



# Informe resultados (web)

# Índice.

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	TAREAS DESARROLLADAS.....	9
3	RESULTADOS FINALES.....	10

# 1 INTRODUCCIÓN.

La presente propuesta se ha enfocado desde el punto de vista de hacer más sostenible uno de los procesos productivos tipo del sector juguete, producto infantil y de ocio, como es la inyección y el pulido de artículos de zámak. Aunque este proceso industrial, también es ampliamente utilizado en otros sectores manufactureros del ámbito de la Comunidad Valenciana (automóvil, herrajes, ferretería,...). Para ello, se han seguido las pautas marcadas por la tan conocida estrategia de “Economía Circular” y se ha incidido en el soporte legal que representa la “Directiva 2008/98/CE” y la “Ley 22/2011” de residuos, para definir una línea de investigación innovadora que vincula conocimiento y tecnología con el aprovechamiento de oportunidades de mercado para procesos y productos innovadores para las empresas de la Comunidad Valenciana.

El objetivo de esta propuesta ha sido la de llevar a cabo la I+D+i necesaria para desarrollar “moletas” (fungible utilizado en los procesos de pulido de piezas de zámak inyectado) que son eco-sostenibles, siguiendo los principios de “Economía Circular” comentado anteriormente (*Figura 1*), es decir, se han aprovechado diferentes tipologías de residuos industriales generados en el sector, para que sean valorizados mediante su introducción en nuevas formulaciones de materiales, para así obtener “moletas eco-sostenibles”, de modo que finalmente se cierre el círculo, ya que tras la operación de pulido estas moletas acaban convirtiéndose nuevamente en residuos industriales que pueden ser a su vez, reintroducidas en el proceso de valorización.



Figura 1. Principios de la “Economía Circular”.

Además hay que tener en cuenta el orden jerárquico para la adecuada gestión de los residuos, inculcado por la Directiva 2008/98/CE y la reciente Ley 22/2011 de residuos, en las que se priorizan todas aquellas medidas encaminadas a la prevención y a la preparación para el reciclaje de los residuos, así como la valorización material/energética, antes que el simple depósito en vertedero de seguridad. De modo que con esta actuación se pretende subir un escalón en este orden jerárquico, ya que se va a valorizar materialmente residuos que se están depositando en vertederos de seguridad en la actualidad.

El proceso de inyección de zámak se utiliza para la fabricación de piezas metálicas moldeadas por inyección, como son vehículos de juguete en miniatura (coches, grúas, motos,...), hebillas de cinturones, artículos de promoción (llaveros, pins, insignias, cuelga bolsos, medallas,...), manillas, picaportes, cerraduras, pernios, bisagras y todo tipo de accesorios (cilindros, fallebas, manillones, muletillas, pasadores, perchas, pomos, tiradores, bocacalles, bocallave,...) (*Figura 2*). Por lo que su utilización es abundante en multitud de sectores industriales:

- Artículos de ocio (juguetes,...).
- Artículos de ferretería, herrajes para carpintería.

- Electrodomésticos.
- Artículos de oficina, componentes sanitarios.
- Componentes eléctricos/electrónicos/electromecánicos.
- Accesorios para el sector de la automoción,...



Figura 2. Detalle artículos de zámak inyectados.

El proceso consta de unos equipos (Figura 3), en los que se funde la materia prima, que es el zámak (aleación compuesta de zinc, aluminio, magnesio y cobre principalmente y que se suministra en forma de lingotes (Figura 4) y que posteriormente se inyecta a presión para darle la forma del molde en el que es introducido. A continuación las piezas son enfriadas para poder ser desmoldeadas. Las piezas inyectadas siempre tienen rugosidades e imperfecciones (Figura 5) que han de ser corregidas mediante tratamientos de pulido/vibrado. Para ello se utilizan una serie de equipos (molinos de vibrado, Figura 6) en los que se ponen en contacto las piezas de zámak inyectadas, con unas moletas/chips/piedras (piezas recubiertas de productos abrasivos, Figura 7) y agua, que al vibrar produce el pulido de las piezas y que por lo tanto, ya están listas para cualquier acabado posterior (galvanización, pintado,...).



Figura 3. Detalle proceso: fundición e inyección.



Figura 4. Detalle lingotes de zámak.



Figura 5. Detalle piezas inyectadas antes y después del vibrado.



Figura 6. Detalle vibros.



Figura 7. Detalle moletas/chips/piedras vibrado.

