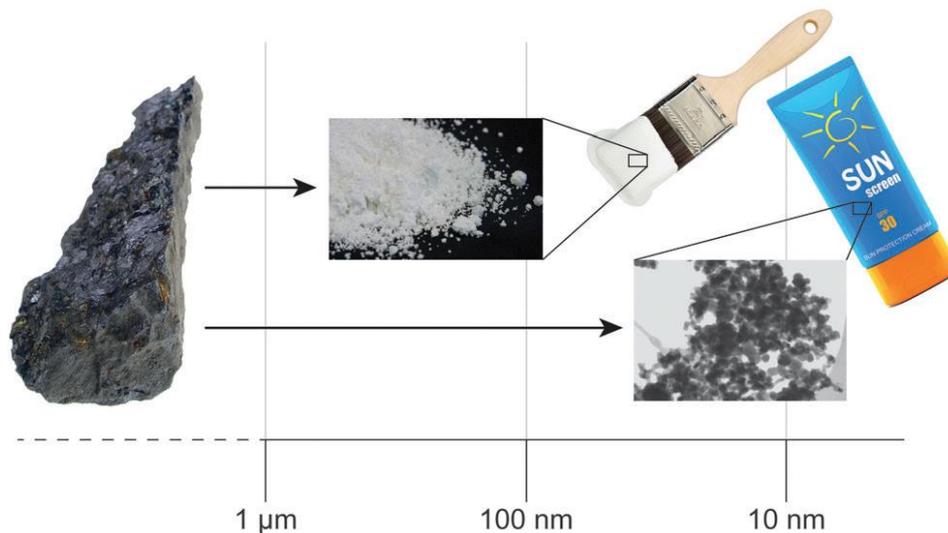


Fig. 9: distintas aplicaciones de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  dependiendo de su tamaño [8]

- **Partículas químicamente activas:** catálisis heterogénea, donde la actividad superficial del oro es indudablemente la más prominente y el ejemplo excepcional para un efecto nano con una relevancia industrial; biomateriales, utilizados sobre todo en estructuras óseas; Aditivos antimicrobianos.
- **Otros:** textiles con nanopartículas de plata empleadas para la elaboración de productos de vestir, para prevenir infecciones tales como el pie de atleta, así como las causadas por algunos bacilos y hongos; se está investigando la posible adición de nanopartículas de  $\text{TiO}_2$  en pinturas para que, en presencia de la luz del Sol, sea posible la descomposición de los contaminantes atmosféricos; otra investigación que se está llevando a cabo, es el empleo de nanopartículas metálicas para la posible fabricación de memorias para computadoras y nanotransistores, mejorando la electrónica y minimizando su volumen.

Algunas de las nanopartículas más utilizadas se recogen en la [Tabla 4](#), detallando la actividad por la cual es aplicado, así como el equipo utilizado para el recubrimiento con dicho producto.

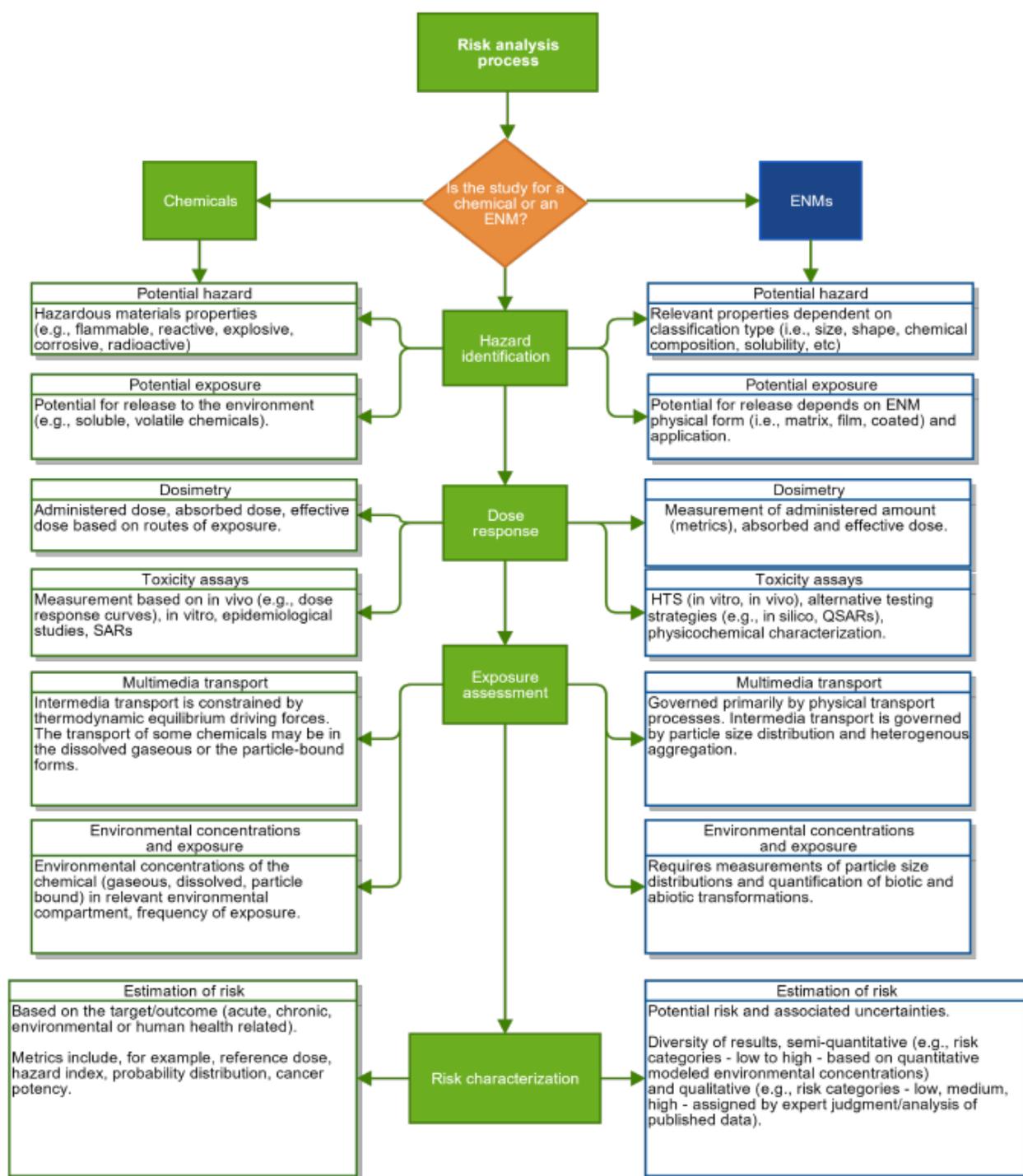
Tabla 4: escenarios de liberación de nanopartículas recogidos desde 2009 hasta 2012 [9]

Investigated nanomaterial	Activities	Equipment used
<i>Coatings</i>		
TiO <sub>2</sub> , Carbon Black	Sanding	APS, FMPS
Zinc oxide	Defined abrasion process of surface coating	CPC, SMPS
SiO <sub>2</sub> nanoparticles	Measurement of nanoparticle removal by abrasion	CPC, SMPS
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and ZnO	Sanding	FMPS
TiO <sub>2</sub>	Abrasion	ELPI
<i>Composites</i>		
Polymer/CNT	Dry/wet drilling	FMPS, APS
Polymer/CNT	Dry/wet abrasive	FMPS, CPC
POM/CNT, PA/SiO <sub>2</sub> and cement/CNT	Sanding and weathering	SMPS
Epoxy/CNT	Abrasion	SMPS
Polymer/CNT	Burning	ELPI
Epoxy/CNT	Sanding	CPC
PP/OMMT	Shredding	DustTrak and FMPS
PA/OMMT and PA/SiO <sub>2</sub>	Drilling	SMPS+C

**Nota:** APS, Medidor de Partículas de Aerosol; CPC, Contador de Partículas Condensadas; FMPS, Medidor de Partículas de Alta Movilidad; SMPS, Medidor de Partículas de Movilidad de Escaneo.

A su vez, en la industria química, existen claras diferencias entre el uso de químicos convencionales y la aplicación de nanopartículas. Aunque el acabado es el mismo, hay ciertos criterios por los que se convendría decantarse por un método u otro, sobre todo mirando desde el punto de vista de las empresas. En la **Tabla 5** se recogen las diferencias entre ambos más relevantes relacionadas con el riesgo de uso.

*Tabla 5: desafíos encontrados en cada paso del proceso tradicional de evaluación de riesgos para productos químicos y su relevancia para los Nanomateriales Diseñados (ENMs) [10]*



Además, en la **Tabla 6** se puede observar las principales diferencias entre los productos a nanoescala y partículas a una escala mayor.

*Tabla 6: comparación de los métodos de muestreo utilizado para nanoescala y partículas no nanométricas [11]*

	Non-nanoscale particles	Nanoparticles
Size	500 nm to 10 $\mu$ m	<100 nm
Respirable	Respirable + inhalable	Respirable
Sampling	Personal > area	Personal < area, real-time
Sampling equipment	Cyclone, impactor, filter	DMAS, CPC, OPC, APS, ELPI, filter
Sampling metric	Mass, number (fibre)	Number (particle, tube), mass, surface area
Background concentration	Not usually measured	Usually measured
Particle size distribution measurement	Not usually measured	Usually measured
TEM/SEM	Not usually conducted, except asbestos analysis	Often performed
Process episode	Not usually checked	Checked and recorded
Emission source identification	Easily identified	Not easily identified

*Abbreviations:* DMA, differential mobility analyser; CPC, condensation particle counter; OPC, optical particle counter; APS, aerosol particle sizer; ELPI, electrical low pressure impactor; TEM, transmission electron microscopy; SEM, scanning electron microscopy.

Sin embargo, el uso de nanopartículas se ha visto eclipsado por la aparición de las nanoburbujas. La tecnología mencionada anteriormente para la formación de nanopartículas resulta ser bastante cara en comparación, además de que no se consigue reducir el malgasto lo suficiente para el dinero invertido en estos procesos, por lo que la formación de nanoburbujas se convierte en la técnica más idónea para obtener los resultados deseados.



*Fig. 10: esquema de una nanoburbuja micrométrica*

Este sistema se basa en un pulverizado capaz de transmitir las propiedades de cualquier producto a un material textil. Como se puede observar en la Fig.10, mediante un aerosol se forman las nanoburbujas de aire, en cuya superficie se adhieren pequeñas cantidades de agua y el producto químico a aplicar, formando una emulsión líquido-gas, la cual se arrastra mediante unos conductos hacia un tanque donde se contiene el tejido que se desea tratar. En la Fig.11 se muestra detalladamente el esquema del proceso de micronizado.

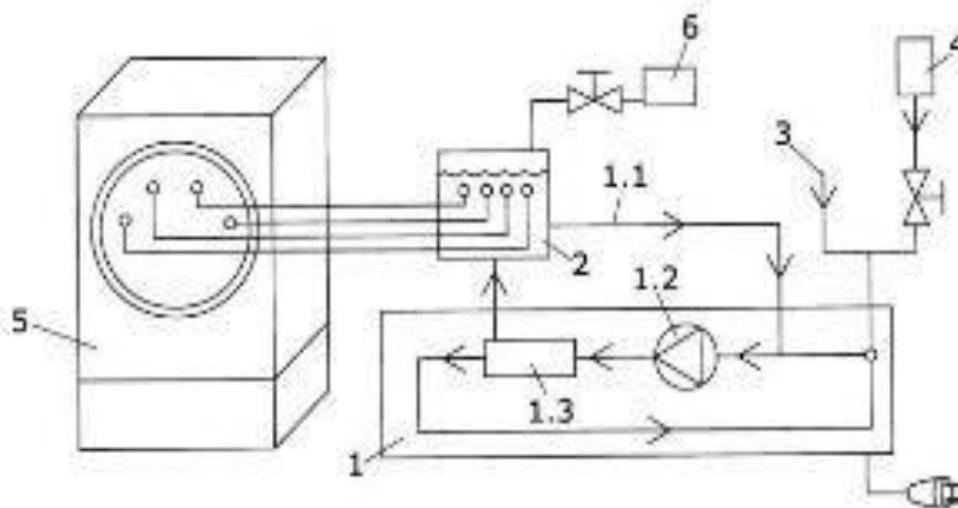


Fig. 11: esquema de micronizado

Con este sistema, tan sólo necesitamos unos cuantos litros por lote a nivel industrial, energéticamente más factible, y, por lo tanto, muchísimo más ecológico. Además, reducimos también la cantidad de producto a utilizar, vertiendo menor contenido a los ríos, y contribuyendo a un menor abuso de los recursos energéticos.

### 1.2.1. Posibles aplicaciones en textil

En la industria textil, el micronizado ha aterrizado con buena imagen debido a la gran cantidad de aplicaciones que se les puede dar; es una técnica bastante llevadera a la vez que puede combinarse con otros procesos de acabado para proporcionar un diseño al tejido, como el ozono o el láser, aunque a diferencia de estos, el micronizado no implica solamente una técnica en sí, puesto que dependiendo del producto que se le añade, se obtendrá un tejido con una determinada propiedad u otra, pudiendo combinarlos entre sí. A continuación, se detallan algunas posibles aplicaciones:

- **Tejidos repelentes a la suciedad y al agua:** los tejidos con superficie nanoestructurada de forma artificial ofrecen más prestaciones en comparación con los tejidos convencionales a la hora de mantenerse limpios y secos. Debido a su estructura, estos tejidos repelen tanto a la suciedad como el agua como se puede observar en la Fig.12, de forma que una vez expuestos a ellas, son fáciles de limpiar sufriendo apenas degradación alguna.



Fig. 12: superficie nanogranulada del tejido, que induce la permanencia del agua en forma de gotas [12]

Ello se debe a una estructura nanogranular como consecuencia de una cuestión de tensión superficial al caer agua o suciedad en estado líquido sobre la superficie. Esta propiedad proviene de la combinación de la estructura de nanoescala y microescala, otorgando una de esta forma, una superficie de especial estructura, muy similar a las que poseen las hojas del loto, las cuales siempre permanecen limpias, brillantes y secas, a pesar del medio en el que se encuentran. Se ha conseguido mimetizar esta superficie utilizando microesferas de polietileno recubiertas de nanotubos, detallada en la Fig.13.

