

SOLICITUD 56

ANÁLISIS DE LA CONSIDERACIÓN COMO SUBPRODUCTO DE LOS RESIDUOS DE YESO CON TRAZAS DE FIBRA DE VIDRIO GENERADOS EN LA FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS DE YESO/ESCAYOLA PARA LA FABRICACIÓN DE YESO/ESCAYOLA

JUNIO 2023

[Página dejada intencionadamente en blanco]

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
1.1	CONTEXTO.....	5
1.2	ANTECEDENTES.....	5
1.3	OBJETO Y ALCANCE	8
2	ANÁLISIS DE LA SOLICITUD DE DECLARACIÓN DE SUBPRODUCTO	8
2.1	RESIDUO DE PRODUCCIÓN Y PROCESO EN EL QUE SE GENERA	8
2.1.1	Proceso de fabricación del yeso de construcción	8
2.1.2	Tipo de residuo de producción y características fisicoquímicas	22
2.1.3	Proceso productivo en el que se genera	29
2.1.4	Destino actual del residuo	32
2.1.5	Consideraciones ambientales y de salud humana	33
2.2	MATERIA PRIMA A LA QUE SUSTITUYE Y PROCESO EN EL QUE SE UTILIZA.....	34
2.2.1	Materia prima sustituida	34
2.2.2	Proceso en el que se va a emplear el residuo de producción	34
2.2.3	Requisitos normativos o estándares	37
2.2.4	Requisitos de calidad.....	45
2.3	TRATAMIENTO DEL RESIDUO EN EL RESTO DE LOS ESTADOS MIEMBROS DE LA UE	45
2.3.1	Fomento del yeso reciclado	45
2.3.2	Fin de condición de residuo	50
3	ANÁLISIS DE SU CONSIDERACION COMO SUBPRODUCTO.....	53
4	CONCLUSIONES	57
5	REFERENCIAS.....	60

[Página dejada intencionadamente en blanco]

1 INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO

Tanto la Directiva Marco de Residuos¹ como su transposición al ordenamiento jurídico español mediante la *Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados*, derogada por la *Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular*, definen las condiciones para que una sustancia u objeto, resultante de un proceso de producción y cuya finalidad no sea la producción de esa sustancia u objeto, pueda ser considerada como un subproducto y no como un residuo, cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- a) Que se tenga la seguridad de que la sustancia u objeto va a ser utilizado ulteriormente,
- b) que la sustancia u objeto se pueda utilizar directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial habitual,
- c) que la sustancia u objeto se produzca como parte integrante de un proceso de producción, y
- d) que el uso ulterior cumpla todos los requisitos pertinentes relativos a los productos y a la protección de la salud humana y del medio ambiente para la aplicación específica, y no produzca impactos generales adversos para la salud humana o el medio ambiente.

Para poder considerar una sustancia u objeto como subproducto, estas cuatro condiciones deberán cumplirse de forma simultánea; esto es, sólo si se satisfacen todas y cada una de ellas, se tratará de un subproducto; en caso contrario el régimen jurídico aplicable será necesariamente el de los residuos.

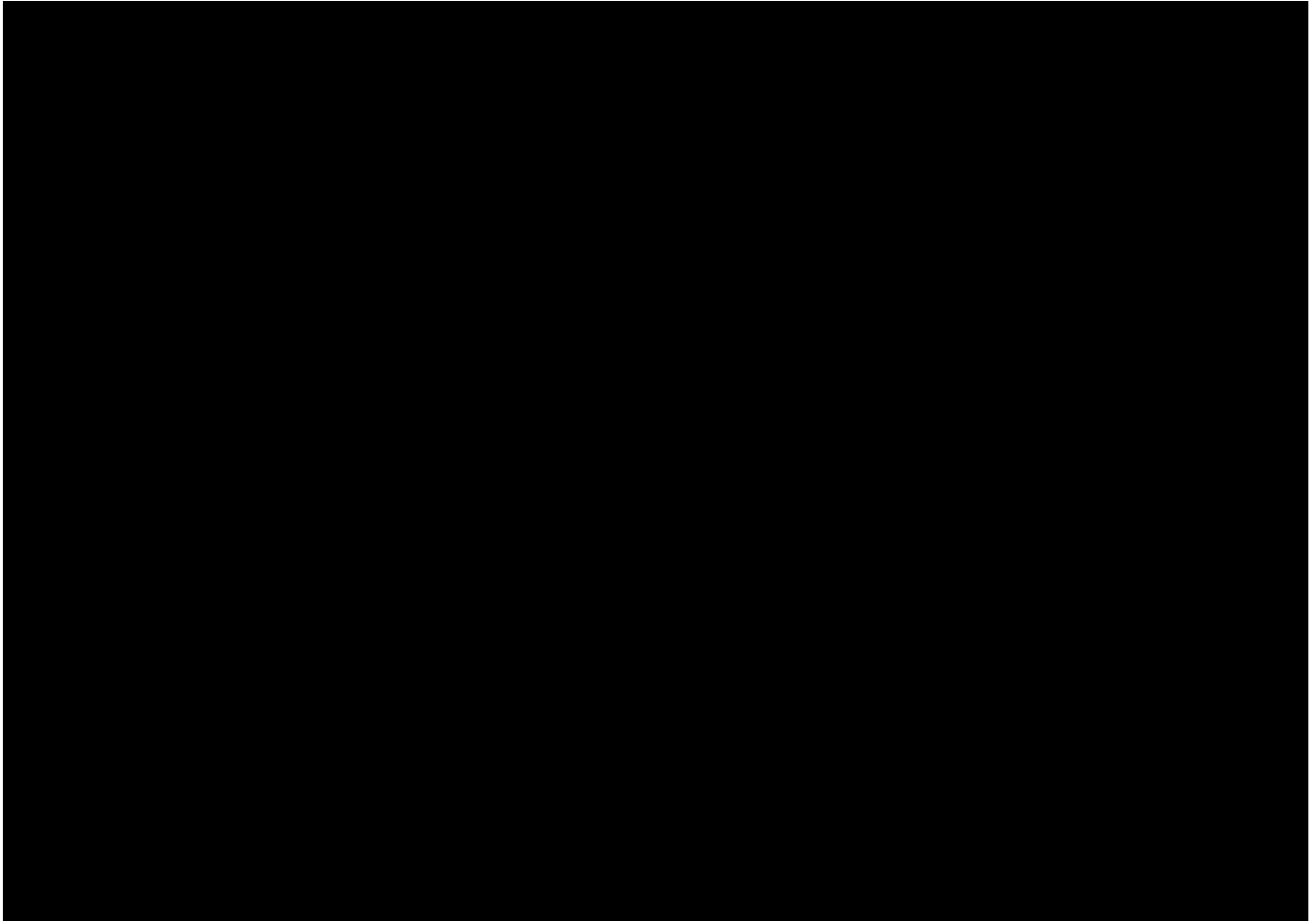
La Disposición Transitoria Primera de la *Ley 7/2022, de 8 de abril*, prevé que las autorizaciones de subproducto concedidas aplicando los procedimientos administrativos que hubiera vigentes antes del procedimiento acordado por la Comisión de Coordinación en materia de residuos, tendrán validez hasta que caduque dicha autorización o se lleve a cabo una autorización conforme a lo establecido en la ley. En el caso de que no estuviera prevista la caducidad de la autorización, su validez será como máximo de cinco años respecto a la fecha de entrada en vigor de la ley.

1.2 ANTECEDENTES

[REDACTED], solicitó a la Comisión de Coordinación en materia de residuos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD), la **declaración como subproducto de los residuos de yeso con trazas de fibra de vidrio generados en el proceso de fabricación de artículos de yeso** (falsos techos continuos y desmontables de escayola aligerada y reforzada, elementos

¹ Directiva 2008/98/CE del Parlamento y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos, modificada por la Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento y del Consejo de 30 de mayo de 2018.

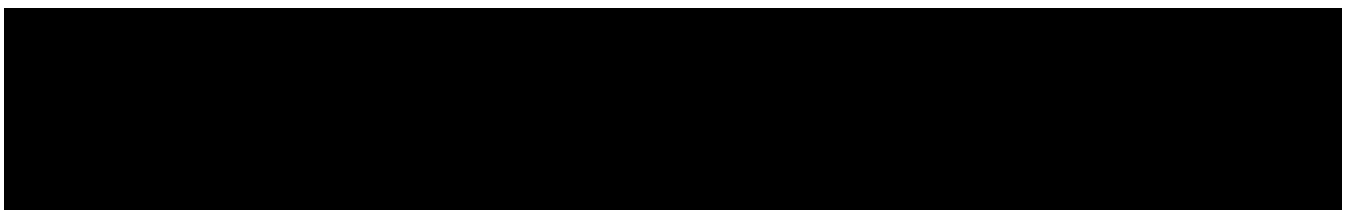
para la decoración en escayola y yeso laminado y paneles de yeso para la ejecución de tabiques), **para su uso en la fabricación de yeso de construcción/escayola.**



Para la solicitud de declaración de subproducto se presentaron los siguientes documentos:

- Solicitud general para la declaración de un residuo de producción como subproducto.
- Informe justificativo.

Tras la revisión de la documentación aportada, el 10 de abril de 2019 el MITERD requirió información sobre la posible existencia de declaraciones de subproducto o incluso de fin de condición de residuo en otros países de la Unión Europea para este residuo, con el fin de disponer de información referente al tratamiento del residuo de producción en el resto de los estados miembros de la UE. El día 18 de octubre de 2019 se recibió contestación a dicho requerimiento.



Tras el análisis de toda la documentación aportada, el 7 de septiembre de 2021 se consideró necesario llevar a cabo una consulta con objeto de aclarar y detallar los siguientes puntos:

- Justificar la proporción en la que se pretende emplear el residuo de producción en la fabricación de yeso de construcción/escayola (15-20%), adjuntando aquellos ensayos que permitan comprobar este dato, aclarando a su vez si el residuo puede ser empleado en cualquier instalación de fabricación de yeso/escayola.
- Adjuntar aquellos estudios que permitan comprobar si las características del yeso de construcción/escayola elaborada con residuo de producción (<20%), son similares al yeso de construcción/escayola generada a partir de yeso natural al que posteriormente se le añade como aditivo fibra de vidrio. Aclarar si el yeso de construcción/escayola producida con residuo de producción puede ir destinado a cualquier instalación de fabricación de artículos de yeso/escayola.
- Adjuntar aquellos estudios en los que se haya evaluado el cumplimiento de las especificaciones técnicas del yeso de construcción/escayola obtenida empleando el residuo de producción (conforme a las normas UNE aplicables).
- Justificar si se realiza algún tipo de control de calidad del residuo de producción, así como del yeso de construcción/escayola obtenida a partir del residuo.
- Justificar el origen de los impropios en el residuo de producción y el contenido porcentual de éstos.
- Aclarar si el acondicionamiento del residuo de producción para la eliminación de impropios se puede considerar un tratamiento de residuos para obtener yeso recuperado (término empleado en el propio informe justificativo).

El día 27 de septiembre de 2021 se recibió parte de la respuesta a dicho requerimiento, [REDACTED]. Posteriormente, el 13 de diciembre de 2021, se recibió el resto de la respuesta, aportando los siguientes documentos:

- Continuación documento respuesta [REDACTED]
- Informe de ensayos realizado por el laboratorio [REDACTED]
- Acta de toma de muestras de los ensayos realizados

² - Yeso sintético generado en sistemas de desulfuración de gases en centrales térmicas de carbón, también conocido como FGD (definición del proyecto *GtoG From production to recycling: a circular economy for the European Gypsum Industry with the Demolition and Recycling Industry*).

- Yeso generado en sistemas de desulfuración de gases de procesos de combustión de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) (definición extraída del documento del JRC *Technical proposals for by-products and high purity materials as component materials for EU Fertilising Products*).

Tras el análisis de la respuesta [REDACTED], el 2 de febrero de 2022 se realiza un nuevo requerimiento solicitando aclarar para qué categorías de yesos y conglomerantes a base de yesos, conforme a la norma UNE EN 13279-1, queda demostrada la viabilidad del yeso de construcción o escayola elaborado con hasta un 20% de residuo de producción mediante la documentación presentada [REDACTED]. El 22 de febrero del mismo mes, se recibe respuesta [REDACTED] aclarando esta cuestión.

1.3 OBJETO Y ALCANCE

El objeto de este estudio es evaluar la **consideración como subproducto de los residuos de yeso con trazas de fibra de vidrio** originados en el proceso de fabricación de productos/artículos de yeso de construcción/escayola (como falsos techos continuos y desmontables de escayola aligerada y reforzada, productos para la decoración en escayola y yeso laminado y paneles de yeso para la ejecución de tabiques), **para su uso en la fabricación de yeso de construcción/escayola**, de acuerdo con lo señalado en la *Ley 7/2022, de 8 de abril*.

La elaboración de este documento ha sido encargada por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) a la Empresa para la Gestión de Residuos Industriales (EMGRISA).

2 ANÁLISIS DE LA SOLICITUD DE DECLARACIÓN DE SUBPRODUCTO

2.1 RESIDUO DE PRODUCCIÓN Y PROCESO EN EL QUE SE GENERA

2.1.1 Proceso de fabricación del yeso de construcción

Con objeto de contextualizar el residuo de producción para el que se solicita la declaración de subproducto y las operaciones en las que se genera, así como el proceso en el que pretende ser utilizado, se ha considerado oportuno incluir una descripción de la industria del yeso, desde la extracción del mineral en cantera, la producción de yeso de la construcción o escayola (etapa en la que pretende utilizarse el residuo junto con el yeso natural), hasta la fabricación de artículos o productos de yeso (etapa en la que se genera).

Según la asociación europea Eurogypsum³, que agrupa actualmente a 16 países (y entre cuyos miembros se encuentra ATEDY), la industria europea del yeso explota 160 canteras y unas 200 fábricas (plantas de polvo de yeso, de bloques de yeso y de placas de yeso). La industria del yeso cubre todo el ciclo de vida del producto. De hecho, las empresas que extraen el mineral de yeso también lo procesan y fabrican los productos y sistemas de valor añadido, que se utilizan principalmente en la construcción⁴.

³ Eurogypsum es una federación europea de asociaciones nacionales de fabricantes de productos de yeso, con sede en Bruselas y registrada en Bélgica como organización internacional sin ánimo de lucro.

⁴ EuroGypsum. (2009). *Criticality of Raw Materials. Gypsum Data*. (<http://www.eurogypsum.org/wp-content/uploads/2015/05/091109CriticalityGypsumData.pdf>)

El sector español del yeso está mayoritariamente en manos de empresas multinacionales de matriz europea⁵: Knauf (Alemania) y Saint Gobain (Francia); Yesos Ibéricos, participada en un 40% por la belga ETEX y un 60% por Uralita S.A. y Fermacell, perteneciente al grupo alemán Xella.

Las empresas pequeñas de tipo familiar producen una buena parte de las escayolas y yesos para la construcción de la industria nacional, con producciones individuales de alrededor de 50.000 t/año.

El **yeso natural**, también denominado piedra de aljez o piedra de yeso, proviene de la extracción del mineral en cantera. Está compuesto químicamente por sulfato de calcio cristalizado con dos moléculas de agua ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), denominado como sulfato de calcio dihidratado o dihidrato (en adelante, DH).