Según la documentación de base consultada (publicaciones, artículos científicos<sup>1</sup>, patentes<sup>2</sup>, catálogos de fabricantes,...), a continuación se muestra un cuadro resumen (*Tabla 1*) de los principales tipos de moletas, su composición, factores que dependen de la calidad del acabado y su principal uso:

*Tabla 1. Tipos de moletas.*

TIPO	COMPOSICIÓN	FACTORES DE CALIDAD	USO
Poliéster	Resinas especiales de poliéster, abrasivos naturales y óxidos metálicos	Granulometría, formas geométricas, medidas y tipo de corte	Operaciones sencillas de limpieza, decapado, rebabado, afinado, semi-abrillantado, pasivado.
Urea-formaldehido	Resinas especiales de urea-formaldehido y abrasivos naturales	-	Limpieza, rebabado, afinado, pulido.
Cerámicas	Base de porcelana refinada y aditivos de unión.	Granulometría, porcentaje de abrasivo y dureza según el tipo de corte y velocidad	Pulido y bruñido en acabados de grandes exigencias

De los diferentes tipos de materiales (*Figura 8*) en los que se formulan las moletas, los que permiten obtener un acabado fino y un pulido excelente de las superficies de zámak, son las fabricadas a base de resinas especiales de *urea-formaldehido*, lo que ocurre es que sufren un desgaste muy rápido (*Figura 9*), al ser material blando, aunque hay que tener en cuenta que a nivel industrial se emplean en mayor cantidad que las de *poliéster*. En cuanto a las moletas *cerámicas*, estas apenas sufren desgaste y por lo tanto no generan lodos de desgaste, aunque su uso es muy limitado a acabados muy específicos.



*Figura 8. Detalle moletas/chips poliéster, urea y cerámicas.*

<sup>1</sup> H.Boiadjieva, *The Technology of Binding Materials*, Sofia.

M. M. Suichev., *"Inorganic binders"*, Leningrad.

Himia. V. K. Marghusian and R. Naghizadeh, *"Chemical Bonding of Silicon Carbide"*. J. Eur.

Ceram. Soc. V.N.Bakulia, *"The basis of designing and production of abrasive and diamond tools"*, Moskow.

Komanduri R, Lucca DA, Tani Y. *Technological advances in fine abrasive processes*. Ann CIRP

<sup>2</sup> *Abrasive media and aqueous slurries for chemical mechanical polishing and planarization (TWI250570), Abrasive media containing a compound for use in barrel finishing process and method of manufacture of the same (US5573560), Moulds for the production of plastic abrasives and support thereof (WO2005058571), Media for finishing plastics and soft metals (US3613317), Abrasive chips for surface treatments in rotary and vibratory apparatus (EP1207011), Organic polymer bonded tumbling chip (US3684466), Agglomerated abrasive device particularly for tumbling and the like, and manufacturing process (EP0523624).*



Figura 9. Detalle del desgaste paulatino en moletas/chips de urea.

Tras el primer estudio de prospectiva que se realizó, se analizaron las 7 patentes<sup>3</sup> más relevantes vinculadas con el tema en cuestión, se contactó con algunos de los proveedores a nivel nacional con más presencia en el sector (CONIEX, RÖSLER) y se revisaron medio centenar de artículos científicos. Con todo esto se concluyó que no existía ninguna experiencia similar de carácter nacional e incluso internacional, por lo que el desarrollar nuevas formulaciones de materiales para la obtención de moletas eco-sostenibles aprovechando fracciones residuales del sector juguete, producto infantil y de ocio, era una iniciativa totalmente novedosa y con una gran relevancia con respecto al estado del conocimiento en esta temática.

Según la actual coyuntura de recesión económica, todas las actividades fabriles se ven obligadas a optimizar sus balances económicos y por tanto a incrementar la eficiencia en el uso de recursos, minimizando pues las corrientes residuales y abaratando los costes de adquisición de las materias primas, es por ello, que todas aquellas iniciativas que vayan enfocadas a esta finalidad son bien recibidas por el tejido industrial.

Además con los resultados del proyecto se demuestra la capacidad en la resolución de problemas que afectan a un elevado número de empresas dentro de la Comunidad Valenciana.

Es por ello, que cualquier iniciativa que refuerce la competitividad de las empresas de cualquier tejido industrial tiene un impacto socio-económico de gran calado ya que establece un apoyo más para subsistir en la actual coyuntura económica.

Todo este tipo de iniciativas van alineadas con la tendencia "ecológica" que en los últimos años está tomando fuerza y que demuestra la creciente sensibilización en cuestiones ambientales que está tomando la sociedad. No obstante, el marketing ambiental tanto de producto como de proceso, aún no llega a ser un elemento decisivo a la hora de orientar la demanda, aunque los consumidores cada vez lo tienen más en cuenta.

