



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA**

# **ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE PARTÍCULAS MEDIANTE DIFRACCIÓN LÁSER: APLICACIÓN PARA LA MEJORA DE MEZCLAS DE ESPECIAS Y AROMAS**

AUTOR: Jorge González Garcés

TUTORA: Dra. María Pino Sancho Fernández

Curso Académico: 2016-17



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, dar las gracias a la empresa CEYLAN por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo y en especial, a Carlos Valero Gutiérrez por ayudarme a hacerlo posible.

También, dar las gracias a mi tutora María Sancho Fernández por toda su atención dedicada.

Y el mayor agradecimiento se lo debo a mi familia y amigos por todo el apoyo recibido.



# RESUMEN

Los análisis de distribución de tamaños de partículas se utilizan en mezclas de especias y aromas para conocer los tamaños de las partículas que las componen y sus proporciones, así como para determinar su homogeneidad. Normalmente, se utilizan como control de calidad y para tener un registro de la distribución de tamaños en mezclas producidas. Además, el análisis de estas herramientas puede tener aplicación en la mejora de procesos industriales, tal y como es objeto de este trabajo.

Concretamente, en el presente Trabajo Final de Grado se va a aplicar la determinación y el análisis de la distribución de tamaños de mezclas de aromas y especias para mejorar y optimizar las mismas, en una empresa de alimentación. Para ello, se va a utilizar una máquina de difracción láser.

Por un lado, se estudia una muestra que presenta problemas para conseguir el pH requerido al ser fabricada en una nueva mezcladora de mayor capacidad.

Por otra parte, se pretende mejorar la homogeneización de tamaños de otra mezcla, para lo cual se comprobará la posible sustitución de algún componente por otro que permita alcanzar dicho objetivo.

Finalmente, se tratará de optimizar la cantidad de aceite “desempolvante” empleada en una muestra que contiene un antiaglomerante muy fino, que provoca problemas respiratorios debido a tamaños de partículas muy pequeños.

Una vez definidas las mejoras a partir del análisis de la distribución de tamaños, se valorará técnica y/o económicamente la viabilidad de su implementación en la empresa.

**Palabras clave:** mezcla, especia, aroma, partícula, distribución de tamaños, difracción láser.



## RESUM

Els anàlisis de distribució de grandàries de partícules s'utilitzen en mescles d'espècies i aromes per a conèixer les grandàries de les partícules que les componen i les seues proporcions, així com per a determinar la seua homogeneïtat. Normalment, s'utilitzen com a control de qualitat i per a tindre un registre de la distribució de grandàries en mescles produïdes. A més, l'anàlisi d'aquestes eines pot tindre aplicació en la millora de processos industrials, tal com és objecte d'aquest treball.

Concretament, en el present Treball Final de Grau es va a aplicar la determinació i l'anàlisi de la distribució de grandàries de mescles d'aromes i espècies per a millorar i optimitzar-les, en una empresa d'alimentació. Per a açò, es va a utilitzar una màquina de difracció làser.

D'una banda, s'estudia una mostra que presenta problemes per a aconseguir el pH requerit en ser fabricada en una nova mescladora de major capacitat.

D'altra banda, es pretén millorar l'homogeneïtzació de grandàries d'una altra mescla, per a la qual cosa es comprovarà la possible substitució d'algun component per un altre que permeta aconseguir aquest objectiu.

Finalment, es tractarà d'optimitzar la quantitat d'oli "desempolvant" empleada en una mostra que conté un antiaglomerant molt fi, que provoca problemes respiratoris a causa de grandàries de partícules molt xicotets. Una vegada definides les millores a partir de l'anàlisi de la distribució de grandàries, es valorarà tècnica i/o econòmicament la viabilitat de la seua implementació en l'empresa.

**Paraules clau:** mescla, espècia, aroma, partícula, distribució de grandàries, difracció làser.





## ABSTRACT

Particle size distribution analyses are used in mixtures of spices and aromas for knowing the sizes of the particles that compose them and their proportions, as well as for determining their homogeneity. Normally, they are used as quality control and for having a record of the size distribution in produced mixtures. In addition, the analysis of these tools can have application in the improvement of industrial processes, as it is an object of this work.

Specifically, in the present Final Work of Degree the determination and the analysis of the size distribution of mixtures of aromas and spices is going to be applied to improve and to optimize them, in a food industry. For that purpose, a machine of laser diffraction is going to be used.

On the one hand, it is going to be studied a sample that shows problems to obtain the required pH when it is produced in a new food-mixer of higher capacity.

On the other hand, it is intended to improve the homogenization of sizes of another mixture, for which it will be verified the possible substitution of some component for other one that allows reaching that mentioned aim.

Finally, it will be optimized the quantity of "antidusting" oil used in a sample that contains a very thin anti-caking agent, which causes respiratory problems due to very small sizes of particles.

Once the improvements from the analysis of the distribution of sizes will be defined, the viability of their implementation in the company be valued technical and/or economically.

**Key words:** mixture, spice, aroma, particle, size distribution, laser diffraction.



# ÍNDICE DE DOCUMENTOS

- Documento 1. Memoria Descriptiva
- Documento 2. Presupuesto



DOCUMENTO 1

MEMORIA DESCRIPTIVA



# ÍNDICE DE LA MEMORIA

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. La industria de los aromas	1
1.2. Descripción de la empresa	3
1.3. Descripción del proceso productivo	5
1.4. Técnicas para la determinación de la distribución de tamaños de partículas	7
1.5. Representación gráfica de la distribución de tamaño de partículas	9
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>11</b>
2.1. Cambio en la técnica de medida de la distribución de tamaños	11
2.2. Mezclas consideradas a estudio	12
<b>3. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN</b>	<b>15</b>
3.1. Motivación	15
3.2. Justificación técnica	15
3.3 Justificación académica	15
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>17</b>
<b>5. METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>
5.1. Técnica analítica de difracción láser	19
5.2. Metodología para la mezcla A	23
5.3. Metodología para la mezcla B	24
5.4. Metodología para la mezcla B	25
<b>6. RESULTADOS</b>	<b>27</b>
6.1. Resultados para la mezcla A	27
6.2. Resultados para la mezcla B	30
6.3. Resultados para la mezcla C	39
<b>7. ESTUDIO DE VIABILIDAD</b>	<b>43</b>
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>45</b>
<b>9. REFERENCIAS</b>	<b>47</b>
<b>ANEJOS</b>	<b>49</b>





# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de las ventas globales de la industria de los aromas (Leffingwell, 2017).....	1
Figura 2. Ventas de las grandes empresas de la industria de los aromas (Leffingwell, 2017).....	2
Figura 3. Emplazamiento de Manufacturas Ceylan SL. (Google Maps, 2017) .....	3
Figura 4. Evolución de las ventas de Manufacturas Ceylan SL (El Economista, 2017).....	4
Figura 5. Diagrama de bloques del proceso productivo general .....	5
Figura 6. Patrones de dispersión de Mie. De izquierda a derecha, para tamaños de partícula de 10, 0,2 y 0,05 $\mu\text{m}$ de diámetro (lesmat, 2017).....	8
Figura 7. Distribución de tamaños de partículas en polvo; a) análisis diferencial; b) análisis acumulativo (McCabe y otros, 2007). .....	9
Figura 8. Esquema del funcionamiento interno del Mastersizer 3000 (Puebla, 2013).....	19
Figura 9. Esquema del dispersor de vía seca Aero S (Malvern, 2017) .....	20
Figura 10. Esquema del inyector de aire presión del dispersor de vía seca Aero S (Puebla, 2013).21	
Figura 11. Efecto de dispersión por gradiente de velocidad (Puebla, 2013) .....	21
Figura 12. Efecto de dispersión por colisión entre partículas (Puebla, 2013).....	21
Figura 13. Índices de absorción para partículas según su apariencia (Puebla, 2013).....	22
Figura 14. Curvas de distribución de tamaños de la mezcla A en las mezcladoras V y M para un tiempo de mezclado de 9 min.....	27
Figura 15. Curvas de distribución de tamaños de la mezcla A en la mezcladora M para tiempos de mezclado de 5, 7 y 9 minutos.....	28
Figura 16. Curvas de distribución de tamaños de la mezcla A en la mezcladora M y en la V para un tiempo de 9 minutos, y de una muestra de la competencia .....	29
Figura 17. Curvas de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B..	30
Figura 18. Curva de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B según su fracción másica.....	32
Figura 19. Curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla B .....	32
Figura 20. Curvas de distribución de tamaños del componente B6-G y su sustituto B6-F .....	33
Figura 21. Curvas de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B según su fracción másica con el sustituto B6-F.....	34

Figura 22. Curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla B con el sustituto B6-F .....	34
Figura 23. Curvas de distribución de tamaños del componente B10 y su sustituto B12.....	35
Figura 24. Curva de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B según su fracción másica con el sustituto B12.....	35
Figura 25. Curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla B con el sustituto B12 .....	36
Figura 26. Curvas de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B según su fracción másica, con los sustitutos B6-F y B12.....	37
Figura 27. Curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla B con los sustitutos B6-F y B12 .....	37
Figura 28. Análisis de distribución de tamaños teórica de cada una de las opciones de la mezcla B.....	38
Figura 29. Curva de distribución de tamaños del antiaglomerante de la mezcla C.....	39
Figura 30. Curva de distribución de tamaños de la mezcla C.....	40
Figura 31. Curvas distribución de tamaños de la mezcla C con diferentes concentraciones de aceite.....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Fracciones másicas de los componentes de la mezcla B .....	31
TABLA 2. Mezcladora a emplear según tipo de mezcla .....	43
TABLA 3. Precios de compra de los componentes sustitutos de la mezcla B .....	44



## 1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se pretende introducir la empresa, en la cual, se ha desarrollado la aplicación del análisis de la distribución de tamaños de partículas mediante difracción láser para la mejora de mezclas de especias y aromas. Esta empresa produce gran variedad de mezclas alimentarias y resulta difícil definirla en una industria concreta dentro del sector alimentario, pero principalmente se tratan de mezclas aromatizantes. Por ello, se introducirá primero el mercado de la industria de los aromas, a continuación, se describirá la empresa y el proceso industrial llevado a cabo en la misma, y finalmente se expondrán las técnicas empleadas para determinar la distribución de tamaños de partículas, entre las que se encuentra la difracción láser, así como su representación gráfica.

### 1.1. La industria de los aromas

La industria de los aromas tiene dos divisiones, los destinados a alimentación como saborizantes y los destinados a cuidado personal como fragancias. Esta industria facturó en 2016 unas ventas de 24,45 billones de dólares (Leffingwell, 2017) y presenta una tendencia a seguir creciendo, ya que lo viene haciendo desde años atrás como puede apreciarse en la figura 1.

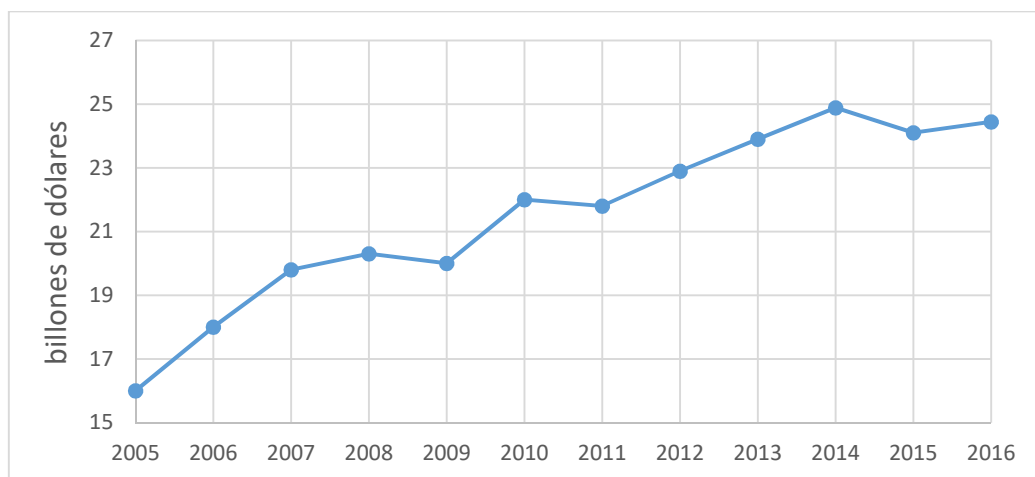


Figura 1. Evolución de las ventas globales de la industria de los aromas (Leffingwell, 2017).

Dentro de esta industria existen grandes empresas internacionales como las suizas Givaudan y Firmenich, la alemana Symrise, la estadounidense IFF, la japonesa Takasago, la francesa Mane o la israelí Frutarom. En la figura 2 pueden verse las ventas en millones de dólares de estas grandes empresas.

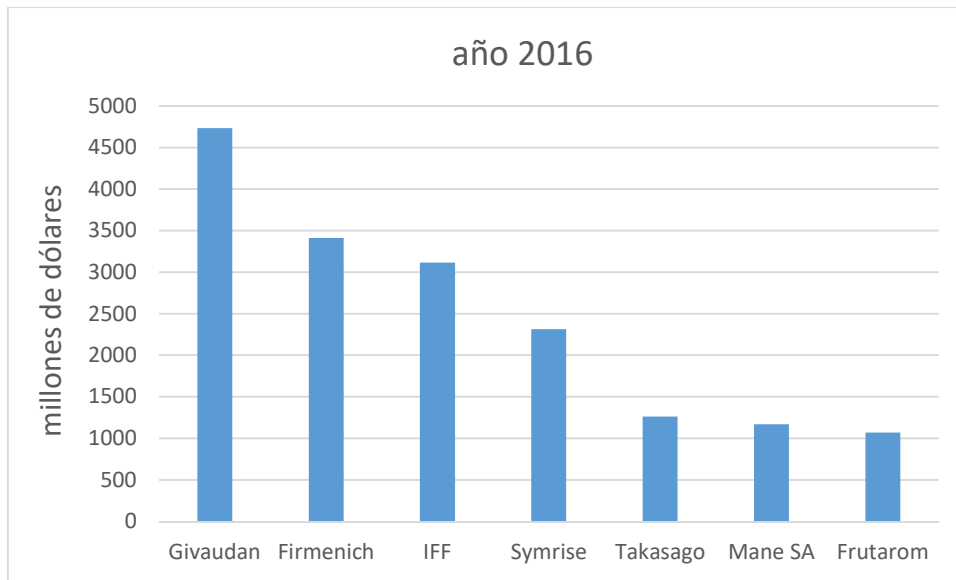


Figura 2. Ventas de las grandes empresas de la industria de los aromas (Leffingwell, 2017).

En cuanto a nivel nacional, España cuenta con más de 120 empresas que trabajan en esta industria, entre las que destacan: Lucta, Dallant, Carinsa, Calaf nuances en Cataluña, Flavorix en Madrid o Ceylan en Valencia. Aunque se centran en aromas para alimentación, algunas de ellas también producen fragancias o abarcan otras áreas industriales. España aún no encabeza internacionalmente este sector, pero algunas de sus empresas tienen ya cierta dimensión internacional.

Esta industria se encuentra en constante desarrollo y progreso, ya que está obligada a crear nuevos productos que mejoren las características de los anteriores, así como de nuevos sabores potencialmente exitosos y que sean únicos, es decir, particulares de cada marca.

## 1.2. Descripción de la empresa

Manufacturas Ceylan SL, o más conocida como Ceylan, es una empresa que se creó en Valencia a principios del S.XX. Actualmente cuenta con más de 25.000 m<sup>2</sup> de instalaciones, dotadas con los últimos avances tecnológicos, donde se fabrica y desarrolla una gran variedad de productos y soluciones para la industria alimentaria. Ceylan posee una importante red comercial a nivel nacional e internacional con delegaciones repartidas por toda España, así como en México, Marruecos, Francia y República Dominicana. Su sede principal, así como los laboratorios y la planta industrial se encuentran en el polígono Vara de Quart de Valencia (Ceylan, 2017). En la figura 3 se puede apreciar, señalada en color amarillo, la ubicación dentro del polígono y la magnitud de las instalaciones.

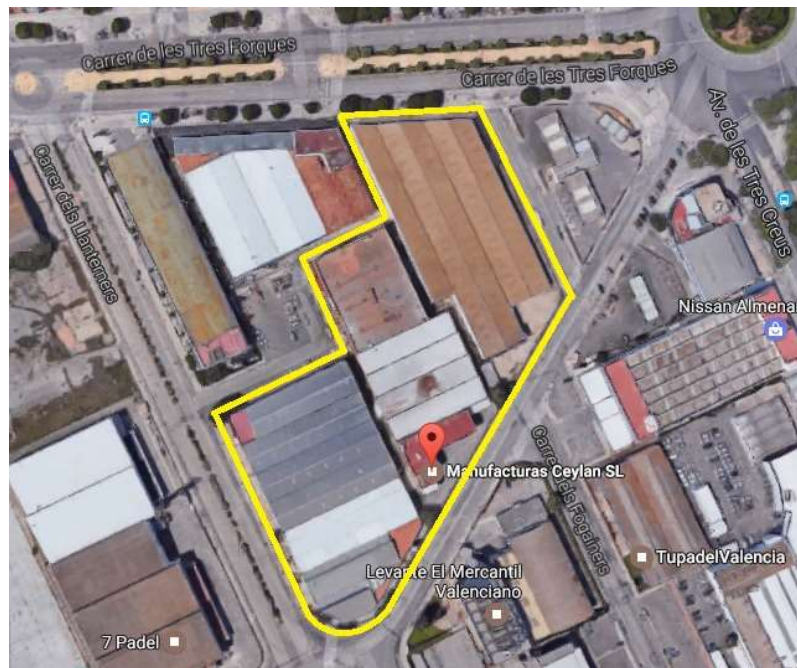


Figura 3. Emplazamiento de Manufacturas Ceylan SL. (Google Maps, 2017).

Ceylan elabora una gran amplia gama de productos, entre los que destacan: las especias y hierbas, las mezclas tecnológicas para la fabricación de productos cárnicos, las preparaciones para la industria de precocinados, los aditivos funcionales específicos y los aromas. Además, desarrolla productos a petición del cliente y según sus necesidades.