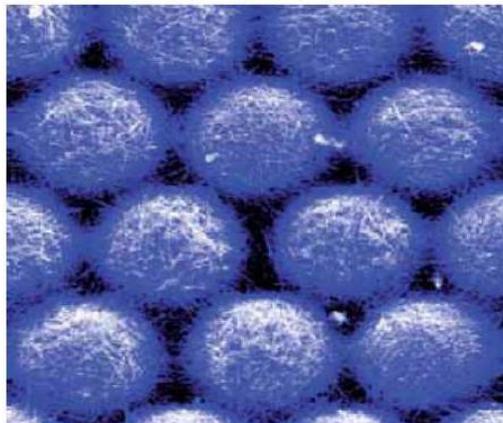


Fig. 13: superficie superhidrofóbica, resultante de la combinación de microesferas de polietileno con nanotubos de carbón [12]

Esta propiedad de repelencia a líquidos se lleva a cabo sin necesidad de utilizar productos con contenido alguno en flúor, que, en elevadas cantidades, puede llegar a ser muy perjudicial para el medioambiente. Algunas prendas pueden ser pantalones, chaquetas, delantales, manteles o paraguas, entre otros.

- **Productos textiles antibacterianos:** la plata se lleva utilizando contra las bacterias y evitar los efectos derivados de las mismas, ya sea la putrefacción de alimentos, la infección de heridas (antimicrobiano) o el olor proveniente de sudoración (antiolor).

Cuando la plata entra en contacto con el agua, se generan iones de plata sobre su superficie, como en la transpiración. Dichos iones son transportados posteriormente por las moléculas de agua hasta las bacterias, como se puede observar en la Fig.14, donde quedan fijados como consecuencia del efecto oleodinámico de la plata, produciendo su precipitación e inactivación.

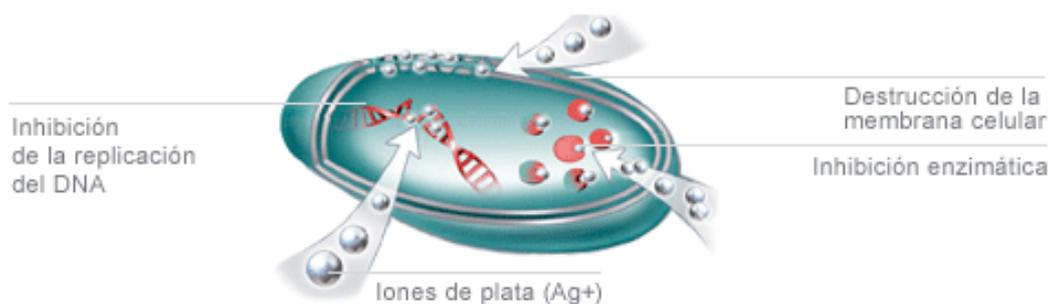


Fig. 14: proceso de inhibición de una bacteria por iones de plata

Un ejemplo de aplicación de partículas de plata podría ser el uso en calcetines deportivos, con gran cantidad de plata adherida sobre su superficie, favoreciendo de esta forma a crear un área superficial mayor. Esto provoca una mayor frescura durante periodos más largos de tiempo, a la vez que previene de enfermedades producidas por bacterias.

Sin embargo, con el uso del micronizado de nanoburbujas, se puede obtener un proceso completamente libre de plata, evitando de esta forma su propagación sobre las aguas. La plata es un metal muy nocivo para los organismos vivos, por lo que utilizando este método nos aseguramos un acabado con propiedades antibacterianas y/o antifúngicas, además de poder dotar a la prenda de repelencia a ciertos olores.

- **Tinturas y pigmentación:** en la industria textil, abundan los tintes utilizados en tejidos vírgenes para aportar una gama de colores, viveza y profundidad al tejido. En este aspecto, el mayor porcentaje de contaminación por productos químicos proviene de este proceso, pues con una baja cantidad de producto, se consigue tinte el tejido, desechando el resto de producto inutilizado. De esta forma, el micronizado de nanoburbujas de tinte ayuda a que las prendas absorban la cantidad necesaria de tinte, minimizando las pérdidas.
- **Otros:** entre otros acabados, se pueden aplicar productos antifúngicos o antivíricos, de forma que se impida una entrada masiva de estos y disminuya la probabilidad de sufrir alguna enfermedad provocada por ellos, como, por ejemplo, el pie de atleta.  
Otro efecto que se puede obtener es la retardación de llama o propiedades ignífugas, esto es, la capacidad de la prenda para no inflamarse ni propagar la llama. Esta propiedad se llega a alcanzar sin la necesidad de utilizar productos halogenados.

También destacamos acabados antimosquitos, tejidos antiolor mediante el uso de zeolitas o algunos más estéticos como bien puede ser antiarrugas, resinas para efectos 3D y suavizados.

### 1.3. Objetivos

El objetivo profesional que tiene dicho proyecto se basa en la posibilidad de aplicar varios procesos de micronizado en el sector textil, con el fin de obtener unos resultados satisfactorios y poder reducir notablemente el índice de contaminación provocado por la industria.

Por otra parte, el objetivo personal de este trabajo se basa, aparte de conseguir prendas con ciertas propiedades a partir de un proceso de micronizado, en su caracterización y análisis detallado de los resultados obtenidos a lo largo del proceso, comparando varias concentraciones, distintos productos, y variando los parámetros del equipo de trabajo.

Con este proyecto también se busca la funcionalización y la tecnificación del textil resultante, buscando diferentes efectos tanto en estética como en propiedades sobre las prendas a tratar con el fin de obtener tejidos de uso final destinados a diferentes sectores y ámbitos de aplicación.

Además, también se prevé diseñar a nivel industrial el equipo utilizado, de forma que se pueda optimizar tanto el dimensionamiento, como la cantidad de productos y agua a utilizar.

El objetivo principal de este proyecto se basa en el diseño de un intercambiador de calor necesario para adecuar el agua que se va a utilizar a las condiciones necesarias para que el proceso sea óptimo, además de ayudar a condensar el vapor de agua contenido en el aire y desechar éste del circuito de pulverizado, aumentando el rendimiento de nuestro proceso.

Por último, se quiere disponer de un estudio económico que nos facilite información sobre la viabilidad del proceso elegido.

## 1.4. eFlow

En el apartado anterior, se ha hablado sobre la maquinaria empleada para micronizar dichas partículas. En nuestro caso utilizaremos un equipo de la empresa valenciana Jeanología llamado “eFlow”.

Según palabras textuales provenientes de Jeanología, *“El vehículo tradicional para transportar los químicos a la prenda es agua. EFlow utiliza, en cambio, el aire”*, por lo que tienen como lema *“WATER IS OVER, AIR IS THE FUTURE”* [13].

### 1.4.1. Conceptos previos

Como ya hemos dicho, la tecnología eFlow utiliza el aire de la atmósfera, transformándolo en nanoburbujas. Aproximadamente existen 1 millón de microburbujas por cada centímetro cuadrado.

Los productos utilizados y el agua empleada se distribuyen uniformemente a través de la superficie de la nanoburbuja, y generando de esta forma, una mezcla homogénea entre agua, productos y aire. Solamente es necesario poco más de vaso de agua aproximadamente para procesar el acabado de una sola prenda.

La capa química que se forma alrededor de la nanoburbuja es la responsable de transportar los químicos a la prenda.

Entre todos estos aspectos, se consiguen estos grandes ahorros al año\*:

- Hasta un 95% de ahorro en **agua**. Por cada prenda, se utilizan unos 70L de agua, provocando un impacto total de 350 millones de metros cúbicos de agua al año. Se consigue un acabado con tan sólo 3.5L por prenda con la tecnología eFlow, lo que rebaja a 17.5 millones de metros cúbicos anuales.
- El ahorro en **energía** es del 40%. Se gastan 1.5kWh por cada prenda, lo que hace un total de 7500GWh. La alimentación necesaria con la tecnología de nanoburbujas se reduce hasta el 1kWh por prenda, es decir, 5000GWh anuales.
- Por último, el 90% de ahorro en **productos químicos**. En cada prenda se necesitan 150g, lo que hacen un total de 750000t anuales. Gracias a Jeanología se reduce hasta los 15g por prenda, acumulando 75000t al año.

\*La producción anual de denim es de 5000 millones de prendas

## 1.4.2. Funcionamiento

- Consumo eléctrico 380CV±10% 16A
- Potencia consumida: 10kW
- Consumo de aire: 300L/min
- Presión del aire: 5bar
- Diámetro: 12mm
- Largo: 130.9cm
- Ancho: 122.6cm
- Alto:143.5cm
- Masa: 330kg
- Capacidad del depósito: 100L
- Entrada de agua fría: 0.5”
- Desagüe: 1”



Fig. 15: equipo eFlow [14]

A parte del equipo mostrado en la Fig.15, es necesario una lavadora industrial para poder distribuir de una forma más óptima el producto a aplicar, como se muestra en la Fig.16.



Fig. 16: montaje del equipo

Para iniciar el proceso, primero se debe introducir los parámetros deseados de caudal y porcentaje de nanoburbujas, así como la masa de la carga que vaya a añadirse. En la Fig.17 se puede ver el panel de control del equipo y las posibles opciones a variar.



Fig. 17: panel de control del eFlow

### 1.4.3. Aspectos a tener en cuenta

El proceso consta de 4 etapas:

- El **tiempo de proceso**, en el cual se lleva a cabo el micronizado.
- Un **tiempo intermedio**, donde el pulverizado cesa, dejando una nube de nanoburbujas en el interior de la lavadora. Es el intervalo de tiempo que tarda en asentarse el producto al final del proceso.
- El **tiempo antilíquido**, es el tiempo que tarda la bomba en hacer retroceder el líquido excedente del conducto en el cual se transportaba.
- Finalmente tenemos el **tiempo antiaire**, período en el que se expulsa aire para eliminar los excesos de líquido restantes de todo el proceso.

Estas etapas, conjuntamente, consiguen que la prenda asimile de forma óptima el producto agregado. El equipo también consta de un sistema de limpieza bastante asequible, consiguiendo una mayor facilidad de manejo por parte del operario y una mayor rapidez a la hora de realizar la limpieza, a su vez que conseguimos mantener los conductos limpios minimizando el consumo de agua.

El eFlow se programa por minutos, es decir, al aplicar un NBP, implica un tiempo determinado de pulverizado; sin embargo, al asignar otro NBP distinto, el tiempo de pulverizado se ve afectado.

El equipo consta de dos bombas, las cuales impulsan el flujo a través de dos conductos hasta las boquillas donde se dosifica en billones de nanoburbujas. Sin embargo, no están las dos bombas en marcha al unísono, si no que una bomba trabaja en solitario con un límite, a partir del cual, si se supera, supondría la puesta en marcha de la segunda bomba.

Existe riesgo de descarga eléctrica, al igual que las partes móviles pueden sufrir un fallo mecánico. Además, existe riesgo de accidente debido al aire a presión contenido en su interior, por ello, hay que despresurizar completamente el sistema antes de retirar módulos. Es muy importante evitar parar el proceso antes de su finalización, salvo claras excepciones.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Antes de comenzar con el micronizado en sí, debemos realizar unas pruebas previas que muestren el funcionamiento de la máquina, y de esta forma, conseguir determinar la potencia alcanzada. De primeras, se prueban las diferentes técnicas de acabado con diferentes productos y se observan los resultados obtenidos.

### 2.1. Acabados y productos necesarios

El principal objetivo que se requiere cumplir, además del gran ahorro de recursos y energía, es la variedad de tejidos a obtener. Los procesos de acabado se intentarán llevar a cabo satisfactoriamente en diferentes tejidos, aumentando de esta forma la gama de prendas.

Cabe destacar que no todos los tejidos tienen las mismas propiedades, por ello, se realizan pruebas con prendas de diferente composición para una serie de acabados, comparando parámetros de acabado y resultados obtenidos.

Algunos tejidos son muy hidrófilos, por lo que absorberán gran cantidad de agua con bastante facilidad; sin embargo, otros tejidos son hidrófobos, por lo cual, se necesitará una mayor cantidad de agua para que consigan absorber la cuantía justa para lograr el acabado.

Una forma de variar las condiciones de acabado es mediante el uso de cualquier tipo de ensimaje, apresto, suavizante u otro producto aplicado previamente al proceso de acabado.

Otro aspecto a tener en cuenta es el rango de temperaturas de secado/curado a los que se someterá la prenda una vez aplicado el producto mediante micronizado para que se fijen satisfactoriamente a ella, así como los rangos de trabajo de uso de acabado funcional más adecuados en función del tipo de textil y su uso final. En la [tabla 7](#) se resume detalladamente.

Tabla 7: estudio de rangos de trabajo de productos químicos y temperaturas de secado/curado [15]

TIPO DE PRODUCTO DE ACABADO	APLICADO CONCENTRACIÓN (g/l)	TEMPERATURAS SECADO/CURADO (°C)
FLUOROCARBONO C6	Algodón y CO/PES 40 - 120	110 - 120 / 150 - 160
	Poliéster/sintética 40 - 120	110 - 120 / 150
	Viscosa 40 - 120	110 - 120 / 150
FLUORINE-FREE	Algodón y CO/PES 40 - 150	120 / 150 - 160
	Poliéster/sintética 40 - 150	120 / 150
	Viscosa 40 - 150	120 / 150
ANTIMICROBIANO	Algodón y CO/PES 15 - 50	110 - 120 / 150
	Poliéster/sintética 15 - 60	110 - 120 / 150
	Viscosa 15 - 50	110 - 120 / 150
ANTIARRUGAS	Algodón 30 - 75	80 - 100 / 150
RETARDANTE DE LLAMA	Algodón 100 - 500	120 / 150 - 160
	Poliéster/sintética 100 - 500	120 / 150
ANTIOLOR	Algodón y CO/PES 20 - 80	120 / 150 - 160
	Poliéster/sintética 20 - 80	120 / 150
REPELENTE MOSQUITOS	50 - 150	110 - 130 (químico sintético) 60 - 70 (químico natural)
PIGMENTO (TINTURA PIGMENTARIA)	1 - 10	100 - 120
COLORANTE (TINTURA)	0,1 - 2%* (del peso del textil)	100 - 120
ENZIMAS	1 - 5%* (del peso del textil)	80 - 100

Tras estos apuntes, se llegaron a las siguientes conclusiones iniciales:

- Cualquier tipo de tejido es capaz de ser tratado con productos de acabado aplicados mediante micronizado.
- Su aplicación semejante a una lavadora industrial lo hace un método bastante duradero, evitando daños por desgaste o por fricción.
- Todo tipo de prendas pueden ser micronizadas por eFlow, desde prendas de vestir hasta cualquier complemento (guantes, calcetines, gorros...)
- Los líquidos a aplicar y productos de acabado necesitan tener un límite de viscosidad para evitar una obstrucción de los conductos del equipo.