La innovación aportada por esta actuación es tecnológica sobre un producto, considerado como un fungible, como son las moletas utilizadas en el proceso de vibrado de piezas de zámak, que a su

---

<sup>3</sup> Abrasive media and aqueous slurries for chemical mechanical polishing and planarization (TWI250570), Abrasive media containing a compound for use in barrel finishing process and method of manufacture of the same (US5573560), Moulds for the production of plastic abrasives and support thereof (WO2005058571), Media for finishing plastics and soft metals (US3613317), Abrasive chips for surface treatments in rotary and vibratory apparatus (EP1207011), Organic polymer bonded tumbling chip (US3684466), Agglomerated abrasive device particularly for tumbling and the like, and manufacturing process (EP0523624).

vez aportan un grado de innovación tecnológica al propio proceso industrial del vibrado al hacerlo más eficiente y con un menor impacto ambiental.

Con esta actuación nos alineamos con la tendencia de demostrar la viabilidad de la integración/valorización de residuos industriales en la obtención de diversos productos utilizados de manera extensiva a nivel industrial, como es el caso que nos afecta.

Como se ha comentado anteriormente, el colectivo beneficiario de esta innovación es todo el tejido industrial que requiera de este proceso productivo. Aunque en un principio hablemos del área geográfica ubicada en el conocido como “valle del juguete” (Ibi, Onil, Tibi y Castalla), en donde se concentra la mayor muestra representativa de este sector y que por proximidad geográfica está en el alcance del centro. Es por ello que el alcance de esta propuesta abarca a todo el territorio de la Comunidad Valenciana y por extensión al resto del territorio nacional.

Según el informe solicitado a la Cámara de Comercio, a fecha de febrero de 2015, en la Comunidad Valenciana existen trabajando 684 empresas de los sectores anteriormente citados y nombrados según su código IAE (3112, 313, 316, 4941), por lo que tienen potencial de disponer del proceso de vibrado comentado en esta propuesta.

Según estudios realizados por AIJU (*“Diagnóstico ambiental de la Foia de Castalla”* editado por AIJU en abril de 2009), en el que se identificaron todas las problemáticas ambientales vinculadas a las empresas del sector y del tejido industrial de la zona, se concluyó que casi el 35% de las mismas (200 aprox.) disponían de procesos de vibrado para la inyección de zámak como parte integrante de su proceso productivo. Extrapolando estos datos al marco de la Comunidad Valenciana, se puede decir que estarían rondando las 450 empresas.

Por último, viendo el histórico de la información que dispone AIJU y comparándolo con lo facilitado por la Cámara de Comercio, se puede concluir que el número de empresas que potencialmente son beneficiarias de los resultados esperados de este proyecto, es de 400-450, en el ámbito de la Comunidad Valenciana.



## 2 TAREAS DESARROLLADAS.

Para el desarrollo de esta iniciativa se han desarrollado los siguientes paquetes de trabajo, que se describen someramente a continuación:

- **Actualización Estudio del estado del Arte.** Se ha estudiado con detalle los diferentes materiales y geometrías de las moletas utilizadas en los procesos de vibrado a nivel industrial. Así como la parametrización de su desgaste. Del mismo modo, se han identificado los fabricantes nacionales/internacionales de estos materiales fungibles tan ampliamente utilizados en el sector de la transformación metálica. Por otra parte se han definido las diferentes corrientes residuales procedentes del sector producto infantil y de ocio, y del tejido industrial de la zona con potencial de valorización. Por último, se ha establecido el punto de partida de la investigación (información básica, vigilancia tecnológica, iniciativas de éxito similares,...).
- **Desarrollo formulaciones eco-sostenibles.** Se ha estudiado la compatibilidad de materiales (residuos vs formulaciones), se han definido nuevas formulaciones y se han desarrollado y caracterizado nuevas formulaciones eco-sostenibles para la fabricación de moletas que integren diversas fracciones residuales.
- **Obtención moletas prototipo.** Se ha simulado el comportamiento frente al desgaste por abrasión de nuevas geometrías de moletas más eficaces y eficientes desde el punto de vista operativo y de la generación de nuevos residuos por desgaste de las mismas. Así como se han obtenido nuevas ecomoletas, integrando fracciones de residuos industriales como carga abrasiva.
- **Validación experimental escala laboratorio.** Se ha estudiado el comportamiento de desgaste/fricción de las nuevas moletas (ecomoletas) en un montaje de vibración piloto a escala laboratorio y se han definido potenciales usos de las nuevas moletas (morfologías adecuadas de piezas a vibrar, generación de residuos,...).
- **Validación industrial.** Se han identificado aplicaciones industriales en las que realizar y ejecutar el testeo para realizar una valoración de la viabilidad de las ecomoletas.
- **Presentación de los resultados.** Se ha elaborado el presente informe con todos los resultados de la iniciativa.
- **Difusión.** Se ha realizado difusión del inicio, avances y de los resultados a través de los diferentes medios de difusión con los que cuenta el centro.