El **yeso como producto industrial**, que en adelante se denominará **yeso de construcción o escayola**, es el polvo obtenido por deshidratación y molienda del mineral de yeso y está compuesto por varias fases anhidras y/o semihidratadas del sistema sulfato cálcico-agua⁶ y que, al amasarse con agua, tiene la propiedad de poder endurecerse mediante un proceso denominado fraguado⁷.

La fase más habitual del sistema sulfato cálcico-agua es la de semihidrato (en adelante, SH), constituida por sulfato de calcio semihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$). El sulfato cálcico semihidratado (SH) se comercializa molido, en forma de polvo, por lo general en sacos o bolsas y es denominado como **escayola o como yeso de construcción**, ya que a nivel industrial **no se hacen distinciones** entre estos.

Según el informe justificativo, el yeso y la escayola provienen del mismo mineral, diferenciándose por su estructura cristalina, pureza y alguna característica física adicional, **pero según el solicitante a efectos del informe justificativo y a nivel industrial se consideran iguales**. En concreto, la escayola⁸ tiene un mayor índice de pureza (>80%), una finura de molido y una resistencia a flexotracción superiores y una cristalización homogénea, lo que le confiere propiedades específicas que determinan su uso.

El material en estado plástico formado por la mezcla del yeso de construcción/escayola y agua, se **denomina pasta de yeso**, constituida por sulfato cálcico dihidrato, al volver a reintroducir el agua eliminada en la etapa

⁵ IGME (Instituto Geológico Minero Español). Panorama minero 2017. Yeso y alabastro. ([https://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/YESO%20Y%20ALABASTRO%202016-PM_2017\(final\).pdf](https://www.igme.es/PanoramaMinero/actual/YESO%20Y%20ALABASTRO%202016-PM_2017(final).pdf))

⁶ En la literatura científica se conoce como sistema sulfato cálcico-agua al conjunto de compuestos químicos procedentes de la deshidratación del yeso y a todos sus polimorfos.

⁷ Sanz Arauz D. Universidad Politécnica de Madrid. (2009). *Análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas*.

⁸ <http://e-construir.com/yeso/escayola.html> Se diferencia del yeso convencional o de construcción en que posee una granulometría mucho más fina y mayor pureza de aljez (superior al 70%), dando por resultado un material que requiere menos agua y genera una superficie mucho menos porosa, que se seca rápidamente.

de deshidratación del mineral. Durante la realización de esta mezcla se pueden añadir otras sustancias químicas para modificar sus características.

2.1.1.1 Descripción del proceso de fabricación de yeso

██████████ el proceso de fabricación de yeso de construcción o escayola consiste básicamente en la molienda y deshidratación en horno del mineral de yeso y en la posterior mezcla del yeso deshidratado con agua y con diversos aditivos que mejoran sus propiedades (como por ejemplo reguladores de fraguado, espesantes o agregados ligeros como la perlita expandida), para producir el artículo o pieza final de yeso.

A partir de diversa bibliografía consultada^{9, 10}, y lo indicado en el informe justificativo, se puede considerar que, en la industria del yeso, se llevan a cabo las siguientes etapas:

1. Extracción del mineral (yeso natural) en cantera.
2. Fabricación del yeso de construcción (SH) en forma de polvo. Deshidratación del yeso natural (DH).
3. Fabricación de piezas/artículos de yeso (DH). Hidratación del yeso de construcción.

⁹ Silgado, S. S. S. (2014). *Viabilidad ambiental del reciclaje del yeso. Congreso Nacional del Medio Ambiente.*

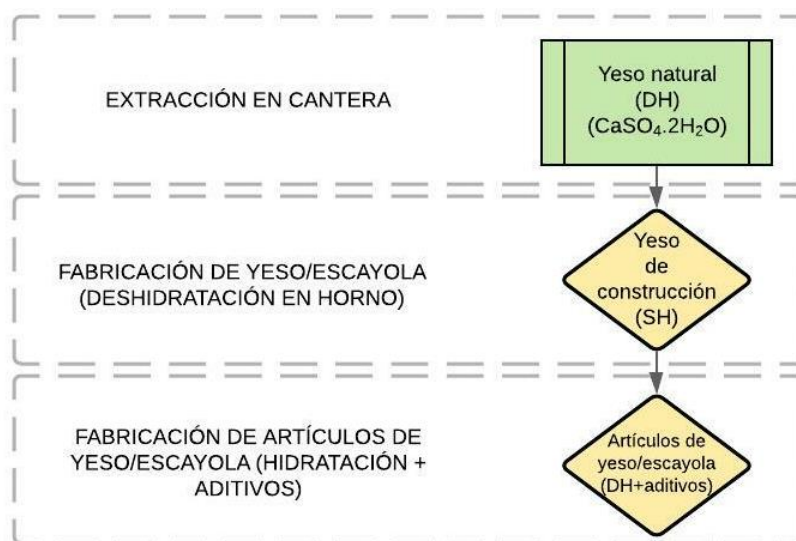
Rio Merino, M. D. (1999). *Elaboración y aplicaciones constructivas de paneles prefabricados de escayola aligerada y reforzada con fibras de vidrio E y otros aditivos (Tesis Doctoral, Arquitectura).*

Subsecretaría de Minería. (2017). *Perfil de mercado del yeso.*

<http://e-construir.com/yeso/fabricacion.html>

¹⁰ Eurogypsum (2015). *GTOG: From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. DB4: REPORT ON PRODUCTION PROCESS PARAMETERS).*

Figura 2.1.1.1-1. Etapas en la fabricación del yeso de construcción o escayola.



1. Extracción del mineral de yeso

La extracción del yeso natural se realiza en la cantera mediante perforación y voladura. El aljez (sulfato de calcio dihidrato de origen natural) se extrae de canteras a cielo abierto y de canteras subterráneas. La piedra barrenada se presenta en grandes bloques.

2. Fabricación del yeso de construcción o escayola. Deshidratación del yeso natural

En una de las referencias consultadas¹¹ se expone que antes de la deshidratación del yeso en el horno, es necesario llevar a cabo una etapa de **preprocesamiento de las materias primas** que consta de operaciones de reducción de tamaño de los bloques de yeso obtenidos en cantera (trituración y molienda) y de presecado para reducir el contenido en humedad.

Tamizado o cribado de la materia prima

En diversa documentación¹² se confirma que, en algunas ocasiones, debido a la presencia de tierra, restos vegetales y otros minerales (especialmente arcillas) mezclados con el mineral de yeso en la explotación, se

¹¹ Eurogypsum. (2015) *Life+ Gypsum to Gypsum (GtoG) project 'From production to recycling: a circular economy for the European Gypsum Industry with the Demolition and Recycling Industry'* LIFE11 ENV/BE/001039, FINAL Report Covering the project activities from 01/01/2013 to 31/12/2015

¹² Moreno López J.J. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. (2015). *Proyecto de explotación de cantera de calizas del Páramo*.

Ingeminsa S.L (a petición de PLADUR GYSPUM). (2018). *Plan de Restauración de la concesión de explotación "Soledad III" 3562 del término municipal de Seseña (Toledo)*.

hace necesario separar estos estériles del yeso, lo que suele realizarse en la etapa de tratamiento primario, obteniendo una fracción que se emplea en las labores de restauración de las áreas ya explotadas.

Trituración y molienda de las rocas de yeso

Después de la extracción y antes de la deshidratación en el horno, se lleva a cabo la trituración^{13 14} del mineral del yeso en sucesivas fases para obtener un material de tamaño adecuado para la fabricación, empleando para ello equipos de trituración de características diferentes.

La **trituración primaria** tiene como objetivo reducir las rocas a un tamaño de aproximadamente 5-10 cm de diámetro y se lleva a cabo en máquinas trituradoras adecuadas, como trituradoras de mandíbula, trituradoras de rodillos o trituradoras de impacto, ya sea en el lugar de extracción o en la entrada de la planta de fabricación de yeso de construcción o escayola. La fracción más gruesa cae a la machacadora o molino que lo moltura, depositándolo en una cinta transportadora, que lo vierte a una criba que clasifica los tamaños adecuados para su posterior fabricación.

Tras la primera molienda se lleva a cabo una **trituración secundaria**, que permite una mayor reducción del tamaño, alrededor de 2 cm, con objeto de que el material tenga un tamaño uniforme para que se produzca una adecuada deshidratación del sulfato cálcico dihidrato en los hornos.

Según la bibliografía consultada, la trituración secundaria se suele realizar normalmente mediante molinos de impactos o molinos de martillos, obteniendo una fracción de 0-12 mm aproximadamente (<25 mm), tamaño adecuado para la alimentación a los hornos. El tamaño del grano viene determinado por el sistema de calcinación o por el uso final a que vaya destinado el yeso fabricado¹⁵:

- Horno rotatorio 0-25 mm
- Marmita 0-2 mm
- Marmita con unidad de secado y molino combinado 0-0,2 mm
- Horno transportador 4-60 mm
- Aljez y anhidrita natural para cemento -5-50 mm

La roca natural triturada se apila y almacena en espacios cubiertos, **preferiblemente bajo techo para limitar la absorción de humedad**, y se denomina habitualmente yeso crudo.

Herrera Herbert J. (2006). Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. *Métodos de Minería a cielo abierto*.

¹³ Gobierno de Navarra. Instituto Geológico y Minero de España. (2007). *El recorrido de los minerales en la Comunidad Foral de Navarra*

¹⁴ Gironés Gúell X. Universidad de Girona. (2012). *Metodología y análisis de la fabricación de anhidrita en horno rotativo mediante elementos de inteligencia artificial*.

¹⁵ Wirsching F.; Diez Reyes C.; (traducción). (1996). *Resumen de la Ullmann-S Encyclopedia of Industrial Chemistry*. (<https://artesdelascalesylosyesos.files.wordpress.com/2015/03/sulfato-de-calcio.pdf>)

En muchos procesos, el yeso natural triturado se muele finamente a $<200 \mu\text{m}$ de diámetro en molinos de rodillos o de otro tipo, que generalmente se pueden calentar para el presecado simultáneo del material.

Secado previo

El presecado se refiere a la reducción de la humedad libre contenida en la materia prima de yeso, que se debe en parte a las condiciones climáticas (alta humedad del aire, lluvia) mientras se transfiere y se almacena. La alta humedad dificulta el flujo "libre" del material sólido y puede provocar la congestión del equipo en las etapas de proceso posteriores.

El yeso natural normalmente tiene un contenido de humedad libre del 1 al 3% cuando se extrae y, por lo general, se seca durante la etapa de molienda en molinos calentados, como se ha comentado antes.

En los procesos que dependen de molinos trituradores sin calefacción y/o si el contenido de humedad del yeso es mayor (por ejemplo, si el material se ha apilado en el exterior), se requiere el secado para reducir la humedad por debajo de los niveles normales y se lleva a cabo después de la etapa de trituración en secadores rotativos de calentamiento directo.

No obstante, en la mayoría de las **plantas modernas, la molienda, el secado previo y la calcinación parcial o completa de la materia prima se realizan simultáneamente** en equipos individuales, como molinos de rodillos verticales calentados, molinos de bolas anulares, molinos de impacto, etc.

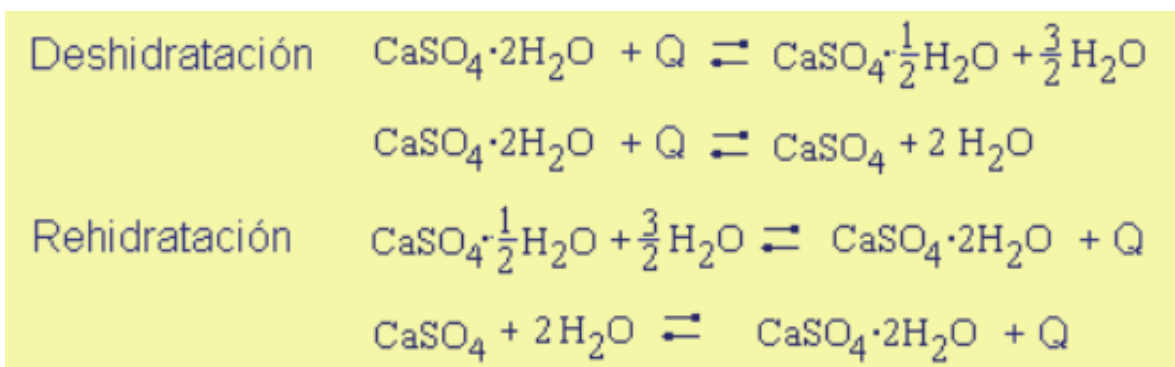
Calcinación o cocción

En la industria del yeso, la calcinación es el proceso térmico para **cambiar el estado de hidratación** del yeso de su contenido de dihidrato (sulfato de calcio dihidrato, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) mediante la eliminación parcial o total del **agua químicamente unida** (es decir, cristalina) para producir hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) o anhidrita (CaSO_4), respectivamente, a temperaturas que pueden oscilar desde los 120°C hasta los 900°C .

Es un **proceso reversible que puede repetirse casi indefinidamente**, por lo que el yeso se ha considerado popularmente como eternamente reciclable.

Específicamente, cuando el material calcinado (es decir, deshidratado) se mezcla con agua, se rehidrata a su estado original recuperando las moléculas de agua perdidas y fragua, obteniendo una resistencia relativamente alta al formar una estructura cristalina.

Imagen 2.1.1.1-1. Reacciones de deshidratación y rehidratación del yeso¹⁶.



Dependiendo de las condiciones de temperatura y presión en el proceso de deshidratación del yeso, éste se puede deshidratar parcial o totalmente, obteniendo hasta 5 fases del sistema sulfato cálcico-agua¹⁷ con unas propiedades y estructuras diferentes, que constituyen las distintas fases de cristalización del sulfato cálcico:

Tabla 2.1.1.1-1. Fases del sistema sulfato cálcico-agua en función de la temperatura.

Temperatura	Denominación	Fórmula química
Tª ambiente	Aljez, yeso, sulfato cálcico dihidratado, dihidrato (DH)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
120°C a 180°C	Escayola, hemihidrato o semihidrato (SH) α y β	$\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$
180°C a 300°C	Anhidrita III soluble (AnIII)	CaSO_4 III
300°C a 700°C	Anhidrita II artificial (AnII)	CaSO_4 II
>1.000°C	Anhidrita insoluble I (AnI)	CaSO_4 I

Como se puede ver en la tabla, entre 120-180°C, parte del agua del mineral de yeso (DH) se desprende en forma de vapor, quedando el sulfato de calcio con media molécula de agua ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), denominado sulfato de calcio hemihidratado o semihidrato (SH). El SH puede presentar dos formas alotrópicas α y β con características físicas y microestructurales diferentes¹⁸.

El yeso semihidrato tipo α se produce generalmente en autoclave, a presión superior a la atmosférica, de forma que el agua se elimina en forma líquida y se utilizan para aplicaciones especiales como moldes para cerámica, odontología, etc.

¹⁶ Gomis Yagües V. Universidad de Alicante. (sin fecha). *El yeso*. (<https://diq.ua.es/yeso/introduccion.htm>)

¹⁷ La Spina V. Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Cartagena. Informes de la Construcción. (2020). *La diversidad tipológica de los hornos tradicionales de calcinación de yeso en España*.

¹⁸ Gironés Gúell X. Universidad de Girona. (2012). *Metodología y análisis de la fabricación de anhidrita en horno rotativo mediante elementos de inteligencia artificial*.

El semihidrato β (más común), se produce generalmente en horno rotatorio y a presión atmosférica, de forma que el agua se elimina en estado vapor seco. En **estado puro constituye la escayola**. También puede darse la forma β en mezcla con otras fases, industrialmente conocido como **yeso multifase o yeso de construcción**.