Se llevaron a cabo varios ensayos con diferentes tipos de acabado y diferentes productos. Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Ajustes y pruebas previas con **fluorocarbonos C6** y **fluorine-free**: la repelencia contra líquidos ha sido la más utilizada en estas pruebas previas. Se han utilizado productos como Polyguard NIN (perfluoroalquilato tipo C6) de Polystec, Smartrepel Hydro PM (parafina y otros polímeros, libre de flúor) y NUVA 4547 (fluorado tipo C6) de Archroma y Centegard 50/BWR (fluorocarbono tipo C8) de Colorcenter.

Las aplicaciones se realizaron a concentraciones entre 20 y 100 g/L con los diferentes productos considerados, para observar problemas de aplicación. El aspecto de tejidos acabados con eFlow en estas pruebas se muestra en la **Fig.18**.



*Fig. 18: tejido de algodón tipo mantelería acabado con Polyguard NIN aplicado por micronizado*

- Ajustes y pruebas previas de **tintura**: en las pruebas y ajustes con tintura surgen problemas a la hora de conseguir un mojado uniforme y a la hora de controlar el pick up en función del producto nebulizado. Un punto a favor es que se puede evitar el uso de sal incluyendo NaOH en la formulación, generando electrolitos que promueven la penetración de la tintura en la fibra.
- Ajustes y pruebas previas con **retardantes de llama**: dichas pruebas se efectuaron con productos libres de halógenos. No se obtuvieron pruebas satisfactorias ya que, tras el secado y/o curado, viraban el color del tejido base en exceso.

- Ajustes y pruebas previas con **antimosquitos, antimicrobianos y antiolor**: algunos productos utilizados para ajustar cantidades y conocer los principales parámetros de aplicación y funcionamiento del equipo son Tanatex Lava, Polyprotec AGPN, Unibacter K30, Polyprotect Repel, iSys y productos tipo Sanitized, como el AM2116. A continuación, en la Fig.19 se muestra una prueba de dicho acabado.



Fig. 19: muestras acabadas con antimicrobiano

Llegados a este punto, y tras los diversos resultados, las conclusiones que se relacionan con los ajustes son las siguientes:

- Se observa bastante dificultad de trabajo con el eFlow respecto otras técnicas convencionales por la introducción de nuevos conceptos, como el NBP.
- Las pruebas previas de aplicación de fluorocarbonos han sido satisfactorias.
- Para aplicar antimicrobianos y acabados higiénicos hay que tener controlada las viscosidades.
- Las tinturas y los retardantes de llama requieren de más trabajo.

## 2.2. Protocolo de micronizado

Antes de iniciar cualquier ensayo, es aconsejable estudiar bien el comportamiento del equipo realizando pruebas y examinándolas más a fondo en condiciones operativas. Para ello, primero se procede a micronizar sin producto alguno (Tabla 8), de forma que sea posible comprobar el comportamiento a la hora de bombear el fluido y pulverizarlo al exterior. Una vez completado, se procederá a introducir carga de masa conocida en el interior de la lavadora para estudiar su capacidad de absorción respecto al micronizado (Tabla 10).

Primero, se establecerán distintos parámetros de NBP para un caudal constante de 12L/h. Fijando un tiempo antilíquido y un tiempo antiaire de un minuto, nos queda que el tiempo de proceso será la diferencia entre el tiempo total y esos 2 minutos finales.

Tabla 8: pruebas de caudal

NBP(%)	t <sub>total</sub> (min)	t <sub>proceso</sub> (min)	t <sub>rociado</sub> (min)	V <sub>teórico</sub> (mL)	V <sub>real</sub> (mL)	Pérdidas(mL)	Pérdidas(%)
20	4	2	0,83	166,67	100	66,67	40
30	4	2	0,83	166,67	100	66,67	40
40	5	3	1,83	366,67	300	66,67	18,18
50	5	3	1,83	366,67	300	66,67	18,18
60	6	4	2,83	566,67	500	66,67	11,76
70	6	4	2,83	566,67	500	66,67	11,76
80	7	5	3,83	766,67	700	66,67	8,7
90	7	5	3,83	766,67	700	66,67	8,7
100	8	6	4,83	966,67	900	66,67	6,9

Como se puede observar en los resultados obtenidos, el tiempo real de micronizado es 1 minuto y 10 segundos menos que el tiempo real. Para ello, se dispondrá a comprobar el trabajo de la bomba a distintos tiempos, detallado en la tabla 9.

Tabla 9: trabajo de la bomba

NBP(%)	t <sub>aprox.</sub> (min)
20	1
40	2
59	2

Como vemos, la bomba trabaja un minuto menos de lo esperado, esto puede ser considerado por el mantenimiento previo de los conductos. Además, debemos considerar las pérdidas por fricción que se producen en el sistema, lo que explican los 10 segundos de retraso a la hora de pulverizar.

También hay unas pérdidas en cuanto al volumen, que, al ser constantes, implican un menor margen de error cuanto más cantidad de nanoburbujas micronizamos. Dichas pérdidas pueden ser provocadas, quizá, por la fricción que se produce en el interior de los conductos, evitando que se distribuya la totalidad de su volumen a lo largo de su recorrido.

Además, existe un rango de NBP para cada cual, implicará siempre un mismo tiempo de micronizado, es decir, que hay varios valores de NBP con idéntico tiempo de proceso. Cada rango o nivel, equivale a 20 valores porcentuales; esto es, que desde el 20% al 39% el tiempo de pulverizado es el mismo, del 40 al 59 igual, y así, sucesivamente, exceptuando del 0 al 19%, donde no se pulveriza cantidad alguna de producto. Podemos decir que el valor inicial de NBP sería del 20%.

## 2.3. Ensayos

Una vez se conoce la hidráulica de la máquina, se considera añadir cierta masa de carga para estudiar su comportamiento de impregnación. Para ello, se realizarán varios ensayos con diferentes productos para determinar el nivel de acabado conseguido.

- **Tinturas:** se escoge un tejido blanco y un tinte azul con una concentración de 0.25g/L por kg de tejido, permitiendo divisar notablemente los resultados a simple vista. Se empezará con una pequeña prueba, para luego proceder a cargar 1kg aproximadamente. Por último, se valorarán los resultados tanto cualitativamente observando la tintura absorbida, como cuantitativamente midiendo el pick up obtenido mediante la siguiente ecuación:

$$\% = \frac{m_0 - m_f}{m_0} \cdot 100$$

- **Acabados repelentes:** se realizaron pruebas de micronizado con diferentes productos sobre tejido de PES del tipo deportivo, tanto en formato textil, como en formato prenda. Para analizar dicho efecto, se procederá a observar si la prenda consigue resistir la absorción de varias disoluciones de agua y alcohol en distintas proporciones, por una parte, y aceite. A dicho nivel de absorción, se le asignará un número que indicará el grado de repelencia que posee la prenda tratada.
- **Acabados antimicrobianos y antimosquitos:** para estas aplicaciones se han reproducido métodos de aplicación con distintos productos testados y probados anteriormente.

Los productos antimicrobianos utilizados son los siguientes:

- Compuestos heterocíclicos
- Zinc piritionato
- Fenoxi-permetrín y derivados
- Bases de plata

Los productos antimosquitos utilizados son los siguientes:

- Base permetrina
- Picaridina+geraniol

Las prendas tratadas fueron:

- Camisetas color azul, camisetas y tejido blanco PES
- Calcetines y perneras de color blanco

- **Acabado antiolor:** para esta aplicación se intenta conseguir prendas con reducción de olor percibido. Para ellos se investigaron productos seleccionando compuestos basados en zeolitas/silicatos. Los parámetros utilizados son los siguientes:
  - NBP del 100% (pick up real del 107%)
  - Caudal constante de 12L/h
  - Secado/polimerizado en horno de un total de 8 minutos a una temperatura mínima de 110°C y sin superar en ningún momento los 160°C

- **Acabados retardantes de llama:** los productos que se determinó aplicar para este tipo de acabado resultaron ser retardantes de llama sintéticos:
  - Se le aplicó un producto de entre 100-400g/L
  - Se determinó un tiempo de acabado en el eFlow de 8 minutos, añadiendo un centrifugado de 2
  - El NBP aplicado fue del 100% (pick up real del 80%)
  - Se le administró un caudal constante de 12L/h
  - El secado/polimerizado duró 5 minutos, a una temperatura de 120°C para el secado y 160°C para la polimerización

## 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En función de los ensayos anteriormente realizados, se dispone a analizar los resultados obtenidos. Dicho análisis se realizará de forma tanto cuantitativamente, dependiendo si cumplen los requisitos especificados o no, como cualitativamente, estableciendo parámetros que registren el nivel de satisfacción a la hora de cumplir con el objetivo deseado.

### 3.1. Caracterización cualitativa

Cualitativamente, nos dispondremos a determinar si existe o no el efecto aplicado tras el micronizado. Para ello tendremos que visualizar diferentes aspectos los cuales se pueden identificar a simple vista (color del tinte aplicado, propiedades satisfactorias, características específicas...):

- **Tinturas:** tras secar los tejidos hemos podido comprobar que las muestras tratadas a 40, 60, 80 y 100% NBP no son homogéneas. Por otra parte, las muestras tratadas a 120% son parcialmente homogéneas, mientras que a 140% NBP se logra obtener un grado de homogeneidad aceptable.

Tras estas primeras pruebas sobre tejidos, se han repetido las pruebas a 120 y 140% NBP utilizando camales de denim blanco. En las [Fig.20-29](#) se muestran los diferentes resultados del tinte obtenido con distintos NBP utilizados.



Fig. 21: ensayo de una muestra de tejido al 40% de NPB



Fig. 20: ensayo de una muestra de tejido al 60% de NPB



Fig. 23: ensayo de 1kg de tejido al 40% de NPB



Fig. 22: ensayo de 1kg de tejido al 60% de NPB



Fig. 25: ensayo de 1kg de tejido al 80% de NPB



Fig. 24: ensayo de 1kg de tejido al 100% de NPB

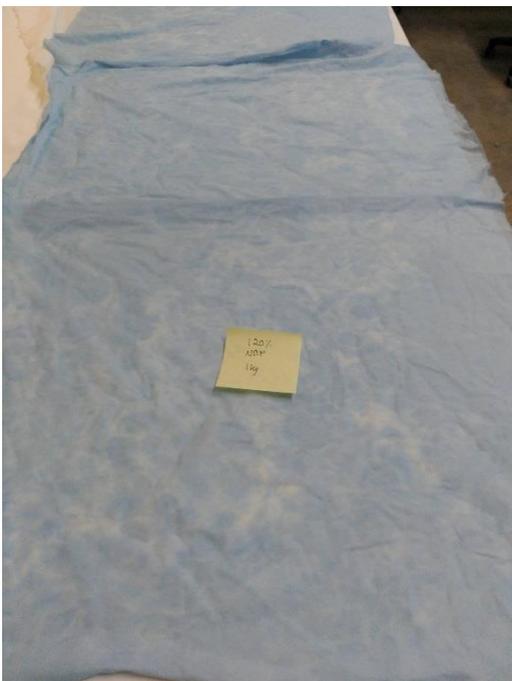


Fig. 27: ensayo de 1kg de tejido al 120%



Fig. 26: ensayo de 1kg de tejido al 140% de NPB



*Fig. 28: ensayo 1kg de camales del tejido base al 120% de NPB*



*Fig. 29: ensayo 1kg de camales del tejido base al 140% de NPB*

Como se puede observar en las imágenes anteriores, dependiendo de la carga que se introduzca, necesitaremos una mayor potencia para conseguir resultados similares. Esto nos ayuda a poder escoger una potencia óptima para conseguir un tiempo de pulverizado adecuado, y obtener satisfactoriamente acabados de distintos tipos de prendas sin necesidad de malgastar parte del producto.

En el caso de introducir cierta carga en el interior del equipo, necesitamos una potencia de mínimo 120% para que empiece a homogeneizarse el tinte sobre el tejido, llegando hasta el 140% para que el tinte se disperse de forma óptima.

- **Acabados repelentes:** los productos utilizados en estas pruebas resultaron ser bastante eficaces en las prendas tratadas, pues se obtuvieron unos resultados satisfactoriamente altos tanto para el aspecto lipofóbico como hidrofóbico. Las prendas repelían amplia gama de líquidos, consiguiendo los resultados deseados. Tanto en la Fig.30 como en la 31 se muestran los resultados de repelencia a líquidos a diferentes concentraciones de producto aplicado.



Fig. 30: tejido PES. A la izquierda, acabado de 30g/L con una repelencia aceptable. A la derecha, con una aplicación de 50g/L se consigue una excelente repelencia al agua



Fig. 31: pruebas de repelencia a líquidos con acabados a 35g/L

- **Acabados antimicrobianos y antimosquitos:** como en las pruebas iniciales, las prendas tratadas se basaron en camisetas y tejido blanco de PES, calcetines blancos y perneras blancas. Los antimicrobianos aplicados fueron compuestos heterocíclicos, bases plata, zinc piritionato y derivados del fenoxi-permetrín, mientras que para los antimosquitos se utilizaron productos con base permetrina y picaridina y geraniol. Las prendas obtenidas consiguieron los efectos deseados, repeliendo la presencia de microbios y mosquitos. Debido a los buenos resultados obtenidos en las pruebas iniciales, se han tratado de la misma forma las distintas prendas. En la **Fig.32** se pueden observar distintos tipos de acabados antimicrobianos.