### 3 RESULTADOS FINALES.

A lo largo del estudio se ha demostrado que no existen iniciativas de I+D como la realizada a nivel nacional y que tengan como objetivo la obtención de moletas ecosostenibles, mediante valorización material de residuos industriales generados en el sector del producto infantil y del ocio.

Según el estudio del estado del arte realizado, los abrasivos más utilizados son la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y los aglomerantes son las resinas termoestables de tipo fenólico, como la urea-formaldehído y el poliéster.

En cuanto a las geometrías, las más utilizadas a nivel industrial son las formas básicas del cono, pirámide y trapecio. Aunque dependiendo de la aplicación industrial estas pueden variar.

A nivel industrial el proceso de obtención de moletas suele ser por extrusión y por colado.

Las empresas del tejido industrial de la Foia de Castalla suelen proveerse de moletas de vibrado procedentes de tres empresas principalmente (Coniex, Rosler y Sidas).

Desde el punto de vista de las patentes se han seleccionado 7 patentes como referentes, en las que se indican diferentes aglomerantes poliméricos que se pueden utilizar, sistemas de fabricación en continuo y diferentes tipologías de abrasivos naturales que se pueden utilizar para esta finalidad. De los artículos científicos consultados se han seleccionado una decena, que tratan temas tan complementarios en este ámbito como alternativas de materiales abrasivos, modelizaciones numéricas y nuevos procesos de síntesis de materiales abrasivos de entre otros, tal y como se indican en el entregable correspondiente (E1: "Informe resumen del Estado del Arte").

Por otra parte, se han encontrado 3 proyectos de I+D desarrollados, dentro de la convocatoria europea LIFE, con una temática muy parecida al ejecutado en esta actuación.

En el desarrollo de las formulaciones ecosostenibles se han testado los siguientes materiales:

- Ligante polimérico: resinas termoestables (urea-formaldehído, poliéster, epoxi, poliuretano,...).
- Abrasivo: material abrasivo con elevada composición en sílice y alúmina, como material en polvo (tierras diatomeas) y granulado (arena de sílice), así como diferentes tipologías de residuos industriales con aporte de sílice/alúmina, como por ejemplo lodos de vibrado, lodos de tratamientos físico-químicos de aguas residuales industriales y cenizas de procesos de combustión.

Tras las pruebas de formulación realizadas (más de 60) y utilizando como referencia las características (Tabla 2) de las moletas comerciales que se disponía (Figura 10 y Figura 11), se seleccionaron las tres que se indican en la Tabla 3.



Figura 10. Moleta comercial base poliéster.



Figura 11. Moleta comercial base urea-formaldehído.

Tabla 2. Características moletas comerciales.






MUESTRA		DESCRIPCIÓN	
	C01	Moleta comercial con matriz polimérica de resina de poliéster	
	C02	Moleta comercial con matriz polimérica de resina de urea formaldehído	
PARÁMETRO	MÉTODO	C01	C02
Densidad (g/cm <sup>3</sup> , a 25°C)	UNE-EN ISO 1183-1:2013	1'963 ± 0'020	1'612 ± 0'032
Dureza (shore D)	UNE-EN ISO 868	83 ± 5 (ext.)	71 ± 1 (ext.)
		91 ± 3 (int.)	73 ± 7 (int.)
Humedad (%)	Analizador humedad	1'8 (80°C)	1'6 (80°C)
		1'7 (100°C)	1'6 (100°C)
		1'1 (120°C)	1'3 (120°C)
Composición (%)	TG	32 (org. resina)	44 (org. resina)
		68 (inorg.)	56 (inorg.)
Compresión (kN/cm <sup>2</sup> )	Máq. Univ. INSTRON	4'40	4'76

Tabla 3. Características formulaciones seleccionadas.

MUESTRA	DESCRIPCIÓN	Tª CURADO (°C)	TIEMPO CURADO (h)
 F02	Poliéster + carga abrasiva (abrasivo en polvo con L04)	40	2'5
 F06	Epoxi + carga abrasiva (abrasivo en polvo con L05)	40	4
 F08	UF + carga abrasiva (abrasivo aglomerado)	Tª ambiente	1'5

MUESTRA	DESCRIPCIÓN
L04	Lodo vibrado con moletas de poliéster
L05	Lodo físico-químico