Cuando al semihidrato se le añade agua, se produce una reacción altamente exotérmica y recupera el agua que tenía químicamente en estado natural. La capacidad de fraguar del **semihidrato hace de este material la fase básica en la fabricación de yesos**.

Los tipos de anhidrita se producen a temperaturas de calcinación más altas, desde 180 °C. Cabe señalar que la aptitud para el fraguado disminuye gradualmente cuando se cuece el yeso a temperaturas más elevadas¹⁹.

Es el caso de la anhidrita soluble, que se rehidrata fácilmente en contacto con el agua al estado de dihidrato, pero que se endurece muy rápidamente, por lo que sus usos en aplicaciones técnicas son limitados.

Los yesos sobrecocidos se obtienen mediante procedimientos de calcinación en seco a temperaturas comprendidas entre 300 °C y 900 °C, obteniéndose principalmente anhidrita calcinada. El yeso quemado no muestra propiedades de fraguado y se utiliza principalmente en la fabricación de cemento.

Molienda y afino

Tras la deshidratación que sufre el yeso natural crudo (DH), el material de yeso (SH) obtenido se muele para obtener **yeso en polvo**. Esta molienda se realiza con el fin de adecuar la granulometría al tamaño adecuado para la fabricación de los diferentes tipos de yesos de construcción o escayolas. Los productos en polvo se caracterizan por su composición química, composición mineralógica (contenido en las diferentes fases del sistema sulfato cálcico-agua), finura de molido y aditivos y adiciones que puedan agregárseles.

3. Fabricación de artículos de yeso

En esta fase tiene lugar la hidratación del yeso de construcción o escayola (SH) obtenido en la etapa anterior. A partir de la reacción de hidratación que se produce entre el yeso de construcción o escayola (semihidrato SH) y el agua se inicia el fraguado²⁰ o endurecimiento paulatino de la mezcla que ha sido previamente dosificada en moldes, a partir de las cuales se produce la pieza o artículo de yeso/escayola.

En función de la variedad de artículo de yeso que se vaya a fabricar, se pueden añadir al yeso de construcción o escayola (SH) una vez molido antes de su mezcla con el agua o en el agua de amasado, ciertos aditivos en diferentes proporciones que le confieren distintas cualidades, como favorecer la aceleración o el retardo del

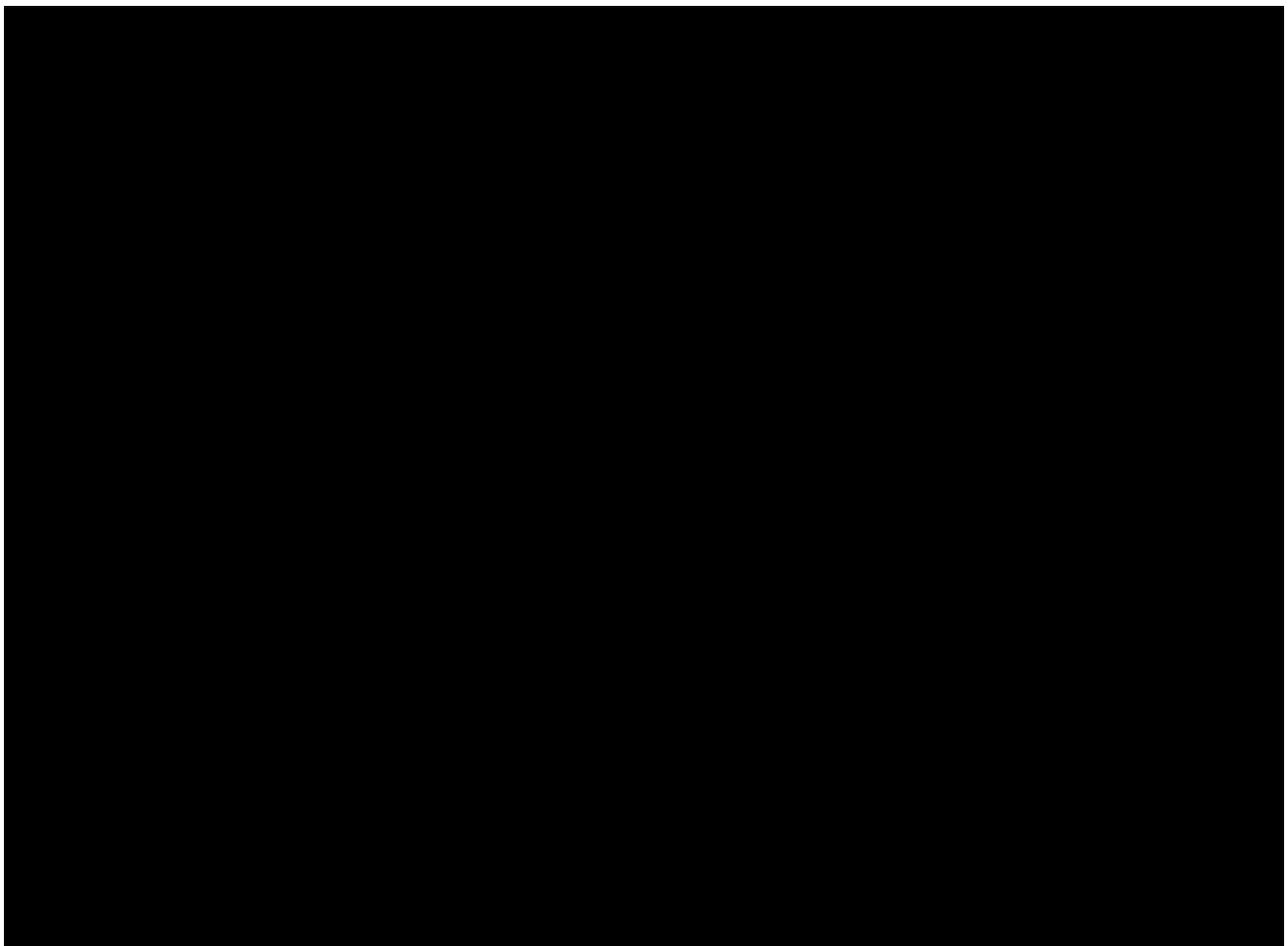
¹⁹ De 200 a 250 °C, se obtiene un yeso con ligero residuo de agua, con fraguado muy lento y buena resistencia. De 250 a 400 °C, se obtiene un yeso de fraguado aparentemente rápido, pero con resistencia casi nula. De 400 a 700 °C, conseguida la deshidratación total, se forma el yeso anhidro CaSO₄ (denominado **anhidrita**), de fraguado casi nulo. De 750 a 800 °C, empieza a formarse el yeso hidráulico. De 800 a 1000 °C, se obtiene el yeso hidráulico normal o de pavimento. De 1.000 a 1.400 °C, el producto es yeso hidráulico con mayor proporción de cal libre y fraguado más rápido.

²⁰ Berná Serna, J. M. (2013). *Evolución de las propiedades mecánicas de los morteros aditivados de yeso con vermiculita*. (Tesis Doctoral).

fraguado, mejorar otras propiedades como la viscosidad, porosidad, color, resistencia mecánica y otras o aumentar la cohesión intercrystalina mediante la adición de fibras, disminuyendo la relación A/E (agua/escayola).

Una vez que ha terminado el fraguado de la pasta, se procede a la extracción de las piezas de sus moldes. Las piezas desmoldadas aún húmedas son conducidas a una etapa de secado. Tras este secado, el material final es almacenado en silos o ensacado, filmado, paletizado y almacenado hasta su posterior expedición en función del destino que vaya a tener. **Es en esta fase donde se genera el residuo de producción objeto de la declaración de subproducto.**

En el siguiente esquema se presentan las tres fases que tienen lugar en la industria del yeso, desde la extracción del mineral en cantera, la producción del yeso de construcción/escayola y la de la fabricación de los artículos o elementos de yeso derivados, descritos anteriormente. Adicionalmente y para contextualizar el residuo de producción en este sector, se indican tanto las etapas en las que se genera como aquella en la que pretende emplearse.



2.1.1.2 Materias primas empleadas

Como materias primas²¹ para la fabricación del yeso de construcción/escayola (SH) y tal y como se expone en el informe justificativo, se pueden emplear tres tipos de yeso (DH). No obstante, en el informe justificativo únicamente se hace referencia al empleo de yeso natural como materia prima.

Tabla 2.1.1.2-1. Materias primas para la fabricación de yeso de construcción.

Componente	Descripción
Yeso natural	Se encuentra en la naturaleza, y se extrae directamente de las canteras (DH)
Yeso sintético	Incluye el yeso de desulfuración (procede de la desulfuración de los gases de combustión de las centrales térmicas, fosfoyeso, fluoranhidrita y otros)
Yeso reciclado	Procede del reciclaje de los residuos del yeso (en base a determinadas especificaciones)

Yeso natural

Según bibliografía consultada²², cuando se habla del yeso natural como mineral, se hace referencia a la evaporita, una roca de origen sedimentario (que incluye halita, yeso, anhidrita, dolomita y sales de potasio), resultado de la evaporación de las sales disueltas en agua de mar o en lagos salados en la era geológica secundaria o terciaria, que precipitan formando depósitos sedimentarios.

Este mineral natural está constituido principalmente por sulfato de calcio con dos moléculas de agua ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y difieren en su grado de pureza, color y estructura según su historia geológica. Dependiendo del yacimiento, la pureza varía entre el 75 y el 95%, siendo el resto otros minerales generalmente inertes como arcillas, arenas, anhidritas, dolomitas y calizas, que hacen que su color generalmente blanquecino varíe, adquiriendo tonalidades amarillas, rojizas, castañas, azul grisáceas, rosas o amarillentas.

En la siguiente tabla se presenta la composición típica del yeso natural:

Tabla 2.1.1.2.-2. Composición yeso natural²³.

Mineral	Componente	Proporción (%)
Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	CaO	32,6
	SO ₃	46,5
	H ₂ O	20,9

²¹ Jiménez Rivero, A.; de Guzmán Báez, A.; Rodríguez Quijano, M., García Navarro, J. (2015). Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria, giSCI-UPM, Universidad Politécnica de Madrid. *Resumen del inventario de prácticas actuales relacionadas con el reciclaje de productos de yeso en Europa.* (<https://blogs.upm.es/gisci/wp-content/uploads/sites/15/2014/05/GtoG-Resumen-Ejecutivo.pdf>)

²² Domínguez, A., & Villanueva, L. (2018). *Manual del yeso.*

²³ Subsecretaría de Minería. *Perfil de mercado del yeso.* (2017). [PERFIL DEL YESO \(www.gob.mx\)](http://www.gob.mx)

Yeso sintético

El tipo de yeso sintético más común se trata principalmente de un residuo de producción procedente de la desulfuración de los gases de combustión de las centrales térmicas (yeso FGD). Según bibliografía consultada²⁴, hasta mediados de los años 80 la mayoría del yeso empleado en la Unión Europea era yeso natural extraído de las canteras. Desde entonces, el yeso sintético ha adquirido mucha importancia dentro de la industria del yeso. Se produce en la mayoría de los países de Europa Occidental, y alrededor de la mitad de la producción proviene de Alemania.

El yeso FGD es un material húmedo en forma de polvo de grano fino, con una pureza >95%²⁵, considerablemente más alta que la de la mayoría de los yesos naturales (típicamente del 80 %), siendo el resto principalmente carbonato de calcio sin reaccionar y trazas de cenizas volantes de los gases de combustión como impurezas.

Las diferencias entre la composición química y el contenido de materiales traza del yeso natural y del FGD son pequeñas²⁶ y el tamaño de grano homogéneo de los cristales de FGD, proporciona una ventaja técnica para la producción de muchos productos a base de yeso en comparación con el yeso natural.

Además, debido a su pureza extremadamente alta, puede mezclarse con yeso de menor calidad (yeso natural o reciclado de baja pureza), lo que hace que sea aprovechable para la fabricación de productos de yeso, un material que de otro modo se consideraría inadecuado.

Aparte de la desulfuración de gases de combustión, existen otros procesos industriales que generan yeso como residuo de producción, a través de la neutralización de los efluentes ácidos con cal o piedra caliza. La idoneidad potencial y el uso de estos tipos de yeso sintético para aplicaciones de fabricación específicas dependen en gran medida de la calidad (impurezas, estructura, consistencia, etc.), así como de cuestiones financieras, si bien cabe señalar que las cantidades de estos "yesos sintéticos" utilizados son escasas en comparación con el yeso FGD.

²⁴ Jiménez Rivero, A.; de Guzmán Báez, A.; Rodríguez Quijano, M., García Navarro, J. (2015). Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria, giSCI-UPM, Universidad Politécnica de Madrid. *Resumen del inventario de prácticas actuales relacionadas con el reciclaje de productos de yeso en Europa.* (<https://blogs.upm.es/gisci/wp-content/uploads/sites/15/2014/05/GtoG-Resumen-Ejecutivo.pdf>)

²⁵ Eurogypsum (2015). *Life+ GTOG: From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. DB4: Report on Production Process Parameters.*

²⁶ Gomis Yagües V. Universidad de Alicante. (sin fecha). *El yeso.* (<https://diq.ua.es/yeso/introduccion.htm>)

En la página web se puede consultar la composición química de algunos sulfatos cálcicos. (<https://diq.ua.es/yeso/sintetico.htm> ; <https://diq.ua.es/yeso/economicos.htm>)

██ en España las plantas de producción de yeso de construcción no utilizan la tecnología que permite incorporar el desulfoyeso en los procesos de fabricación.

Yeso reciclado

El conocido como “yeso reciclado” se deriva de los residuos de yeso (placas de yeso, bloques de yeso, yeso, etc.) generados en el proceso de fabricación y en los lugares de trabajo de construcción y demolición/deconstrucción. Se produce mediante el procesamiento controlado de estos residuos para separar el yeso, papel y cualquier contaminante, de forma que pueda ser utilizado como sustituto del yeso natural o sintético. Este tipo de yeso no es objeto de la presente solicitud de declaración de subproducto al tratarse de residuos de yeso y no de residuos de producción de yeso.

El yeso reciclado se obtiene tras el tratamiento de los residuos de yeso, eliminando los contaminantes a través de procesos mecánicos que incluyen el triturado y tamizado en equipos especializados. Las fuentes de residuos de yeso incluyen:

- Residuos de fabricación o residuos pre-consumo: resultado del material rechazado y fuera de especificaciones generados durante la fabricación de los productos de yeso.
- Residuos de construcción de yeso en edificios: proviene de los residuos de paneles de yeso no instalados durante la construcción de edificios. Este residuo se considera limpio, libre de contaminación y consiste principalmente en recortes de placas de yeso cuando se han cortado para adaptarse a las dimensiones de la pared o el techo.
- Residuos de yeso post-consumo: se generan cuando se retiran los paneles y las paredes durante la demolición o reforma de un edificio. Este residuo tiene mayor probabilidad de presentar un cierto grado de contaminación.

El “yeso reciclado” suele presentarse en forma de polvo fino o arenoso, o como material de tipo árido fino. Actualmente, los requisitos de calidad para el yeso reciclado están definidos por especificaciones nacionales que se han emitido en algunos países europeos, o por acuerdos comerciales individuales entre fabricantes y recicladores, siendo este último caso el mayoritario.