*Fig. 32: muestras acabadas con antimicrobianos a 15-30g/L utilizadas para tejido de hogar tipo loneta y tapicería*

- **Acabados antiolor:** como en el caso anterior, las pruebas dieron excelentes resultados para repeler olores, por lo que se ha reproducido el mismo método. Se trata de una de las aplicaciones que mejores resultados dieron en cuanto a funcionalidad, demostrando que es posible desarrollar prendas con función de reducción del olor percibido. Para ello se investigaron productos diversos basados en zeolitas/silicatos. En la **Fig.33** se muestran algunas prendas tratadas con producto antiolor.



*Fig. 33: secado y polimerizado de acabados antiolor*

- **Acabados retardantes de llama:** en esta prueba se testó la viabilidad de aplicar retardantes de llama de origen sintético, a un NBP de 100% y un secado a 120°C durante unos 5 minutos y una polimerización a 160°C/min.

### 3.2. Caracterización cuantitativa

A continuación, se procederá a valorar los resultados de una forma más exacta, obteniendo valores que determinen el nivel de satisfacción de la prueba desde un punto de vista más numérico. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- **Tinturas:** cuantitativamente observamos como para un ensayo con una pequeña prueba, un NBP bajo serviría para conseguir los resultados deseados. Sin embargo, vemos como para 1kg de material, se necesitaría mucha más cantidad de micronizado si se requiere impregnar o recubrir el tejido en su totalidad. En cambio, la superficie de la tela no interviene significativamente en los resultados, puesto que los porcentajes entre los tejidos originales no difieren mucho de los tejidos cosidos en forma de camales. En la **tabla 10** se recogen los valores del pick up obtenido.

*Tabla 10: cálculo del pick up a diferentes valores de NBP*

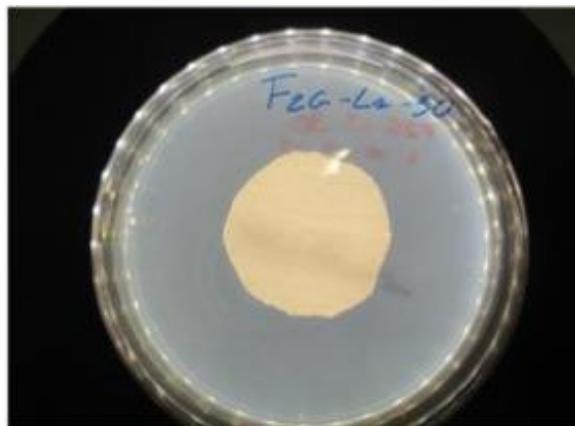
NBP(%)	mo(g)	mf(g)	pick up (%)
40	193,81	382,67	97,45
60	218,89	501,46	129,09
40	984,7	1206,6	22,53
60	1055,54	1464,4	38,73
80	1020,09	1612,54	58,08
100	1024,33	1767,42	72,54
120*	1055,15	1822,2	72,70
120	1004	1973,09	96,52
140	999,5	2125,83	112,69
120 (camal)	1020,72	2079,43	103,72
140 (camal)	1006	2104,13	109,16

\*Prueba repetida por inconclusiones

- **Acabados repelentes:** las pruebas que se realizaron para analizar el nivel de repelencia que adoptaba la prenda consistieron en aplicar sobre el tejido unas gotas tanto de aceite como de una mezcla de agua y alcohol a distintas concentraciones, numeradas del 0 al 8 en el caso del aceite, donde variaba el aceite utilizado aumentando la dificultad de repelencia a la vez que subía el nivel, mientras que en las pruebas de repelencia al agua, consisten en niveles del 0 al 10, donde el 0 es una solución 100% de agua y el 10 es 100% propanol.

Las pruebas iniciales consiguieron una valoración de 6 en aceite y 9 en agua. Al cabo de 50 lavados, se volvieron a realizar las pruebas, obteniendo un 3 en aceite y un 5 en agua. Por otra parte, las caracterizaciones de productos libres de flúor dieron niveles bastante bajos, siendo de un nivel 2-3 de repelencia al agua, y un nivel 0 de repelencia al aceite.

- **Actividad antimicrobiana y antifúngica:** las muestras acabadas con antimicrobianos también se caracterizaron con los estándares habituales, obteniéndose en muchos casos efecto antibacteriano con actividad del 99.9% frente al *S.aureus* y también antifúngica en varias de las muestras desarrolladas frente al *T.rubrum*, un hongo frecuente de enfermedades de la piel como el pie de atleta, prurito del jockey y tiña. En la [Fig.34](#) se puede observar una muestra de tejido antibacteriano.



*Fig. 34: tejido tipo loneta acabado con Unibacter K30 a 30g/L sin muestras de crecimiento del *T.rubrum* (valoración 0)*

- **Eficacia antiolor de textiles acabados con estos compuestos:** se analizan 2 tandas de muestras remitidas, con varios acabados antiolor añadidos, aplicando sudor artificial sobre las muestras y evaluándolas por olfatometría dinámica. La colaboración ha permitido validar los acabados antiolor aplicados, ya que algunos alcanzan niveles de reducción del olor percibido de hasta el 80%.

- **Eficacia de acabados repelentes a mosquitos:** se llevó a cabo un ensayo de laboratorio para determinar la eficacia repelente de muestras desarrolladas frente al mosquito *Aedes aegypti*. El tejido fue aplicado en la muñeca de los voluntarios humanos. Se expuso el antebrazo a los mosquitos y se determinó el número de insectos posados a los 5 minutos y en intervalos de 1 hora. El porcentaje de repelencia se calculó teniendo en cuenta el número de posados en el control (antebrazo sin producto). Se llevaron a cabo 5 réplicas con cada muestra. El nivel alcanzado de repelencia está siempre en torno al 20% y no parece ser significativo. En otra tanda de tejidos remitidos tampoco se supera el 20-25% y este valor no parece ser significativo, por lo que hay que seguir trabajando las aplicaciones y uso de productos naturales/sintéticos.
- **Solidez de color al frote seco/húmedo, a los lavados y a la luz, incluyendo colorimetría/grado de blanco:** en aquellas muestras coloreadas sobre las que se aplicó tanto retardante de llama como antimicrobianos y repelentes, se evaluó la solidez de colores al frote y a la luz, a fin de controlar la calidad del tejido acabado por el método de micronizado, Los resultados generales obtenidos no indican deficiencias significativas en los colores, tras aplicación de lavado y de frote en seco/húmedo, sobre las muestras desarrolladas por acabado con eFlow.

## 4. DISEÑO INDUSTRIAL

Una vez que hemos comprobado que el proceso es viable de realizar, propondremos un diseño para poder procesar prendas a nivel industrial. Para ello deberemos seleccionar los materiales necesarios para poder adquirir el equipo necesario a escala industrial. Primero propondremos el esquema del proceso realizado.

### 4.1. Esquema del proceso

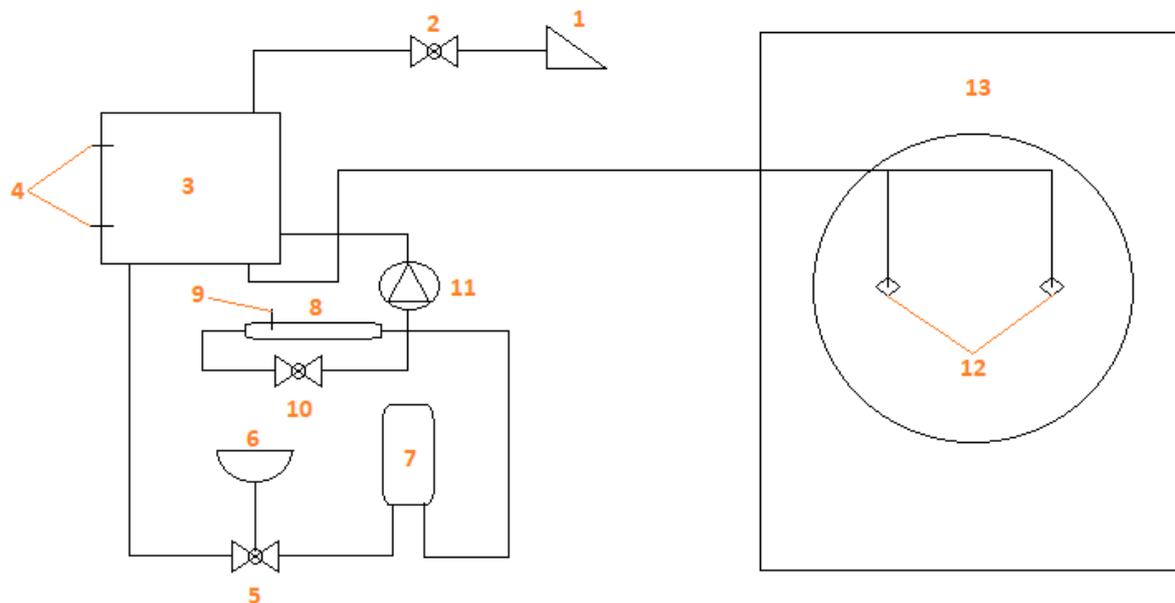


Fig. 35: esquema del proceso de micronizado a nivel industrial

- 1-Alimentación de agua
- 2-Válvula de bola con actuador neumático de doble efecto de  $\frac{3}{4}$ "
- 3- Depósito
- 4-Sensores de nivel
- 5-Válvula de bola con actuador neumático de doble efecto de 1"
- 6-Eliminador de aire
- 7-Bomba centrífuga de circulación
- 8-Tubo del reactor
- 9-Transudctor de presión
- 10- Válvula de bola con actuador neumático de doble efecto de  $\frac{1}{2}$ "
- 11-Bomba peristáltica
- 12-Boquillas
- 13-Lavadora industrial

En cuanto a la disposición en planta contaremos con dos niveles. En el primero se realizarán los ensayos, por lo que contaremos con el e-Flow, la lavadora industrial y una mesa de trabajo, donde se podrán preparar las muestras a ensayar. Por otro lado, en el segundo nivel, dispondremos de las instalaciones térmicas correspondientes para añadir temperatura en caso de necesidad (caldera) y eléctricas, las cuales alimentan toda la maquinaria (cuadro eléctrico), además de los depósitos provenientes de agua de red. En el anexo podremos encontrar los planos correspondientes a los dos niveles.

## 4.2. Dimensionamiento

En el punto anterior hemos visto el esquema del proceso que se va a realizar. Ahora propondremos un método de micronizado adecuado para industrializarlo a una escala media-grande.

En primer lugar, calcularemos el caudal de trabajo a partir de las prendas fabricadas. Para una industria fabricante de prendas textiles encargada de proveer a una cantidad media de tiendas de ropa se estima una cantidad de 300000 prendas al año, lo que nos exige unas 100 prendas/h.

Para tratar 33 prendas se necesita un volumen aproximado de 22L, por lo que para 100 prendas obtendremos el siguiente caudal de agua:

$$\frac{22L}{33 \text{ prendas}} \cdot \frac{100 \text{ prendas}}{h} = \mathbf{66.67L/h}$$

Ahora que ya sabemos que utilizaremos aproximadamente 66.5L a la hora, nos dispondremos a calcular las medidas del depósito donde se introducirá el producto que deseamos micronizar.

La capacidad del tanque será de 0.1m<sup>3</sup>, como se especifica en los parámetros expuestos anteriormente en este trabajo. Las medidas del depósito industrial son 0.5x0.5x0.4m.



Fig. 36: depósito del eFlow

La lavadora industrial se puede utilizar la misma, ya que no se alcanzó la máxima capacidad de carga durante los ensayos, por lo que es capaz de resistir la carga implantada para el trabajo industrial, un total de 3600L de volumen.

Además del depósito, que se muestra en la Fig.36, se necesitan los siguientes materiales, que detallaremos mejor en el siguiente punto, que como veremos, se trata de una bomba de recirculación, una válvula de bola con actuador neumático de doble efecto de 1", otra de  $\frac{3}{4}$ " y otra más de  $\frac{1}{2}$ ", un eliminador de aire, un tubo del reactor, dos transductores de presión, dos sensores de nivel y dos bombas peristálticas, a parte de las boquillas pulverizadoras, que vienen incluidas con la lavadora industrial. En el anexo, se encuentran los catálogos seleccionados para elegir dichas piezas.

Por último, necesitaremos un intercambiador de calor para disminuir la temperatura del agua hasta aproximadamente la ambiental, ya que se incrementa la temperatura para algunos procesos que necesiten de un incremento térmico para su realización, pero dicho incremento puede afectar negativamente al resto de procesos. Irá colocado en el eliminador de aire, para ayudar a disminuir la cantidad de vapor de agua. Antes de todo nos centraremos en escoger el tipo de intercambiador de calor.

Escogeremos un intercambiador de calor de placas. Estos intercambiadores están compuestos por finas placas comprimidas dentro de un bastidor, donde se sitúa el producto, mientras que en un canal alterno (en este caso a temperatura ambiente). Además, son la mejor opción al tratar fluidos poco viscosos (en este caso agua y aire) y cuando la corriente de salida del producto es relativamente cercana a la corriente de entrada del servicio (fluido secundario). Nuestro intercambiador de calor trabajará a contracorriente para aumentar el rendimiento, detallado en la Fig.37.