PARÁMETRO	MÉTODO	F02	F06	F08
Densidad (g/cm <sup>3</sup> , a 25°C)	UNE-EN ISO 1183-1:2013	1'453 ± 0'024	1'208 ± 0'017	1'896 ± 0'014
Dureza (shore D)	UNE EN ISO 868	92 ± 4 (ext.)	57 ± 2 (ext.)	74 ± 6 (ext.)
		92 ± 6 (int.)	65 ± 2 (int.)	74 ± 4 (int.)
Humedad (%)	Analizador humedad	1'3 (80°C)	3'7 (80°C)	5'5 (80°C)
		0'9 (100°C)	5'7 (100°C)	5'7 (100°C)
		2'3 (120°C)	9'1 (120°C)	4'9 (120°C)
Compresión (kN/cm <sup>2</sup> )	Máq. Univ. INSTRON	3'75	3'11	4'01

Una vez resuelta las formulaciones que mejor se adaptaban a nuestros requerimientos, se pasó al diseño de la forma geométrica más adecuada para nuestras moletas prototipo, para ello se realizaron simulaciones de desgaste por abrasión.

En las simulaciones se testaron dos geometrías de moleta (cono y doble cono invertido (*Figura 12*) y se eligió un tipo de pieza inyectada de zámak (*Figura 13*).

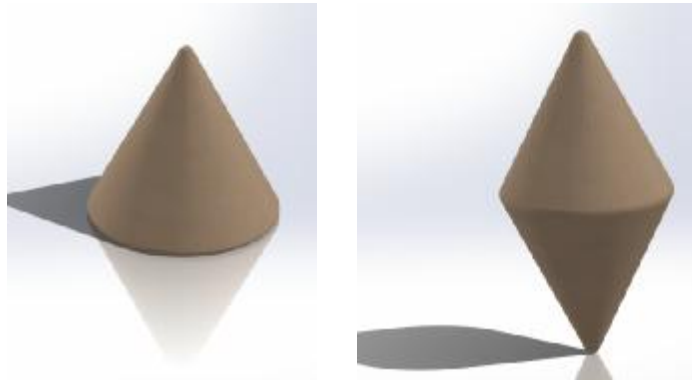


Figura 12. Diseños geométricos moletas prototipo.

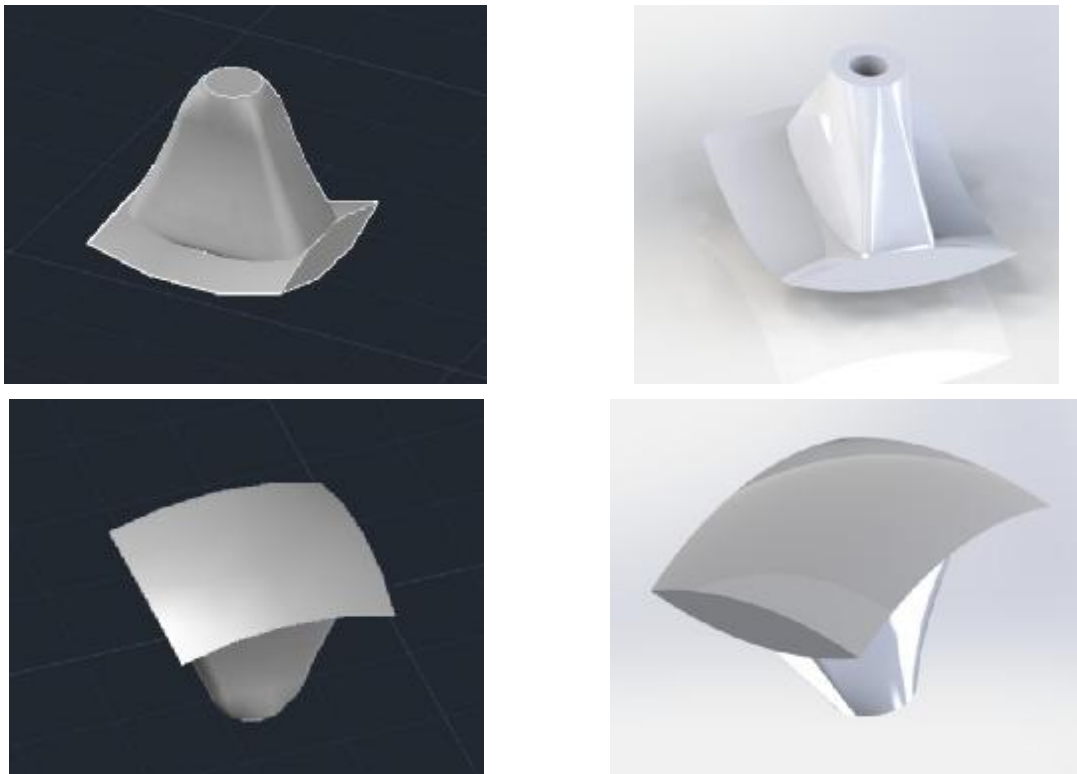


Figura 13. Detalles pieza inyectada de zámak.