Dentro de las especias, se pueden encontrar especias y hierbas culinarias, especias para decoración, condimentos, vegetales deshidratados, marinadas y adobos. En cuanto a la industria cárnica, Ceylan tiene diversas formulaciones integrales para la fabricación de productos cárnicos, como son: frescos

como embutidos, hamburguesas o albóndigas; crudos adobados/marinados como pinchos, lomos adobados o chorizos frescos; curados como salchichones, lomos embuchados o sobrasadas, además de sales nitrificantes para jamones y paletas; y cocidos como, mortadelas, patés, salmueras de inyección o fiambres. En cuanto a los precocinados, elabora formulaciones integrales para caldos y fondos, para arroces, para cremas, para salsas de múltiples sabores y texturas, para vinagretas y todo tipo de bases culinarias. Pero sin duda, el punto fuerte donde Ceylan centra su desarrollo son los aromas, que pueden ser de cualquier tipo, ya sean tradicionales o vanguardistas, para salados o para dulces y en cualquier formato: aromas líquidos, en pasta, en polvo adsorbido o atomizados (Ceylan, 2017).

Manufacturas Ceylan SL consiguió en 2015 unas ventas de 35.452.711 €, obteniendo la posición 22 en el Ranking de Empresas del “sector elaboración de otros productos alimenticios n.c.o.p. (No Comprendidos en Otras Partes)” según ventas. Incrementó así un 6,29% las ventas del año 2014 (33.356.108 €), que a su vez ya habían incrementado en un 4,83% las del año 2013 (31.818.782 €) (El Economista, 2017). En la figura 4 puede verse la evolución de estos últimos años apreciándose que, al igual que en el mercado global, la tendencia actual de la empresa es de crecimiento.

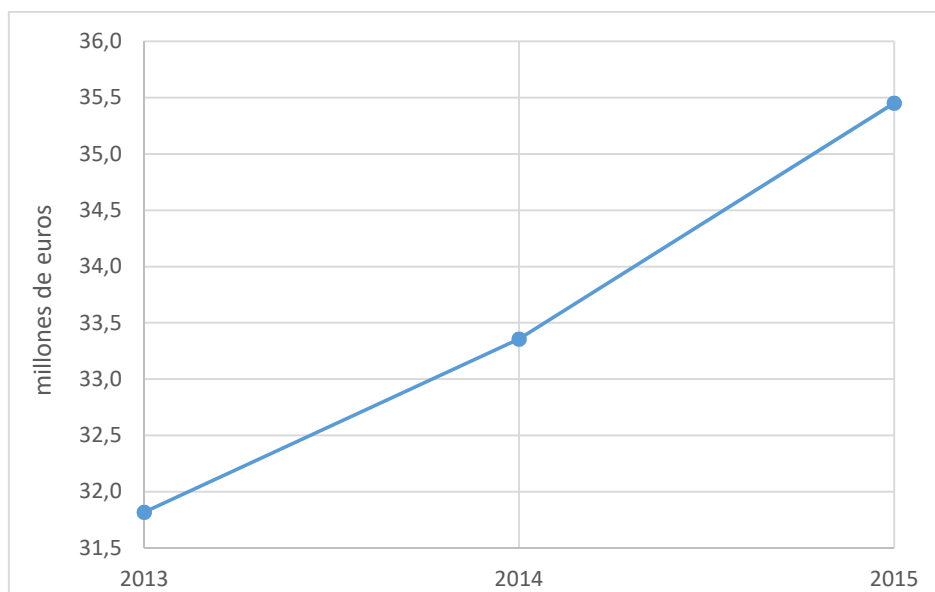


Figura 4. Evolución de las ventas de Manufacturas Ceylan SL (El Economista, 2017).



### 1.3. Descripción del proceso productivo

En la figura 5 puede verse el diagrama de bloques del proceso productivo general.

Dicho proceso comienza con un control de calidad tras la recepción de las especias y otros condimentos, para su posterior almacenamiento. En el caso de que algunas de estas especias y condimentos contengan carga microbiológica, se realiza un tratamiento térmico para su esterilización, antes de pasar a ser almacenadas. Cuando se va a fabricar la mezcla, las materias primas pasan por un proceso de tamizado, donde se retiran ramas y otros desechos que se gestionan como residuos. A continuación, en la fase de mezclado se añaden los aromas previamente fabricados, los aditivos, las oleorresinas y el aceite. Finalmente, la mezcla producida pasa a través de otro proceso de tamizado para separar aquellas partículas que no tienen un tamaño adecuado y, tras un control de calidad en el que se comprueba que la mezcla tiene las especificaciones requeridas, ésta es envasada.

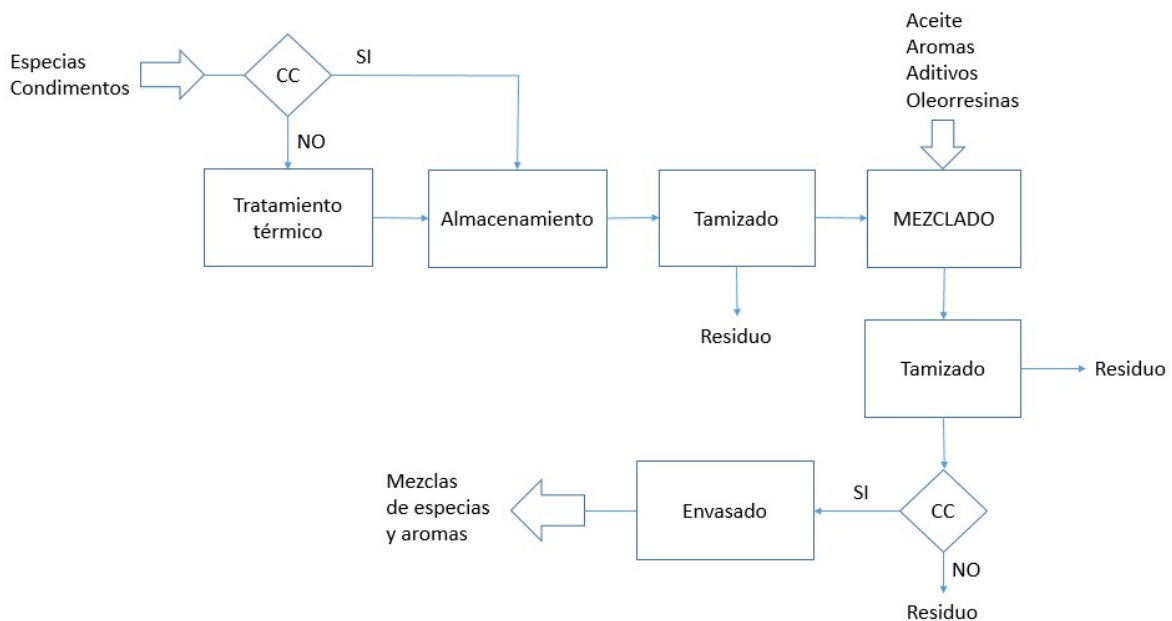


Figura 5. Diagrama de bloques del proceso productivo general.

Aunque se ha descrito el esquema del proceso general, existen gran variedad de tipos de mezclas: unas que solo contienen especias, otras que solo contienen aromas y aditivos, otras que además de los condimentos y aditivos contienen oleorresinas, otras con aceite y diversas variaciones de entre estos ingredientes.

Los aromas, en el caso de que se utilicen, son desarrollados en un laboratorio específico para ello propio de la empresa, a través del Departamento de I+D+i. Una vez el aroma cumple los requisitos del cliente, comienza a fabricarse a mayor escala en las mezcladoras. Estos pueden adicionarse tanto en forma líquida como sólida y, en algunos casos, el aroma es encapsulado mediante un atomizador para su estabilidad y protección. De este modo los componentes son protegidos de la luz, la oxidación o la interacción con otros aromas y componentes. Así se consigue mantener la calidad aromática y la intensidad del aroma.

Los controles de calidad son muy importantes en el proceso productivo, pues se trata de una empresa destinada a la alimentación. Se realizan a través del Departamento de Calidad mediante estudios químicos, físicos y biológicos.

Dentro de los estudios químicos, se encuentra la determinación del pH y la de posibles alérgenos. El tema de los alérgenos se lleva con sumo cuidado y las mezcladoras y el resto de máquinas industriales que están en contacto con una mezcla son higienizadas debidamente antes de la fabricación de la siguiente mezcla.

Dentro de los estudios físicos, se encuentran los estudios visuales del color y de la textura de la muestra, así como para la posible aparición de algún contaminante físico y el análisis de la distribución de tamaños de partículas, que es el objeto del presente Trabajo Final de Grado. Los estudios físicos se realizan para garantizar que las mezclas sean homogéneas y exista una reproducibilidad entre ellas.

Por último, dentro de los estudios biológicos se encuentran los análisis de ciertos microorganismos, que principalmente se encuentran en las especias y condimentos y son: hongos de la familia del *Penicillium* y *Aspergillus* y bacterias como la *Escherichia coli* o la *Salmonella spp.*

#### 1.4. Técnicas para la determinación de la distribución de tamaños de partículas

La distribución de tamaño de partículas se define como el porcentaje relativo de los granos de cada una de las distintas fracciones de tamaños representadas en una muestra (Perry y Green, 2001).

El análisis mediante tamizado ha sido tradicionalmente la técnica más utilizada para determinar la distribución de tamaños debido a su sencillez. Esta técnica consiste en la disposición de una serie de tamices estandarizados de diferentes luces de malla, de mayor a menor abertura. Se coloca la muestra en el tamiz superior de mayor luz de malla y mediante agitación mecánica se separa la muestra en los diferentes tamices. Posteriormente, se pesan las fracciones de cada tamiz y se obtienen las fracciones másicas para cada rango de tamaños.

Hoy en día existen nuevos métodos más rápidos, precisos y que alcanzan a medir tamaños de partículas menores (Malvern, 2017). Enumerados por rangos de medida de menor a mayor tamaño se encuentran:

- *Análisis de dispersión Taylor*, que se basa en pulsos de flujo laminar y absorbancia UV.
- *Dispersión de luz dinámica*, que se basa en la dispersión de la luz y la velocidad del movimiento Browniano de las partículas.
- *Análisis de rastreo de nanopartículas*, que también se basa en la dispersión de la luz y la velocidad del movimiento Browniano de las partículas.
- *Medición de masa resonante*, que se basa en un sensor MEMS (sistemas micro electromecánicos) que contiene un voladizo de resonancia.
- *Difracción láser*, que se basa en la variación angular de la intensidad de la luz dispersada.
- *Velocimetría de filtro espacial*, que se basa en un conteo de partículas donde se mide la frecuencia de una señal de ráfaga.
- *Procesamiento automatizado de imágenes*, que se basa en capturas de imágenes de partículas individuales.

La técnica de difracción láser es la utilizada en el presente Trabajo Final de Grado. Las ventajas principales de esta técnica respecto a las demás son: que se trata de una técnica reconocida que está normativizada por la ISO 13320:2009, que no requiere de ninguna calibración pues tiene una verificación sencilla con materiales de referencia estándar, y que tiene un amplio rango de medida de tamaños, desde menos de 100 nm a más de 2 mm (Malvern, 2017).

Esta técnica está basada en que las partículas dispersan luz en todas las direcciones, con un patrón de intensidad que es dependiente del tamaño de la partícula. Mediante una fuente de luz láser y una serie de detectores, la mezcla es dispersada a través del haz de luz, y un *software* procesa la información obtenida por los detectores. Las partículas grandes dispersan la luz en ángulos pequeños en relación con el rayo láser, y las partículas pequeñas dispersan la luz en ángulos grandes (Malvern, 2017).

Para el cálculo de la distribución de tamaño de partícula, la difracción láser utiliza la teoría Mie de la dispersión de la luz, suponiendo un modelo de esfera equivalente al volumen de la partícula. Esto quiere decir que supone que las partículas medidas son esféricas y los resultados que muestra este análisis se registran como un diámetro de la esfera equivalente al volumen de la partícula.

Esta teoría asume que la partícula es una esfera uniforme homogéneamente óptica cuyos índices de refracción real e imaginario (absorción) son conocidos, que es iluminada por una onda plana de extensión infinita y de longitud de onda conocida, y que los índices de refracción real e imaginario del medio que la rodea también son conocidos. Entonces, basándose en las ecuaciones de Maxwell, resuelve la interacción electromagnética con la materia y predice los máximos y mínimos de intensidad de la dispersión de la luz producidos por las partículas cuando éstas son incididas por una radiación láser (Iesmat, 2017). Estas distribuciones de intensidad son los denominados patrones de dispersión de Mie y con ellos se determina el tamaño de partícula. Cada tamaño de partícula tiene su propio patrón de dispersión, a menor tamaño de partícula, más esférico el patrón.

En la figura 6, pueden verse ejemplos de patrones de dispersión de Mie para partículas esféricas de diferentes tamaños.

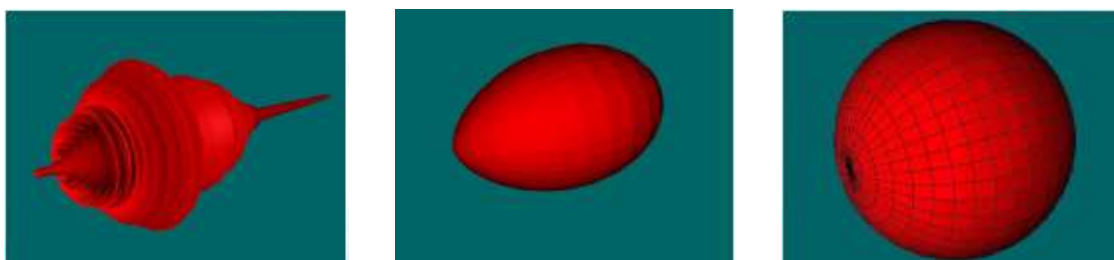


Figura 6. Patrones de dispersión de Mie. De izquierda a derecha, para tamaños de partícula de 10, 0,2 y 0,05  $\mu\text{m}$  de diámetro (Iesmat, 2017).

Existe también una teoría simplificada que no requiere que se conozcan las propiedades ópticas de la muestra, la aproximación de Fraunhofer, pero esta aproximación asume que las partículas son discos completamente opacos y no proporciona resultados precisos para partículas de pequeño tamaño. La ISO 13320 establece que la aproximación de Fraunhofer sólo se debe utilizar para tamaños de partículas mayores a las 50  $\mu\text{m}$ , en cambio, la teoría de Mie sirve para cualquier tamaño de partícula (Iesmat, 2017).

### 1.5. Representación gráfica de la distribución de tamaño de partículas

Independientemente de la técnica empleada para la determinación de la distribución de tamaño de partículas, la información de tal análisis de tamaño de partícula se tabula para mostrar la fracción en masa o el porcentaje de cantidad de partículas en cada incremento de tamaño como función del tamaño de partícula o rango de tamaño en el incremento. El análisis tabulado de este modo se denomina análisis diferencial y es el más común. Los resultados generalmente se presentan como un histograma, como muestra la figura 7a, con una curva continua para aproximar la distribución.

Una segunda forma de presentar la información es a través de un análisis acumulativo, obtenido por agregar, consecutivamente, los incrementos individuales, comenzando por el que contiene partículas más pequeñas y tabulando o graficando las sumas acumuladas frente al diámetro máximo de partícula en el incremento. La figura 7b representa la gráfica del análisis acumulativo de la figura 7a (McCabe y otros, 2007).

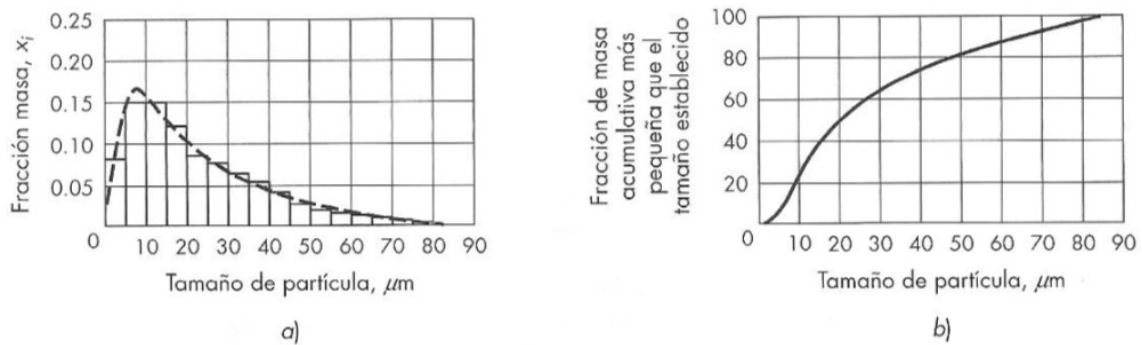


Figura 7. Distribución de tamaños de partículas en polvo; a) análisis diferencial; b) análisis acumulativo (McCabe y otros, 2007).

Las mezclas de especias y aromas están compuestas por partículas de diferentes tamaños. Es por ello que la distribución de tamaños de partículas resulta muy importante, ya que tener una distribución de tamaños próxima a una distribución normal indica que son mezclas homogéneas. Por un lado, que las mezclas sean homogéneas implica que diferentes muestras de la misma mezcla tengan curvas de distribución similares, por lo que existe una reproducibilidad en ese tipo de mezcla. Y por otro lado, que las mezclas sean homogéneas implica una menor estratificación de ellas en los envases. Las distribuciones de tamaños del presente Trabajo Final de Grado son análisis diferenciales.



## 2. ANTECEDENTES

El presente Trabajo Final de Grado surge a partir de la adquisición por parte de la empresa de una máquina de difracción láser como nueva técnica de medida de la distribución de tamaños de partícula y de la existencia de algunas mezclas con posibilidades de mejora.