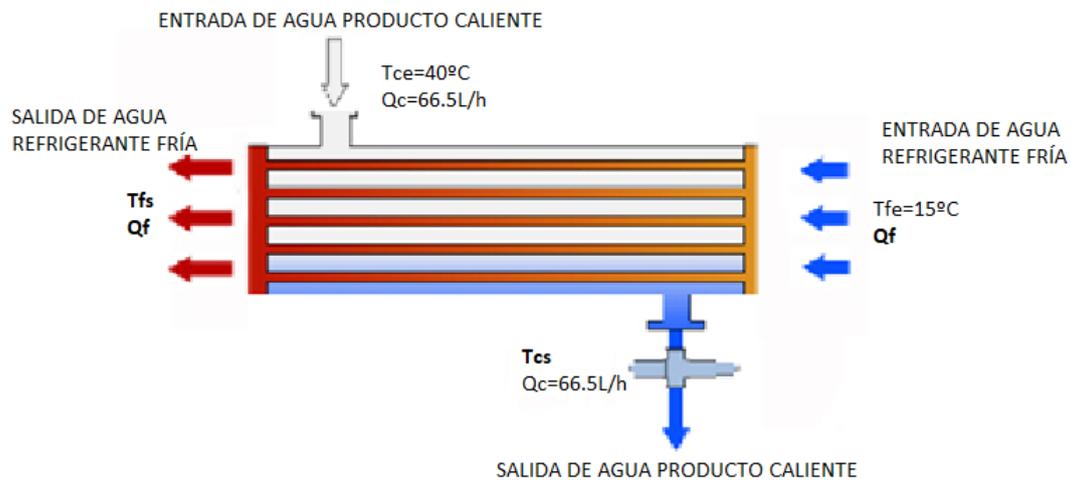


Fig. 37: esquema del intercambiador de calor. En negrita, los parámetros desnoidos

Una vez hemos escogido el intercambiador adecuado, debemos dimensionarlo para que cumpla con los requisitos deseados. Detallaremos el perfil de temperaturas que dispondrá nuestro intercambiador en la Fig.38.

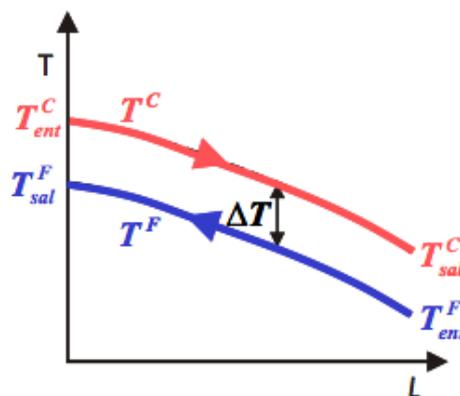


Fig. 38: perfil de temperaturas

Dicho comportamiento térmico se rige de la siguiente fórmula:

$$\Delta\dot{q} + q = \frac{dU_{vc}}{dt}$$

Para trabajar de forma más cómoda, dividiremos la fórmula anterior en pequeñas partes, facilitando de esta forma el manejo con ecuaciones más simplificadas. Las divisiones que se proponen son las siguientes:

**INTERCAMBIO CALOR → FRÍO**

Cuando dos cuerpos entran en contacto, ya sea directo o indirecto, se presenta un intercambio de calor entre ellos con un gradiente térmico positivo. El cuerpo que presenta mayor temperatura cede calor al sistema, el cual recoge el cuerpo que se encuentra a una menor temperatura. Dicho intercambio calorífico cesa cuando los dos cuerpos se encuentran equilibrados térmicamente ( $T_c \approx T_f$ ). Sin embargo, el calor cedido no llegará a ser igual al calor absorbido, debido a que una pequeña parte de calor se verá desprendida al entorno. Por lo tanto, dicha variación de calor se rige por la siguiente expresión:

$$\Delta \dot{q} = \dot{m} \cdot \dot{h}_e - \dot{m} \cdot \dot{h}_s$$

La entalpía se define como la suma de la entalpía estándar y la entalpía generada o sustraída al realizar el cambio de temperatura:

$$\Delta \dot{q} = \dot{m} \cdot (h^0 + C_p \cdot (T_e - T^0)) - \dot{m} \cdot (h^0 + C_p \cdot (T_s - T^0))$$

Operando y simplificando obtenemos la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{q} &= \dot{m} \cdot h^0 + \dot{m} \cdot C_p \cdot T_e - \dot{m} \cdot C_p \cdot T^0 - \dot{m} \cdot h^0 - \dot{m} \cdot C_p \cdot T_s + \dot{m} \cdot C_p \cdot T^0 = \\ &= \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) \end{aligned}$$

Como el flujo másico ( $\dot{m}$ ) es igual al caudal ( $Q$ ) multiplicado por la densidad de dicho líquido ( $\rho$ ) obtenemos:

$$\Delta \dot{q} = \rho \cdot Q \cdot C_p \cdot (T_e - T_s)$$

## CALOR INTERCAMBIADO POR LA PLACA

Cuando dos cuerpos entran en contacto indirectamente a través de un cuerpo intermedio, éste también realiza un particular intercambio de calor, absorbiendo una pequeña parte del calor cedido por el cuerpo a mayor temperatura y cediendo una pequeña parte de calor al cuerpo que se encuentra a menor temperatura. Este calor viene regido por la siguiente expresión:

$$q = UA \cdot \Delta T_{ml}$$

La temperatura media logarítmica ( $T_{ml}$ ) viene dada dependiendo del perfil de temperaturas que posea nuestro sistema. En nuestro caso, tratándose de un sistema a contracorriente, podemos asegurar que el valor será más bajo que al tenerlo equicorriente, ya que el salto de temperatura no es tan brusco. Este hecho afirma el mejor rendimiento de estos tipos de intercambiadores. La expresión quedaría de la siguiente forma:

$$q = UA \cdot \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln \frac{(T_{ce} - T_{fs})}{(T_{cs} - T_{fe})}}$$

## ACUMULACIÓN DE CALOR

Este término se basa tanto en la energía interna almacenada de algún compuesto como en el trabajo realizado. En ella se pueden introducir la energía cinética de los átomos o moléculas que lo constituyen, contando con sus energías de rotación, translación y vibración, así como la energía potencial intramolecular debido a las fuerzas gravitatorias, electromagnéticas y nucleares. Puede expresarse de la siguiente forma:

$$\frac{dU_{vc}}{dt} = \frac{d(u_{vc} \cdot \rho \cdot V)}{dt}$$

El trabajo podemos considerarlo despreciable, por lo que el volumen del sistema se mantendrá constante a lo largo del proceso:

$$\frac{dU_{vc}}{dt} \approx \rho \cdot V \frac{dh_{vc}}{dt}$$

Aplicando la definición de entalpía utilizada anteriormente:

$$\frac{dU_{vc}}{dt} \approx \rho \cdot V \frac{d(C_p \cdot T)}{dt}$$

Debido a que el calor específico tampoco varía durante el proceso:

$$\frac{dU_{vc}}{dt} \approx \rho \cdot V \cdot C_p \frac{dT}{dt}$$

Por lo tanto, la ecuación final resultaría

$$\rho \cdot Q \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) + UA \cdot (T_s - T_e) = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \frac{dT}{dt}$$

Debido a que tenemos dos fluidos, cada uno presentará un comportamiento térmico diferente, por lo que, tendremos dos ecuaciones térmicas:

### **ECUACIÓN FLUIDO CALIENTE (agua producto)**

$$\rho_c \cdot Q_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{ce} - T_{cs}) - UA \cdot \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln \left( \frac{T_{ce} - T_{fs}}{T_{cs} - T_{fe}} \right)} = \rho_c \cdot V_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{cs} - T_{ce})$$

**ECUACIÓN FLUIDO FRÍO (agua refrigerante)**

$$\rho_f \cdot Q_f \cdot C_{pf} \cdot (T_{fe} - T_{fs}) - UA \cdot \frac{(T_{ce} - T_{fs}) - (T_{cs} - T_{fe})}{\ln \left( \frac{T_{ce} - T_{fs}}{T_{cs} - T_{fe}} \right)} = \rho_f \cdot V_f \cdot C_{pf} \cdot (T_{fs} - T_{fe})$$

Mediante la ayuda de un programa matemático, y suponiendo que el agua termina el proceso a una temperatura cercana a los 40°C, se consiguen averiguar las variables que nos interesan: la temperatura del agua producto de salida ( $T_{cs} \approx 27^\circ\text{C}$ ), la temperatura del agua refrigerante de salida ( $T_{fs} \approx 27^\circ\text{C}$ ) y el caudal de éste ( $Q_f \approx 130\text{L/h}$ ). En la Fig.39 se muestra el gráfico de temperaturas del proceso diseñado.

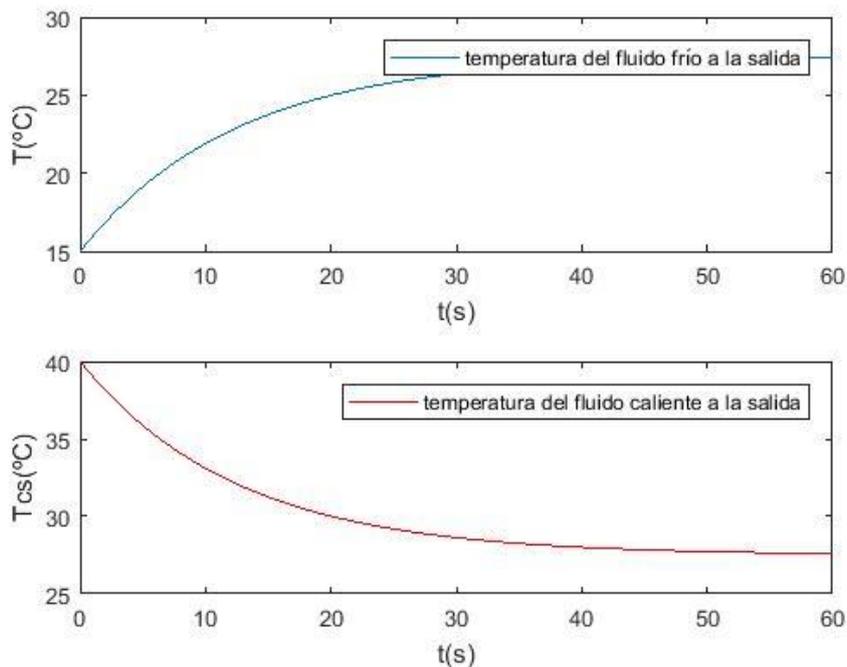


Fig. 39: gráfico de temperaturas recreado por el intercambiador de calor

Finalmente, obtenemos una bomba cuyo caudal de entrada de líquido refrigerante debe ser de 130L/h para conseguir que los 66.5L/h de líquido producto rebajen su temperatura hasta alcanzar los 27°C, temperatura que ya se considera adecuada para poder trabajar.

### 4.3. Equipo

- **Bomba centrífuga de recirculación (1ud.):** la bomba centrífuga se encarga de recircular el líquido hacia el depósito y de esta forma aprovechar la máxima cantidad de agua.

Las bombas centrífugas convierten la energía en velocidad y luego en energía de presión. Están formadas por un impulsor que gira en una carcasa.

Las bombas centrífugas están formadas por la capacidad de fluido descargado en un tiempo determinado, la potencia y el aumento de presión.

El objetivo principal que tienen las bombas centrífugas es mover gran volumen de líquido por dos niveles diferentes, transforman energía mecánica en energía hidráulica. Los principales componentes de una bomba son la tubería de aspiración, la voluta y un rodete. En la Fig.40 se puede observar el contenido de una bomba centrífuga.

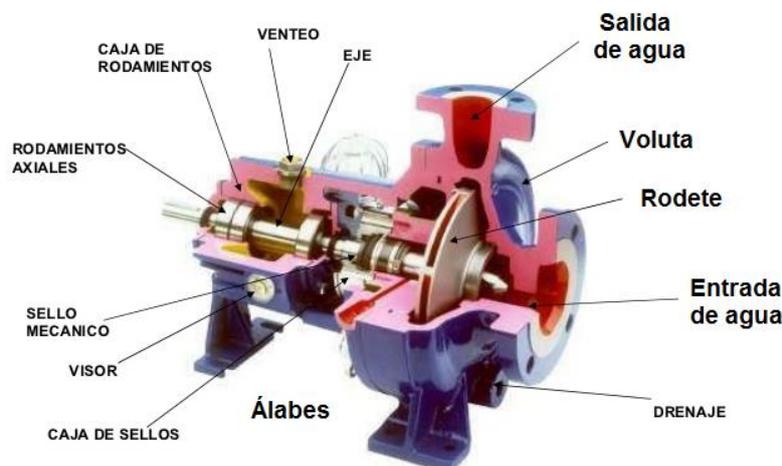


Fig. 40: partes de una bomba centrífuga

Las bombas centrífugas se usan para generar un movimiento del fluido en contra de la presión, para que un fluido se mueva desde donde hay más presión hacia donde hay menos presión no es necesaria energía, en cambio, si el movimiento tiene que ser contrario es necesario utilizar una bomba, la cual cambia la dirección.

La parte por donde se aspira el líquido para proceder a su bombeo es la tubería de aspiración, una parte imprescindible para que el bombeo que genera la bomba centrífuga funcione depende de esta tubería, que tiene que estar en perfecto estado sin ninguna fisura o poro por el cual pueda entrar aire. Según el funcionamiento, las bombas centrífugas cuentan con un aspirador que está limitado, por lo que no es conveniente saturarlas; para evitar las posibles pérdidas de aire es aconsejable utilizar lo menos posible codos, válvulas...

El rodete o impulsor puede tener diferentes formas dependiendo de la función de la bomba, el rodete se acciona gracias a un motor que va unido a un eje, siendo el eje la única parte que se mueve de la bomba, el líquido entra hasta el rodete cambiando de dirección bruscamente.

Está compuesto por un disco colocado de forma perpendicular al eje, formado por álabes con forma de curva en una dirección contraria. Depende de la función de la bomba centrífuga y de los esfuerzos que tenga que soportar, el impulsor está formado por un material u otro.

La voluta tiene forma de caracol, es una parte fija que tiene como misión recoger el líquido que deja el rodete, cambia la dirección del movimiento y lo dirige hacia la salida. La voluta la podemos considerar un transformador de energía porque frena el líquido transformando la energía dinámica en energía de presión.

Las bombas centrífugas cuentan con muchas ventajas frente a otros sistemas de bombeo, por ejemplo, son bastante silenciosas y tienen un tamaño relativamente pequeño.

Normalmente, las bombas de circulación sirven para circular agua en sistemas cerrados y proporcionar calor, aire acondicionado o agua caliente sanitaria.

Uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta es la NPSH o altura neta positiva de aspiración [15], y se trata de la diferencia entre la presión del líquido en el eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a temperatura de bombeo, es decir, la presión absoluta mínima que debe haber a la entrada de la bomba para evitar fenómenos de cavitación.