Tras las simulaciones realizadas (Figura 14, Figura 15 y Figura 16) se seleccionó la geometría del cono.

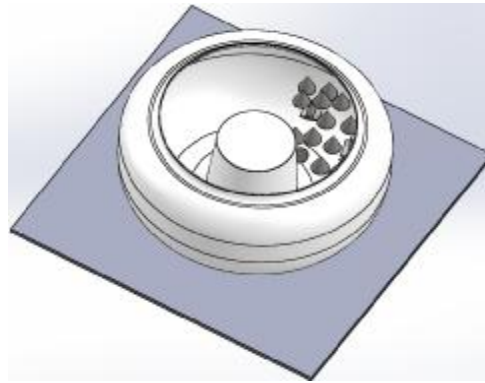


Figura 14. Detalle diseño vibro con moletas y piezas de zámak.

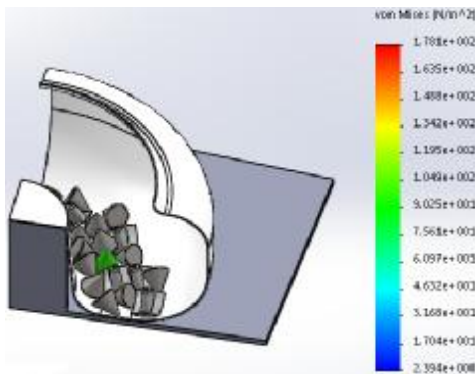


Figura 15. Detalle simulación moleta cono.

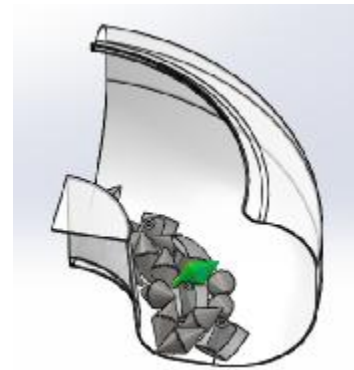
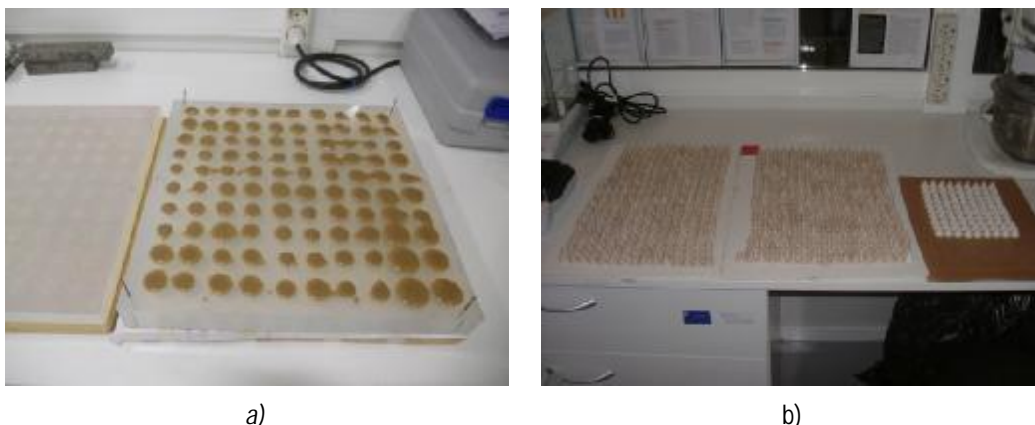


Figura 16. Detalle simulación moleta doble cono invertido.

Como el método de fabricación de las ecoaletas era por colado, se procedió a la fabricación de un molde de silicona, para lo que se tuvo que fabricar unas moletas prototipo por la técnica de "Rapid Prototyping".

Posteriormente se obtuvieron por colada las diferentes muestras de ecoaletas con las formulaciones inicialmente seleccionadas (Figura 17).



a) b)  
Figura 17. Proceso de fabricación de moletas de urea ecosostenibles: a) llenado y b) secado.

Se obtuvieron entre 3kg y 3'6kg de cada una de las muestras de ecomoletas y se procedió a su caracterización (propiedades mecánicas).