### 2.1. Cambio en la técnica de medida de la distribución de tamaños

Anteriormente en Ceylan, para la caracterización de los tamaños de partículas mezcladas y su análisis de tamaños, se utilizaba el tamizado que generaba distribuciones en peso. Estos informes se realizaban manualmente, tanto la parte experimental como la de procesado de datos, teniendo que esperar el tiempo determinado para el tamizado, para la obtención de resultados.

A partir del año 2015, se incorporó en la empresa una máquina de difracción láser para realizar los análisis de distribución de tamaños de partícula, concretamente el modelo *Mastersizer 3000* con el dispersor de vía seca *Aero S* de Malvern, ya que era la técnica más apropiada para mezclas de especias y aromas por su rango de tamaños de 10 nm a 3,5 mm y su funcionalidad. Con esta máquina, la obtención de los datos se lleva a cabo a partir del *software* del láser y las muestras son dispersadas mediante un sistema automatizado. De este modo, el usuario, solo se debe encargar del mantenimiento del láser, de introducir la muestra a medir y de ajustar los parámetros de medida con el ordenador. Además, los informes son mucho más precisos, miden tamaños de partícula menores y son instantáneos.

A la vista de las ventajas de esta nueva técnica, se planteó aprovecharlas para estudiar las distribuciones de tamaño de algunas mezclas susceptibles de mejora, tal y como se describe en el siguiente apartado.

## 2.2. Mezclas consideradas a estudio

Para proteger los datos de las mezclas estudiadas, a petición de la empresa, no se revelarán sus nombres comerciales, ni sus componentes. Sin embargo, sí se describen sus características principales para conocer exactamente el alcance de los estudios realizados.

### *a) Mezcla A*

Esta mezcla está formada por 5 componentes, entre los que se encuentran un condimento y diversos aditivos. Uno de estos aditivos es un ácido encapsulado que debe permanecer en ese estado durante todo el proceso de mezclado para que quede resguardado hasta el momento correcto de su liberación, que debe ser durante un proceso posterior de horneado.

Anteriormente, esta mezcla se realizaba en una mezcladora de tipo V con un mezclado de movimiento de vaivén, de subida y caída libre de las partículas.

Sin embargo, la empresa adquirió una nueva mezcladora de mayor capacidad con un mezclado de tambor que se quería emplear a partir de ese momento y retirar la antigua mezcladora, debido a la mayor capacidad y a la mayor facilidad de carga y descarga de la nueva mezcladora.

Sin embargo, en la mezcla fabricada con la nueva mezcladora adquirida en la empresa de mayor capacidad se detectó un pH más bajo del requerido, que podría ser debido a la liberación del ácido encapsulado durante el proceso de mezclado debido a una posible rotura de las partículas, lo cual haría que la mezcla no cumpliera las características adecuadas para su posterior procesado.

### *b) Mezcla B*

Esta mezcla está formada por 11 componentes, entre los que se encuentran un aroma y diferentes condimentos, especias y aditivos. Esta mezcla resulta poco homogénea en cuanto a tamaños de partículas se refiere, lo que se puede observar a través de su curva de distribución de tamaños que presenta dos picos. Esta falta de homogeneidad no conviene debido a que se traduce en una estratificación de la mezcla, así como una menor reproducibilidad de las condiciones finales del producto.

Una posibilidad para mejorar la homogeneidad de la mezcla es encontrar algún sustituto de algún componente que sea equivalente pero con un tamaño diferente, de modo que los tamaños de las partículas de todos los componentes sean más parecidos, es decir, que se encuentren dentro de un mismo rango de tamaños.



c) Mezcla C

Esta mezcla está formada por 6 componentes, un par de oleorresinas picantes y aceite. Entre los componentes se encuentran diversos condimentos y aditivos. Uno de estos aditivos es un antiaglomerante de polvo, que tiene un tamaño muy fino, y que se utiliza para evitar la compactación de la mezcla que se produce por la fuerte cohesión de los componentes y las oleorresinas que lleva la misma.

Según la Organización Mundial de la Salud las PM<sub>10</sub>, que son las partículas inferiores a 10 micras, son las más peligrosas para la salud porque pueden penetrar a través de las vías respiratorias hasta los pulmones. Debido a su pequeño tamaño, el antiaglomerante de la mezcla C puede provocar problemas respiratorios si se inhala y, además, se trata de una mezcla muy picante lo que empeora los efectos de la inhalación. Por ello se utiliza el aceite denominado *antidusting* (desempolvante), para eliminar las partículas más finas del antiaglomerante que puedan generar nube de polvo y evitar así posibles problemas respiratorios.

La cantidad de aceite añadida se supone que está en exceso sobre la necesaria para conseguir el efecto deseado, pero resulta interesante estudiar si se podría disminuir manteniendo la calidad del producto y sin formar nube de polvo, y analizar, en caso de que resulte posible disminuirla, el ahorro económico que ello supondría.



### 3. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

A continuación, se la motivación que ha llevado a cabo este Trabajo Final de Grado, así como la justificación técnica y académica del mismo.

#### 3.1. Motivación

El presente Trabajo de Final de Grado surge durante la realización de prácticas de empresa en Manufacturas Ceylan SL. Durante dichas prácticas se trabajó con una máquina de difracción láser en el Departamento de Calidad, y se plantearon unas posibles aplicaciones de los análisis de distribución de tamaños de partículas para un uso más allá de un control de calidad rutinario, ya que se habían detectado varios posibles puntos de mejora de las mezclas producidas, utilizando para ello el análisis de la curva de distribución de tamaños.

#### 3.2. Justificación técnica

La identificación de algunos puntos de mejora en las mezclas de especias y aromas, y la implementación de dichas mejoras supone un gran interés a nivel industrial y comercial. La optimización del proceso productivo y la optimización del uso de algunos ingredientes pueden suponer ahorros importantes cuando se trabaja con grandes lotes y cantidades de estas mezclas. Además, la mejora de la calidad del producto siempre resulta beneficiosa, tanto para el cliente como para la empresa productora.

#### 3.3. Justificación académica

En este trabajo se aplican las competencias adquiridas durante todo el grado, así como los conocimientos de asignaturas como Operaciones de Separación, Procesos Industriales de Ingeniería Química, Proyectos de Ingeniería Química y, en especial, las asignaturas de Experimentación en Ingeniería Química.

Todo ello para la consecución de los 12 créditos ECTS necesarios en el Trabajo de Final de Grado para la finalización de los estudios de Grado en Ingeniería Química.



## 4. OBJETIVOS

El objetivo general del presente Trabajo Final de Grado es la mejora de varias mezclas de especias y aromas empleando el análisis de distribución de tamaños de partículas mediante la técnica de difracción láser.

De manera más específica, a continuación, se indican los objetivos para cada mezcla estudiada.

### *a) Objetivo para la Mezcla A*

Analizar si con la nueva mezcladora adquirida en la empresa se libera el ácido encapsulado debido a una posible rotura de las partículas, y si es así, modificar las condiciones de operación de la nueva mezcladora para que la mezcla tenga el pH correcto.

### *b) Objetivo para la Mezcla B*

Estudiar la mejora en la homogenización de tamaños de la mezcla, mediante la sustitución de algún componente equivalente pero de distinto tamaño.

### *c) Objetivo para la Mezcla C*

Optimizar la cantidad empleada de aceite *antidusting* (desempolvante) en la mezcla, impidiendo la aparición en la misma de partículas de tamaños muy finos propios del antiaglomerante que lleva la mezcla.



## 5. METODOLOGÍA

A continuación, se explica cómo se van a realizar los diferentes estudios de cada mezcla, y primero se describe el procedimiento de aplicación de la técnica analítica utilizada en todos ellos, la difracción láser.

### 5.1. Técnica analítica de difracción láser

La máquina empleada es el *Mastersizer 3000* con el dispersor de vía seca *Aero S* de la casa comercial Malvern. En la figura 8, puede verse el funcionamiento interno del mismo. Para la medición de partículas en vía seca (donde el dispersante es el aire), utiliza una fuente de luz láser roja de He-Ne de 633nm. La mezcla es dispersada por un tubo de goma desde el dispersor hasta la célula de medida donde la luz láser, al incidir con la muestra es dispersada y recolectada mediante diversos detectores. Una vez la muestra atraviesa el haz de luz láser, un aspirador se encarga de absorber y depositar los residuos en un filtro de recolección.

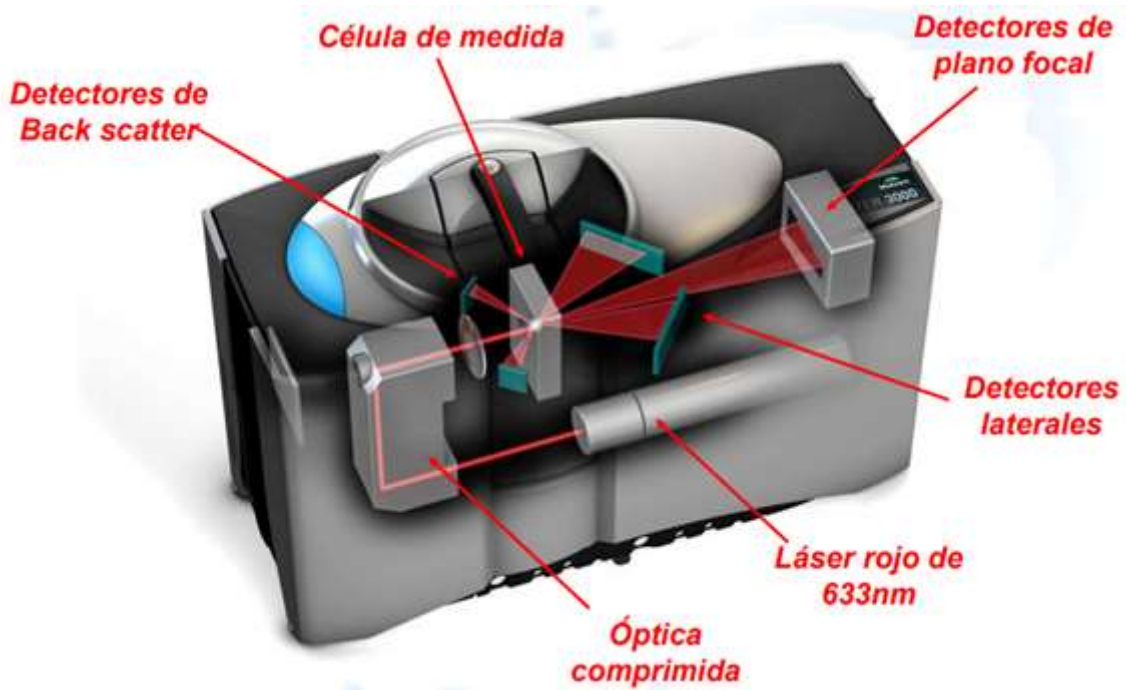


Figura 8. Esquema del funcionamiento interno del Mastersizer 3000 (Puebla, 2013).

Para realizar las mediciones, primero se han de ajustar los parámetros del láser, tales como (entre paréntesis se indican los valores empleados): el tiempo de medida del fondo (10s), el tiempo de cada medida (2s), el número de medidas por dispersión (5) o el rango de oscurecimiento (0,5%-6%).

El rango de oscurecimiento es un parámetro muy importante, ya que una pobre oscurecimiento no muestra medidas claras, y una gran oscurecimiento satura el sistema y puede producir errores. Para sustancias en polvo, el fabricante recomienda un rango de 0,5-6%. El láser tiene un filtro que es activado para capturar *snaps* solo cuando la oscurecimiento se encuentra dentro del rango establecido. Los *snaps* son las capturas instantáneas que realiza el láser para procesar la información obtenida y se realizan varios durante el tiempo empleado en cada medida.

En cuanto al dispersor (ver figura 9), para ajustar la entrada de alimentación y que la oscurecimiento permanezca dentro del rango de oscurecimiento óptimo, es necesario ajustar la velocidad de vibración del plato de la tolva (0-100%) y la apertura de la tolva (0-4mm). También es importante ajustar la presión del dispersor (0-4bar) según sean partículas finas, gruesas o aglomerados. Para partículas duras o pesadas se usarán presiones altas (>2 bar). En cambio, para partículas muy pequeñas o frágiles, se usarán bajas presiones (<2 bar). Y en aglomerados, se trabajará a presiones cercanas a 4 bar para que dispersen correctamente las partículas. Salvo la apertura de la tolva que se ajusta manualmente, el resto de parámetros del láser se ajustan mediante el *software*.



Figura 9. Esquema del dispersor de vía seca Aero S (Malvern, 2017).

La muestra se inserta en la tolva, de ahí va entrando al plato vibratorio que va desplazándola hasta que cae al inyector de aire a presión. En la figura 10 se muestra un esquema de cómo la muestra,



tras caer del plato al inyector, es dispersada mediante aire a presión. Los efectos que provoca esta dispersión de la muestra son: los gradientes de velocidad causados por la velocidad de cizalla y las colisiones entre partículas. En las figuras 11 y 12 pueden verse esquematizados dichos efectos.

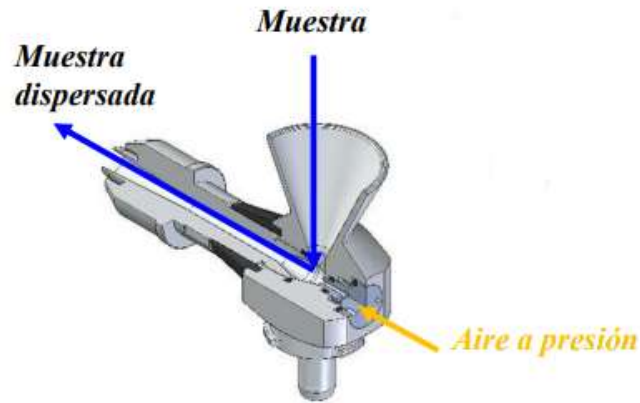


Figura 10. Esquema del inyector de aire presión del dispersor de vía seca Aero S (Puebla, 2013).



Figura 11. Efecto de dispersión por gradiente de velocidad (Puebla, 2013).

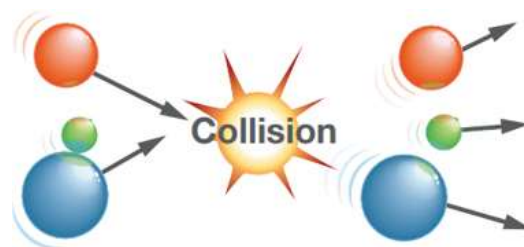


Figura 12. Efecto de dispersión por colisión entre partículas (Puebla, 2013).

Tras ajustar los parámetros del láser, se ajustan los parámetros de la muestra, que son propios para cada una de ellas. Principalmente, se necesitan conocer el índice de refracción y el de absorción (parte imaginaria del índice de refracción). El *software* proporciona una base de datos con un gran

número de sustancias y sus índices, pero en el caso de mezclas como las de especias y aromas, no existen datos. Por ello, se realizan aproximaciones. El índice de absorción es fácil de aproximar, atendiendo a los valores recomendados por el fabricante, como se puede observar en la figura 13. Pero el de refracción es más complejo, y se hacen aproximaciones hasta que se cumpla que la curva de distribución de tamaños no forme un pequeño pico extra en la parte inicial de la curva de distribución. Esto se debe a que la dispersión de luz a grandes ángulos comenzará a fijarse erróneamente y fácilmente se sobrestimaré la cantidad de partículas finas en la distribución (lesmat, 2017).






Apariencia	Absorción	Ejemplos
	0	Látex
	0.001	Emulsiones
	0.01	Polvos blancos (buen comienzo de partida)
	0.1	Muestras ligeramente coloreadas
	1.0+	Muestras fuertemente coloreadas y polvos metálicos

Figura 13. Índices de absorción para partículas según su apariencia (Puebla, 2013).

Cuando se va a medir, se limpian los restos de la muestra anterior con un pincel, se coloca la nueva muestra mediante una cucharilla en la tolva del dispersor, se ajusta la apertura de la tolva manualmente, se cierra la tapa y se inicia el análisis mediante el *software* del láser. Entonces, se va reajustando la velocidad de vibración del plato de forma que la alimentación sea constante, y se va reajustando la presión del dispersor de forma que la muestra se disperse de forma continua; de este modo el *software* indicará que la obscuración estará dentro del rango de requerido. Esto garantiza la repetibilidad de las medidas para una misma muestra.

Cada sustancia o mezcla tiene su propio ajuste característico que se puede guardar en forma de un archivo SOP. Este ajuste es el que necesita más tiempo y, una vez el producto tiene su archivo ajustado con sus parámetros concretos, se puede utilizar el mismo archivo de medida para diferentes muestras de ese mismo tipo de producto, permitiendo que las medidas ya sean rápidas. Con este archivo de medida correctamente ajustado, se procede a pasar la muestra por el láser hasta obtener 20 medidas y se obtiene un informe mediante el *software* con el promedio de las mismas. En los Anejos de la Memoria pueden verse 3 ejemplos de los 22 informes extraídos, uno característico de cada mezcla.

Para procesar los resultados, los datos obtenidos serán importados desde el *software* del láser a hojas Excel para tener la precisión que alcanza el láser de hasta 17 decimales y un mejor manejo de los resultados obtenidos.

Estos resultados son datos tabulados por el *software* como densidades en volumen en tanto por cien (%) frente a tamaño de partícula en micras ( $\mu\text{m}$ ). Las densidades en volumen son el porcentaje de partículas de cada tamaño respecto al volumen total de muestra, es decir, la cantidad de partículas existentes en la mezcla para cada tamaño.

## 5.2. Metodología para la mezcla A

El estudio de la mezcla A se realizará a partir del análisis de lotes de fabricación a escala real, concretamente, lotes realizados en las dos mezcladoras a estudio.

Primero, se fabricarán dos lotes, uno en la nueva mezcladora (M) y otro en la antigua mezcladora (V), con un mismo tiempo de mezclado de 9 minutos, que es el establecido para la antigua mezcladora, que no daba problemas con el pH. A continuación, se tomará una muestra de cada uno de los lotes en bolsas de plástico etiquetadas, y se medirá con la máquina de difracción láser.