Según bibliografía consultada²⁷, pese a que el yeso es un material completamente reciclable al permanecer su composición química inalterable, siendo uno de los pocos materiales de la construcción donde es posible el reciclaje de “circuito cerrado”²⁸, en la actualidad la mayoría de los residuos de yeso son eliminados en vertedero.

²⁷ CEDEX. (2010). *Ficha Técnica. Residuos de Construcción y Demolición*.

²⁸ Circuito cerrado: reciclaje del material para el mismo fin

2.1.1.3 Artículos o productos a base de yeso

La mayor parte de la producción de yeso como material de construcción se comercializa como²⁹:

- **Productos en polvo:** se suministran bien a granel o en sacos: yesos, escayolas, perlita, etc.
- **Prefabricados de yeso o escayola:** paneles, placas para techos, molduras y otros elementos decorativos y placas de yeso laminado (PYL), que son soluciones en «seco» para tabiquería, trasdosados y falsos techos.

1. Productos en polvo

Los productos de yeso en polvo se emplean principalmente como material de revestimiento, en los que el yeso se queda integrado en diversos elementos constructivos del edificio, básicamente en los destinados a delimitación y compartimentación de espacios, como los cerramientos y tabiques, y en los de carácter estructural, como los forjados.

Existen varios tipos de yeso en polvo: los yesos tradicionales que se aplican manualmente (se distinguen el yeso grueso, yeso controlado, yeso fino y yeso aligerado, cada uno de los cuales se emplean para una aplicación determinada), yesos de proyección mecánica, yesos especiales de terminación, yesos de protección pasiva, yesos de alta dureza y la escayola.

2. Prefabricados de yeso o escayola

Los prefabricados de yeso/escayola se utilizan para trasdosados, tabiquería interior, techos continuos y desmontables, suelos flotantes y para protección al fuego de pilares; en la prevención y protección contra incendios de viviendas en general. Las materias primas que se utilizan en la producción de los prefabricados son el yeso de construcción o la escayola, siendo generalizado el uso de la fibra de vidrio. Según ATEDY se incluyen en este grupo:

a) Placas de techo continuo y registrable.

Las placas de techo están constituidas fundamentalmente por escayola, y se aditivan con fibra de vidrio³⁰ en un porcentaje comprendido entre el 0,15 % y 0,5%, que le confiere características mecánicas a la placa.

²⁹ ATEDY. [ATEDY Polvo | Atedy. Consultado el día 14 de marzo de 2022](#)

³⁰ Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia. (sin fecha). *Manual de Instalación de techos fijos de escayola.*

ATEDY (Asociación Técnica y Empresarial del Yeso). [ATEDY Prefabricados | Atedy](#)

L. Rivero Fernández Dpto. I+D/Calidad. Yesos Ibéricos, S.A. Grupo Uralita. (2007). *Fabricación de productos de base yeso y sus aplicaciones industriales* <http://boletines.secv.es/upload/199736591.pdf>

b) Placa de yeso natural para tabiques, trasdosados y techos.

Son placas con base de yeso natural, fibra de vidrio como refuerzo estructural y otros aditivos inorgánicos, que carece de cartón en su composición, [REDACTED]. Por definición, estos materiales tienen características técnicas superiores a los empleados actualmente para los sistemas de tabiquería seca que presentan una base de cartón yeso. Este nuevo concepto de placa mejora las prestaciones con menos cantidad de material. En el sistema se aplica pasta en las juntas creando una superficie de yeso, sin necesidad de usar papel.

La escayola utilizada normalmente para la fabricación de placas es de alta calidad, ya que posee un alto índice de pureza. Es un material 100% mineral, natural, totalmente inerte, incombustible y regulador higrotérmico. Esta última característica permite mantener un nivel de humedad relativa constante, absorbiéndola o desprendiéndola, conservando el ambiente en los niveles óptimos.

c) Paneles de escayola para tabiques

Son elementos prefabricados que tienen un espesor igual o superior a 5 cm, que tienen sus superficies lisas, y que están destinados a la realización de tabiquerías de paramentos no portantes interiores en edificios, protección contra el fuego de elementos, etc. y que están unidos entre sí mediante adhesivos de base yeso o escayola.

d) Elementos de decoración

Algunos de los elementos de decoración realizados con yeso o escayola son: soluciones perimetrales, librerías, columnas, baquetones, florones, chimeneas, ménsulas, apliques y vigas, pilastras y capiteles y otros (paneles modulares para tabiques).

e) Placas de yeso laminado³¹

Es un material básico de construcción que se fabrica mediante un proceso de laminación continua, de tal manera que cumpla las características específicas marcadas en la norma *UNE-EN 520:2005 Placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo* y que se presenta en forma de placas rectangulares de textura lisa y con espesores y dimensiones variables. Se emplean en techos suspendidos, para protección pasiva frente a incendios o en techos en zonas húmedas, techos acústicos, decorativos, en suelos y en aplicaciones especiales.

Las placas consisten en un alma de yeso íntimamente ligado a dos láminas superficiales de celulosa multihoja. Prácticamente el 91% de la placa es yeso, un 7% cartón y el resto son aditivos u otras sustancias inertes que

³¹ ATEDY. Sección placa de yeso laminado. (2001). *Sistemas constructivos con placas de yeso laminado*.

acompañan al yeso desde su origen³². Por tanto, la placa de yeso ³³es el tipo de producto de yeso más complejo, que requiere el mayor nivel de procesamiento y fabricación.

Las placas de yeso se fabrican en un proceso de dos pasos. Las etapas genéricas del primer paso incluyen el procesamiento previo de la materia prima de yeso (reducción de tamaño y secado previo según el tipo y las propiedades de la materia prima), seguido del proceso térmico de calcinación. El producto intermedio es **estuco**, una forma de yeso parcialmente deshidratado, que luego se mezcla con agua y aditivos para formar la lechada de yeso.

En el segundo paso, la lechada se alimenta a la línea de tableros donde se encierra entre dos capas de papel fuerte especial y fragua gradualmente mientras se transporta a lo largo de la línea a una velocidad apropiada. Una vez fraguado, la longitud continua de la placa de yeso se corta en placas individuales de tamaño uniforme, que se transportan a través de un gran secador multizona para eliminar el exceso de agua libre y salir como producto terminado.

Para su fabricación se admite la utilización de distintos aditivos (reguladores de fraguado, espumógenos, endurecedores, etc.) y agregados (fibras minerales, vegetales, etc.), con el fin de facilitar su proceso de fabricación o para conseguir placas con determinadas propiedades mejoradas.

2.1.2 Tipo de residuo de producción y características fisicoquímicas

- **Residuo de producción:** Residuo de yeso con trazas de fibra de vidrio (DH + fibra de vidrio).

Según el informe justificativo, los residuos de yeso para los que se solicita la declaración como subproducto son **restos de yeso con fibra de vidrio** generados en el proceso de fabricación de artículos o piezas de yeso/escayola debido a errores en la mezcla, piezas rotas y defectuosas durante el proceso de fraguado y de la extracción del molde, por secado defectuoso de la pieza o por diferencia térmica, por rotura de piezas y materiales durante el transporte y en el envasado y paletización por incidencias en el envasado.

- **Código LER:** 17 08 02. "Materiales de construcción a partir de yeso distintos de los especificados en el código 17 08 01*".

Según el solicitante, de acuerdo con la *Decisión de la Comisión de 18 de diciembre de 2014 por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE, sobre la lista de residuos, de conformidad con la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*, los residuos de yeso generados en todas las fases del proceso productivo se gestionan con este código LER.

³² Fernandez Casado, S. (2010). *Reciclaje interno de los residuos en las fábricas. Reutilización del yeso reciclado para la fabricación de placas de yeso laminado. Comunicación técnica. CONAMA 10 CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. España.*

³³ Eurogypsum (2013). *Life+ GTOG: From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. DA1: Inventory of Current Practices.*

- **Cantidad anual generada (t/año):** Según indica el informe justificativo, la cantidad anual **estimada de residuo de producción** (DH + fibra de vidrio) que se espera **gestionar como subproducto** es de 26.653 toneladas. [REDACTED] este valor se obtiene teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- o Los datos de la extracción de yeso natural en España en el año 2015, datos ofrecidos por Estadística Minera de España, fueron de 7.403.767 toneladas. Del total de yeso natural (DH) crudo extraído, aproximadamente un 50% es consumido en el país y un 50% es exportado, datos consolidados del año 2011 del Instituto Geológico Minero de España.
- o De la totalidad del yeso consumido en el país, un 80% es empleado como yeso de construcción, escayola, tabiques y paneles, que supone un valor de 2.961.506 toneladas para el año 2015.
- o Del total de yeso consumido en el país destinado a productos afines, se estima producir de residuo de producción, un 1% de la cantidad total de yeso (DH) consumida en cualquier planta (Fuente ATEDY), que supone una cantidad a nivel nacional de 29.615 toneladas.
- o De esta cantidad de residuo generado a nivel nacional, se estima que en torno al 90% sería recuperable plenamente en función de las condiciones de recuperación que se indican en el informe justificativo, resultando un valor de **26.653 toneladas** al año de residuo de producción en el territorio nacional.

- **Caracterización:**

Según la información facilitada, el residuo de producción es el resultado de una mezcla de los siguientes componentes: **sulfato cálcico dihidratado (DH)**, **agua** y **fibra de vidrio**. Además, el solicitante indica que puede contener una serie de **impropios** en un porcentaje inferior al 0,1 % en peso total del residuo, como restos de papel, cartón y plásticos no peligrosos.

- o **Sulfato Cálcico Dihidratado (DH):** pasta de yeso generada durante el proceso de fabricación de artículos de yeso de construcción/escayola, tras fraguar la lechada de cal obtenida por hidratación del sulfato cálcico semihidrato (SH) producido previamente por calcinación del mineral de yeso (DH).
- o **Agua:** Agua de amasado necesaria para la hidratación del yeso de construcción o escayola (sulfato cálcico semihidrato).
- o **Fibra de vidrio:** se utiliza en la mezcla (yeso/escayola y agua) en una concentración que puede variar del 0 al 1% en peso de la pieza seca, como un elemento que otorga resistencia y dureza a la pieza y que es incorporada como un compuesto química y biológicamente inerte en la mezcla.

En la actualidad, la fibra de vidrio se añade en pequeñas cantidades en placas de escayola con aplicaciones en falsos techos, en bloques de escayola y en placas de yeso laminado para protección contra el fuego, con la intención de evitar, mediante el cosido por las fibras, que los fragmentos en que pudieran romperse estos elementos, por efecto del fuego o de algún

impacto, se desprendan. Están formadas fundamentalmente por sílice, que se asocia a diversos óxidos alcalinos y alcalinotérreos como cal, alúmina y magnesita³⁴.

- Impropios: restos de papel, cartón y plásticos no peligrosos en un porcentaje inferior al 0,1 % en peso total del residuo.

En respuesta al requerimiento realizado, el solicitante aclara que el origen de estos impropios se encuentra en la **etapa de envasado de la pieza o artículo de yeso (DH+fibra de vidrio) y no en el proceso de producción de la pieza en sentido estricto**. En concreto, estos impropios serían el resultado de la retirada del envoltorio protector de piezas o artículos ya envasados para su expedición, pero que, por motivos de rotura u otros, no pueden ser comercializados.

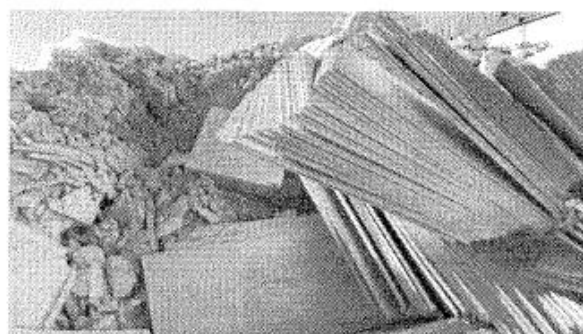
Aunque se pretende que el fabricante de los artículos de yeso elimine el envoltorio de las piezas rotas que forman parte del residuo de producción, durante este proceso de desempaquetado puede haber incidencias, motivo por el cual [REDACTED] estima una presencia de impropios en un porcentaje inferior al 0,1% en peso total del residuo (DH+fibra de vidrio) según las observaciones realizadas.

³⁴del Río Merino, M., Olivares, F. H., & Almenara, P. C. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la E.T.S.A.M. y el equipo de viviendas de bajo coste del Instituto Eduardo Torroja. (2004). *Estado del arte sobre el comportamiento físico-mecánico de la escayola reforzada con fibras de vidrio E. Informes de la Construcción, 56(493), 33-37.*

Imagen 2.1.2-1. Fotografías del residuo de producción para el que se solicita la declaración de subproducto.



Residuos de yeso de todo el proceso



Residuos de yeso de todo el proceso



Residuos de yeso de todo el proceso



Residuos de yeso de todo el proceso

- **Composición:**

Según la información facilitada en el informe justificativo, dadas las características del proceso de fabricación de artículos de yeso/escayola, no se produce ninguna interacción química entre los componentes del residuo de producción que haga suponer un cambio en las propiedades químicas originales, ni de la fibra de vidrio, ni del sulfato cálcico dihidrato (DH), ni tampoco del sulfato cálcico semihidrato (SH) de partida.

Para comprobar esta consideración se ha consultado un estudio³⁵ en el que se lleva a cabo un análisis de la composición de la matriz de escayola y de las fibras de vidrio incorporadas y se compara con la muestra de escayola sin fibras y de los hilos de las fibras antes de incorporarse a la matriz, con el fin de conocer las posibles modificaciones producidas por la unión de dichas fibras a la matriz de escayola.

Según los resultados obtenidos, la matriz de escayola se ve modificada de forma leve en su contenido de azufre y calcio, lo que no representa un cambio sustancial en su composición mineralógica.

³⁵ Romaniaga Piñeiro S. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. (2016). *Refuerzo de la escayola mediante fibras de lana mineral procedentes del reciclaje de RCD.*

En el caso de las fibras, presentan modificaciones importantes en el contenido en silicio, calcio, carbono y azufre, que indica que el análisis comparativo de las fibras no es representativo de la fibra pura, puesto que se adhiere gran cantidad de yeso a las mismas distorsionando los resultados. No obstante, se concluye que la mineralogía de la matriz de escayola no presenta cambios con respecto a la muestra de referencia (yeso).

En consecuencia, presenta las mismas propiedades que el yeso natural (sulfato cálcico dihidrato), material al que pretende sustituir parcialmente, pero con cierto contenido de fibra de vidrio, que únicamente otorga resistencia y dureza a la pieza final.

Es por ello que el solicitante expone que habiendo definido el proceso de obtención del residuo de producción, no es necesario aportar un informe analítico por entidad acreditada independiente que permita identificar otras propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes a las presentadas por los componentes del residuo, que se pueden consultar en las pertinentes fichas de datos de seguridad (FDS) para las sustancias sulfato cálcico dihidrato y semihidrato, o en la hoja de instrucciones de la fibra de vidrio, facilitadas en la solicitud.

En la siguiente tabla se resumen las propiedades físicas y químicas presentadas en las FDS del sulfato cálcico dihidrato (DH) y del semihidrato (SH) que son idénticas al tratarse de la misma sustancia, pero con diferente contenido en agua.

Tabla 2.1.2-1. Propiedades físicas y químicas del sulfato cálcico dihidrato y semihidrato (FDS). 2018.