Si comparamos estos resultados con los obtenidos con las moletas comerciales (*Tabla 2*), obtenemos las siguientes conclusiones:

- La F08 (urea) tiene unas propiedades muy similares de dureza y humedad, con respecto a la comercial de la misma naturaleza (C02). En cambio presentan una mayor densidad ( $2'037 \text{ g/cm}^3$  frente a  $1'612 \text{ g/cm}^3$ ), un mayor % de carga abrasiva (82% frente al 56%). Con respecto a los resultados de compresión se aprecia que soporta 10 veces menor resistencia a la compresión con respecto a la comercial ( $0'40 \text{ kN/cm}^2$  frente a  $4'76 \text{ kN/cm}^2$ ). Este último dato nos indica que la ecomoleta (F08) puede sufrir un elevado desgaste por abrasión que la comercial de misma naturaleza (C02), con lo que debería modificarse su formulación (reducción de la carga abrasiva).
- La F02 (poliéster) tiene unas propiedades muy similares de dureza y humedad, con respecto a la comercial de la misma naturaleza (C01). En cambio presentan una menor densidad ( $1'465 \text{ g/cm}^3$  frente a  $1'963 \text{ g/cm}^3$ ), una menor % de carga abrasiva (43% frente al 68%). Con respecto a los resultados de compresión se aprecia que ofrece menor resistencia a la compresión con respecto a la comercial ( $2'81 \text{ kN/cm}^2$  frente a  $4'40 \text{ kN/cm}^2$ ). Este último dato nos indica que la ecomoleta (F02) puede sufrir prácticamente el mismo desgaste por abrasión que la comercial de misma naturaleza (C01).
- La F06 (epoxi) tiene una menor dureza (56-66 frente al 83-91 y 71-73) y una mayor humedad (5'5-9'0% frente al 1'1-1'8% y 1'3-1'6) con respecto a las comerciales (C01 y C02). En cambio, presentan una menor densidad ( $1'240 \text{ g/cm}^3$  frente a  $1'963 \text{ g/cm}^3$  y  $1'612 \text{ g/cm}^3$ ), un menor % de carga abrasiva (40% frente al 68% y 56%). Con respecto a los resultados de compresión se aprecia que ofrece menor resistencia a la compresión con respecto a las comerciales ( $1'69 \text{ kN/cm}^2$  frente a  $4'40$ - $4'76 \text{ kN/cm}^2$ ). Este último dato nos

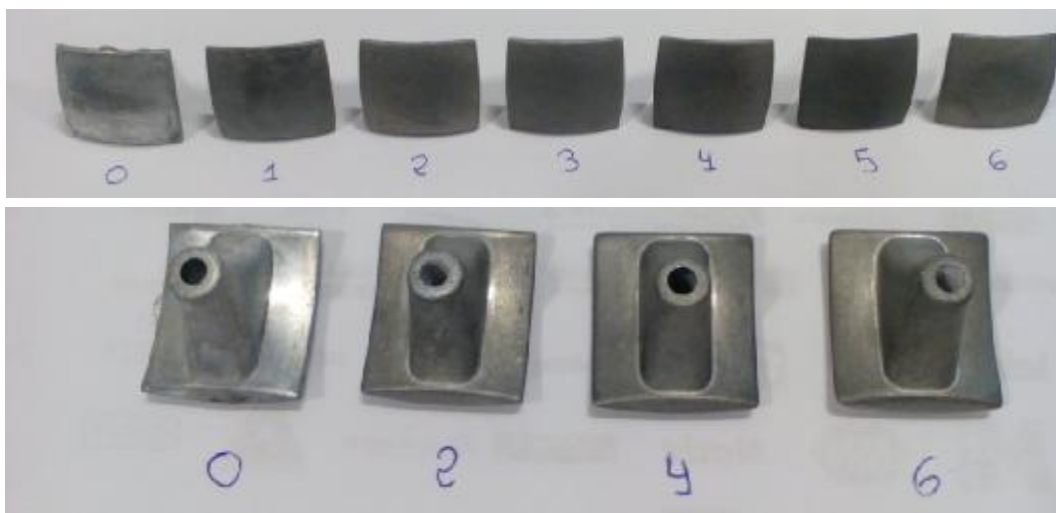
indica que la ecomoleta (F06) puede sufrir un elevado desgaste por abrasión que las comerciales (C01 y C02), con lo que debería modificarse su formulación (reducción de la carga abrasiva).

Una vez obtenidas y caracterizadas las ecomoletas obtenidas, se realizó un montaje experimental a escala laboratorio para estudiar su viabilidad como fungible de vibrado en comparación con el obtenido con moletas de urea-formaldehído comerciales (*Figura 18*).



*Figura 18. Vibrado con moletas comerciales de urea-formaldehído.*

Se definió una escala de calidades (*Figura 19*) de pulido de piezas con las moletas comerciales de urea-formaldehído, siendo el nivel mínimo requerido el obtenido a las 4 horas de vibrado.