De este modo, comparando las curvas de distribución de tamaños de partículas de las dos mezcladoras se comprobará si la liberación del ácido encapsulado es propia de la nueva mezcladora M, y si tiene relación con la rotura de las partículas de la mezcla.

Si tras analizar los resultados obtenidos, la nueva mezcladora M es la causante del pH incorrecto de la mezcla, se cambiarán las condiciones de operación para tratar de que no se produzca la rotura del encapsulado. Es conocido por parte de la empresa que a mayor tiempo de mezclado, mayor desgaste y rotura de las partículas de la mezcla debido al mezclado de tambor, lo que implicaría una posible rotura del ácido encapsulado y su liberación. Es por ello que se realizarán dos estudios más de lotes de fabricación en los que se reducirán los tiempos de mezclado de la mezcladora M de los 9 minutos de partida a 7 y 5 minutos. Estos dos nuevos lotes se fabricarán con esta nueva condición de operación de tiempo, transcurrido el cual se tomará una muestra de cada lote en bolsas de plástico etiquetadas, y se medirá con la máquina de difracción láser.

De este modo, se observará, comparando las curvas de distribución de tamaños de partículas para los distintos tiempos de mezclado, si la disminución del mismo reduce notablemente la rotura de las partículas y por tanto, evita la liberación del ácido, dando así un pH resultante óptimo.

### 5.3. Metodología para la mezcla B

El estudio de esta mezcla consta de dos partes. En la primera parte, se determinarán experimentalmente las curvas de distribución de tamaños de cada uno de los 11 componentes de la mezcla, de manera individual, mediante difracción láser. En la segunda parte, se determinará la curva teórica de distribución de tamaños de la mezcla B, se analizarán los posibles sustitutos que podrían homogenizar los tamaños de la mezcla y se recalculará la curva teórica con estos nuevos sustitutos.

En el laboratorio de aromas propio de la empresa, se tomarán 11 muestras en botes de análisis, una muestra por cada una de las 11 sustancias que componen la mezcla B. Estas muestras se medirán individualmente con la máquina de difracción láser, obteniendo 11 curvas de distribución de tamaños, una para cada sustancia.

Posteriormente, mediante el programa informático *Excel*, se calculará la curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla. Para ello, primero se calcularán las fracciones másicas de cada uno de los 11 componentes de la mezcla B de acuerdo a la ecuación 1, en la que la masa total es la suma de la masa de los 11 componentes, y la masa de cada componente es la que se utiliza cuando se fabrica un lote de mezcla B.

$$\text{Fracción másica} = \frac{\text{masa componente}}{\text{masa total}} = x \quad (1)$$

La curva de distribución de tamaños de cada componente se define como la función de densidad de volumen  $dv_i(z)$ , siendo  $i$  el componente, y  $z$  el tamaño de partícula. Posteriormente, para cada uno de los 11 componentes ( $i=0,1...11$ ), se multiplicará su fracción másica  $x_i$  por cada valor de densidad en volumen de acuerdo a la ecuación 2. De este modo, se obtendrán 11 curvas de distribución de tamaños proporcionales en la mezcla  $CP(z)_i$ .

$$CP(z)_i = dv_i(z) \cdot x_i \quad (2)$$

Finalmente, se integrarán estas curvas individuales en una única, sumando los valores proporcionales de densidad en volumen de todos los componentes para cada tamaño de partícula de acuerdo a la ecuación 3. De este modo, se obtendrá la curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla  $CT(z)$ .

$$CT(z) = \sum_i CP(z)_i = \sum_i dv_i(z) \cdot x_i \quad (3)$$

Observando la influencia de las proporciones de los componentes y de sus tamaños sobre la curva teórica de la mezcla, se determinarán posibles sustitutos para mejorar la homogenización de ésta. Estos sustitutos se buscarán para componentes con un gran peso en la mezcla y, por tanto, una gran influencia en la curva de distribución. Se buscará que los sustitutos tengan rangos de tamaños que encajen con el resto de tamaños de la mezcla.

Una vez identificados los posibles sustitutos, se tomarán muestras de los mismos en el laboratorio de aromas, y se analizarán mediante difracción láser.

El proceso de cálculo de la curva teórica de distribución de tamaños anterior se repetirá tantas veces como sustitutos encontrados, con la diferencia de sustituir los componentes iniciales por los equivalentes, tanto de uno en uno, como de posibles combinaciones de más de un sustituto a la vez.

Una vez se tengan todas las curvas teóricas de distribución de tamaños de la mezcla B con las diferentes opciones de sustitución, se seleccionará la curva más homogénea, es decir, la que tenga una forma más parecida a una distribución normal. Y, de este modo, se sabrá qué componente/s equivalente/s en caso de fabricar la mezcla B con él o ellos, produciría/n una mezcla de tamaños más homogénea.

#### **5.4. Metodología para la mezcla C**

Los ensayos para analizar la posible mejora de la mezcla C se prepararán en el laboratorio de aromas propio de la empresa.

En primer lugar, se medirá una muestra del antiaglomerante empleado en la mezcla C para observar su curva de distribución de tamaños y ver el alcance de los tamaños inferiores.

Posteriormente, se prepararán tres muestras de 100 gramos de la mezcla C, cada una con diferentes cantidades de aceite: la primera al 4%, que es la cantidad utilizada actualmente y la que se quiere optimizar, la segunda al 3,5% y la tercera al 3%.

Para ello, se pesarán las cantidades correspondientes mediante una báscula digital de precisión en un vaso de precipitados de 500 mL, se mezclarán con una picadora doméstica y se medirá la mezcla resultante con la máquina de difracción láser. Se desechará la mezcla sobrante y se preparará la siguiente mezcla con diferente concentración de aceite.

De este modo, se observará si se puede disminuir la concentración de aceite sin que aparezcan tamaños inferiores de partículas, es decir, sin que el extremo izquierdo de la curva de distribución de tamaños se alargue.



## 6. RESULTADOS

En este apartado se presentan todos los datos obtenidos del análisis de distribución de tamaños y los calculados en la hoja *Excel* en forma de gráficos, así como su interpretación.

### 6.1. Resultados para la mezcla A

En primer lugar, se comparan las curvas de distribución de tamaños para la mezcla A obtenidas con las dos mezcladoras para un mismo tiempo de mezclado. A modo de ejemplo, en el Anejo 1, puede verse el informe extraído del *software* del láser para la mezcla A elaborada con la mezcladora V.

En la figura 14, se muestran las curvas de distribución de tamaños de la mezcla A elaborada en la nueva mezcladora M y en la antigua mezcladora V para un mismo tiempo de mezclado de 9 minutos.

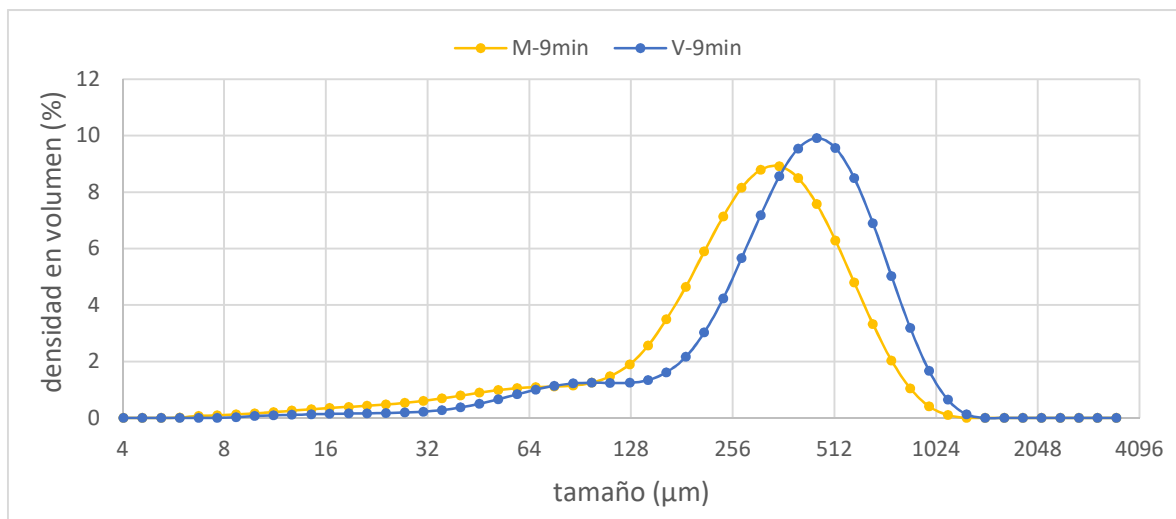


Figura 14. Curvas de distribución de tamaños de la mezcla A en las mezcladoras V y M para un tiempo de mezclado de 9 min.

Se puede apreciar perfectamente en la figura 14 como la curva de distribución de tamaños de la mezcla elaborada con la nueva mezcladora M tiene un desplazamiento hacia la izquierda, lo que indica que tiene tamaños menores, es decir, se han reducido los tamaños de las partículas. Esto puede ser debido a que la nueva mezcladora M es más abrasiva con la mezcla y por tanto rompe las partículas en otras más pequeñas. Por lo tanto, dado que el ácido encapsulado que contiene esta mezcla es una partícula frágil parece bastante probable que se libere el ácido antes de tiempo y por ello la mezcla dé un pH inferior al requerido.

Debido a esta situación, y puesto que la empresa quiere producir esta mezcla con la nueva mezcladora de mayor capacidad, se decidió probar a reducir los tiempos de mezclado de la nueva mezcladora M, para ver si de este modo las partículas no se rompen tanto y el pH se mantiene en el valor deseado.

En la figura 15, se muestran las curvas de distribución de tamaños de la mezcla A elaborada en la nueva mezcladora M para diferentes tiempos de mezclado: 5, 7 y 9 minutos.

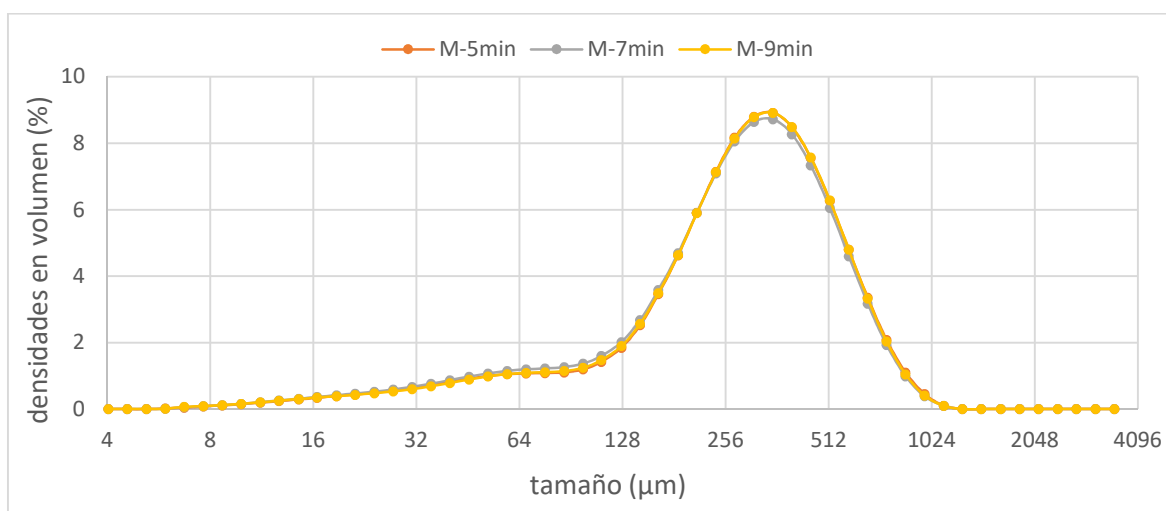


Figura 15. Curvas de distribución de tamaños de la mezcla A en la mezcladora M para tiempos de mezclado de 5, 7 y 9 minutos.

En la figura 15 se observa claramente cómo se superponen las tres curvas de distribución de tamaños para los 3 tiempos estudiados, lo que indica que son iguales y no hay ningún efecto en la distribución de tamaños para el rango de tiempos analizado. Esto muestra que la reducción de los tiempos de mezclado no sirve para que la nueva mezcladora M no rompa las partículas en otras menores y, por lo tanto, se libere el ácido encapsulado. Se concluye por tanto que la nueva mezcladora M es abrasiva de por sí, independientemente de reducir los tiempos de mezclado, y que se trata de una mezcladora que produce cierta trituración durante el mezclado.



Para confirmar que la distribución de tamaños generada en la nueva mezcladora no es adecuada, en la figura 16 se muestran las curvas de distribución de tamaños de la mezcla A elaborada en la nueva mezcladora M y en la antigua mezcladora V para un mismo tiempo de mezclado de 9 minutos, así como de una muestra de la misma mezcla de la competencia.

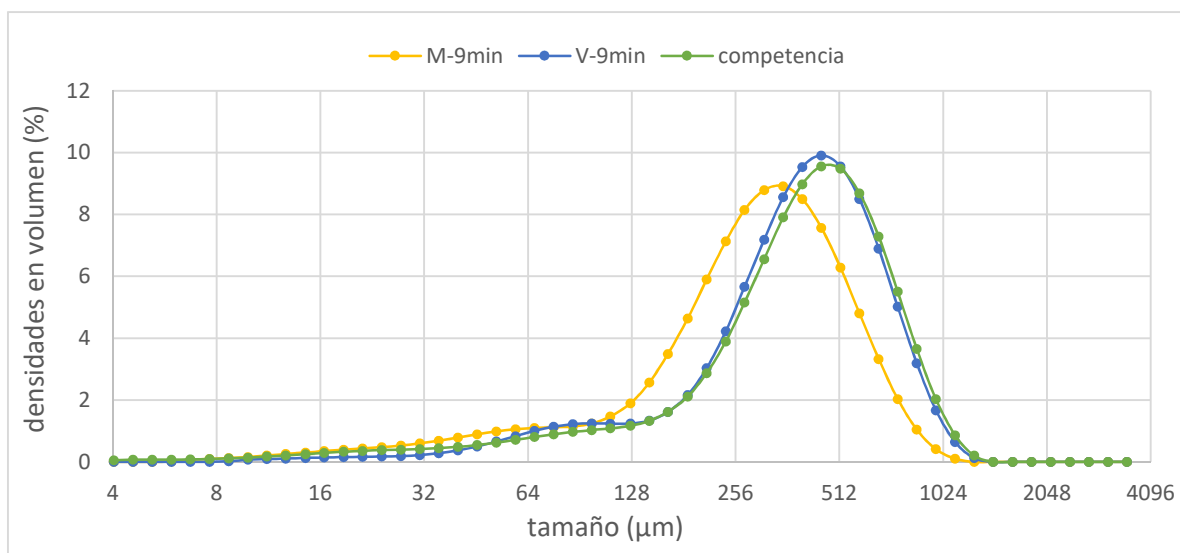


Figura 16. Curvas de distribución de tamaños de la mezcla A en la mezcladora M y en la V para un tiempo de 9 minutos, y de una muestra de la competencia.

Se puede observar en la figura 16 como, aunque no se superpongan exactamente las curvas de la muestra de la competencia y de la muestra de la mezcladora V, sí que son curvas muy similares, lo que indica que son mezclas con una distribución de tamaños prácticamente iguales. Sin embargo, la curva de la muestra elaborada con la mezcladora M tiene claramente partículas de tamaños inferiores que la muestra de la competencia, como se puede apreciar en el desplazamiento de la curva hacia la izquierda.

Se concluye, por tanto, que la antigua mezcladora V es la más apropiada para elaborar la mezcla A de manera que se mantengan los tamaños de partícula adecuados y no se libere el ácido encapsulado, así como para cualquier mezcla que requiera de un mezclado más suave debido a que sus partículas no deban romperse por alguna razón. Y la mezcladora M será adecuada para el resto de mezclas por su mayor capacidad y facilidad de carga y descarga.

## 6.2. Resultados para la mezcla B

En primer lugar, se presentan los resultados de la primera parte del estudio, en la que se determinaron experimentalmente las curvas de distribución de tamaños de cada uno de los 11 componentes de la mezcla, de manera individual.

En la figura 17, se pueden ver las curvas de distribución de tamaños de cada uno de los 11 componentes de la mezcla B, identificando cada componente con un número. Se puede apreciar que es una mezcla que abarca un amplio rango de tamaños, desde las 8 micras a los 2 milímetros aproximadamente, debido a los diferentes tamaños de los componentes.

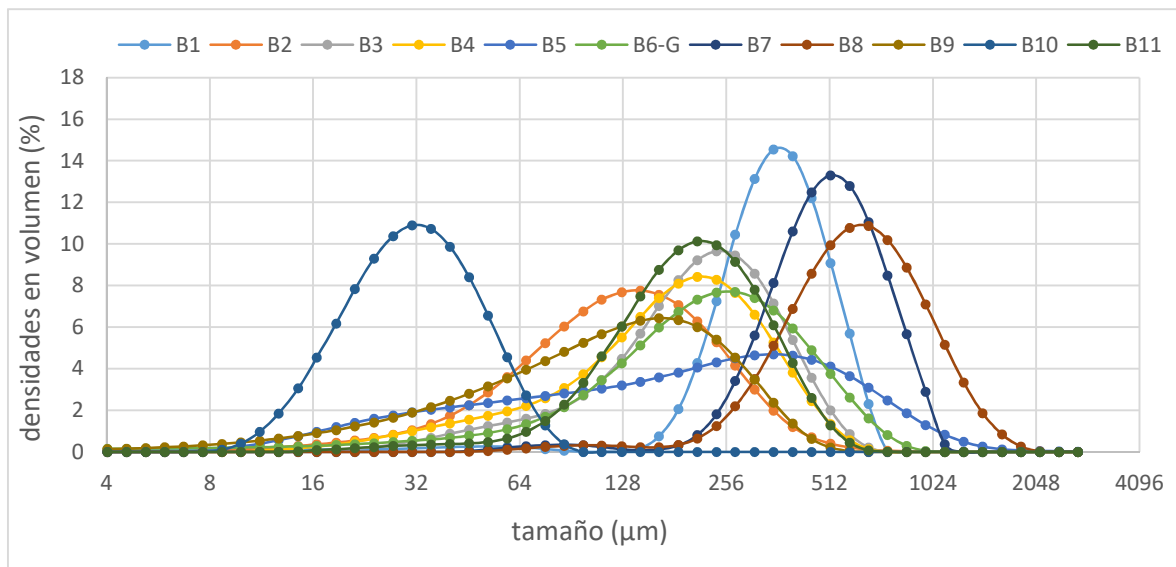


Figura 17. Curvas de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B.