Si la bomba aspira con aspiración excesiva, la presión a la entrada puede disminuir hasta llegar a alcanzar la tensión de vapor del agua. Se desprenderían entonces burbujas de vapor que, cuando la presión se recupera, explotarían violentamente ocasionando graves daños en los mecanismos de la bomba.

La zona de la bomba con menor presión es la sección de entrada, la boca de aspiración, justo antes de los álabes del impulsor o rodete. Una vez que el fluido llega a los álabes empieza a aumentar su presión a medida que recorre el impulsor hasta el difusor de salida. Es por ello que la erosión producida por la cavitación se localiza justo en el inicio de los álabes, cuando se empieza a recuperar la presión y las burbujas de vapor explotan. Los daños posibles se muestran en la Fig.41.

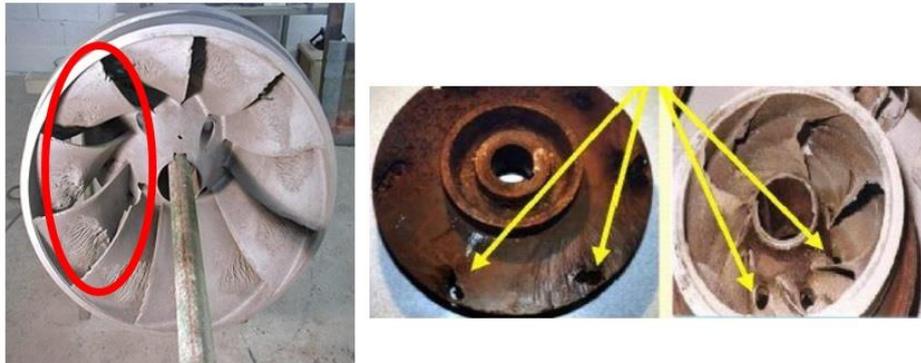


Fig. 41: daños provocados por cavitación en álabes y volutas

Haremos distinción entre la NPSH de la instalación o disponible ( $NPSH_d$ ) y NPSH de la bomba o requerido ( $NPSH_r$ ). Para que una bomba funcione sin cavitación debe cumplirse la relación siguiente, en la que se añaden 0.5m de seguridad:

$$NPSH_d \geq NPSH_r + 0.5$$

El valor de  $NPSH_r$  solamente depende de las características de la bomba y no de las características de la instalación. Es variable para cada bomba, siempre es positivo y cambia según el caudal y el número de revoluciones del motor. Los valores y las curvas son suministrados por la casa fabricante. El valor de  $NPSH_r$  informa sobre la capacidad de aspiración de una bomba en un punto determinado de su curva característica de funcionamiento: cuanto menor es el valor de  $NPSH_r$  tanto mayor es su capacidad de aspiración.

El valor de  $NPSH_d$  depende de las características de la instalación y equivale a la reserva total de presión por encima de la tensión de vapor del fluido y que se encuentra disponible en la zona de la brida de aspiración de la bomba. Debemos de calcularlo. Este valor resume en un solo concepto todas las características de la instalación que influyen en la altura de aspiración de la bomba.

Una instalación de bombeo puede serlo en aspiración o bien en carga, dependiendo de si el nivel del líquido a bombear se sitúa por debajo o por encima del eje de la bomba. La Fig.42 ayuda a aclarar esta situación.

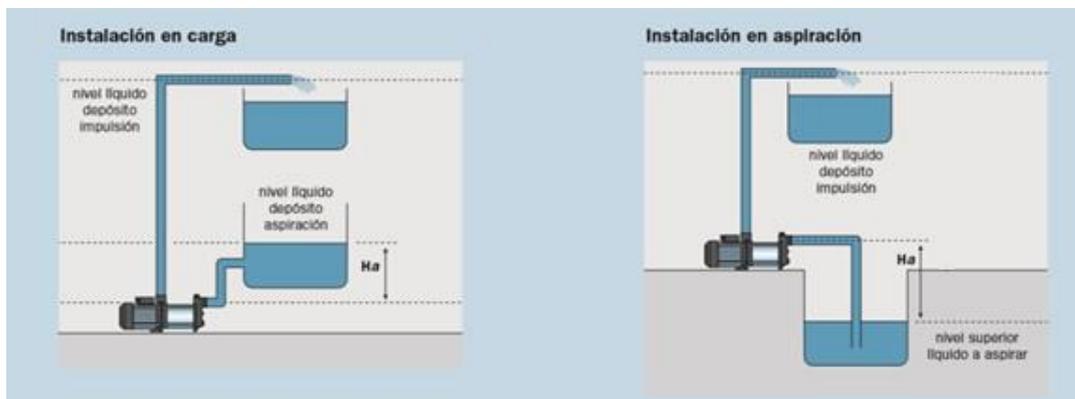


Fig. 42: ejemplos de instalación de bombeo en carga y aspiración

En nuestro caso, la instalación es en carga, por lo que deberemos calcular la  $NPSH_d$  mediante la siguiente ecuación:

$$NPSH_d = 10^5 \cdot \frac{P_l - P_v}{\rho \cdot g} + H_a - h_a$$

Donde:

- $P_l$  es la presión sobre el líquido en el depósito de aspiración, valor que depende de la altura, medida en bar. En nuestro caso, la presión de salida del fluido es de 1bar.

- $P_v$  es la presión de vapor el líquido. La tensión de vapor o presión de vapor a una temperatura determinada equivale a la presión bajo la cual el agua comienza a desprender burbujas, medida en bar. En la tabla 11 se muestran los valores.

- $\rho$  es la densidad del fluido, también determinada en la tabla.

- $g$  es la fuerza de la gravedad ( $9.81\text{m/s}^2$ )

- $H_a$  es la altura de aspiración, medida en metros.

- $h_a$  es la pérdida de carga que se produce en el tramo de la aspiración, medida en metros. Suponemos una pérdida de carga de 1m.

Tabla 11: tabla de tensión de vapores y densidades en función de la temperatura [15]

Temperatura (°C)	0	4	10	20	30	40	50	60	80	100
Tensión de vapor (mca)	0,06	0,08	0,12	0,24	0,43	0,75	1,26	2,03	4,83	10,33
Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	999,9	1.000	999,7	998,2	995,7	992,2	988,1	983,2	971,8	958,4

Por lo tanto, suponiendo que los datos de los fluidos se verán insignificativamente variados respecto a los datos del agua, y que se operará a una temperatura ambiente de unos 25°C, obtendremos la altura neta positiva de aspiración disponible siguiente:

$$NPSHd = 10^5 \cdot \frac{3 - 0,028}{994,9 \cdot 9,81} + 2 - 1 = \mathbf{31.45m}$$

Por lo tanto, deberemos escoger una bomba con una NPSH<sub>r</sub> máxima de 30.95m.

A continuación, se detallan las características de la bomba escogida, la cual se puede ver en la Fig.43:



Fig. 43: bomba centrífuga

- Potencia: 1CV
- Consumo: 230V monofásica, 6ª
- 2900rpm a 50Hz
- Máxima temperatura del líquido: 50°C
- Máxima altura: 32m
- Marca: Bomba Centrífuga Riego Monoturbina 1 Hp.

- **Válvula de bola de 1” con actuador neumático de doble efecto (1ud):** una válvula de bola o de esfera, es un mecanismo de llave de paso que sirve para regular el flujo de un fluido canalizado, y se caracteriza porque el mecanismo regulador situado en el interior tiene forma de esfera perforada. En la Fig.44 se muestra un esquema de la válvula.

Se abre mediante el giro del eje unido a la esfera perforada, de tal forma que permite el paso del fluido cuando está alineada la perforación con la entrada y la salida de la válvula. Cuando la válvula está cerrada, el agujero estará perpendicular a la entrada y a la salida. La posición de la manilla de actuación indica el estado de la válvula (abierta o cerrada).

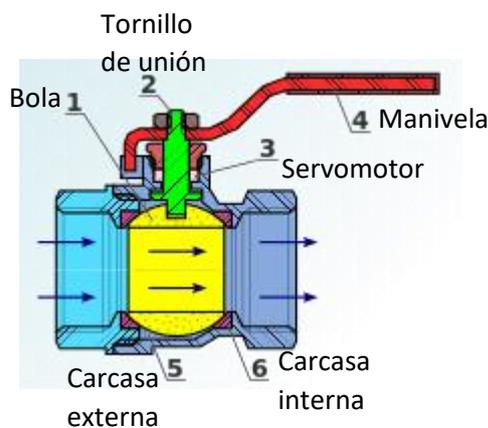


Fig. 44: esquema de una válvula de bola

Este tipo de válvulas no ofrecen una regulación precisa al ser de  $\frac{1}{4}$  de vuelta. Su ventaja es que la bola perforada permite la circulación directa en la posición abierta con una pérdida de carga bastante más reducida que las de asiento, y corta el paso cuando se gira la maneta  $90^\circ$  y cierra el conducto.

Las válvulas de bola manuales pueden cerrarse rápidamente, lo que puede producir un golpe de ariete. Por ello, y para evitar la acción humana pueden estar equipadas con un servomotor ya sea neumático, hidráulico o motorizado.

Atendiendo al número de conexiones que posee la válvula, puede ser de dos o tres vías.

Las válvulas con cuerpo de una sola pieza son siempre de pequeña dimensión y paso reducido. Este tipo de construcción hace que la válvula tenga un precio reducido.

Las válvulas con cuerpo de dos piezas suelen ser de paso estándar. Este tipo de construcción permite su reparación.

Las válvulas de tres piezas permiten desmontar fácilmente la bola, el asiento o el vástago ya que están situados en la pieza central. Esto facilita la limpieza de sedimentos y remplazo de partes deterioradas sin tener que desmontar los elementos que conectan con la válvula. En la Fig.45 se muestra la válvula escogida.



Fig. 45: válvula de esfera de 1"

- Marca: Válvula esfera con retención 1" (FAVAR0001)
- **Eliminador de aire (1ud.):** ofrecen un gran número de beneficios y ayudas sobre las condiciones en las que pueden surgir problemas en sistemas de líquido y de vapor. Mejora la transferencia de calor, ahorra energía y tiempo de mantenimiento, además de reducir la posibilidad de corrosión, por ello hemos decidido colocarlo junto al intercambiador de calor. Tiene un esquema sencillo, tal y como se muestra en la Fig.46.

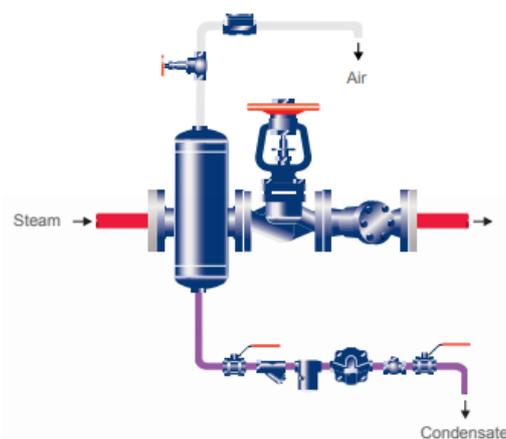


Fig. 46: esquema de un eliminador de aire [16]

Además de ayudar a reducir los costes de tiempo de descarga y mantenimiento, produce una ayuda de mantenimiento de alta calidad productiva, así como la reducción del tiempo de inicio, acortando el tiempo de operación del sistema.

Durante la puesta en marcha, el eliminador está abierto, permitiendo que el aire pase por la válvula principal. En cuanto el agua alcanza el eliminador, un flotador se eleva y el mecanismo palanca cierra la válvula.

Si entra aire en el eliminador, el flotador baja y un mecanismo palanca abre la válvula nuevamente para garantizar la salida del aire solamente. Una vez eliminado el aire se cierra la válvula, ya que se eleva el nivel del agua para sustituir el aire.

Existe una válvula de retención esencial para aquellos casos donde existe una posibilidad de que el sistema opere bajo condiciones de carga negativa. De esta forma se garantiza que se introduzca aire en el sistema. En la Fig.47 se muestra el eliminador escogido.



Fig. 47: eliminador de aire

- Marca: Purgador Automático Hygrovent 1/8” Watios (Modelo 022282C38W000)
- **Tubo del reactor (1ud.):** es el conducto donde se lleva a cabo la recirculación del producto que se va a micronizar, además de tratarse de la zona donde se mide la cantidad de presión que existe en su interior para que las condiciones del proceso continúen como se esperan. Cualquier conducto de acero inoxidable nos serviría en este caso.

- **Transductor de presión (2ud.):** un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir una determinada manifestación de energía de entrada, en otra diferente a la salida, pero de valores muy pequeños en términos relativos con respecto a un generador.

El tipo de transductor ya nos indica cual es la transformación que realiza. Es un dispositivo usado principalmente en la industria, en la medicina, en la agricultura, en robótica, en aeronáutica... para obtener la información en entornos físicos y químicos y conseguir, a partir de esta información, señales o impulsos eléctricos o viceversa. Los transductores siempre consumen cierta cantidad de energía, por lo que la señal medida resulta atenuada.

En nuestro caso elegiremos un transductor de presión que genere datos eléctricos dependiendo de la presión recibida a la entrada del transductor, como podemos ver en la [Fig.48](#).



*Fig. 48: transductor de Presión TP-112D*

- Rango de presión de 0 a 100bar
- Salida de 3.33mV/V, 2mV/V
- Precisión del 0.5%
- Vaina de 6''
- Capilar 18''
- Rosca ½-20UNF
- Termopar PT100, J, K, E
- Marca: SRC

- **Válvula de bola con actuador neumático de doble efecto de ¾” (1ud.):** en la Fig. 49 se muestra la válvula escogida.



Fig. 49: válvula de esfera ¾”

- Marca: Válvula esfera mini M-H 3/4"
- **Bomba peristáltica (1ud.):** una bomba peristáltica es un tipo de bomba hidráulica de desplazamiento positivo usada para bombear una variedad de fluidos. El fluido es contenido dentro de un tubo flexible empotrado dentro de una cubierta circular (aunque también existen lineales). Un rotor con un número de ‘rodillos’, ‘zapatas’ o ‘limpiadores’ unidos a la circunferencia externa comprimen el tubo flexible. Mientras que el rotor da vuelta, la parte del tubo bajo compresión se cierra (o se ocluye) forzando, de esta forma, el fluido a ser bombeado para moverse a través del tubo. Adicionalmente, mientras el tubo se vuelve a abrir a su estado natural después del paso de la leva (‘restitución’), el flujo del fluido es inducido a la bomba. Este proceso es llamado peristalsis y es usado en muchos sistemas biológicos como el aparato digestivo. En la Fig. 50 se muestra la bomba escogida.