Propiedad	Descripción
Estado físico	Sólido, polvo cristalino granulado
Color	De blanco a gris
Olor	Neutro
pH	Alrededor de 6 en solución acuosa
Punto de fusión	1.450°C
Densidad (g/cm ³)	2,96
Solubilidad en agua (20°C en g/l)	2,1-2,3

Para la fibra de vidrio de filamento continuo, se aporta una hoja de instrucciones desarrollada por el proveedor European Owens Corning Fiberglas SPRL, con fecha de revisión del año 2015 y cuyas propiedades se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.1.2-2. Propiedades de la fibra de vidrio de filamento continuo. Hoja de instrucciones 2015.

Propiedad	Descripción
Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Temperatura de reblandecimiento	>800°C
Temperatura de fusión	No se aplica
Temperatura de descomposición	Sizing y ligante comienzan a descomponerse a 200°C

Propiedad	Descripción
Gravedad específica (vidrio fundido)	2,6 (agua=1)
Solubilidad en agua	insoluble

Además de esta información, se indica que estos materiales no son inflamables y no facilitan la combustión, y que son artículos conforme al REACH. Están compuestos de fibra de vidrio, a la cual se le ha dado una forma específica (filamento) y una dimensión particular (diámetro); por lo que no se requiere una ficha de datos de seguridad (FDS).

Según bibliografía consultada³⁶, este tipo de fibras son largas y rectilíneas, de diámetros más gruesos que otros tipos de fibras de vidrio artificiales (entre 4 y 25 micras) y más o menos uniformes. Según ██████████³⁷, la fibra de vidrio está formada por vidrio hilado con diámetros entre 12 y 24 micras, que son recubiertos con un ensimaje³⁸ que permite al conjunto una cierta elasticidad sin que se rompa o corte. Estos hilos se unen en bloques que se llaman cabos. A su vez los cabos se unen en bloques llamados ovillos y por último los ovillos enrollados entre sí constituyen una bobina.

- **Registro REACH:**

En el anexo IV del informe justificativo se aporta un informe técnico desarrollado en el año 2018 ██████████, según el cual, dado que durante el proceso de producción de artículos de yeso no se produce interacción entre la fibra de vidrio y el yeso de construcción o escayola (SH) durante la hidratación de éste con agua para formar dihidrato de nuevo, se puede concluir **que el residuo de producción generado en esta etapa no va más allá de una mezcla de materiales, que no precisa de REACH propio.**

Según el informe técnico, esto se deriva de las definiciones de “sustancia” y de “mezcla” del art. 3 del *Reglamento (CE) Nº 1907/2006, de 18 de diciembre de 2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH)*, y de las obligaciones derivadas de los art. 5 y 6 en cuanto a la necesidad de registrar sólo “sustancias como tales o en

³⁶ Pietropaoli, A., Basti, F., Veiga-Álvarez, Á., & Maqueda-Blasco, J. (2015). Manejo de la fibra de vidrio en entorno laboral, potenciales efectos sobre la salud y medidas de control (Revisión). *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 61(240), 393-414.

³⁷ Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia. (sin fecha). *Manual de Instalación de techos fijos de escayola*.

³⁸ Mezcla de productos químicos aplicada sobre hilos de vidrio con una proporción máxima del 2%. La mayoría son polímeros de alto peso molecular, aunque en parte también hay compuestos que pertenecen a la familia de los organosilanos en proporción inferior al 1%

forma de mezclas³⁹, lo cual no es necesario porque **no se genera ninguna sustancia o mezcla diferente de las de partida que precise REACH**, según las consideraciones dadas anteriormente.

Pese a lo anteriormente expuesto, se señala la obligación legal de que para el residuo de producción se definan sus características químicas, biológicas y medioambientales para incluir en su ficha de datos de seguridad y su etiquetado según el Reglamento CLP⁴⁰, para la seguridad de su uso, manipulación y almacenamiento. El fabricante es quien tiene la potestad y la obligación, bien con datos propios o a través de una entidad externa, de emitir la hoja de seguridad del producto y establecer su etiquetado.

Asimismo, en el informe técnico se aporta información sobre la situación regulatoria de cada una de las sustancias que componen el residuo de producción en relación con el REACH y que deberán cumplir los fabricantes de yeso de construcción/escayola:

Tabla 2.1.2-3. Situación regulatoria del yeso respecto al REACH facilitada por el solicitante.

Componente	Nº CAS	Nº REGISTRO REACH
Sulfato cálcico dihidratado (DH)	10101-41-4	Excluido de REACH por su inclusión en el Anexo V, apartado 7
Sulfato cálcico semihidrato (SH)	10034-76-1	01-2119444918-26-XXX ⁴¹
Agua	7789-20-0	No aplica
Fibra de vidrio	65997-17-3	01-2119990048-30-XXXX ⁴²

El **yeso natural (sulfato cálcico dihidrato)** está excluido del REACH por su inclusión en el apartado 7 del Anexo V, que establece que: *“Las siguientes sustancias que existen en la naturaleza, cuando no se hayan modificado químicamente: **minerales**, menas, concentrados de menas, clínker de cemento, gas natural, gas licuado de petróleo, condensados de gas natural, gases de proceso y sus componentes, petróleo crudo, carbón, coque.”*

El **sulfato cálcico dihidrato (DH) producido al añadir agua sobre el semihidrato (SH) para formar la pasta de yeso**, experimenta un cambio físico y químico que da origen a todo el proceso de fabricación de los artículos de yeso o escayola al producirse una reacción química de hidratación. En este caso,

³⁹ Agencia Europea de Sustancias Químicas. (2016). *Documento de orientación sobre el registro Versión 3.0 Noviembre de 2016*. Según el *Documento de orientación sobre el registro* elaborado por la ECHA, las obligaciones de registro se aplican a las sustancias consideradas individualmente, con independencia de que se encuentren como tales, en forma de mezcla, o en un artículo. Según lo anterior, únicamente se tienen que registrar conforme al REACH las sustancias, y no las mezclas ni los artículos.

⁴⁰ Reglamento (CE) Nº 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) nº 1907/2006.

⁴¹ ECHA. <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/15878/1/2>

⁴² ECHA. <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/15936> Según lo indicado en el dossier, en la actualidad únicamente se dispone de un registrador activo, con número de registro [REDACTED].

al producirse una transformación química, se entiende que **no podría acogerse a la exención** del apartado 7 del Anexo V indicada en la tabla, aunque gran parte del agua incorporada se perderá en el proceso de secado de las piezas de yeso.

Sin embargo, a su vez, el apartado 6 del Anexo V del REACH excluye a los: *Hidratos de una sustancia o iones hidratados, formados como consecuencia de la asociación de una sustancia con agua, siempre y cuando el fabricante o importador haya recurrido a esta excepción para registrar dicha sustancia.*

En el Documento de orientación para el Anexo V⁴³, elaborado por la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA) se señala que es importante tener en cuenta lo siguiente:

- El fabricante o el importador que se basa en esta exención **registra la sustancia en la forma anhidra**. Se recomienda hacer referencia a las formas hidratadas en el expediente de registro.
- Las empresas que cambien el estado de hidratación de una sustancia (es decir, que cambien el número de moléculas de agua asociadas a la sustancia) se considerarán usuarios intermedios siempre que la forma anhidra de la sustancia haya sido registrada por el fabricante o el importador en la cadena de suministro. Estos procesos de hidratación o de secado se deben incluir en cualquier escenario de exposición aplicable en el registro por parte del fabricante o el importador.
- Un registrante que desee acogerse a la exención debe agregar las cantidades de la forma anhidra y las distintas formas hidratadas en su expediente técnico (pero excluyendo el agua que se asocia a la molécula parental).

EMGRISA ha revisado el dossier de registro⁴⁴ de la forma anhidra del sulfato cálcico, identificándose que varias compañías españolas de fabricación de yeso disponen de su correspondiente número de registro específico para el sulfato cálcico anhidro generado en sus instalaciones.

2.1.3 Proceso productivo en el que se genera

Según se describe en el documento justificativo, el residuo de producción se genera en el proceso de fabricación de **piezas y artículos de yeso/escayola con trazas de fibra de vidrio**, tales como:

- Placas de escayola aligerada y reforzada para falsos techos continuos y desmontables
- Paneles de yeso para la ejecución de tabiques
- Productos para la decoración en escayola y yeso laminado

⁴³ ECHA. (2012). Documento de orientación para el Anexo V. Exenciones al registro obligatorio.

⁴⁴ ECHA. <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/15878>

Proceso de fabricación de artículos de yeso/escayola

El yeso de construcción o escayola en polvo (semihidrato SH) generado por calcinación del yeso natural (DH) en las instalaciones de fabricación de yeso/escayola, es recibido y almacenado en silos para su utilización en el proceso de fabricación de artículos de yeso.

Preparación de la pasta

En esta etapa tiene lugar la hidratación del polvo de yeso de construcción/escayola (semihidrato SH) para formar la pasta de yeso que, según el informe justificativo, se prepara en una tolva amasadora o equivalente que mezcla el semihidrato (SH), el agua y la fibra de vidrio previamente cortada.

Las diferentes proporciones de la mezcla varían en función del tipo de pieza que se desee producir. En términos generales, la relación de agua y sulfato cálcico semihidrato es de $\frac{1}{2}$, añadiendo la fibra de vidrio en una proporción que variará dependiendo de la pieza que se fabrique, pero siempre en un porcentaje menor del 1% en peso de fibra por kilogramo de escayola.

En esta fase se pueden obtener **mezclas no aptas** debido a errores en la mezcla que son considerados una fuente más del residuo de producción objeto de este estudio.

El solicitante aclara que la adición de fibra de vidrio se realiza para otorgar cierto nivel de resistencia a la pieza acabada, por lo que se hace sobre unos mínimos de calidad y cualquier adición extra de la fibra lo único que producirá es más resistencia, que favorecerá la pieza final. En este sentido en una de las referencias consultadas anteriormente citada⁴⁵, en la que se llevó a cabo la caracterización de distintas mezclas de escayola con fibra de vidrio, se menciona que pueden incorporarse valores de fibra de vidrio en la escayola superiores al 4%.

La incorporación de fibras en el interior de la escayola mantiene unida la matriz y transmite los esfuerzos por adherencia a las fibras, lo que aumenta su resistencia a la flexión. Además, existe un aumento de la cohesión intercrystalina. Al disminuir la porosidad interna aumenta la superficie de contacto entre los agregados cristalinos de la escayola, ya que las fibras rellenan los huecos intersticiales entre las partículas de escayola, elevando las resistencias mecánicas.

Dosificación en moldes y fraguado

Inmediatamente después de la mezcla, se lleva a cabo la dosificación en moldes, que varía dependiendo de la forma y función que se pretenda obtener de la pieza de yeso final.

Según el informe justificativo, el proceso de fraguado en moldes puede durar alrededor de veinte minutos, para posteriormente desprender de estos la pieza húmeda y fraguada.

⁴⁵ Romaniega Piñeiro S. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. (2016). *Refuerzo de la escayola mediante fibras de lana mineral procedentes del reciclaje de RCD*.

En esta etapa se obtienen **restos de rebabas, piezas rotas y piezas defectuosas**, considerándose en todos los casos residuos de producción de yeso.

Extracción del molde

Según el solicitante, la pasta fraguada se extrae del molde que la contiene mediante un proceso físico, produciéndose **roturas o descartes de piezas defectuosas**, las cuales se consideran también residuos de yeso.

Secado

Seguidamente, se procede al secado de las piezas, que se puede llevar a cabo de forma natural, con una duración de entre dos y siete días dependiendo de las condiciones meteorológicas o se puede disponer de un horno de secado por aire caliente, que facilita la operación, reduciéndose el tiempo de secado de uno a dos días.

En este proceso se pueden obtener residuos de yeso correspondientes a un **secado defectuoso de la pieza, roturas por transporte o por diferencia térmica**, etc.

Envasado y paletización de los artículos de yeso

Se trata de una fase industrial de envasado y logística interna. Tras el proceso de secado, se produce el desapilado de los materiales de yeso que se depositan sobre la línea de empaquetado y plastificado. Por último, los paquetes se almacenan a la espera de su transporte.

La generación de residuo de producción en esta etapa está relacionada con incidencias en el envasado o con una incorrecta logística de los bultos y, por tanto, **rotura de piezas y materiales**, generándose residuos de yeso, que pueden contener otros residuos procedentes del envasado tales como plásticos, cartón y papel, tal y como se indica en la respuesta al requerimiento.

Acondicionamiento del residuo de producción

El residuo de producción (DH+fibra de vidrio) contiene un nivel de humedad variable debido a que se produce en diferentes fases del proceso de fabricación de artículos de yeso/escayola, por lo que previamente a su gestión y con el fin de reducir el peso del residuo, habitualmente se procede a su secado natural sobre solera o en tolvas de residuos no peligrosos en las instalaciones del fabricante. No obstante, el solicitante aclara que la humedad ocluida en la pasta no es un parámetro crítico para su posible reutilización en las etapas de molienda y calcinación en horno posteriores en el proceso de fabricación de yeso de construcción/escayola.

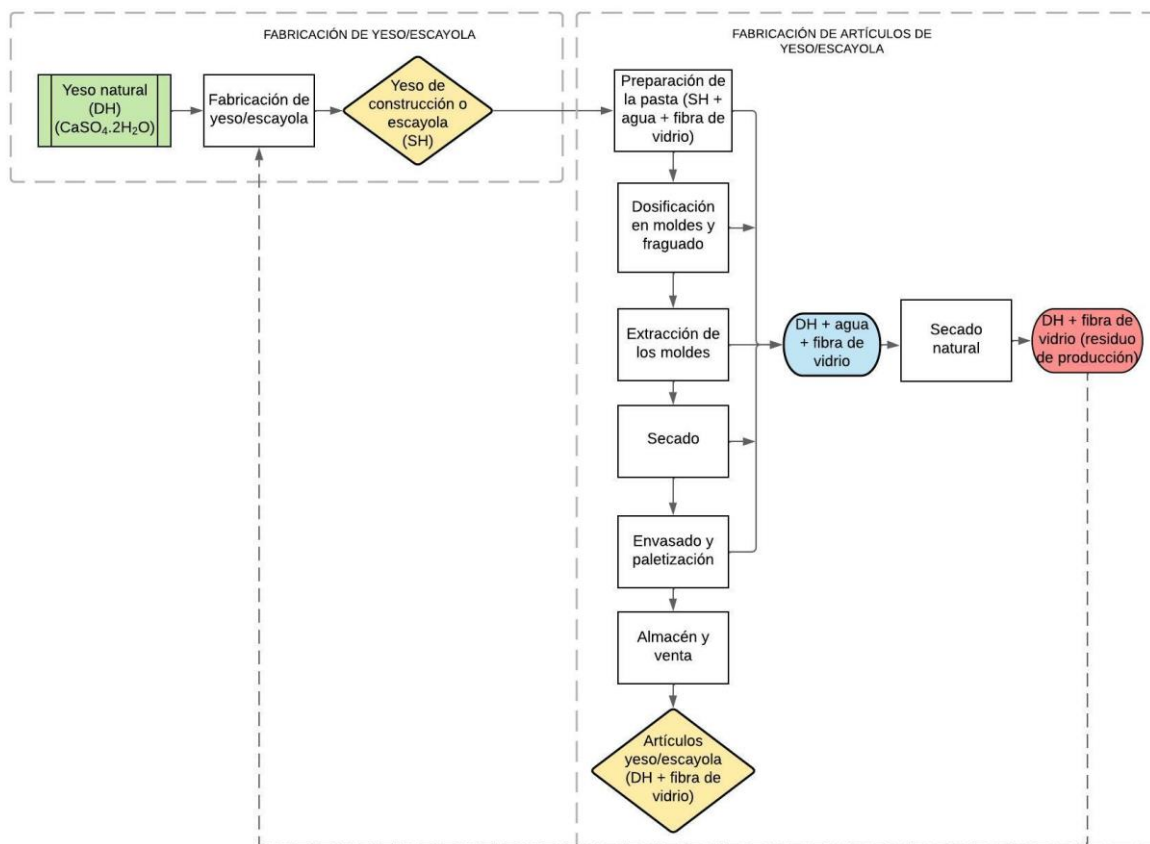
No existe un periodo de secado definido, pero se estima que, con un secado a temperatura ambiente, el residuo necesita entre 2-7 días para poder ser gestionado, dependiendo de la climatología de la zona. Tras el secado de las piezas se procede a su envasado, almacenamiento y expedición.