Para poder seleccionar los componentes a sustituir es necesario conocer el peso que tienen en la mezcla para poder ver su influencia en la curva de distribución de tamaños de la misma.

A continuación, en la Tabla 1, se muestran las masas en kg de fabricación por lote y las fracciones másicas para cada uno de los 11 componentes de la mezcla B.

TABLA 1. Fracciones másicas de los componentes de la mezcla B.

<b>Componente</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Fracción másica</b>
B1	109	0,0800
B2	48	0,0352
B3	495	0,3635
B4	5	0,0036
B5	43,3	0,0318
B6-G	414	0,3040
B7	21	0,0154
B8	60	0,0440
B9	13,2	0,0096
B10	150	0,1101
B11	3,1	0,0022
Total	1361,6	1

En la misma Tabla 1 se puede apreciar que existen componentes que se encuentran en una cantidad muy pequeña, como el B4 o el B11, y otros que tienen un gran peso en la mezcla como el B3 o el B6-G. Para mejorar la homogenización de la mezcla, habrá que probar siempre la sustitución de componentes con un gran peso en la mezcla, ya que los que se encuentran en una pequeña cantidad no influirán en la distribución de tamaños de la misma.

A continuación, en la figura 18, se muestran las curvas de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B según su fracción másica; y en la figura 19, se integran estas curvas en una única curva teórica de la mezcla B.

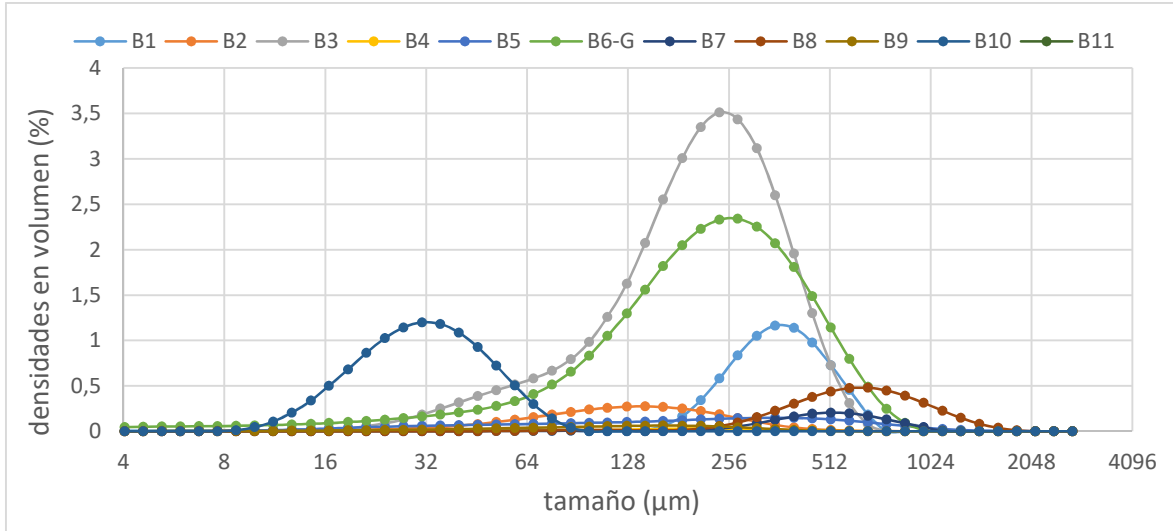


Figura 18. Curva de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B según su fracción másica.

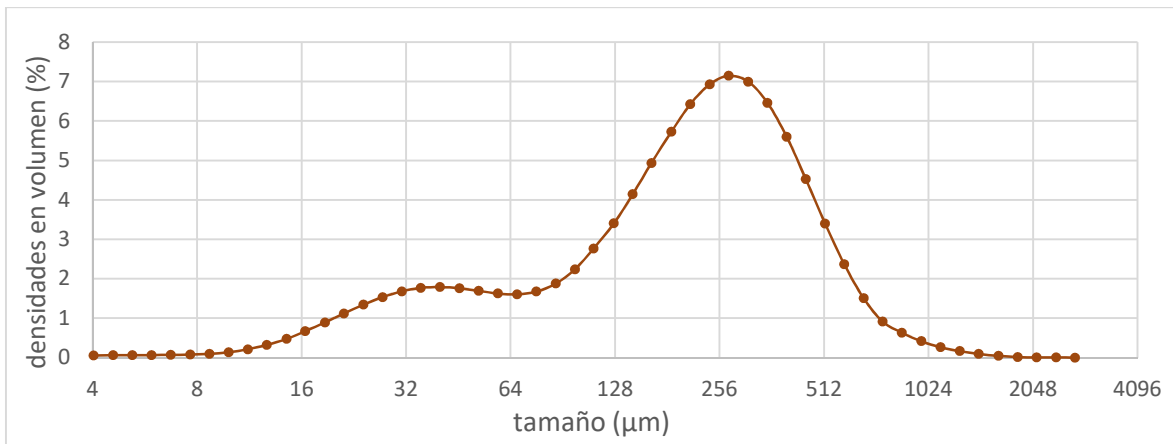


Figura 19. Curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla B.

Se puede observar en la figura 19 que existen dos picos en la curva de distribución de tamaños teórica, principalmente formados por el componente B10 y la suma de los componentes B3 y B6-G, como se aprecia en la figura 18. La curva teórica, además, coincide con la misma forma que la curva de la mezcla B analizada previamente a este trabajo que tenía ambos picos y que ha sido la causa de llevar a cabo este estudio.

Para tratar de mejorar la homogeneidad, la primera opción a considerar parece que sería sustituir el componente B3, que es el que en mayor proporción se encuentra en la mezcla. Sin embargo, este componente no tiene ningún sustituto equivalente y, por lo tanto, no es reemplazable.

El siguiente componente con un mayor peso en la mezcla es el B6-G, que tiene una fracción másica de 0,304, tal y como se ve en la Tabla 1. Así que se ha optado por sustituir dicho componente por otro, el B6-F, que es la misma sustancia, pero en vez de en tamaño de partícula grueso, en fino, ya que la empresa dispone de esta misma sustancia con dos tamaños de partícula. Se ha seleccionado este componente para sustituir porque tiene una gran influencia en la distribución de tamaños, pronunciando el pico sobre las 270 micras, como se aprecia en la figura 19. En cambio, el sustituto elegido podría compensar los dos picos existentes en la figura 19, si resulta que tiene un rango de tamaños entre ambos picos.

En la figura 20, puede verse en azul la curva del componente a sustituir (B6-G) y en rojo la curva del componente sustituto (B6-F). Como se aprecia, la curva del nuevo componente se encuentra desplazada hacia la izquierda, lo indica que tiene tamaños de partículas menores. En concreto, el nuevo componente tiene su pico en torno las 110 micras, a diferencia de las 270 micras del anterior.

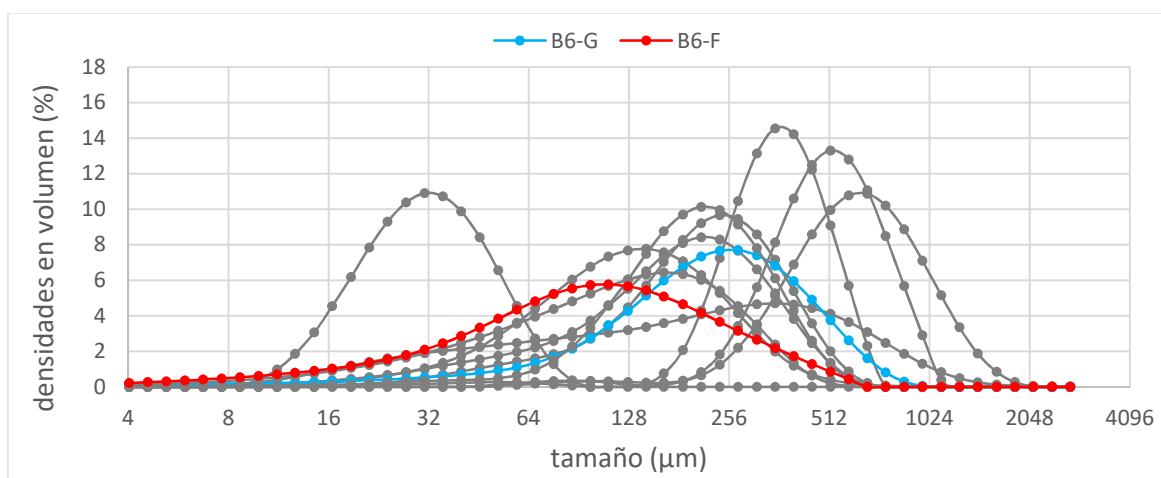


Figura 20. Curvas de distribución de tamaños del componente B6-G y su sustituto B6-F.

En la figura 21, puede verse cómo el sustituto B6-F tiene un rango de tamaños entre los dos picos de los componentes B3 y B10. De este modo, los picos de dichos componentes resultan suavizados, tal y como puede verse en la curva teórica de la figura 22.

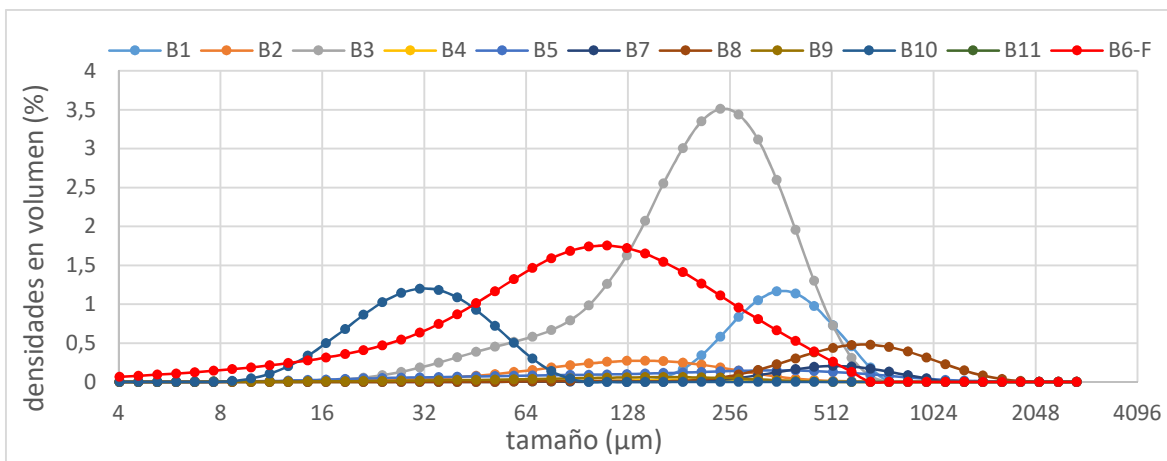


Figura 21. Curvas de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B según su fracción másica con el sustituto B6-F.

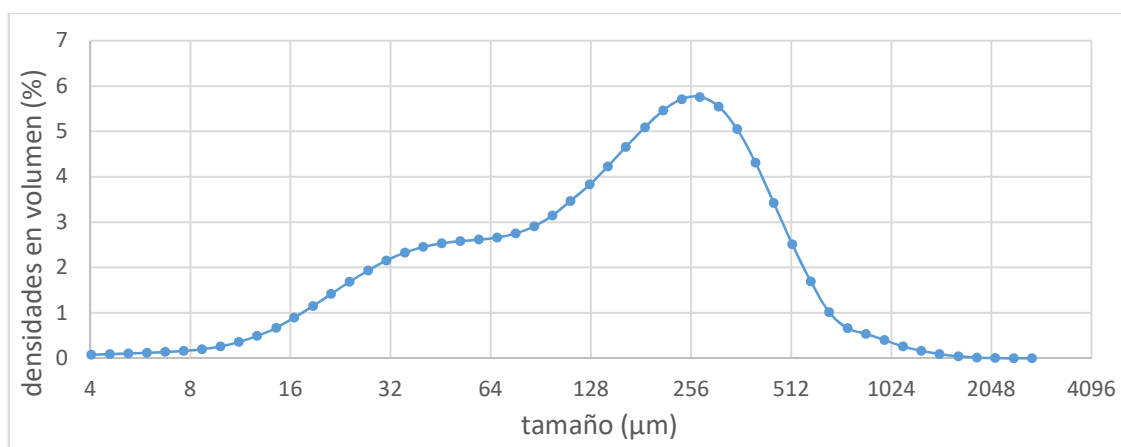


Figura 22. Curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla B con el sustituto B6-F.

Así, con el sustituto B6-F se ha conseguido una mayor homogenización de la mezcla, pero la curva de distribución sigue bastante alejada de una distribución normal, ya que aún se aprecia levemente el pico producido por el componente B10 en lugar de existir un único pico. Por tanto, se ha optado por sustituir el componente B10, que es el siguiente en cuanto a fracción másica, como se observa en la Tabla 1. Este componente no tiene un sustituto que sea la misma sustancia de diferente tamaño, pero sí tiene un componente equivalente de mayor tamaño, el B12.

En la figura 23, puede verse en azul la curva del componente a sustituir, el B10, y en rojo la curva del componente sustituto, el B12. El componente B10 tiene un rango de tamaños inferior al resto de componentes, con un pico en torno a las 30 micras, que lo sitúa al margen izquierdo de todas

las distribuciones; en cambio, el componente B12 tiene un rango de tamaños medio, con un pico en torno a las 210 micras y se encuentra dentro del resto de distribuciones. Y en la figura 24, se aprecia cómo, al sustituir el componente B10 por el B12, todos los componentes mayoritarios en la mezcla se encuentran dentro del mismo rango de tamaños.

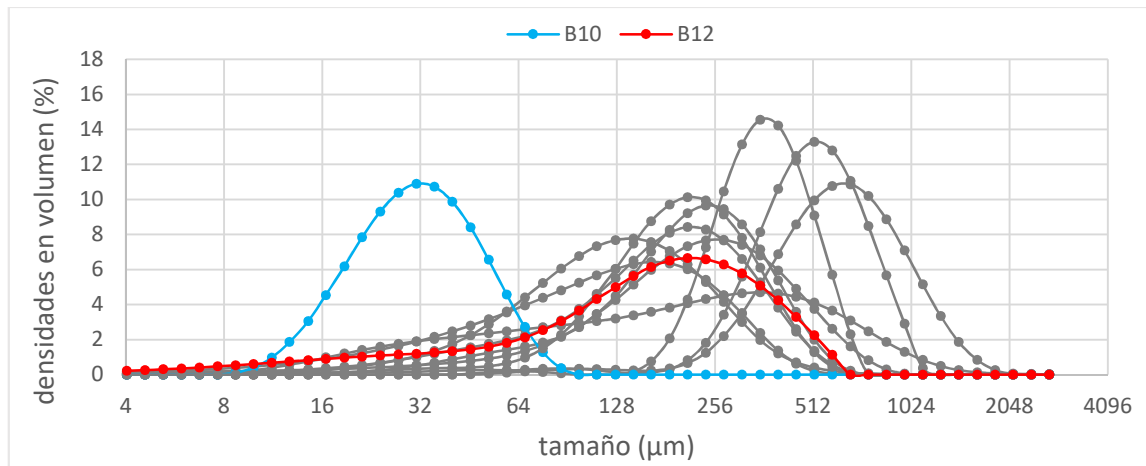


Figura 23. Curvas de distribución de tamaños del componente B10 y su sustituto B12.

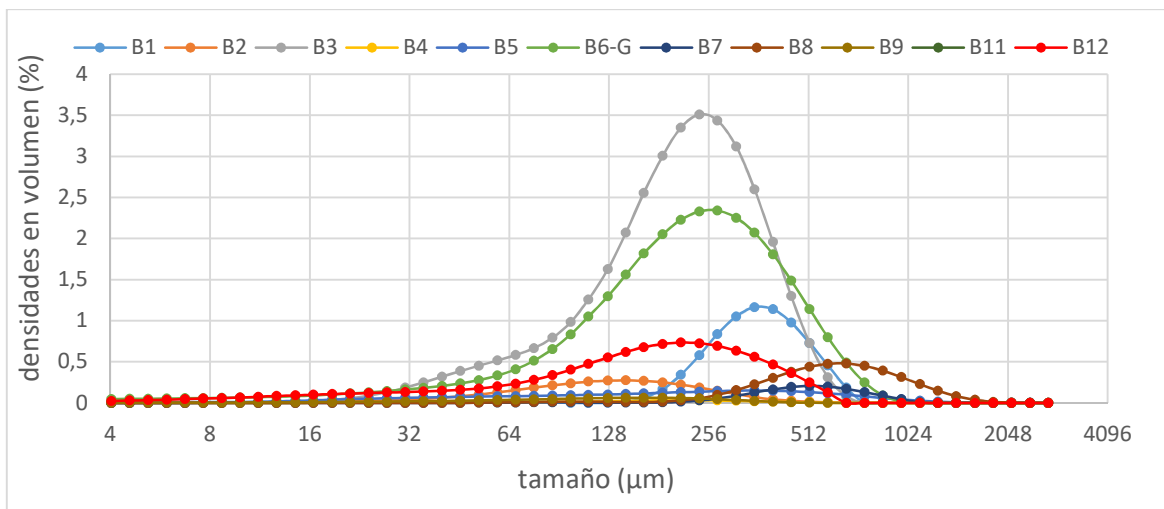


Figura 24. Curva de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B según su fracción másica con el sustituto B12.