Fig. 50: bomba peristáltica

- Rotor metálico de tres rodillos o rotor de policarbonato de dos rodillos
  - Mando inversor de flujo
  - Pulsador de flujo máximo
  - Cabezal L2000-3r: con cartucho que incorpora el tubo extraíble soltando una pinza retén. Sólo con un tubo de 8mm
  - Cabezal L1500-2r: para tubo de 2.4mm de pared (productos viscosos)
  - Cabezal 5000: autoajustable que compensa el desgaste de la pared del tubo en trabajos de extrema duración.
  - Dimensiones: 250x260x115mm
  - Marca: D-25VT 45-3R 80
- **Sensor de nivel (2ud.):** el sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente.

Integral para el control de procesos en muchas industrias, los sensores de nivel se dividen en dos tipos principales. De primeras, destacamos los sensores de nivel de punto, que se utilizan para marcar la altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido. Generalmente, este tipo de sensor funciona como alarma, indicando un sobrellenado cuando el nivel determinado ha sido adquirido, o, al contrario, una alarma de infrallenado cuando el nivel es demasiado bajo. En la Fig.51 se muestra un esquema de este tipo de sensores.

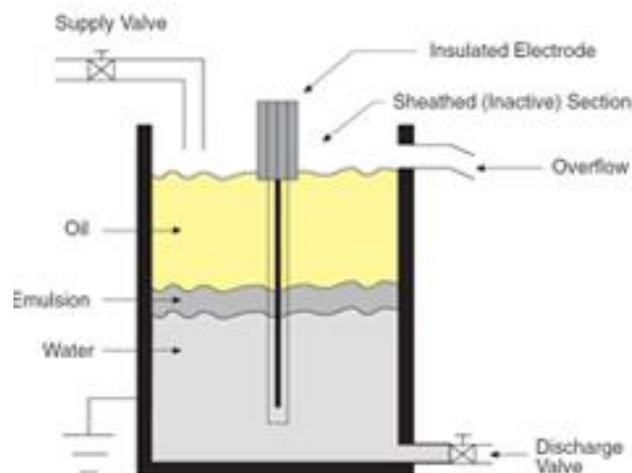


Fig. 51: esquema del funcionamiento de un sensor de nivel de punto [17]

Por otra parte, tenemos los sensores de nivel continuos, que son más sofisticados y pueden realizar el seguimiento del nivel de todo un sistema. Estos miden el nivel del fluido dentro de un rango especificado en lugar de sólo un punto en concreto, produciendo de esta forma una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente. Para crear un sistema de gestión de nivel, la señal de salida está vinculada a un bucle de control de proceso y a un indicador visual.

Existen diferentes tipos de sensores de nivel (flotante, de paletas, ultrasónico...) el que elegiremos nosotros resulta ser un sensor de nivel de capacitancia. Estos sensores son capaces de resistir altas temperaturas y presiones, e impermeable a muchos corrosivos, las sondas de la serie LV3000/4000 dan mediciones de nivel fiables y continuas en aplicaciones difíciles. Adecuada para líquidos, pastas y algunos sólidos, ya sean conductores o no conductores; no tienen piezas móviles y son fáciles de instalar. Después de rectificar y filtrar la energía de entrada, generar una señal de radiofrecuencia y calcular cambios en la corriente, el circuito electrónico produce una señal de salida en 2 hilos de 4 a 20mA proporcional al nivel del proceso. Unos cómodos ajustes de cero e intervalo permiten al usuario tomar en cuenta las variables como tipo de medio, dimensiones del recipiente, longitud de varilla, y posición de instalación. Si la sonda de acero inoxidable se usara cerca de una pared del recipiente conductora, un modelo con aislamiento de PTFE impediría un corto circuito. El sensor de nivel elegido se puede observar en la [Fig.52](#).



*Fig. 52: sensor de nivel de capacitancia*

- Potencia: 24V±10% (corriente continua), 115;230V (corriente alterna) (50;60Hz)
  - Sensibilidad: [0.5,50]kΩ (potenciómetro ajustable)
  - Ambiente operable: [-10,60]°C
  - Corriente: 2ª
  - Output: retransmisión SPDT, 5ª, 250V (corriente alterna)
  - Tiempo de retraso: [0,1.5]s (ajustable)
  - Electrodo: de 1 a 5
  - Marca: LVCF-111-12-ETFE (Omega)
- **Válvula de bola con actuador neumático de doble efecto de ½" (1ud.):** la válvula seleccionada se muestra en la [Fig.53](#).



*Fig. 53: válvula de esfera de ½"*

- Marca: Válvula esfera mini M-H 1/2"

## 5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para finalizar ese proyecto, hablaremos sobre la viabilidad económica que supone llevar a cabo dicho proceso a escala industrial. Para ello, necesitaremos dividir este aspecto en varios apartados.

### 5.1. Capital inicial

En este apartado se valorará el coste del que debemos partir para poder realizar el proceso de micronizado a nivel industrial. Para ello debemos destacar dos tipos de costes: los costes directos y los costes indirectos, detallados en las [tablas 11 y 12](#).

#### 5.1.1. Costes directos

Tabla 12: costes directos

COSTES DIRECTOS		Precio (€)	Detalles
Materias primas	Bomba centrífuga de recirculación	143,99	1 unidad
	Válvula de bola con actuador neumático de doble efecto de 1"	22,18	1 unidad
	Eliminador de aire	3,63	1 unidad
	Tubo del reactor	10	1 unidad
	Transductor de presión	680	2 unidades
	Válvula de bola con actuador neumático de doble efecto de 3/4"	6,95	1 unidad
	Bomba peristáltica	866	1 unidad
	Sensor de nivel	294	2 unidades
	Válvula de bola con actuador neumático de doble efecto de 1/2"	2,96	1 unidad
	Deposito*	52000	1 unidad
	Lavadora industrial*	40000	1 unidad
		<b>95003,71</b>	<b>TOTAL</b>

## 5.1.2. Costes indirectos

Tabla 13: costes indirectos

COSTES INDIRECTOS		Precio (€)	Detalles
Servicios de ingeniería	Diseño	4275,17	4.5% de los costes directos
	Control y supervisión de la instalación	1425,06	1.5% de los costes directos
	Estudio previo de la ingeniería	665,03	0.7% de los costes directos
	Puesta a punto	285,01	0.3% de los costes directos
Seguridad y prevención	Elementos preventivos	3325,13	3.5% de los costes directos
		<b>9975,39</b>	<b>TOTAL</b>

El total de los costes iniciales sería la suma de los costes directos y los costes indirectos:

$$C_0 = C_d + C_i = 95003.71 + 9975.39 = \mathbf{104979.1\text{€}}$$

## 5.2. Amortización

La amortización es el proceso de distribución de gasto en el tiempo de un valor duradero. Se asocia al sinónimo de depreciación. Mediante la amortización, se consigue atenuar gradualmente una deuda, mediante pagos periódicos, hasta cancelarla por completo. Suele llevar intereses extra además del pago de la deuda en sí. La amortización se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A = \frac{P \cdot i}{1 - (1 + i)^{-n}} =$$

Donde:

-P es la cantidad de dinero que se pide prestado, medida en €.

-i es el interés que se le añade al préstamo.

-n es el número de pagos en los que se pretende saldar el préstamo, medido en años.

Para amortizar nuestro proyecto necesitaremos pedir un préstamo de 105000€. Nos informamos de que en 10 años se saldaría la deuda a un interés fijo del 5.213% (aunque en realidad se varía mensualmente hasta alcanzar la media temporal de dicho interés fijo) [18], por lo tanto, se nos quedan los siguientes pagos anuales:

$$A = \frac{P \cdot i}{1 - (1 + i)^{-n}} = \frac{105000 \cdot 0.05213}{1 - (1 + 0.05213)^{-10}} = 13739€$$

La cantidad amortizada anualmente es de 13739€

### 5.3. Costes variables

Dentro de los costes variables, nos encontramos con diversos costes que vienen determinados en función de la cantidad que se utiliza, como por ejemplo la materia prima, como podemos ver en la [tabla 14](#), la electricidad, en la [tabla 15](#) o la mano de obra que se encuentra detallada en la [tabla 16](#). Dichos costes varían en función de la zona, de la época del año y de diversas circunstancias que se puedan dar, por ello, se ha realizado una media aproximada para tratar estos costes.

En cuanto a los costes en materia prima, hemos supuesto que por cada m<sup>2</sup> se pueden obtener 5 prendas, haciendo un total de 100 prendas por tanda.

*Tabla 14: costes variables basados en la materia prima*

		Precio	Cantidad	Precio (€/año)	
<b>MATERIA PRIMA</b>	Tejidos	0.25€/prenda	100prendas/h	75600	
	Productos	Resinas	2-6€/kg	20kg	60
		Fluorocarbonos	6-10€/kg	20kg	160
		Retardantes de llama	4-15€/kg	20kg	190
		Antimicrobianos	15-30€/kg	20kg	450
		Suavizantes	1-4€/kg	20kg	50
Agua	2.1€/m <sup>3</sup>	0,25L/prenda	75,6		
			<b>TOTAL</b>	<b>76585,6</b>	

Para la energía hemos utilizado como base la media del coste energético español desde las 6:00 hasta las 18:00.

Tabla 15: costes variables basados en la energía

		Precio	Cantidad	Precio (€/año)	
<b>ENERGÍA</b>	Maquinaria	eFlow	0,138€/kWh	1kWh	417,31
		Lavadora industrial	0,138€/kWh	22kWh	9180,86
		Caldera	0,138€/kWh	1,16kW	484,08
	Iluminación	0,138€/kWh	0,022kWh	9,18	
			<b>TOTAL</b>	<b>10091,44</b>	

Por último, para el coste de personal se ha utilizado un valor aproximado del sueldo medio español de un operario.

Tabla 16: costes variables basados en el personal

		Precio (€/mes)	Cantidad	Precio (€/año)
<b>PERSONAL</b> *14 pagas con un sueldo bruto de 1124,37€/mes	Sueldo neto*	1008	2	28224
	Horas extra	10,5	2	21168
	Seguridad Social	71,397495	2	1999,13
	IRPF	44,9748	2	1259,29
	Bajas	11,34872295	2	317,76
			<b>TOTAL</b>	<b>52968,19</b>

Además, debemos tener en cuenta el mantenimiento de nuestra instalación, lo que supone un coste extra que variará en función del mantenimiento que necesite y de cuanto se tenga que realizar. Supondremos una cantidad de 10000€ para ser constantes en esta cifra, por lo que los costes variables serán la suma total del subtotal de cada apartado, añadiendo los costes variables:

$$C_v = 76585.6 + 10091.44 + 52968.19 + 10000 = \mathbf{149645.23€}$$

Por lo tanto, los costes variables totales ascienden a 149645.23€.

## 5.4. Precio de venta

El precio de venta tiene que ser acorde con los costes necesarios, pues el objetivo es conseguir beneficios a partir del proyecto. Para ello primero debemos calcular los costes totales, utilizando como costes iniciales el préstamo bancario:

$$C = C_i + C_v = 137390 + 149645.23 = 287035.23\text{€}$$

A continuación, calculamos cuantas prendas de ropa podemos llegar a producir durante un año:

$$N = \frac{\text{prendas}}{h} * \frac{h}{d} * \frac{d}{\text{año}} = 100 \cdot 8 \cdot 252 = 201600 \text{prendas/año}$$

Por lo tanto, cada prenda tendrá un valor base de:

$$v_b = \frac{C}{N} = \frac{287035.23}{201600} = 1.42\text{€/prenda}$$

Además, si queremos conseguir un beneficio del 150%, el precio unitario se quedaría de la siguiente forma:

$$v = v_b \cdot 1.5 = 1.42 \cdot 1.5 = \mathbf{2.13\text{€/prenda}}$$

Durante los 10 primeros años, estaremos obteniendo un beneficio de 0.71€ por prenda. Sin embargo, a partir del undécimo año, con el mismo valor por prenda, el beneficio que recibirá la empresa será mayor, pues el préstamo bancario ya estaría saldado. Por lo tanto, el valor base por prenda sería el siguiente:

$$v_{b_{10}} = \frac{C_v}{N} = \frac{149645.23}{201600} = 0.74\text{€/prenda}$$

Como se obtienen menos gastos, el beneficio es mayor conservando el precio durante los 10 primeros años.

$$\% = \frac{2.15 - 0.74}{2.15} \cdot 100 = \mathbf{65.58\%}$$

Por lo tanto, el nuevo beneficio a partir de ahora resultaría del 65.58%.

## 6. CONCLUSIÓN

Las conclusiones que se pueden extraer de este proyecto responden de forma satisfactoria a los inconvenientes medioambientales mencionados al principio de este documento, que, como recordamos, la industria química ha sido durante los últimos años uno de los mayores focos de contaminación. Debido a este efecto, se han necesitado instaurar procesos más concienciados con el medioambiente. De esta forma, conseguimos reducir los índices de contaminación considerablemente.

Mediante varias pruebas, hemos obtenido unos resultados altamente satisfactorios, aunque en cierta medida, hemos tenido que ajustar algunos parámetros en algunos ensayos debido a la inviabilidad que presentaban. Posteriormente, hemos procedido a trasladar este proyecto a escala industrial.

En cuanto al diseño del equipo, necesitamos implantar un intercambiador de calor, cuyo caudal refrigerante debe de ser de 130L/h para poder adecuar nuestro producto a la temperatura óptima tras la salida de la caldera.

Empezando con los costes iniciales, la mejor decisión ha sido pedir un préstamo bancario con un interés alargado a 10 años. El precio de venta se ha estipulado para obtener unos beneficios del 50% durante estos primeros 10 años, ascendiendo a poco más del 65% a partir del undécimo año.