Por otra parte, se aclara que no es necesaria la existencia de una cubierta protectora, ya que el residuo de producción generado es inerte a la acción del agua a los pocos minutos de haberse elaborado la pasta de yeso, no produciéndose arrastres por acción de la lluvia u otros elementos climatológicos.

Pese a lo indicado por el solicitante, y como se ha explicado para el yeso mineral, EMGRISA entiende que lo más recomendable sería almacenarlo bajo cubierta, con objeto de no incrementar la humedad y evitar una etapa de presecado posterior, que requeriría mayor consumo de energía para reducir el contenido en agua presente a niveles normales.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de fabricación de artículos y piezas de yeso de construcción/escayola, proceso en el que se genera el residuo de producción objeto de la solicitud de declaración de subproducto:

Imagen 2.1.3-1. Proceso productivo de fabricación de artículos de yeso/escayola.



2.1.4 Destino actual del residuo

Según el solicitante, aunque depende de la ubicación y autorización de cada gestor final del residuo, mayoritariamente el residuo de producción de yeso (DH+fibra de vidrio) se está destinando a su eliminación en vertederos de residuos inertes y no peligrosos debido a las restricciones existentes para su reutilización como material de relleno en la construcción. Esto es así por la inestabilidad física de éste a medio y largo plazo, ya que puede generar sulfuro de hidrógeno gas.

Debido a su consideración como residuo no peligroso y a la ausencia de restricciones relacionadas con el transporte de esta mercancía, actualmente el residuo de producción es transportado en contenedores y camiones bañera hasta su destino final. El residuo de producción se protege mediante toldo o lona como medida preventiva para evitar la generación de polvo o desprendimiento de la carga.

2.1.5 Consideraciones ambientales y de salud humana

Según se indica en el informe justificativo, no se produce interacción química entre los componentes del residuo: fibra de vidrio y sulfato cálcico dihidrato (formado por hidratación del semihidrato), por lo que se le puede asociar las mismas características químicas, biológicas y medioambientales que las de los materiales originales de forma individual, que se detallan en las fichas de datos de seguridad (FDS) facilitadas y cuyo contenido se resume a continuación.

- Sulfato Cálcico dihidratado (DH) (Mineral de yeso) y Sulfato Cálcico semihidratado (SH) (Escayola E-35):

En ambas fichas de datos de seguridad, se indica que estas sustancias no están clasificadas como peligrosas de acuerdo con el *Reglamento 1272/2008, de 16 de diciembre*⁴⁶; así como lo establecido en la *Directiva 67/548/CEE, de 27 de junio*⁴⁷. Con respecto a los peligros potenciales, se indica que no existen riesgos notables, ya que las sustancias no producen efectos adversos al medio ambiente ni a la salud humana, si bien, puede producirse una gran cantidad de polvo durante su pulverización en seco.

- Fibra de vidrio

Según la hoja de instrucciones aportada, se trata de un material no peligroso, no irritante y no carcinógeno conforme al *Reglamento 1272/2008, de 16 de diciembre*; aunque respecto a los peligros potenciales se indica que puede ocasionar prurito temporal de la piel y las membranas mucosas, debido al efecto de abrasión mecánica de las fibras, así como por exposición al polvo y las fibras (inhalación). No obstante, la Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que la fibra de vidrio de filamento continuo no es respirable, ya que tiene un diámetro mayor a tres micras.

Por otra parte, en el informe justificativo se señala que el impacto ambiental de la declaración del residuo como subproducto se estimará positivo debido a que se reducirá la cantidad de yeso extraído en la minería/canteras, se disminuirá el impacto en la gestión del residuo y se establecerá un **ciclo de vida cerrado** para el residuo de producción una vez haya sido declarado subproducto.

⁴⁶ *Reglamento (CE) nº 1272/2008, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.*

⁴⁷ *Directiva 67/548/CEE del Consejo, de 27 de junio de 1967, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas.*

2.2 MATERIA PRIMA A LA QUE SUSTITUYE Y PROCESO EN EL QUE SE UTILIZA

2.2.1 Materia prima sustituida

Según se indica en la solicitud, en caso de que el residuo de producción (DH+ fibra de vidrio) se declare subproducto, se podrá emplear junto con la materia prima de yeso natural procedente de cantera (DH natural), en la fabricación de yeso de construcción/escayola (SH) con trazas de fibra de vidrio, mediante su incorporación en una proporción entre el 15-20% de residuo en peso total de la mezcla.

En la respuesta al primer requerimiento se explica que este porcentaje se ha estimado tras la realización de ensayos en empresas productoras de yeso de construcción (SH) [REDACTED] que podrían incorporar el residuo de producción en su proceso y cuyos resultados se detallan en un apartado posterior.

2.2.2 Proceso en el que se va a emplear el residuo de producción

Según el informe justificativo, una vez recibido el residuo de producción (DH+fibra de vidrio) en las instalaciones del fabricante de yeso de construcción/escayola (SH), se procedería a su aprovechamiento a través del proceso de molienda y deshidratación en horno rotativo, tal y como se hace con la materia prima de origen natural (DH) proveniente de la cantera, de acuerdo con el proceso descrito en el apartado 2.1.1 del presente estudio.

A continuación, se detallan las etapas que tienen lugar en las instalaciones de fabricación de yeso de construcción/escayola, señalando cuándo y cómo se incorpora el residuo de producción en el proceso:

Tamizado o cribado de las materias primas

Según el solicitante, en las instalaciones de fabricación de yeso de construcción o escayola (SH) se pretende acopiar el residuo de producción (DH+fibra de vidrio) de forma separada, para ir incorporándolo en la siguiente etapa junto con la materia prima de cantera (DH natural) en una proporción entre el 15 y el 20% de residuo en peso total de la mezcla.

No obstante, previamente a su mezcla con el yeso natural (DH), el residuo de producción deberá ser tamizado o cribado para la eliminación de restos impropios que proceden del envoltorio protector de piezas o artículos ya envasados para su expedición, pero que por motivos de rotura no pudieron ser comercializados y no han sido retirados adecuadamente en la instalación de fabricación de artículos de yeso donde se genera el residuo.

En la respuesta al primer requerimiento, [REDACTED] argumenta que este proceso de acondicionamiento previo sería similar a la etapa de tamizado primario que suele tener lugar en las plantas de fabricación de yeso/escayola para eliminar impropios que puede tener el mineral de yeso, como restos vegetales y otros materiales de la mina. Es por ello por lo que consideran que el acondicionamiento realizado cuando se emplea residuo de producción es similar al llevado a cabo exclusivamente con materia prima virgen (yeso natural).

Mezcla

La mezcla de materia prima virgen procedente de la cantera (yeso natural DH) y el residuo de producción (DH+ fibra de vidrio) procedente de la fabricación de artículos de yeso/escayola, tiene lugar en la tolva de acopio primario en las proporciones previstas (entre el 15-20% de residuo en peso total de la mezcla).

Trituración primaria

En esta fase, se realiza la trituración de las materias primas (DH natural + DH residuo con fibra de vidrio), para homogenizar el tamaño de partícula de la mezcla. Posteriormente se procede a su almacenamiento en silos específicos.

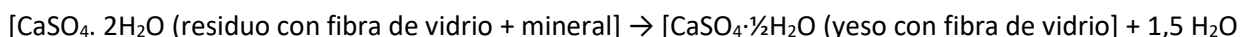
Trituración o molienda secundaria

Tras la primera molienda, se lleva a cabo una segunda molienda o proceso de trituración más específico para conseguir un determinado tamaño de partícula adecuado para el tratamiento térmico.

Calcinación o cocción

la deshidratación tiene lugar en un horno rotatorio⁴⁸, que está particularmente indicado para la calcinación de la piedra de aljez, con tamaños comprendidos entre 0-25 mm.

En esta fase se produce la deshidratación de la mezcla de yeso natural y residuo de producción en las proporciones previstas, para obtener yeso de construcción/escayola con fibra de vidrio incorporada (SH + fibra de vidrio), mediante el aumento de la temperatura hasta 170-180°C durante 1 h. Según el informe justificativo, tanto los tiempos como las temperaturas podrán variar en función de las características del equipo. La reacción de deshidratación que tiene lugar es la siguiente:



Molienda y afino

A continuación, el material de yeso deshidratado (SH) con fibra de vidrio se muele para obtener el polvo de yeso de construcción o escayola. Esta molienda se realiza con el fin de adecuar la granulometría para la fabricación de los diferentes tipos de yesos de construcción. Una vez generado el yeso de construcción o escayola con el tamaño deseado, se procede a su almacenamiento para su expedición a granel o envasado.

Transporte

El transporte del yeso de construcción/escayola así obtenido (SH+ fibra de vidrio) desde los fabricantes de yeso/escayola hasta los consumidores (fabricantes de artículos de yeso), se podrá realizar en vehículos cisterna para sólidos (silos de transporte por carretera) tal y como ocurre actualmente con el yeso de construcción/escayola de origen natural; e incluso se prevé la posibilidad de realizar su transporte mediante su envasado en sacos para otras actividades relacionadas con la fabricación de piezas de yeso. No existen

⁴⁸ Gomis Yagües V. Universidad de Alicante. (sin fecha). *El yeso*. (<https://diq.ua.es/yeso/introduccion.htm>)

restricciones específicas para el transporte del yeso de construcción/escayola elaborado a partir del residuo de producción.

Finalmente, en la respuesta al requerimiento realizado, el solicitante indica que las instalaciones de fabricantes de yeso de construcción o escayola (SH) ██████████ no presentan diferencias sustanciales en el proceso productivo a partir de yeso mineral, por lo que el residuo de producción (DH+fibra de vidrio) sería **apto para su aprovechamiento en todas las instalaciones de fabricación de yeso/escayola.**

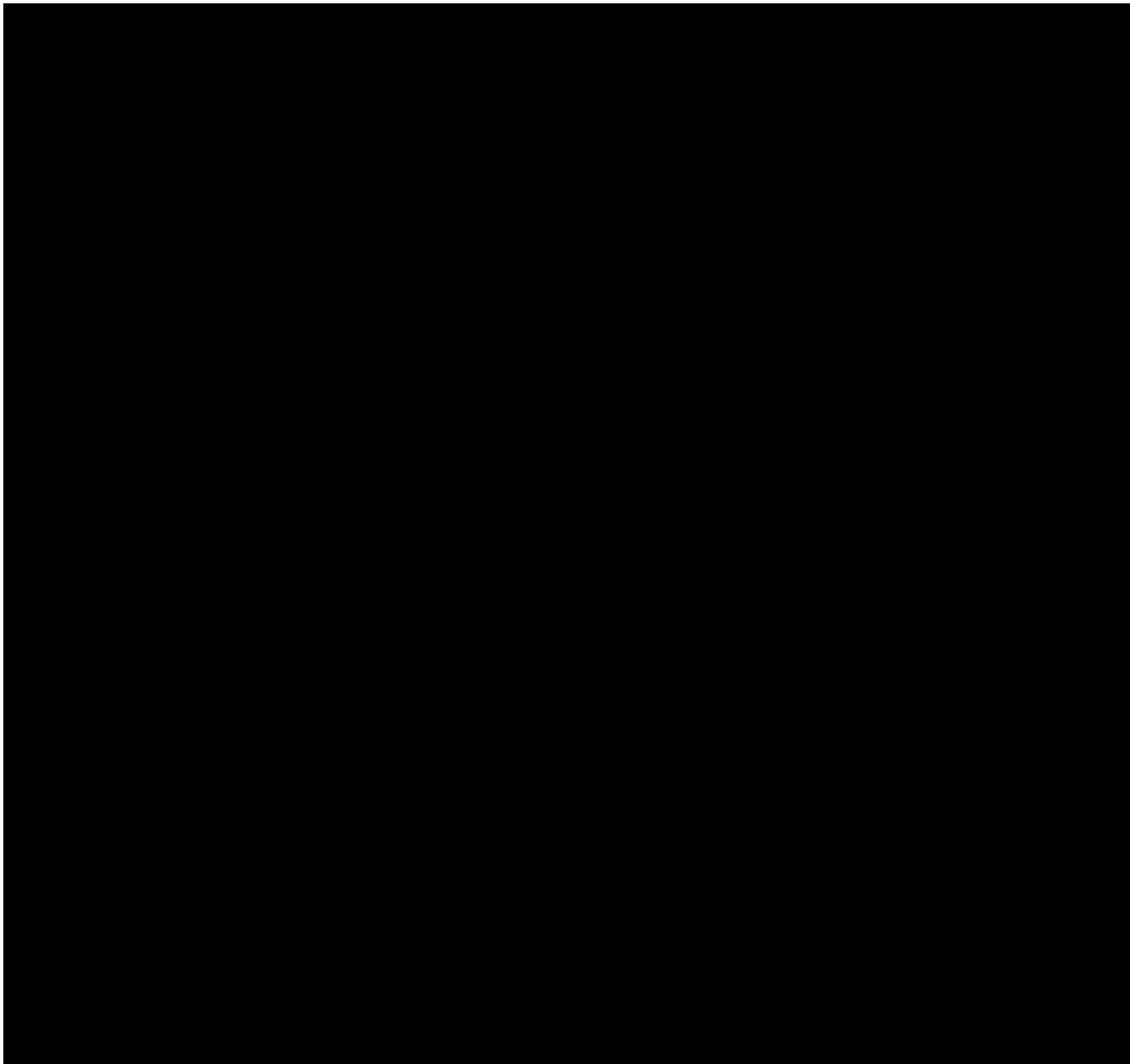
En todo caso, ██████████ la empleabilidad del residuo de yeso (DH+fibra de vidrio) en cualquier instalación de fabricación de yeso de construcción o escayola, es asumible siempre que el yeso de construcción o escayola⁴⁹ obtenido (SH con fibra de vidrio) cumpla las especificaciones de las normas o estándares que les resultan aplicables.

Por otra parte, indican que el material de yeso o escayola (SH+fibra de vidrio) obtenido con un 20% de residuo de producción (DH+fibra de vidrio) podrá ser empleado incluso en aquellos fabricantes de piezas o artículos de yeso (DH) que no incorporan fibra de vidrio en su proceso productivo, ya que ██████████ *“la adición de fibra de vidrio se realiza para otorgar cierto nivel de resistencia a la pieza acabada, por lo que la adición se hace sobre unos mínimos de calidad y cualquier adición extra de la fibra lo único que producirá es más resistencia, lo cual favorecerá la pieza final.”*

Al igual que antes, ██████████ la empleabilidad del yeso de construcción o escayola obtenido con residuo de producción en cualquier instalación de fabricación de piezas o artículos de yeso es posible siempre que cumpla con las especificaciones establecidas en las normas UNE-EN aplicables, que se detallan en el apartado de requisitos normativos del presente estudio.