*Figura 19. Escala de calidades de pulido con moleta de urea-formaldehído comercial a diferentes tiempos (horas).*



Posteriormente se procedió a validar a escala laboratorio los tres tipos de ecoaletas obtenidos:

- F02 (ecoaleta de poliéster) (Figura 20).
- F06 (ecoaletas de epoxi) (Figura 21).
- F08 (ecoaletas de urea-formaldehido) (Figura 22).



Figura 20. Vibrado experimental con ecoaletas de poliéster.



Figura 21. Vibrado experimental con ecoaletas de epoxi.



Figura 22. Vibrado experimental con ecomoletas de urea-formaldehido.

En la *Tabla 4* se detallan los resultados obtenidos de las vibradas experimentales realizadas a escala laboratorio.

*Tabla 4. Resultados comparativos de las vibradas experimentales.*

PARÁMETRO	MOLETA COMERCIAL UREA	ECOMOLETA POLIÉSTER	ECOMOLETA EPOXI	ECOMOLETA UREA
Proporción moleta/pieza zámak (p/p)	4'92	≈5	≈5	≈5
Tiempo mínimo de vibrado (h)	4	>24	9	3
Desgaste moleta por vibrada (% p/p)	3'45	≈10	≈1	≈10
Desgaste moleta por vibrada estándar a 24h (% p/p)	20'69	≈10	≈3	≈80

Como se aprecia en la anterior tabla, de las tres ecomoletas desarrolladas se concluye:

- La proporción en peso de "moleta / pieza de zámak" es la misma para las ecomoletas así como para la comercial.

- Con respecto al tiempo mínimo requerido para la obtención de una calidad aceptable en el vibrado, se observa que la ecomoleta de poliéster requiere de un periodo muy elevado para conseguir dicho acabado, que la ecomoleta de epoxi requiere de mucho más tiempo que la comercial (9h frente a las 4h) y que la ecomoleta de urea-formaldehído es la más rápida, con apenas 3h requeridas para el vibrado.
- En cuanto al desgaste, la ecomoleta de urea es la que más rápidamente se desgasta, y las de poliéster y epoxi tienen un desgaste más lento que la comercial de urea (3-10% frente a 20%).
- Considerando dichos resultados, se concluye que la que mejor comportamiento tiene y puede ser experimentada a nivel industrial es la ecomoleta de epoxi.

Para la validación a nivel industrial se seleccionó la misma empresa que facilitó las piezas de zámak inyectadas y que se han vibrado a escala laboratorio en toda la experimentación. Esta empresa se dedica a la inyección de piezas de zámak para el sector de herrajes y pasamanería.

Se realizó una vibrada, en la que se requirieron 200kg aprox. de ecomoletas de epoxi y los resultados obtenidos fueron prácticamente los mismos que los obtenidos a escala laboratorio (9h aprox. requeridas de vibrado y un desgaste estándar de las ecomoletas en entorno al 5%), con lo que se demuestra su viabilidad.

Considerando las propiedades de las ecomoletas desarrolladas se aprecia un potencial de mejora que se describe a continuación:

- La resina de urea-formaldehído es la que se manipula más fácilmente. Así como permite trabajar con formas geométricas de moleta más complejas.
- Para disminuir el desgaste de la ecomoleta de urea-formaldehído sería interesante trabajar en un rango inferior de carga abrasiva.
- Se descarta utilizar tierras diatomeas como carga abrasiva.
- Puede resultar interesante trabajar con lodos de vibrado calcinados como carga abrasiva y así eliminar la fracción polimérica.
- La ecomoleta de poliéster y epoxi puede considerarse válida para un vibrado más fino y para piezas con bajas exigencias de eliminación de imperfecciones, aunque debería incrementarse su capacidad de abrasión.

Tras los resultados que se obtuvieron a lo largo de todo el proyecto, se concluye que es viable la valorización material de residuos industriales (lodos de vibrado, lodos físico-químicos,...) como carga abrasiva para la fabricación de ecomoletas o moletas sostenibles. Es por ello que podemos decir que tras los ensayos realizados se puede incrementar la sostenibilidad ambiental del proceso industrial del vibrado de piezas inyectadas de zámak, valorizando parte de los residuos peligrosos que genera, para obtener un fungible utilizado en dicho proceso, como son las moletas de vibrado, por lo que se ratifica que esta actuación está en línea acorde con los principios de "Economía Circular" descritos a lo largo de este proyecto. No obstante estos resultados permiten abrir otras líneas de investigación para optimizar los resultados obtenidos y conseguir que se puedan explotar industrialmente, como el desarrollo de ecomoletas que permitan vibrar sin generar aguas residuales industriales, así como optimizar las propiedades (abrasivas, durabilidad,...) de las ecomoletas.