Por lo tanto, podemos finalizar afirmando que la viabilidad de dicho proyecto es posible a corto-medio plazo, con una probabilidad de éxito financiero bastante alta y un descenso del ratio de contaminación severa.

## 7. ANEXO

### PLANOS

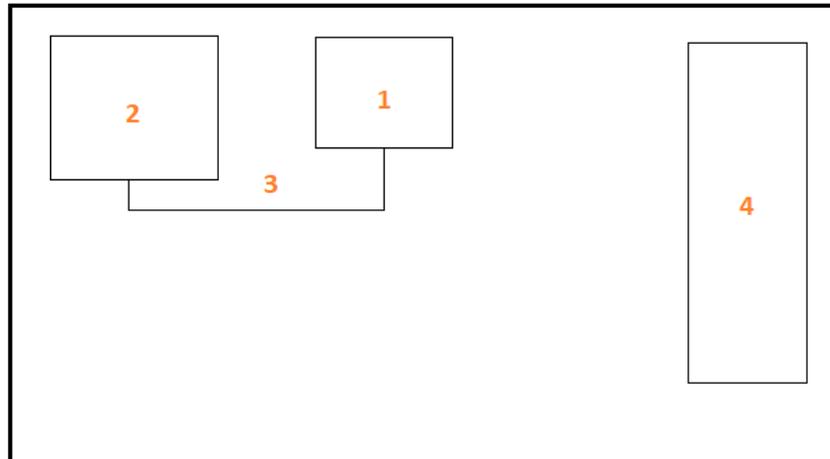


Fig. 54: disposición en planta de la zona de trabajo

1. Equipo e-Flow
2. Lavadora industrial
3. Conductos
4. Mesa de trabajo

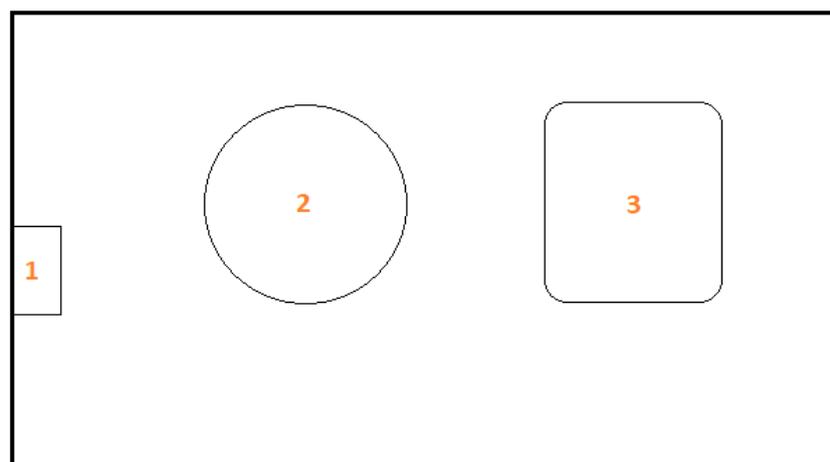


Fig. 55: disposición en planta del nivel de distribuidor de materias y energía

1. Cuadro eléctrico
2. Depósito de agua
3. Caldera

## CATÁLOGOS

- Bomba hidráulica:  
<https://www.riegos-siria.com/-bombas-centrifugas-riego/132-bomba-centrifuga-riego-monoturbina-1-hp-xc-158.html>
- Válvula de esfera de 1’’:  
<https://www.latiendadefontaneria.com/valvula-esfera-con-retencion-1.html>
- Eliminador de aire: <https://www.materialescalefaccion.com/purgadores-de-aire/4710-purgador-automatico-hygrovent-38-watts.html>
- Transductor de presión (TP-111T):  
[http://srcsl.com/catalogoPDFs/SensoresProce/Transductores\\_presion\\_posicion/Transductores\\_uso\\_General/Tarifa\\_precios\\_presion2014.pdf](http://srcsl.com/catalogoPDFs/SensoresProce/Transductores_presion_posicion/Transductores_uso_General/Tarifa_precios_presion2014.pdf)
- Válvula de esfera ¾’’: <https://www.latiendadefontaneria.com/valvula-esfera-mini-m-h-3-4.html>
- Bomba peristáltica:  
<https://www.solostocks.com/venta-productos/material-laboratorio/otro-material-laboratorio/bomba-peristaltica-d-25vt-45-3r-80-8452116>
- Sensor de nivel:  
[https://es.omega.com/pptst/LVCN\\_LVCF\\_LVCR\\_LVCP.html](https://es.omega.com/pptst/LVCN_LVCF_LVCR_LVCP.html)
- Válvula de esfera ½’’: <https://www.latiendadefontaneria.com/valvula-esfera-mini-m-h-1-2.html>

**FIGURAS**

Fig. 1: equipo de lavado a la piedra.....	11
Fig. 2: técnica de inyección de arena .....	11
Fig. 3: técnica de sprayado de PP .....	12
Fig. 4: contaminación de un río por parte de la industria textil tras el acabado de prendas de denim.....	12
Fig. 5: nanopartículas adhiriéndose sobre una superficie .....	15
Fig. 6: diagrama esquemático del proceso de Expansión Rápida de Soluciones Supercríticas (RESS) .....	16
Fig. 7: diagrama esquemático del proceso Antisolvente Supercrítico con Gas en lotes (GAS) .....	17
Fig. 8: diagrama esquemático del proceso Antisolvente Supercrítico en semicontínuo .....	18
Fig. 9: distintas aplicaciones de nanopartículas de TiO <sub>2</sub> dependiendo de su tamaño.....	20
Fig. 10: esquema de una nanoburbuja micronizada .....	23
Fig. 11: esquema de micronizado.....	24
Fig. 12: superficie nanogranulada del tejido, que induce la permanencia del agua en forma de gotas.....	25
Fig. 13: superficie superhidrofóbica, resultante de la combinación de microesferas de polietileno con nanotubos de carbón .....	25
Fig. 14: proceso de inhibición de una bacteria por iones de plata .....	26
Fig. 15: equipo eFlow.....	30
Fig. 16: montaje del equipo.....	31
Fig. 17: panel de control del eFlow .....	31
Fig. 18: tejido de algodón tipo mantelería acabado con Polyguard NIN aplicado por micronizado.....	35
Fig. 19: muestras acabadas con antimicrobiano .....	36
Fig. 20: ensayo de una muestra de tejido al 60% de NPB .....	42
Fig. 21: ensayo de una muestra de tejido al 40% de NPB .....	42
Fig. 22: ensayo de 1kg de tejido al 60% de NPB.....	42
Fig. 23: ensayo de 1kg de tejido al 40% de NPB.....	42
Fig. 24: ensayo de 1kg de tejido al 100% de NPB.....	43
Fig. 25: ensayo de 1kg de tejido al 80% de NPB.....	43
Fig. 26: ensayo de 1kg de tejido al 140% de NPB.....	43
Fig. 27: ensayo de 1kg de tejido al 120% .....	43
Fig. 28: ensayo 1kg de camales del tejido base al 120% de NPB .....	44
Fig. 29: ensayo 1kg de camales del tejido base al 140% de NPB .....	44

Fig. 30: tejido PES. A la izquierda, acabado de 30g/L con una repelencia aceptable. A la derecha, con una aplicación de 50g/L se consigue una excelente repelencia al agua.....	45
Fig. 31: pruebas de repelencia a líquidos con acabados a 35g/L.....	45
Fig. 32: muestras acabadas con antimicrobianos a 15-30g/L utilizadas para tejido de hogar tipo loneta y tapicería .....	46
Fig. 33: secado y polimerizado de acabados antiolor .....	46
Fig. 34: tejido tipo loneta acabado con Unibacter K30 a 30g/L sin muestras de crecimiento del T.rubrum (valoración 0).....	48
Fig. 35: esquema del proceso de micronizado a nivel industrial .....	50
Fig. 36: depósito del eFlow.....	52
Fig. 37: esquema del intercambiador de calor. En negrita, los parámetros desnociados.....	53
Fig. 38: perfil de temperaturas.....	53
Fig. 39: gráfico de temperaturas recreado por el intercambiador de calor .....	57
Fig. 40: partes de una bomba centrífuga .....	58
Fig. 41: daños provocados por cavitación en álabes y volutas .....	60
Fig. 42: ejemplos de instalación de bombeo en carga y aspiración.....	61
Fig. 43: bomba centrífuga.....	62
Fig. 44: esquema de una válvula de bola .....	63
Fig. 45: válvula de esfera de 1" .....	64
Fig. 46: esquema de un eliminador de aire .....	64
Fig. 47: eliminador de aire.....	65
Fig. 48: transductor de Presión TP-112D.....	66
Fig. 49: válvula de esfera ¾" .....	67
Fig. 50: bomba peristáltica .....	67
Fig. 51: esquema del funcionamiento de un sensor de nivel de punto.....	68
Fig. 52: sensor de nivel de capacitancia .....	69
Fig. 53: válvula de esfera de ½" .....	70
Fig. 54: disposición en planta de la zona de trabajo .....	78
Fig. 55: disposición en planta del nivel de distribuidor de materias y energía....	78

**TABLAS**

Tabla 1: normas de calidad ambiental (NCA) para las sustancias prioritarias y otros contaminantes (MA=media anual; CMA=concentración máxima admisible) .....	8
Tabla 2: parámetros químicos regulados en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el cual se establecen los criterios de calidad del agua de consumo humano .....	10
Tabla 3: parámetros químicos que se controlan según las especificaciones del producto, regulados en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el cual se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano .	11
Tabla 4: escenarios de liberación de nanopartículas recogidos desde 2009 hasta 2012 .....	21
Tabla 5: desafíos encontrados en cada paso del proceso tradicional de evaluación de riesgos para productos químicos y su relevancia para los Nanomateriales Diseñados (ENMs).....	22
Tabla 6: comparación de los métodos de muestreo utilizado para nanoescala y partículas no nanométricas .....	23
Tabla 7: estudio de rangos de trabajo de productos químicos y temperaturas de secado/curado .....	34
Tabla 8: pruebas de caudal.....	37
Tabla 9: trabajo de la bomba.....	38
Tabla 10: cálculo del pick up a diferentes valores de NBP.....	47
Tabla 11: tabla de tensión de vapores y densidades en función de la temperatura.....	62
Tabla 12: costes directos .....	71
Tabla 13: costes indirectos .....	72
Tabla 14: costes variables basados en la materia prima.....	73
Tabla 15: costes variables basados en la energía.....	74
Tabla 16: costes variables basados en el personal.....	74

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Watchtower, “El arte del teñido: ayer y hoy” [en línea] *Watchtower* (2007) vista el 23/10/2018; Disponible en <https://wol.jw.org/es/wol/d/r4/lp-s/102007129>
- [2] Greenpeace, “Las once sustancias químicas a eliminar” [en línea] *Greenpeace* (19/10/2012) vista el 10/3/2018; Disponible en <http://www.greenpeace.org/mexico/es/Campanas/Toxicos/Contaminacion-de-nuestros-rios/Detox/Las-once-sustancias-quimicas-a-eliminar/>
- [3] Damià Barceló, L., López de Alda, M.J., “Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes”, *Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas*.
- [4] Jeanalogia, “BIO-MONITORING AND AUTOMATIC MICROBIOLOGICAL CONTAMINATION CONTROL SYSTEM OF INDUSTRIAL HYDRAULIC CIRCUITS”, *Biomomi*.
- [5] Hiendravan, S., Veriansyah, B., Widjojokusumo, E., Tjamdrawinata, R.R., “Simultaneous micronization and purification of bioactive fraction by supercritical antisolvent technology”, *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research* (2/3/2018) 2, 52-58.
- [6] Martín, A., Cocero, M.J., “Micronization processes with supercritical fluids; Fundamentals and mechanisms”, *Advanced drug delivery reviews* (2008) 60, 339-350.
- [7] Gutiérrez Wing, C.E., “Las NANOPARTÍCULAS: pequeñas estructuras con gran potencial”, *Contacto nuclear*, 24-29.
- [8] Stark, W.J., Stoessel, P.R., Wohlleben, W., Hafner, A., “Industrial applications of nanoparticles”, *Royal society of chemistry* (2015) 44, 5793-5805.
- [9] Njuguna, J., Sachse, S., “Measurement and sampling techniques for characterization of airborne nanoparticles released from nano-enhanced products”, *Health and Environmental Safety of Nanomaterials* (2014) 78-111.
- [10] Romero-Franco, M., Godwin, H.G., Bilal, M., Cohen, Y., “Needs and challenges for assessing the environmental impacts of engineered nanomaterials (ENMs)”, *Belstein Journal of Nanotechnology* (5/5/2017) 8, 989-1014.
- [11] Quispe Chejo, V.H., “APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA NANOTECNOLOGÍA”, *Revista de información, tecnología y sociedad* (2010) 5, 58-61.

[12] Yu, I.J., Ichihara, G., “Nanoparticle exposure assessment: methods, sampling techniques, and data analysis”, *Health and Environmental Safety of Nanomaterials* (2014) 47-62.

[13] Jeanologia, “Jeanologia: The Science of Finishing”, *Jeanologia*.

[14] Jeanologia, “Jeanologia e-Flow: Manual de Usuario”, *Jeanologia*.

[15] Monge Redondo, M.A., “Qué es y cómo se calcula el NPSH<sub>disp.</sub> de una bomba centrífuga” [en línea] *iAgua* (27/3/2017) vista el 6/8/2018; Disponible en <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-es-y-como-se-calcula-npshtdisp-bomba-centrifuga>

[16] Soporte, “Purga de aire en sistemas de vapor industrial” [en línea] *Vapor para la industria* (24/10/2017) vista el 15/8/2018; Disponible en <https://vaporparalaindustria.com/purga-de-aire-en-sistemas-de-vapor-industrial/>

[17] OMEGA Engineering “CONDUCTIVITY LEVEL SWITCHES”, *OMEGA Engineering*.

[18] Gobierno de España, “TAE máxima de la línea ICO Empresas y Emprendedores 2018 vigente del 24/9/2018 al 7/10/2018” [en línea] *Ministerio de Economía y Empresa* (2018) vista el 24/9/2018; Disponible en <https://www.ico.es/web/ico/ico-empresas-y-emprendedores/-/lineasICO/view?tab=tipoInteres>