En la siguiente imagen se presenta el diagrama de flujo del proceso de fabricación del yeso de construcción/escayola (SH) en el que pretende ser empleado el residuo de producción (DH+ fibra de vidrio) generado en el proceso de fabricación de artículos de yeso que, a su vez, es el proceso al que se destina el material de yeso o escayola con fibra de vidrio obtenido empleando un 20% de residuo de producción, constituyendo un ciclo cerrado.

⁴⁹ Como se explica en el apartado de requisitos normativos, únicamente el yeso de construcción o escayola obtenido tras la deshidratación del mineral de yeso deberá cumplir normas de producto.



2.2.3 Requisitos normativos o estándares

Según lo indicado en el informe justificativo, la materia prima sustituida (mineral de yeso) no debe cumplir ninguna normativa específica al tratarse de yeso natural, sin embargo, el **yeso de construcción o escayola** obtenido tras la deshidratación del mineral de yeso deberá cumplir las siguientes normas:

- a) *Reglamento Europeo de Productos de Construcción (UE) nº 305/2011, de 9 de marzo*⁵⁰.
- b) *Norma UNE-EN 13279-1:2009. Yesos de construcción y conglomerados a base de yeso para la construcción. Parte 1*
- c) *Norma UNE-EN 13279-2:2014. Yesos de construcción y conglomerados a base de yeso para la construcción. Parte 2: Métodos de ensayo.*
- d) *Norma UNE 102011:2013. Escayolas para la construcción. Especificaciones.*

Estas normas también serán aplicables al material de yeso de construcción o escayola elaborado con un 20% de residuo de producción.

a) Reglamento Europeo de Productos de Construcción (UE) N°305/2011

El *Reglamento (UE) N° 305/2011* fija las condiciones para la introducción en el mercado o comercialización de los productos de construcción, estableciendo reglas armonizadas sobre cómo expresar las prestaciones de los productos de construcción en relación con sus características esenciales y sobre el uso del marcado CE en dichos productos.

Según lo dispuesto en el reglamento, cuando un producto de la construcción esté cubierto por una **norma europea armonizada**, el fabricante deberá emitir una **declaración de prestaciones**⁵¹ cuando dicho producto se introduzca en el mercado. Al emitir la declaración de prestaciones el fabricante asumirá la responsabilidad de la conformidad del producto de construcción con la prestación declarada (art. 4). Cuando un producto de la construcción tiene una declaración de prestaciones, está sujeto a la obligación de la marca CE. Por el contrario, si un fabricante no ha emitido una declaración de prestaciones, no podrá colocar el marcado CE.

El propósito de la marca CE es doble, promover el libre comercio dentro de los EEMM de la UE, así como el aumento de seguridad en el uso de los productos. El marcado CE no es una marca de calidad, sino que certifica que un producto **cumple los requisitos esenciales de salud y seguridad de los productos de la construcción y demás normativas armonizadas de la UE**. Los contenidos específicos de la marca CE dependen, por tanto, de la aplicación o el producto y se especifican en las normas pertinentes.

⁵⁰*Reglamento (UE) 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo.*

⁵¹ Entre otros aspectos, una declaración de prestaciones deberá contener la siguiente información:

- referencia del producto;
- sistemas de evaluación y verificación de la coherencia del rendimiento del producto;
- referencia de la norma armonizada aplicable o de la Evaluación Técnica Europea;
- uso o usos previstos del producto;
- rendimiento declarado basado en la evaluación según la norma armonizada aplicable o la Evaluación Técnica Europea.

Según [REDACTED], este reglamento aplica a la mayoría de los productos de yeso, que deben exhibir el marcado CE y ofrecer la declaración de prestaciones. Los requisitos para poder exhibir el marcado CE se encuentran frecuentemente especificados en el Anexo ZA de las correspondientes normas europeas armonizadas⁵².

Asimismo, [REDACTED] indica que la normativa española de los productos de yeso es una normativa armonizada, europea y que se ha consensuado en el seno del Comité Europeo de Normalización CEN TC 241, siendo UNE el representante de España. El comité espejo español de este CEN TC 241 es el Comité Técnico de Normalización CTN 102 de UNE, que se encarga de normalizar los yesos y productos de yeso en sus aspectos de definiciones, clasificación, especificaciones, métodos de ensayo y control de calidad. ATEDY es responsable de la secretaría del CTN 102 Yeso y producto a base de yeso.

b) Norma UNE-EN 13279 Yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción.

Esta norma europea especifica las características y las prestaciones del yeso de construcción y de los conglomerantes⁵³ a base de yeso para la construcción y consta de dos partes: Parte 1: Definiciones y especificaciones y Parte 2: Métodos de ensayo.

Se trata de una **norma armonizada**⁵⁴ desde el año 2010, según el Resumen⁵⁵ de referencias de las normas armonizadas publicadas en el Diario Oficial - *Reglamento (UE) nº 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción*. Y, por tanto, es de obligado cumplimiento.

⁵² Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2019). *Guía para la preparación de la documentación a elaborar por el fabricante para el mercado CE y la documentación a emitir por los organismos notificados*. [RPC - Guía marcado CE \(industria.gob.es\)](https://www.industria.gob.es)

⁵³ Conglomerantes: materiales capaces de unir fragmentos de otras sustancias y dar cohesión al conjunto por transformaciones químicas en su masa (fraguado), produciendo nuevos compuestos. Se obtienen a partir de materiales naturales tratados térmicamente (cocción en horno o caldera). Ejemplos: yesos y escayolas, cales y cementos. Se presentan en forma de polvo muy fino y muestran un comportamiento plástico al mezclarse con agua (pasta), que permite su moldeo. En estado fresco (pasta) pueden adherirse a otros materiales (áridos) constituyendo materiales compuestos conglomerados (mortero, hormigón) Una vez fraguados se endurecen (adquieren resistencia y rigidez) y el proceso es irreversible. Forman estructuras cristalinas y presentan fractura frágil. Según su naturaleza, se distinguen:

- Yesos y escayolas: constituidos por sulfato cálcico.
- Cales: obtenidas por descarbonatación de calizas.
- Cementos: constituidos por silicatos y aluminatos cálcicos deshidratados.

⁵⁴ AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. Mercado CE de productos de construcción. [Marcado CE de Productos de construcción | AENOR](https://www.aenor.es) Consultado el día 28 de febrero de 2022.

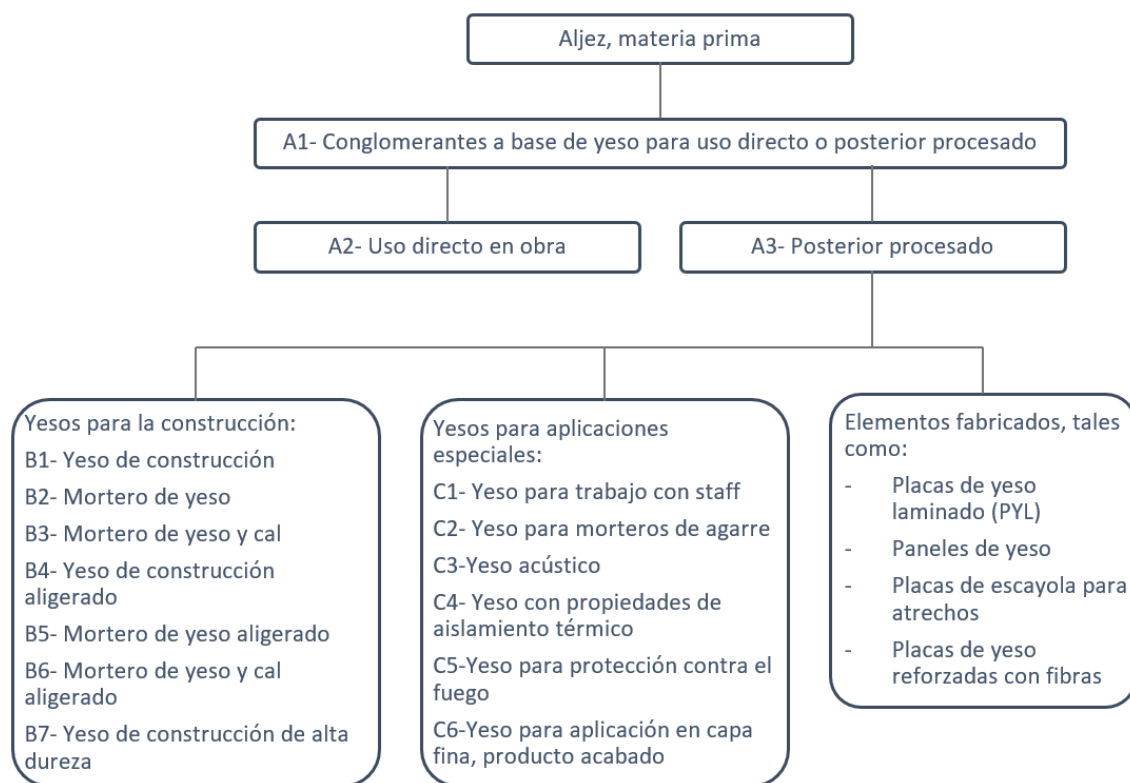
⁵⁵ European Commission. (2019). *Summary of references of harmonised standards published in the Official Journal – Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC* [DocsRoom - European Commission \(europa.eu\)](https://ec.europa.eu/docsroom). Consultado el 14 de abril de 2022.

En la respuesta al requerimiento se indica que la norma UNE-EN 13279-1 y su cumplimiento permiten realizar por el fabricante de yeso de construcción/escayola (SH) una autodeclaración CE del producto y a su vez dar cumplimiento a los requisitos del Reglamento Europeo de Productos de la Construcción (UE).

- o Norma UNE-EN 13279-1:2009. Definiciones y especificaciones

En la norma UNE- EN 13279-1:2009, entre otros aspectos, se definen las familias de yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción reguladas por esta norma, que se presentan en la siguiente imagen:

Figura 2.2.3-1. Familia de yesos de construcción y conglomerantes.



Según la norma, los conglomerantes a base de yeso (A) pueden obtenerse por calcinación de sulfato cálcico dihidrato $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y están constituidos por sulfato de calcio en sus varias fases de hidratación, por ejemplo, semihidrato $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ y anhidrita CaSO_4 . Cuando se mezcla con agua, el conglomerante a base de yeso se emplea para sujetar partículas sólidas formando una masa coherente mediante un proceso de fraguado.

El solicitante explica que, según el esquema de la norma, los conglomerantes a base de yeso tipo A pueden ser destinados para su empleo directo en la obra o para su posterior procesado, contemplando los yesos para la construcción (categoría B), los yesos para aplicaciones especiales (categoría C) y los elementos prefabricados, utilizados como materia prima para la fabricación de paneles de yeso, placas de yeso laminado, placas de yeso reforzadas con fibras y placas para techos.

Estos productos están especialmente formulados para cumplir sus especificaciones de uso mediante el empleo de aditivos, adiciones, agregados y otros conglomerantes.

En la parte 5 de la norma se establecen las especificaciones que deberá cumplir cada una de las familias de yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción.

- Norma UNE-EN 13279-2. Métodos de ensayo

En esta segunda parte de la norma, se describen los métodos de ensayo de referencia para determinar las características técnicas de todas las familias de yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso y proporciona los criterios para la evaluación de la conformidad del producto con respecto a la misma.

c) Norma UNE 102011:2013: Escayolas para la construcción. Especificaciones.

La norma UNE 102011:2013 es de carácter nacional y su cumplimiento es **voluntario y complementario** a los ensayos de la norma UNE-EN 13279-1 para la comercialización de este tipo de productos de la construcción. Tiene por objeto establecer las definiciones, aplicaciones, designaciones y características de las escayolas de construcción.

En la siguiente tabla se establece la correspondencia entre las categorías de la norma UNE EN 13279 y la norma UNE española 102011:

Tabla 2.2.3-2. Correspondencia entre las familias de yesos de construcción y conglomerantes.

Designación	Descripción categorías NORMA UNE EN 13279	Descripción categorías NORMA UNE 102-011
Conglomerantes a base de yeso		
A	Conglomerante a base de yeso (uso directo o para su transformación: productos en polvo, secos; para empleo directo en obra, etc.)	YP: Yeso de prefabricados E 30: Escayola E 30/L: Escayola lenta E 35: Escayola E35/L: Escayola lenta
Yesos para construcción		
B1	Yeso de construcción	YG: yeso grueso de construcción YG/L: yeso grueso de construcción lento YPM: yeso grueso de proyección mecánica
B2	Mortero de yeso	-
B3	Mortero de yeso y cal	-
B4	Yeso de construcción aligerado	YA: yeso aligerado manual YPM/A: yeso aligerado de proyección
B5	Mortero aligerado de yeso	-
B6	Mortero aligerado de yeso y cal	-
B7	Yeso de construcción de alta dureza	YD: yeso de alta dureza manual YPM/D: yeso de alta dureza de proyección
Yesos para aplicaciones especiales		
C1	Yeso para trabajos con yeso fibroso	-
C2	Yeso para morteros de agarre	-

Designación	Descripción categorías NORMA UNE EN 13279	Descripción categorías NORMA UNE 102-011
C3	Yeso acústico	-
C4	Yeso con propiedades de aislamiento térmico	-
C5	Yesos para protección contra el fuego	-
C6	Yesos para su aplicación en capa fina	YF: yeso fino de construcción lento YF/L: yeso fino de construcción lento YE/T: yeso de terminación

Los productos dentro del campo de aplicación de esta norma, a efectos de marcado CE, deben cumplir lo especificado al respecto en la norma UNE-EN 13279-1 ya que son, en todo caso, “conglomerantes a base de yeso tipo A”, tal y como se puede ver en el esquema que proporciona la norma.

En el informe justificativo, [REDACTED] adjunta un certificado de compromiso según el cual, dada la viabilidad del empleo del residuo de producción en el proceso de fabricación de yeso/escayola (mediante molienda y tratamiento térmico), queda demostrada la viabilidad del aprovechamiento del yeso de construcción/escayola (SH + fibra de vidrio) producido a partir de la mezcla de mineral de yeso con residuo de producción (DH + fibra de vidrio) para la fabricación de piezas y elementos de yeso.

Tras requerir [REDACTED] estudios o ensayos que permitiesen comprobar el cumplimiento de los requisitos de producto, se adjunta un informe realizado por [REDACTED], laboratorio acreditado por ENAC para ensayos de control de calidad de productos de la construcción, en el que se muestran los resultados de los ensayos realizados sobre el yeso de construcción/escayola resultante tras la calcinación de la mezcla constituida por yeso natural (80%) con un 20% de residuo (DH+fibra de vidrio) conforme a la norma UNE EN 13279-1 de aplicación.