En la figura 25, se muestra la curva integrada correspondiente a la sustitución del componente B10 por el B12. Se observa como la inclusión de los componentes mayoritarios en un mismo rango de tamaños forma un único pico y una curva próxima a una distribución normal. Se trataría pues, en caso de elaborar la mezcla B con el sustituto B12, de una mezcla mucho más homogénea.

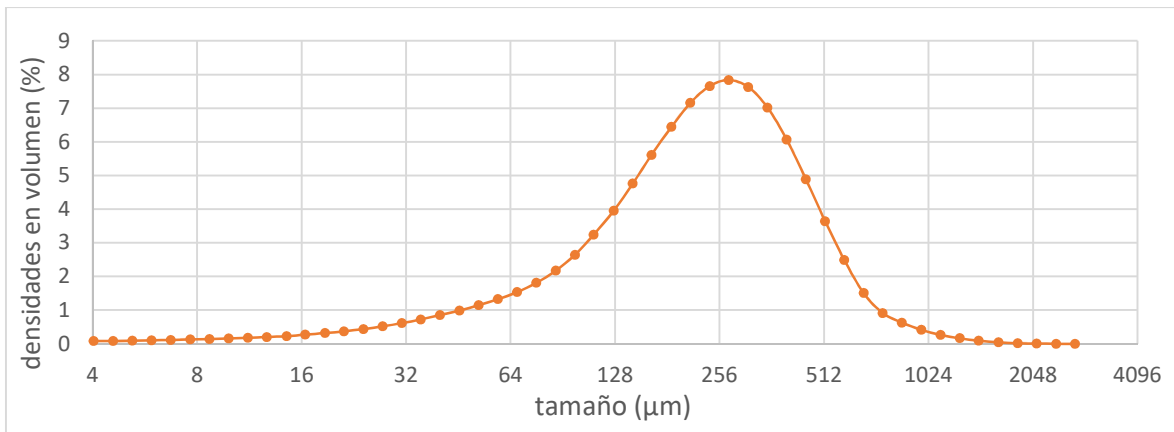


Figura 25. Curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla B con el sustituto B12.

A continuación, se va a analizar el efecto de los dos sustitutos a la vez en la mezcla: el B6-F como sustituto del B6-G, y el B12 como sustituto del B10. En la figura 26 se muestran las curvas de distribución de tamaños de los 9 componentes fijos, junto con los dos sustitutos y, en la figura 27, la curva teórica con ambos sustitutos.



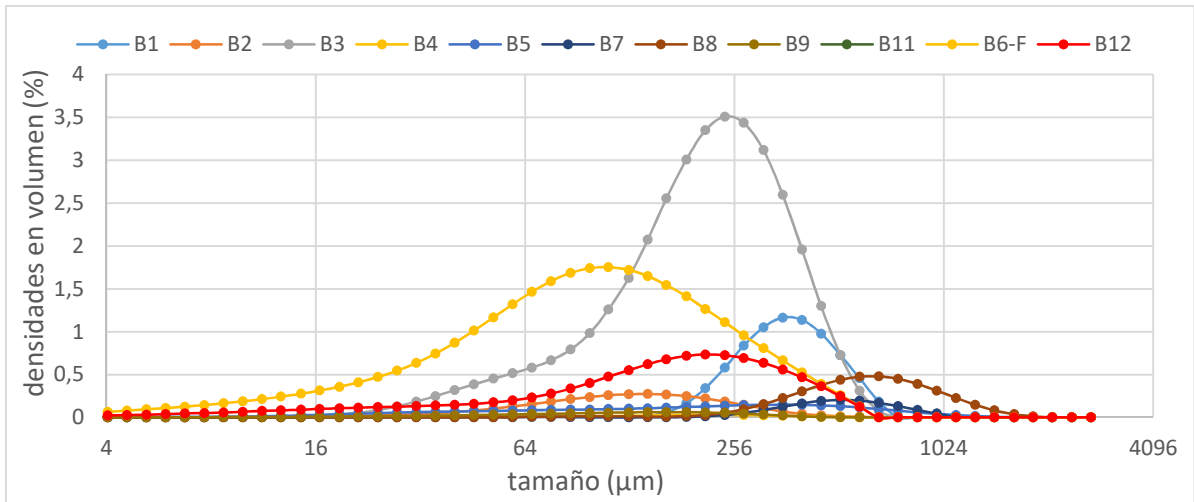


Figura 26. Curvas de distribución de tamaños de cada uno de los componentes de la mezcla B según su fracción másica, con los sustitutos B6-F y B12.

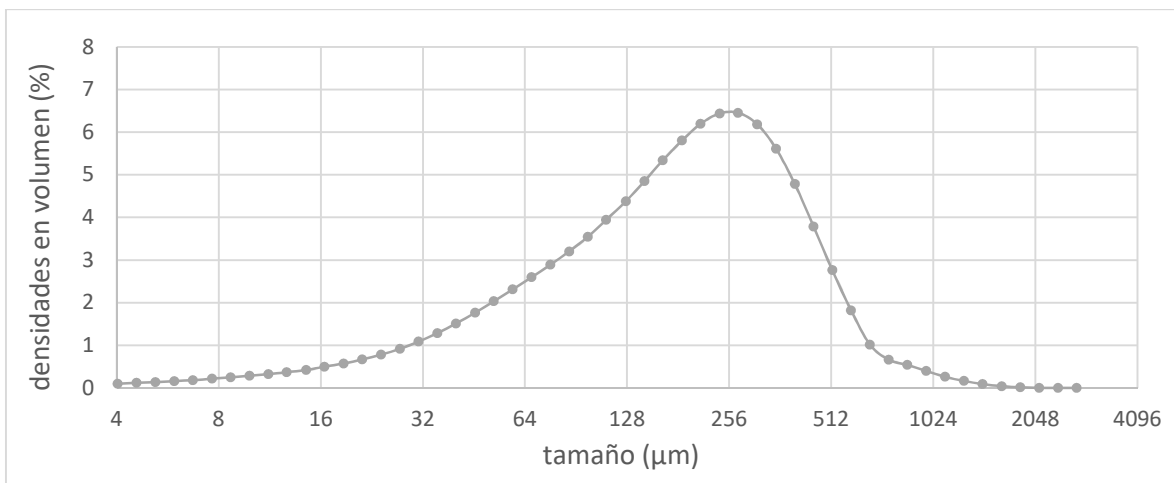


Figura 27. Curva de distribución de tamaños teórica de la mezcla B con los sustitutos B6-F y B12.

En la figura 27, se observa que con los dos sustitutos a la vez se consigue también un único pico, pero no se aproxima tanto a una distribución normal como con el B12 como único sustituto.

Como comparación final, en la figura 28 se muestran las curvas teóricas de la mezcla B, tanto la inicial como el resto, con las diferentes opciones de sustitutos probadas. Y se observa claramente que la curva con el sustituto B12 es la que más se aproxima a una distribución normal. Por tanto, para la mejora de la homogenización de la mezcla B se ha determinado que la mejor opción es sustituir el componente B10 por el B12.

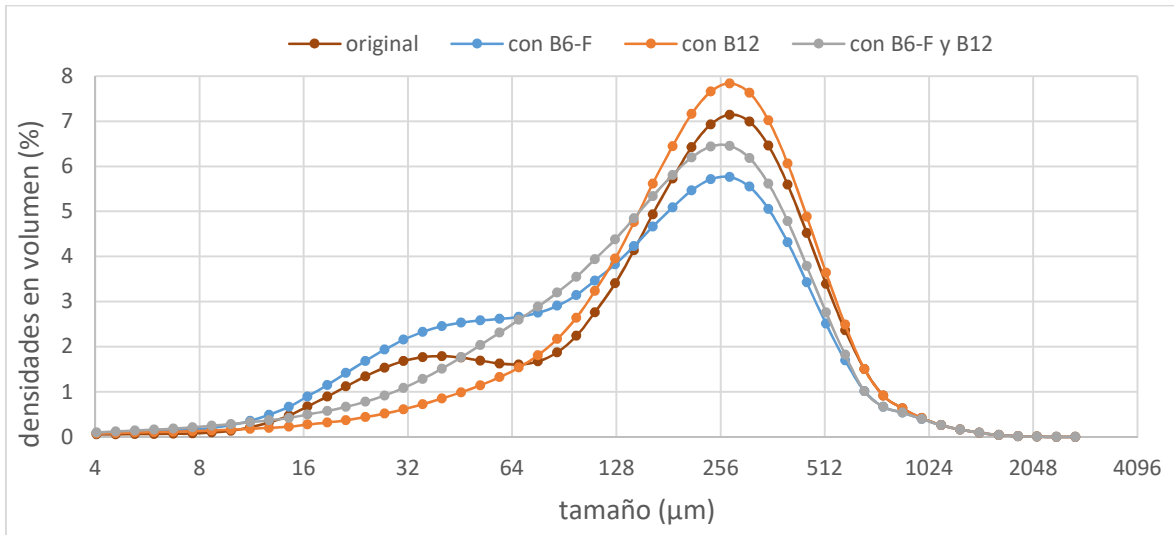


Figura 28. Análisis de distribución de tamaños teórica de cada una de las opciones de la mezcla B.

En el Anejo 2, puede verse de ejemplo el informe extraído del *software* del láser para el sustituto seleccionado, el componente B12.

### 6.3. Resultados para la mezcla C

A continuación, se analizan las curvas de distribución de tamaños de la mezcla C con cantidades distintas de aceite, para determinar si ésta puede reducirse sin alterar las características y requisitos del producto.

En primer lugar, se analizará la curva de distribución de tamaños del antiaglomerante de la mezcla C para ver el alcance de sus tamaños de partícula tan finos. En la figura 29 puede verse dicha curva, que muestra que esta sustancia tiene partículas en torno a 1 micra, siendo las más grandes de unas 250 micras.

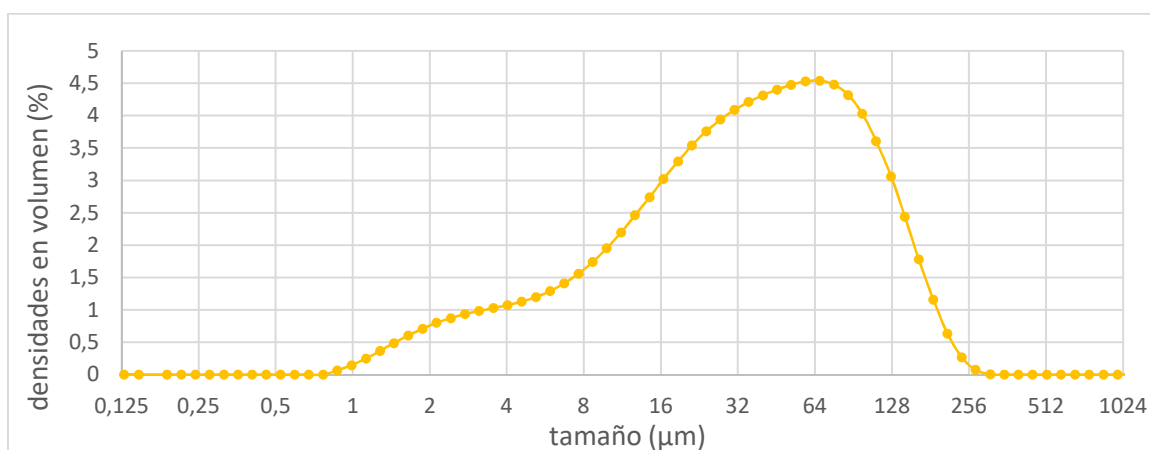


Figura 29. Curva de distribución de tamaños del antiaglomerante de la mezcla C.

A continuación, en la figura 30 se muestra la curva de distribución de tamaños de la mezcla C, así como la del antiaglomerante para ver el efecto del aceite “antidusting”. Como se puede apreciar, el aceite añadido en la mezcla C al 4% se encarga de reducir notablemente los tamaños de partículas finos del antiaglomerante, además de hacer desaparecer los tamaños inferiores de las 4 micras, y reducir notablemente los que se encuentran entre 4 y 10 micras.

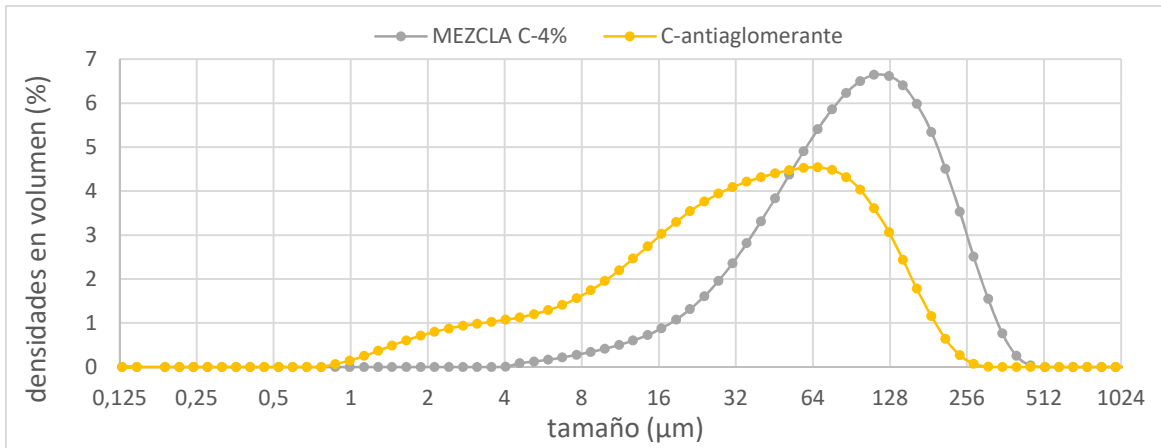


Figura 30. Curva de distribución de tamaños de la mezcla C.

A continuación, en la figura 31, se muestran las curvas de la mezcla C con diferentes concentraciones de aceite, para determinar si se puede reducir la cantidad empleada sin que aparezcan tamaños de partícula finos.

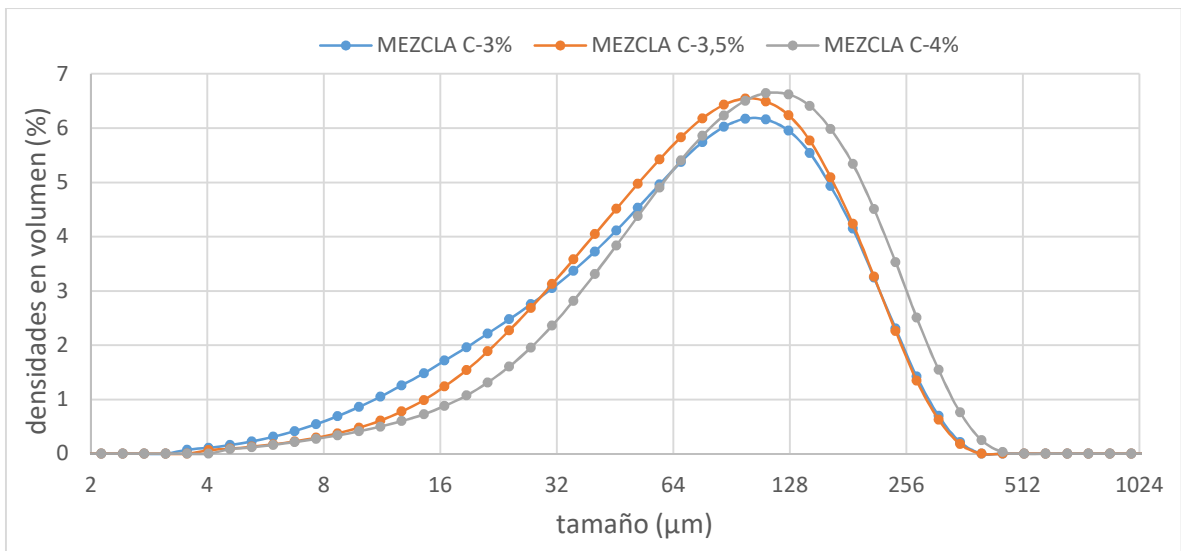


Figura 31. Curvas distribución de tamaños de la mezcla C con diferentes concentraciones de aceite.

Para sacar conclusiones de las 3 curvas presentadas en la figura 31, hay que situarse en el rango de tamaños inferiores a 10 micras, que incluye las partículas más peligrosas para la salud, según la OMS, porque pueden penetrar a través de las vías respiratorias hasta los pulmones, las denominadas PM<sub>10</sub>.

Así, en la figura 31 se observa como la concentración del 3,5% de aceite no genera más partículas de tamaños inferiores a las 10 micras, lo que sí sucede para la mezcla con el 3% de aceite. Por lo tanto, sí sería posible reducir la concentración de aceite al 3,5% sin aumentar la cantidad de partículas PM<sub>10</sub>. De este modo, se mantiene la calidad del producto igual que para la concentración de aceite del 4% en cuanto a partículas muy finas, y se sigue sin formar nube de polvo.

Es importante señalar que el experimento se ha realizado en el laboratorio y se ha utilizado como mezcladora una picadora doméstica, que produce la trituración de las partículas. Esta mezcladora tan abrasiva no es esperable en las mezcladoras a escala real, por lo que las curvas de distribución de tamaños se desplazarían ligeramente hacia la derecha, favoreciendo la situación optimizada en el laboratorio.

En el siguiente apartado se realizará una estimación económica del ahorro que supondría la reducción de la concentración de aceite de la mezcla C al 3,5%.

En el Anejo 3, puede verse de ejemplo el informe extraído del *software* de la mezcla C elaborada con dicha concentración de aceite del 3,5%.



## 7. ESTUDIO DE VIABILIDAD

En este apartado se pretende estudiar si son viables técnica y/o económicamente los cambios definidos en el apartado de Resultados para la mejora de las mezclas A, B y C.

### 7.1. Mezcla A

Técnicamente, se ha comprobado que la mezcladora M no resulta viable para la mezcla A, ya que rompe las partículas y, en concreto, el ácido encapsulado que contiene, liberándolo y dando un pH inferior al requerido.

Tampoco resulta viable técnicamente la reducción de los tiempos de mezclado de la mezcladora M como posible modificación para solventar el problema de la rotura de las partículas.

Finalmente, se ha visto que la mezcladora V sí que resulta viable técnicamente para la elaboración de la mezcla A, ya que no rompe las partículas y por tanto no libera el ácido y da el pH requerido. Por lo tanto, esta mezcla deberá seguir realizándose en la mezcladora V aunque tenga menor capacidad.

El estudio de viabilidad del uso de estas mezcladoras se puede extrapolar a otras mezclas que no sean la mezcla A. Así, la utilización de la mezcladora V, gracias a su mezclado de movimiento de vaivén, resultará viable técnicamente para mezclas con partículas frágiles que no se deban romper. En cambio, la mezcladora M no será viable en este tipo de mezclas porque es más abrasiva debido a la forma de mezclado que tiene por su geometría. Sin embargo, la mezcladora M sí que será viable para mezclas de grano duro o en las que no importe la rotura de las partículas, y además aporta la ventaja de tener una mayor capacidad. En la Tabla 2, puede verse la mezcladora indicada a utilizar en cada caso.

TABLA 2. Mezcladora a emplear según tipo de mezcla.

<i><b>Tipo de mezcla</b></i>	<i><b>Tipo de mezcladora</b></i>
Mezcla con partículas frágiles que no deban romperse o erosionarse	V
Mezcla con partículas frágiles sin importancia de rotura de partículas	M
Mezcla con partículas duras y resistentes	M

## 7.2. Mezcla B

En el caso de la mezcla B se han probado 2 sustitutos por separado y ambos a la vez para la mejora de la homogenización de la mezcla B. Concretamente, se sustituyó el B6-G por el B6-F, y el B10 por el B12, y se determinó que la sustitución del componente B10 por el B12 es lo que favorecía una mayor homogenización de la mezcla. Para analizar la viabilidad económica del cambio de componentes, en la Tabla 3 se muestran los precios de compra en €/kg de estos 2 componentes.

TABLA 3. Precios de compra de los componentes sustitutos de la mezcla B.

<i>Componente</i>	<i>Precio de compra (€/kg)</i>
B10	1,02
B12	1,05

La sustitución del componente B10 por el B12, incrementa el precio 0,03€/kg de este componente, lo que supone un incremento de 0,0033€/kg de mezcla B.

A pesar de este aumento en el coste de la mezcla, como se ha determinado en el apartado de resultados, la sustitución del componente B10 por el B12 mejora muy notablemente la homogenización de la mezcla B, por lo que técnicamente resulta totalmente viable. Teniendo en cuenta, que esta mejora de la calidad de la mezcla B sólo supone un incremento del precio de fabricación de ésta del 0,132% se considera que los beneficios obtenidos superan este ligero incremento del precio, y se recomienda el cambio del componente B10 por el B12.

## 7.3. Mezcla C

Tal y como se ha comprobado en el apartado de resultados, técnicamente sólo es viable la reducción del 4% al 3,5% debido a que no produce mayor cantidad de PM<sub>10</sub>, ya que para una reducción del 4% al 3% sí que se forman más PM<sub>10</sub>.

El coste del aceite es de 1,45 €/kg y cualquier reducción de la concentración inicial de aceite del 4% supone un pequeño ahorro de aceite y, por tanto, un menor gasto económico. La reducción que es técnicamente viable del 0,5% de aceite supone, concretamente, un ahorro de 0,00715€/kg de mezcla C, por lo que, por cada lote fabricado de 1000 kg, se ahorrarán 7,15€.

Si para la mezcla C se puede conseguir un ahorro de 7,15€/lote, sería interesante estudiar la posible optimización del aceite en otras mezclas, ya que puede suponer mayores ahorros en dichas mezclas, lo que en conjunto sería un gran ahorro en el proceso productivo.



## 8. CONCLUSIONES

En este Trabajo Final de Grado se ha realizado la determinación y el análisis de la distribución de tamaños de partículas de mezclas de especias y aromas para mejorar y optimizar las mismas, en una empresa de alimentación.

En cuanto a la mezcla A, se ha demostrado que la nueva mezcladora adquirida en la empresa ejerce efecto de trituración sobre la mezcla, por tanto, rompe el ácido encapsulado y lo libera, modificando el pH. Su curva de distribución de tamaños se encuentra desplazada a la izquierda respecto a la obtenida con la anterior mezcladora, la cual no presenta problemas con el pH de la mezcla. Para conseguir el pH requerido, se ha ensayado con menores tiempos de mezclado, pero se ha observado que la nueva mezcladora continúa rompiendo el ácido encapsulado. Por tanto, se ha determinado que la nueva mezcladora es más abrasiva por su forma de mezclado, independientemente de modificar el tiempo de mezclado. Por ello, se ha definido que para mezclas con partículas frágiles que no deban romperse por algún motivo, como el caso de la mezcla A, la antigua mezcladora será la más adecuada. Para el resto de mezclas, se podrá emplear la nueva mezcladora, de mayor capacidad.

En cuanto a la mezcla B, se ha conseguido mejorar su homogeneidad de manera muy notable, sustituyendo el componente B10 por el componente B12. De este modo, la curva de distribución de tamaños presenta una forma de distribución normal, se consigue una mayor reproducibilidad y una menor estratificación de la mezcla. Por lo tanto, se recomienda proceder a fabricar esta mezcla con el nuevo sustituto, pese a un ligero sobrecoste que ello implicaría de 0,0033€/kg de mezcla B.

En cuanto a la mezcla C, se ha conseguido reducir la cantidad de aceite sin la aparición de una mayor cantidad de PM<sub>10</sub>. Concretamente, se ha conseguido reducir la concentración del aceite *anti dusting* empleado, del 4% al 3,5%. La curva de distribución para esta nueva concentración de aceite no ha mostrado mayores porcentajes de cantidad de este polvo tan fino. De este modo, se consigue un ahorro de 7,15€/lote fabricado.

Como conclusión final, cabe señalar que se ha conseguido la mejora de las 3 mezclas objeto de estudio, empleando para ello el análisis de la distribución de tamaños de partículas mediante difracción láser, que reproduce unas curvas de distribución de tamaños muy precisas y que puede tener un uso verdaderamente útil más allá de un cotidiano control de calidad en una mezcla, como en estas 3 aplicaciones mostradas en el presente Trabajo Final de Grado.



## 9. REFERENCIAS

- Ceylan (2017). Quiénes somos. Obtenido de:  
<http://www.ceylan.es/web/quienes.php> (fecha de consulta: 3 de abril de 2017)
- Ceylan (2017). Productos. Obtenido de:  
<http://www.ceylan.es/web/productos.php> (fecha de consulta: 3 de abril de 2017)
- El economista (2017). Ranking de empresas. Obtenido de:  
<http://rankingempresas.economista.es/MANUFACTURAS-CEYLAN.html> (fecha de consulta: 27 de mayo de 2017)
- Iesmat (2017). Cómo seleccionar la presentación óptica. Obtenido de:  
<http://www.iesmat.com/iesmat/upload/file/Malvern/Productos-MAL/DIF-Como%20seleccionar%20el%20I.%20de%20Refraccion%20en%20Difraccion.pdf> (fecha de consulta: 15 de mayo de 2017)
- Iesmat (2017). Fundamentos sobre el tamaño de una partícula. Obtenido de:  
<http://www.iesmat.com/iesmat/upload/file/Malvern/Productos-MAL/DIF-Fundamentos%20tam.%20de%20particula.pdf> (fecha de consulta: 4 de mayo de 2017)
- Leffingwell (2017). Flavor & Fragrance Industry Leaders. Obtenido de:  
[http://www.leffingwell.com/top\\_10.htm](http://www.leffingwell.com/top_10.htm) (fecha de consulta: 5 de junio de 2017)
- Malvern (2017). Difracción láser. Obtenido de:  
<http://www.malvern.com/es/products/technology/laser-diffraction/> (fecha de consulta: 19 de mayo de 2017)
- Malvern (2017). Tamaño de partícula. Obtenido de:  
<http://www.malvern.com/es/products/measurement-type/particle-size/> (fecha de consulta: 18 de mayo de 2017)

- McCabe, Warren L., Smith, Julian C. y Harriott, Peter (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química. Mc Graw Hill, séptima edición.
- Organización Mundial de la Salud (2005). Guías de la calidad del aire. Obtenido de: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf) (fecha de consulta: 26 de marzo de 2017)
- Perry, Robert H. y Green, Don W. (2001). Manual del ingeniero químico. Volumen III. Mc Graw Hill, séptima edición.
- Puebla, Jesús (2013). Obtenido de: [http://www.iesmat.com/iesmat/upload/file/JCT\\_Seminarios/2013%20DIF%20-%20Jesus%20Puebla.pdf](http://www.iesmat.com/iesmat/upload/file/JCT_Seminarios/2013%20DIF%20-%20Jesus%20Puebla.pdf) (fecha de consulta: 2 de mayo de 2017)

## ANEJOS

- **Anejo 1.** Informe de la mezcla A elaborada con la mezcladora V
- **Anejo 2.** Informe del componente B12
- **Anejo 3.** Informe de la mezcla C con una concentración del 3,5% de aceite



# Análisis de distribución de tamaño de partículas



Creado por: MASTERSIZER 3000  
 Última edición: 21/02/2017 13:30:55

## Detalles de medida

**Nombre de la muestra** MEZCLA A (V-9min)  
**Nombre del operador** MASTERSIZER 3000

**Fecha y hora del análisis** 01/07/2016 11:42:39  
**Fuente del Resultado** Promedio

## Resultado

**Uniformidad** 0,442

**Moda** 485 µm

**D [3;2]** 239 µm

**D [4;3]** 447 µm

**Por Debajo en Volumen (5) µm** 0,00 %

**En Rango en Volumen (10;20) µm** 0,61 %

**En Rango en Volumen (50;100) µm** 5,18 %

**En Rango en Volumen (200;500) µm** 46,61 %

**En Rango en Volumen (1000;1500) µm** 2,13 %

**Unidades del Resultado** Volumen

**Dv (10)** 128 µm

**Dv (50)** 427 µm

**Dv (90)** 769 µm

**En Rango en Volumen (5;10) µm** 0,03 %

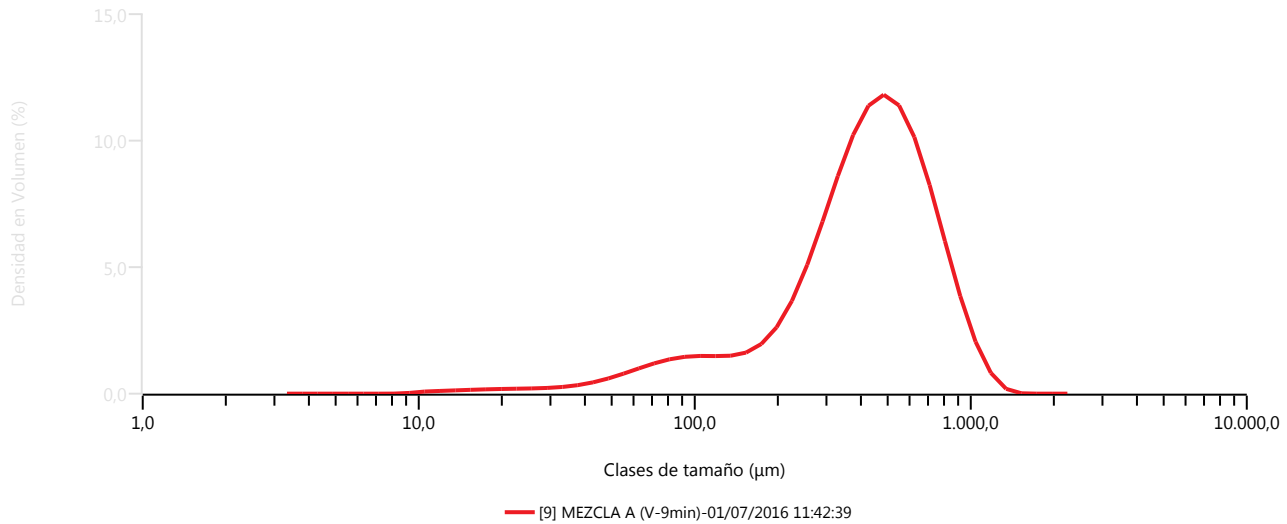
**En Rango en Volumen (20;50) µm** 1,82 %

**En Rango en Volumen (100;200) µm** 7,74 %

**En Rango en Volumen (500;1000) µm** 35,88 %

**Por Encima en Volumen (1500) µm** 0,001 %

## Frecuencia (compatible)



Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En
0,0100	0,00	0,0876	0,00	0,767	0,00	6,72	0,00	58,9	0,83	516	9,56
0,0114	0,00	0,0995	0,00	0,872	0,00	7,64	0,00	66,9	1,00	586	8,50
0,0129	0,00	0,113	0,00	0,991	0,00	8,68	0,02	76,0	1,14	666	6,90
0,0147	0,00	0,128	0,00	1,13	0,00	9,86	0,07	86,4	1,22	756	5,02
0,0167	0,00	0,146	0,00	1,28	0,00	11,2	0,09	98,1	1,25	859	3,19
0,0189	0,00	0,166	0,00	1,45	0,00	12,7	0,11	111	1,24	976	1,67
0,0215	0,00	0,188	0,00	1,65	0,00	14,5	0,13	127	1,24	1110	0,64
0,0244	0,00	0,214	0,00	1,88	0,00	16,4	0,14	144	1,34	1260	0,13
0,0278	0,00	0,243	0,00	2,13	0,00	18,7	0,15	163	1,61	1430	0,00
0,0315	0,00	0,276	0,00	2,42	0,00	21,2	0,16	186	2,16	1630	0,00
0,0358	0,00	0,314	0,00	2,75	0,00	24,1	0,17	211	3,03	1850	0,00
0,0407	0,00	0,357	0,00	3,12	0,00	27,4	0,19	240	4,23	2100	0,00
0,0463	0,00	0,405	0,00	3,55	0,00	31,1	0,22	272	5,66	2390	0,00
0,0526	0,00	0,460	0,00	4,03	0,00	35,3	0,28	310	7,18	2710	0,00
0,0597	0,00	0,523	0,00	4,58	0,00	40,1	0,37	352	8,56	3080	0,00
0,0679	0,00	0,594	0,00	5,21	0,00	45,6	0,50	400	9,54	3500	0,00
0,0771	0,00	0,675	0,00	5,92	0,00	51,8	0,66	454	9,91		







# Análisis de distribución de tamaño de partículas

Creado por: MASTERSIZER 3000  
Última edición: 21/02/2017 13:30:55



## Detalles de medida

**Nombre de la muestra** B12  
**Nombre del operador** MASTERSIZER 3000

**Fecha y hora del análisis** 21/02/2017 11:38:08  
**Fuente del Resultado** Promedio

## Resultado

**Uniformidad** 0,648

**Moda** 230 µm

**D [3;2]** 60,2 µm

**D [4;3]** 202 µm

**Por Debajo en Volumen (5) µm** 0,99 %

**En Rango en Volumen (10;20) µm** 4,22 %

**En Rango en Volumen (50;100) µm** 12,06 %

**En Rango en Volumen (200;500) µm** 39,84 %

**En Rango en Volumen (1000;1500) µm** 0,00 %

**Unidades del Resultado** Volumen

**Dv (10)** 27,4 µm

**Dv (50)** 177 µm

**Dv (90)** 411 µm

**En Rango en Volumen (5;10) µm** 2,22 %

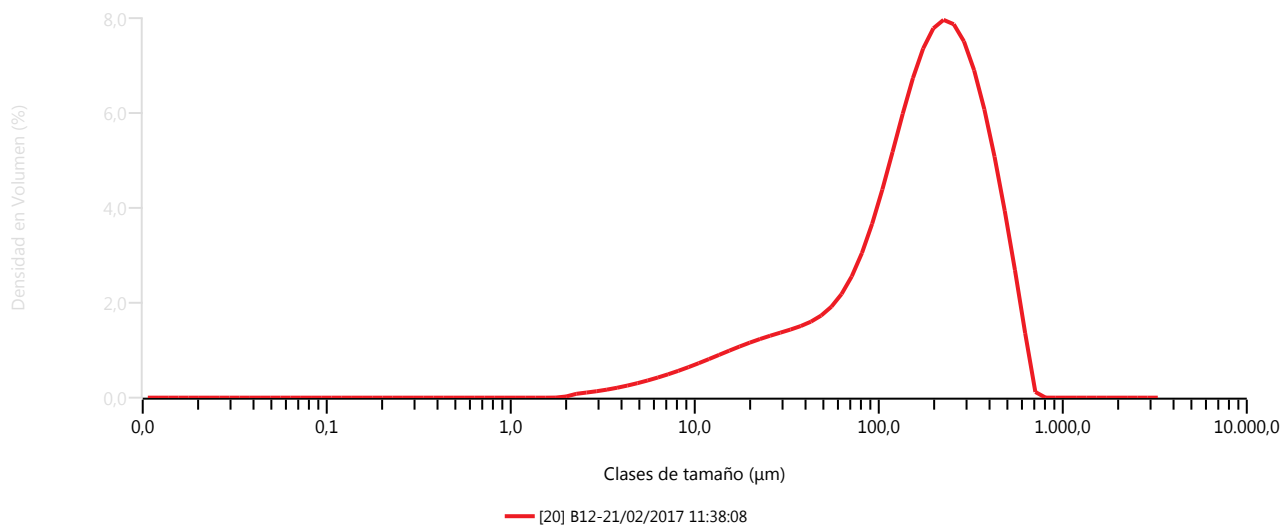
**En Rango en Volumen (20;50) µm** 8,53 %

**En Rango en Volumen (100;200) µm** 27,96 %

**En Rango en Volumen (500;1000) µm** 4,19 %

**Por Encima en Volumen (1500) µm** 0,0000000002 %

## Frecuencia (compatible)



Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En
0,0100	0,00	0,0876	0,00	0,767	0,00	6,72	0,41	58,9	1,81	516	2,25
0,0114	0,00	0,0995	0,00	0,872	0,00	7,64	0,47	66,9	2,12	586	1,14
0,0129	0,00	0,113	0,00	0,991	0,00	8,68	0,54	76,0	2,53	666	0,01
0,0147	0,00	0,128	0,00	1,13	0,00	9,86	0,61	86,4	3,05	756	0,00
0,0167	0,00	0,146	0,00	1,28	0,00	11,2	0,68	98,1	3,65	859	0,00
0,0189	0,00	0,166	0,00	1,45	0,00	12,7	0,75	111	4,32	976	0,00
0,0215	0,00	0,188	0,00	1,65	0,00	14,5	0,83	127	4,99	1110	0,00
0,0244	0,00	0,214	0,00	1,88	0,02	16,4	0,90	144	5,63	1260	0,00
0,0278	0,00	0,243	0,00	2,13	0,07	18,7	0,97	163	6,15	1430	0,00
0,0315	0,00	0,276	0,00	2,42	0,09	21,2	1,03	186	6,51	1630	0,00
0,0358	0,00	0,314	0,00	2,75	0,11	24,1	1,09	211	6,66	1850	0,00
0,0407	0,00	0,357	0,00	3,12	0,14	27,4	1,14	240	6,58	2100	0,00
0,0463	0,00	0,405	0,00	3,55	0,17	31,1	1,20	272	6,28	2390	0,00
0,0526	0,00	0,460	0,00	4,03	0,21	35,3	1,26	310	5,77	2710	0,00
0,0597	0,00	0,523	0,00	4,58	0,25	40,1	1,33	352	5,08	3080	0,00
0,0679	0,00	0,594	0,00	5,21	0,30	45,6	1,44	400	4,24	3500	0,00
0,0771	0,00	0,675	0,00	5,92	0,35	51,8	1,59	454	3,29		





# Análisis de distribución de tamaño de partículas



Creado por: MASTERSIZER 3000  
Última edición: 21/02/2017 13:30:55

## Detalles de medida

**Nombre de la muestra** MEZCLA C (3,5%aceite)  
**Nombre del operador** MASTERSIZER 3000

**Fecha y hora del análisis** 22/02/2017 11:35:20  
**Fuente del Resultado** Promedio

## Resultado

**Uniformidad** 0,632

**Moda** 107 µm

**D [3;2]** 53,0 µm

**D [4;3]** 99,2 µm

**Por Debajo en Volumen (5) µm** 0,13 %

**En Rango en Volumen (10;20) µm** 4,88 %

**En Rango en Volumen (50;100) µm** 31,08 %

**En Rango en Volumen (200;500) µm** 9,46 %

**En Rango en Volumen (1000;1500) µm** 0,00 %

**Unidades del Resultado** Volumen

**Dv (10)** 25,6 µm

**Dv (50)** 83,7 µm

**Dv (90)** 197 µm

**En Rango en Volumen (5;10) µm** 1,28 %

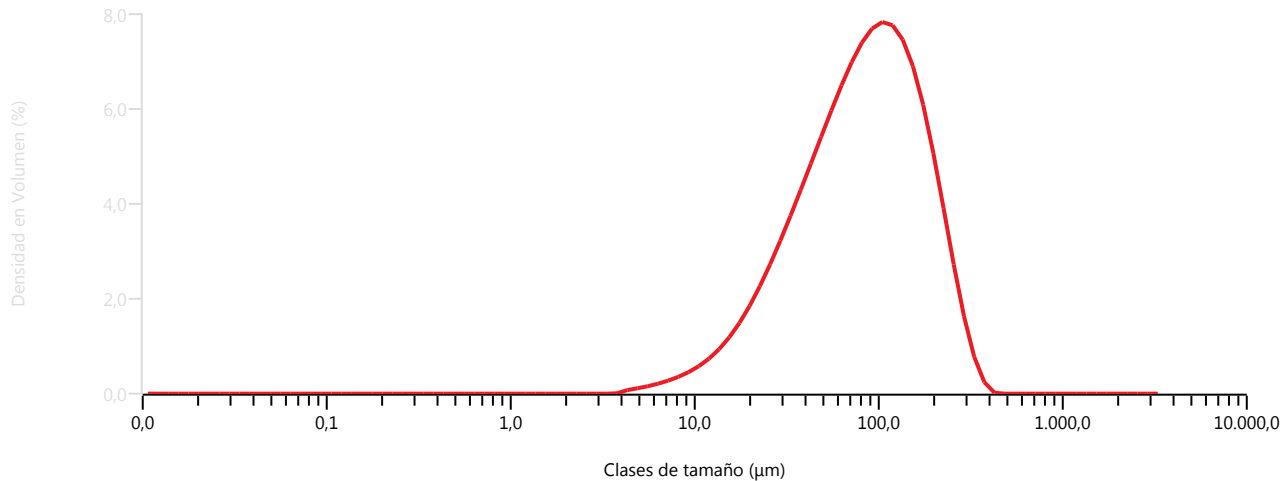
**En Rango en Volumen (20;50) µm** 21,55 %

**En Rango en Volumen (100;200) µm** 31,61 %

**En Rango en Volumen (500;1000) µm** 0,00 %

**Por Encima en Volumen (1500) µm** 0,00000000000001 %

## Frecuencia (compatible)



Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En	Tamaño (µm)	% Volumen En
0,0100	0,00	0,0876	0,00	0,767	0,00	6,72	0,23	58,9	5,42	516	0,00
0,0114	0,00	0,0995	0,00	0,872	0,00	7,64	0,29	66,9	5,83	586	0,00
0,0129	0,00	0,113	0,00	0,991	0,00	8,68	0,38	76,0	6,18	666	0,00
0,0147	0,00	0,128	0,00	1,13	0,00	9,86	0,48	86,4	6,43	756	0,00
0,0167	0,00	0,146	0,00	1,28	0,00	11,2	0,61	98,1	6,54	859	0,00
0,0189	0,00	0,166	0,00	1,45	0,00	12,7	0,78	111	6,49	976	0,00
0,0215	0,00	0,188	0,00	1,65	0,00	14,5	0,99	127	6,24	1110	0,00
0,0244	0,00	0,214	0,00	1,88	0,00	16,4	1,24	144	5,77	1260	0,00
0,0278	0,00	0,243	0,00	2,13	0,00	18,7	1,54	163	5,09	1430	0,00
0,0315	0,00	0,276	0,00	2,42	0,00	21,2	1,89	186	4,24	1630	0,00
0,0358	0,00	0,314	0,00	2,75	0,00	24,1	2,27	211	3,26	1850	0,00
0,0407	0,00	0,357	0,00	3,12	0,00	27,4	2,69	240	2,26	2100	0,00
0,0463	0,00	0,405	0,00	3,55	0,00	31,1	3,13	272	1,35	2390	0,00
0,0526	0,00	0,460	0,00	4,03	0,07	35,3	3,58	310	0,63	2710	0,00
0,0597	0,00	0,523	0,00	4,58	0,09	40,1	4,04	352	0,18	3080	0,00
0,0679	0,00	0,594	0,00	5,21	0,13	45,6	4,51	400	0,00	3500	0,00
0,0771	0,00	0,675	0,00	5,92	0,17	51,8	4,98	454	0,00		



DOCUMENTO 2  
PRESUPUESTO



# ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. CONSIDERACIONES PREVIAS .....	1
2. JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS.....	3
3. PRESUPUESTO .....	5
4. RESUMEN POR CAPÍTULO.....	9





## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Justificación de precios por recursos .....	3
TABLA 2. Presupuesto del Capítulo 01. Ensayo Mezcla A .....	5
TABLA 3. Presupuesto del Capítulo 02. Ensayo Mezcla B .....	6
TABLA 4. Presupuesto del Capítulo 03. Ensayo Mezcla C .....	7
TABLA 5. Presupuesto del Capítulo 04. Interpretación de resultados, redacción y revisión .....	8
TABLA 6. Resumen del presupuesto por capítulos .....	9



# 1. CONSIDERACIONES PREVIAS

Para la elaboración del presupuesto se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- El presupuesto se ha elaborado con el programa informático *Menfis 8*.
- La máquina de difracción láser ha sido amortizada con una vida útil de 10 años, pero debido a que el uso de la misma ha sido escaso en comparación con su vida útil, se ha utilizado como valor sobredimensionado 0,01, siendo éste el valor mínimo que el programa *Menfis 8* deja emplear.
- Para la mano de obra se ha tenido en cuenta: a un ingeniero químico con un tiempo estimado de 300 horas dedicadas a realizar los ensayos y la redacción del trabajo, a un jefe del Departamento de Calidad de la empresa con un tiempo estimado de 3 horas, una hora de supervisión por cada ensayo, y a un profesor Titular de Universidad con un tiempo estimado de 12 horas en revisiones y reuniones.
- El resto de maquinaria y material que se han incluido son los utilizados durante los ensayos.
- Se ha tenido en cuenta un 2% de costes auxiliares (ordenador empleado, programas informáticos, boli, papel, etc.).
- Se ha tenido en cuenta un 13% de gastos generales (energía consumida, limpieza de las instalaciones, mantenimiento, etc.).
- Se ha tenido en cuenta un 6% de beneficio industrial.
- Se ha elaborado el presupuesto de acuerdo a 4 capítulos:
  01. Ensayo mezcla A
  02. Ensayo mezcla B
  03. Ensayo mezcla C
  04. Interpretación de resultados, redacción y revisión



## 2. JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS

En la Tabla 1 se muestran los precios y las cantidades de todos los recursos necesarios para la realización del presente Trabajo Final de Grado, agrupados en: mano de obra, maquinaria y material; así como el importe de cada uno de ellos.

TABLA 1. Justificación de precios por recursos.

Código	Cantidad	Uds.	Descripción	Precio	Importe
<b>Mano de Obra</b>					
INGQ	300,000	h	Ingeniero Químico	15,00	4.500,00
JEFC	3,000	h	Jefe Departamento Calidad	30,00	90,00
PROF	12,000	h	Profesor titular de Universidad	30,00	360,00
<b>Total Mano de Obra</b>					<b>4.950,00</b>
<b>Maquinaria</b>					
BALP	1,000	u	Balanza de precisión	230,00	230,00
MAQL	0,030	u	Mastersizer 3000	50.000,00	1.500,00
PICM	1,000	u	Picadora doméstica	37,95	37,95
<b>Total Maquinaria</b>					<b>1.767,95</b>
<b>Material</b>					
BOTA	13,000	u	Bote de análisis	0,12	1,56
COMB	0,400	kg	Componentes mezcla B	2,50	1,00
COMC	0,300	kg	Componentes mezcla C	1,50	0,45
CUCH	3,000	u	Cucharilla acero inoxidable	1,30	3,90
MEZA	400,000	kg	Mezcla A	3,80	1.520,00
PINC	3,000	u	Pincel	1,45	4,35
VASP	1,000	u	Vaso de precipitado de 500ml	11,75	11,75
<b>Total Material</b>					<b>1.543,01</b>
<b>Presupuesto Total por cantidades</b>					<b>8.260,96</b>
<b>Costes indirectos y redondeos:</b>					<b>165,23</b>



### 3. PRESUPUESTO

En la Tabla 2 se muestra el presupuesto necesario para realizar el Capítulo 1, es decir, para el ensayo de la mezcla A.

TABLA 2. Presupuesto del Capítulo 01. Ensayo Mezcla A.

Número	Cantidad	Uds.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 01</b>		<b>ENSAYO MEZCLA A</b>				
01.01 MAQL	0,01	u	<b>Mastersizer 3000</b> Máquina de difracción láser Mastersizer 3000 incluyendo dispersor de vía seca Aero S aspirador y software	50.000	500	
01.02 MEZA	400,00	kg	<b>Mezcla A</b> Mezcla A	3,8	1.520	
01.03 CUCH	1,00	u	<b>Cucharilla acero inoxidable</b> Cucharilla acero inoxidable	1,3	1,3	
01.04 PINC	1,00	u	<b>Pincel</b> Pincel	1,45	1,45	
01.05 INGQ	30,00	h	<b>Ingeniero Químico</b> Ingeniero Químico	15	450	
01.06 JEFC	1,00	h	<b>Jefe Departamento Calidad</b> Jefe Departamento Calidad	30	30	
01.07 AUX	0,02		<b>Costes auxiliares 2%</b> Costes auxiliares 2%	2.502,75	50,06	
<b>Total capítulo: 01</b>						<b>2.552,81</b>

En la Tabla 3 se muestra el presupuesto necesario para realizar el Capítulo 2, es decir, para el ensayo de la mezcla B.

TABLA 3. Presupuesto del Capítulo 02. Ensayo Mezcla B.

Número	Cantidad	Uds.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 02                      ENSAYO MEZCLA B</b>						
02.01 MAQL	0,01	u	<b>Mastersizer 3000</b> Máquina de difracción láser Mastersizer 3000 incluyendo dispersor de vía seca Aero S aspirador y software	50.000	500	
02.02 COMB	0,40	kg	<b>Componentes mezcla B</b> Componentes de la mezcla B incluyendo los dos sustitutos probados	2,5	1	
02.03 CUCH	1,00	u	<b>Cucharilla acero inoxidable</b> Cucharilla acero inoxidable	1,3	1,3	
02.04 PINC	1,00	u	<b>Pincel</b> Pincel	1,45	1,45	
02.05 BOTA	13,00	u	<b>Bote de análisis</b> Bote de análisis desechable transparente con tapa roja	0,12	1,56	
02.06 INGQ	50,00	h	<b>Ingeniero Químico</b> Ingeniero Químico	15	750	
02.07 JEFC	1,00	h	<b>Jefe Departamento Calidad</b> Jefe Departamento Calidad	30	30	
02.08 AUX	0,02		<b>Costes auxiliares 2%</b> Costes auxiliares 2%	1.285,31	25,71	
<b>Total capítulo: 02</b>						<b>1.311,02</b>



En la Tabla 4 se muestra el presupuesto necesario para realizar el Capítulo 3, es decir, para el ensayo de la mezcla C.

TABLA 4. Presupuesto del Capítulo 03. Ensayo Mezcla C.

Número	Cantidad	Uds.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 03                      ENSAYO MEZCLA C</b>						
03.01 MAQL	0,01	u	<b>Mastersizer 3000</b> Máquina de difracción láser Mastersizer 3000 incluyendo dispersor de vía seca Aero S aspirador y software	50.000	500	
03.02 BALP	1,00	u	<b>Balanza de precisión</b> Balanza de precisión con resolución de 0,001g	230	230	
03.03 PICM	1,00	u	<b>Picadora doméstica</b> Picadora doméstica para mezclado con capacidad de 0,6 l	37,95	37,95	
03.04 COMC	0,30	kg	<b>Componentes mezcla C</b> Componentes mezcla C	1,5	0,45	
03.05 CUCH	1,00	u	<b>Cucharilla acero inoxidable</b> Cucharilla acero inoxidable	1,3	1,3	
03.06 PINC	1,00	u	<b>Pincel</b> Pincel	1,45	1,45	
03.07 VASP	1,00	u	<b>Vaso de precipitado de 500ml</b> Vaso de precipitado de 500ml de vidrio de borosilicato.	11,75	11,75	
03.08 INGQ	40,00	h	<b>Ingeniero Químico</b> Ingeniero Químico	15	600	
03.09 JEFC	1,00	h	<b>Jefe Departamento Calidad</b> Jefe Departamento Calidad	30	30	
03.10 AUX	0,02		<b>Costes auxiliares 2%</b> Costes auxiliares 2%	1.412,9	28,26	
<b>Total capítulo: 03</b>						<b>1.441,16</b>

En la Tabla 5 se muestra el presupuesto necesario para realizar el Capítulo 4, es decir, para la interpretación de resultados, redacción y revisión del trabajo.

TABLA 5. Presupuesto del Capítulo 04. Interpretación de resultados, redacción y revisión.

Número	Cantidad	Uds.	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
<b>Capítulo: 04</b>			<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS, REDACCIÓN Y REVISIÓN</b>			
04.01 INGQ	180,00	h	Ingeniero Químico Ingeniero Químico	15	2.700	
04.02 PROF	12,00	h	Profesor titular de Universidad Profesor titular de Universidad	30	360	
04.03 AUX	0,02		Costes auxiliares 2% Costes auxiliares 2%	3.060	61,2	
<b>Total capítulo: 04</b>						<b>3.121,20</b>
<b>Total presupuesto</b>						<b>8.426,19</b>

## 4. RESUMEN POR CAPÍTULO

En la Tabla 6 se muestra el resumen del presupuesto por capítulos, el PEM (Presupuesto de Ejecución Material) y el PEC (Presupuesto de Ejecución por Contrata).

TABLA 6. Resumen del presupuesto por capítulos.

Código	Descripción	Subtotal	Importe
Capítulo: 01	ENSAYO MEZCLA A	2.552,81	
Capítulo: 02	ENSAYO MEZCLA B	1.311,02	
Capítulo: 03	ENSAYO MEZCLA C	1.441,16	
Capítulo: 04	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS, REDACCIÓN Y REVISIÓN	3.121,20	
	<b>Suma Ejecución Material</b>		<b>8.426,19</b>
	Asciende el presupuesto de Ejecución Material a la expresada cantidad de OCHO MIL CUATROCIENTOS VEINTISÉIS EUROS CON DIECINUEVE CÉNTIMOS		
	<b>Total Presupuesto de Ejecución Material</b>		<b>8.426,19</b>
	13 % Gastos Generales	1.095,41	
	6 % Beneficio Industrial	505,57	
	Suma de Gastos Generales y Beneficio Industrial		1.600,98
	<b>Total Presupuesto de Inversión</b>		<b>10.027,17</b>
	21 % I.V.A.	2.105,71	
	<b>Total Presupuesto de Ejecución por contrata</b>		<b>12.132,88</b>
	Asciende el presupuesto de Ejecución por Contrata a la expresada cantidad de DOCE MIL CIENTO TREINTA Y DOS EUROS CON OCHENTA Y OCHO CÉNTIMOS		

23 de Junio de 2017