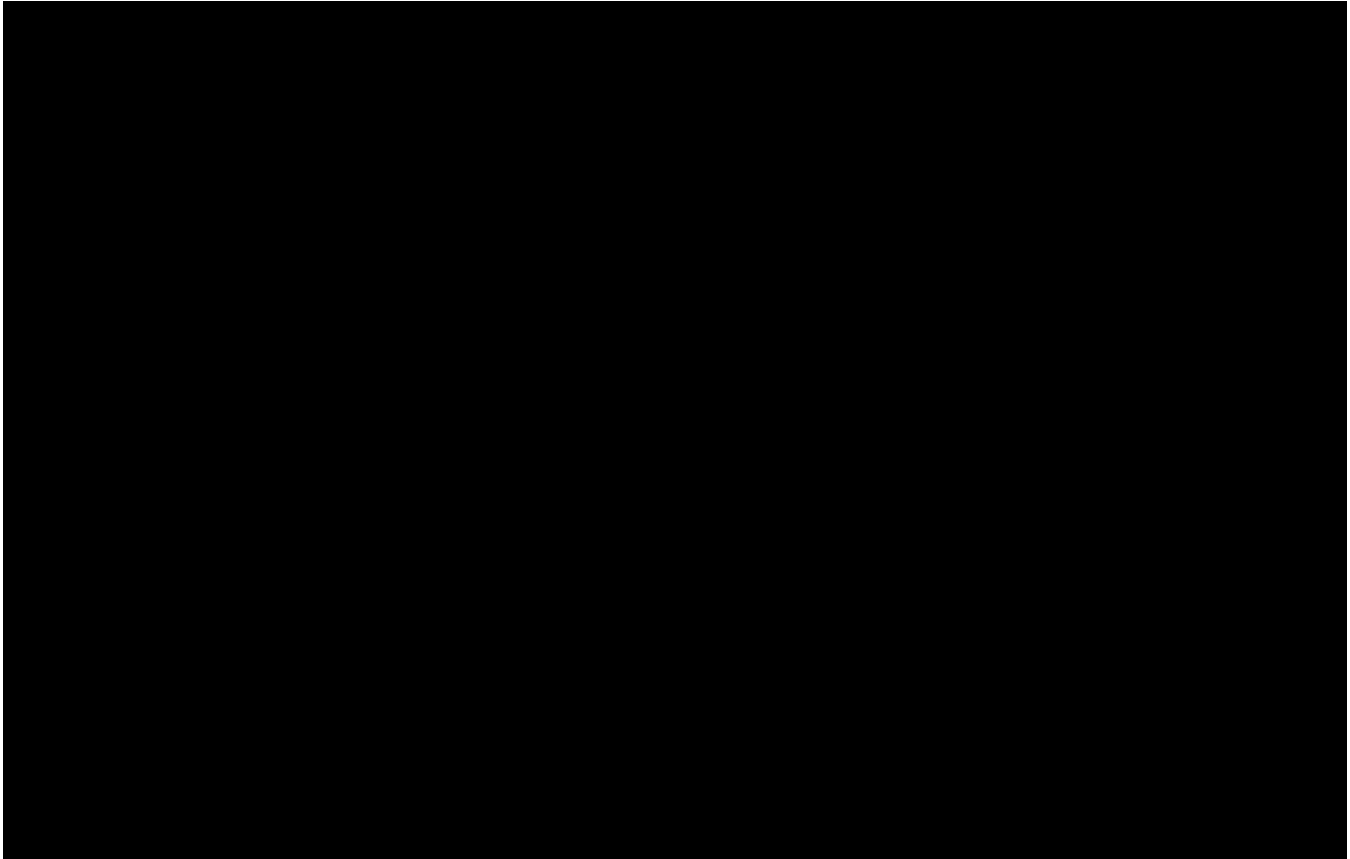
[REDACTED]

Las condiciones de muestreo se presentan en el acta de toma de muestras adjunta en la respuesta al requerimiento, en la que se explica que, para la obtención del material de yeso de construcción o escayola, en función de la capacidad del horno, se mezclaron 5.600 kg de yeso natural (DH) y 1.400 kg de residuo de producción (DH + fibra de vidrio), en una proporción entre el 15-20% de residuo en peso total de la mezcla, pasando previamente por un molino antes de su entrada al horno.

La temperatura del horno alcanza unos 840 °C y la temperatura de descarga del material se realiza cuando se alcanza la temperatura de 166 °C. Tras 1 h en el horno, se procede a hacer la toma de muestra del yeso de construcción o escayola obtenido.

Según el solicitante, los ensayos incluidos en el informe [REDACTED] adjunto para conglomerantes tipo A conforme a la norma UNE-EN 13279-1, son los correspondientes al tipo de escayola E-35, que es el que incluye límites más estrictos de cumplimiento y un mayor número de ensayos de acuerdo con la norma UNE

102011, por lo que señala que se entenderá que el resto de las presentaciones de escayola con presencia de fibra de vidrio cumplirá también especificaciones.



Según los resultados obtenidos en el ensayo, el solicitante concluye que se verifica que el yeso de construcción/escayola (SH + fibra de vidrio) obtenido tras la calcinación de la mezcla formada por un 80% de yeso natural y 20% de residuo (DH+fibra de vidrio), cumple con las especificaciones y ensayos recogidos en las normas UNE-EN 13279-1 y UNE 102011 correspondientes y, por ende, los requisitos para el marcado CE de yesos de construcción y conglomerantes a base yeso para la construcción.

Como ya se ha indicado, en el segundo requerimiento se solicita [REDACTED] aclarar para qué categorías concretas de yesos y conglomerantes a base de yesos quedaría demostrada la viabilidad del material de yeso o escayola elaborado con residuo de producción de acuerdo con los ensayos llevados a cabo en el informe [REDACTED].

[REDACTED] explica que los resultados reflejados en dicho informe corroboran que el yeso de construcción/escayola obtenida a partir de la calcinación de la mezcla formada por yeso natural y residuo de producción, **cumple con las especificaciones de un producto tipo A**, recogidas en el apartado 5.2 en la norma UNE-EN 13279-1 para los conglomerantes de yeso, que únicamente fija como requisito que el contenido en sulfato de calcio debe ser mayor o igual al 50%.

De forma adicional, el informe incluye ensayos complementarios recogidos en la norma española UNE 102011, que tiene carácter voluntario y no reglamentario. Los fabricantes que están en posesión de la marca N de AENOR⁵⁶, marca de carácter voluntario, realizan estos ensayos para proporcionar más información sobre las características de los productos de yeso o escayola. En concreto, se explica que para el yeso de construcción/escayola formada por un 80% de yeso natural y un 20% de residuo (DH+fibra de vidrio), se obtiene un resultado conforme en agua combinada, índice de pureza, finura de molido, resistencia a flexotracción, pH y tiempo de principio de fraguado.

Respecto al cumplimiento de las especificaciones para el resto de las categorías de yeso, [REDACTED] aclara que, conforme al esquema de las familias de yeso de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción de la norma UNE EN 13279, el conglomerante a base yeso tipo A es el **producto base** para fabricar productos tipo B y C. En función del producto deseado, se añade al conglomerante a base yeso tipo A distintos aditivos que confieran las propiedades deseadas.

Es decir, a partir del conglomerante de yeso que emplea residuo de producción (tipo A), se pueden volver a fabricar productos tipo A (como demuestra el informe de ensayo aportado) de igual forma que si se emplea 100% yeso natural. Adicionalmente, se puede emplear como materia prima para fabricar productos tipo B o C, que pueden entenderse como productos derivados del producto A y, por ese motivo, no se han realizado ensayos específicos para las categorías B o C⁵⁷. Los ensayos no realizados como el ensayo de compresión, dureza superficial o dureza shore C sobre soporte, densidad o adherencia, se realizan en productos de yeso premezclados (B) o especiales (C), como indica la UNE-EN 13279-1.

Los fabricantes que elaboren productos de yeso de construcción/escayola tipo B o C a partir del producto tipo A, ya sea a partir de yeso natural (DH) o de la mezcla de 80% de yeso natural + 20% de residuo de producción (DH+fibra de vidrio), deberán realizar los ensayos correspondientes según las especificaciones de la norma, como pueda ser la compresión, dureza o adherencia.

Finalmente, al **material de yeso de construcción o escayola con fibra de vidrio** obtenido por calcinación de la mezcla constituida por yeso natural y residuo de producción en una proporción entre el 15-20% de residuo en peso total de la mezcla, le será aplicable el Reglamento REACH en las mismas condiciones que al yeso de construcción o escayola obtenido en las plantas de fabricación de yeso al que posteriormente se le añade fibra de vidrio en las plantas de fabricación de artículos de yeso. Así mismo, a dicho material le serán aplicables los requisitos establecidos en el Reglamento CLP.

⁵⁶ AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación. <https://www.aenor.com/certificacion/certificacion-de-producto/marca-n/materiales-de-construccion/productos-de-yeso>

2.2.4 Requisitos de calidad

En la respuesta al primer requerimiento, ██████████ no se realiza ningún control de calidad del residuo de producción, ni en las instalaciones de fabricación de piezas o artículos de yeso/escayola en las que se genera ni se prevé tampoco en las plantas receptoras de éste, que son los fabricantes de yeso de construcción/escayola (SH).

██████████ aclara que, teniendo en cuenta que el mineral de yeso (DH natural) también puede contener impuros en forma de restos vegetales y otros materiales de la mina, que son eliminados previamente en cualquier planta de este tipo mediante una etapa de cribado y tamizado, la eliminación de los impuros que pueda contener el residuo de producción está asegurada y, por tanto, no es necesario establecer un control de calidad antes de iniciar el proceso de fabricación de yeso de construcción/escayola.

De forma complementaria a este razonamiento, se señala que actualmente no hay ninguna normativa europea o nacional aplicable que especifique controles de calidad para el mineral de yeso (DH natural) como materia prima en el proceso productivo de yeso de construcción/escayola (SH) a partir de éste.

En todo caso y, como se ha comentado anteriormente, el solicitante concluye que la empleabilidad del residuo de producción (DH+fibra de vidrio) en cualquier instalación de fabricación de yeso de construcción/escayola (SH), es asumible **siempre que el producto de yeso de construcción/escayola obtenida (SH+fibra de vidrio) permita demostrar el cumplimiento de las normas referenciadas**, sin que ello implique controles previos de calidad de la materia prima utilizada.

2.3 TRATAMIENTO DEL RESIDUO EN EL RESTO DE LOS ESTADOS MIEMBROS DE LA UE

En el informe justificativo se incluyeron algunas de las iniciativas más recientes en la UE para fomentar el uso de yeso reciclado, sin hacer referencia a la posible consideración de los residuos de yeso con trazas de fibra de vidrio como subproducto. Tras el requerimiento realizado por el MITERD, ██████████ responde que no se identificaron declaraciones de subproducto o fin de la condición de residuo para el residuo de yeso con trazas de fibra de vidrio en otros Estados miembro de la Unión Europea, aunque sí se identificaron disposiciones de fin de condición de residuo para las placas de yeso laminado (PYL o plasterboard).

2.3.1 Fomento del yeso reciclado

Entre las iniciativas que menciona ██████████, se incluye el Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE⁵⁸ en el que se promueven algunos puntos de interés en relación con el residuo de yeso, señalando los beneficios que supone el reciclaje de los paneles de yeso junto a otros residuos como el hormigón, el vidrio y el asfalto.

Por otra parte, se destaca el proyecto «*De la producción al reciclaje: una economía circular para la industria europea del yeso en colaboración con la industria de la demolición y el reciclaje*», denominado Gypsum-to-

⁵⁸ Comisión Europea. Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE. 2016.

gypsum (GtoG)⁵⁹ subvencionado por el programa LIFE⁶⁰ (LIFE11 ENV/BE/001039) de la UE y que fue puesto en marcha en 2013, agrupando a 17 socios bajo el liderazgo de la asociación europea Eurogypsum.

Este proyecto representa el primer trabajo de recopilación y análisis de datos sobre las prácticas actuales de deconstrucción, reciclaje y reincorporación del yeso reciclado en el proceso productivo de fabricación de yeso, evaluando la información disponible en ocho estados miembros: Bélgica, Francia, Alemania, Grecia, Polonia, España, Países Bajos y Reino Unido.

Uno de los objetivos del proyecto es conseguir incrementar el uso de yeso reciclado⁶¹, procedente tanto de residuos de producción como de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), en el proceso de fabricación de nuevas placas de yeso laminado.

Según lo indicado, en Europa la placa de yeso representa aproximadamente el 65% de las ventas totales de productos de yeso⁶², mientras que el yeso para la construcción es el 35%. Además, todos los países analizados reincorporan placas de yeso laminado en su proceso de fabricación; Países Bajos, Francia, Alemania y Polonia aceptan también los bloques de yeso y Reino Unido, Países Bajos e Italia residuos de yeso en general. Es probable que estos sean algunos de los motivos por los que el proyecto se centra en el reciclaje de placas de yeso laminado y no en otros tipos de yeso.

Debido a que los productos de yeso son indefinidamente y 100% reciclables debido a la química del yeso, pudiendo mantener sus propiedades naturales durante el uso⁶³, es práctica actual en la mayoría de las plantas de fabricación de placas de yeso reincorporar los residuos de producción propia (placas húmedas y secas fuera de especificación) en la producción de nuevas placas de yeso, ya que la prevención de residuos minerales es la prioridad dentro de la jerarquía de residuos. Esto da como resultado una inclusión de hasta el 5% de yeso reciclado en la producción de nuevas placas de yeso laminado.

Además, algunas plantas han comenzado recientemente a introducir el uso de yeso reciclado postconsumo (yeso derivado de residuos a base de yeso de construcción y demolición/deconstrucción) elevando el porcentaje anterior a aproximadamente el 10-15%.

⁵⁹ Eurogypsum. www.gypsumtogypsum.org. Consultado el 14 de noviembre de 2021.

https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=4191

⁶⁰ Eurogypsum. (2015) *Life+ Gypsum to Gypsum (GtoG) project 'From production to recycling: a circular economy for the European Gypsum Industry with the Demolition and Recycling Industry' LIFE11 ENV/BE/001039, FINAL Report Covering the project activities from 01/01/2013 to 31/12/2015.*

⁶¹ En el proyecto GtoG, el término "yeso reciclado" se utiliza para hacer referencia al yeso procedente del tratamiento y procesado de los residuos de PYL, donde el yeso es separado del papel y de los contaminantes presentes, obteniendo un producto de granulometría fina o en forma de polvo.

⁶² Eurogypsum (2013). *Life+ GTOG: From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. DA1: Inventory of Current Practices.*

⁶³ Eurogypsum (2015). *Life+ GTOG: From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. DB4: Report on Production Process Parameters.*

Uno de los retos que aborda el proyecto GtoG es hacer frente a este yeso reciclado postconsumo, un material más complejo y de características variables, concluyendo que es posible reincorporar hasta un 30% de yeso reciclado en las líneas de producción estándar de placas de yeso.

En el proyecto se destacan las contribuciones realizadas por Jiménez-Rivero y García-Navarro⁶⁴ que estimaron que el coste económico y medioambiental del reciclaje de residuos de yeso es inferior al coste de su eliminación en vertedero según los diferentes factores económicos, sociales y medioambientales que fueron analizados. También llevaron a cabo un procedimiento experimental para maximizar el contenido de residuos de yeso en la producción de yeso y placas de yeso⁶⁵.

Pese a lo expuesto, actualmente hay una gran proporción de residuos de yeso que son eliminados en vertedero o se emplean para relleno. Solamente en cinco de los ocho estados miembros analizados en este proyecto, se ha identificado un mercado de yeso reciclado, que son Bélgica, Dinamarca, Francia, Países Bajos y Reino Unido.

El proceso de reciclaje de los residuos de placas de yeso laminado consiste en una serie de procesos mecánicos, basados principalmente en la trituración de las placas de yeso y posterior tamizado para la separación del papel y los posibles contaminantes presentes en el residuo, obteniendo alrededor de un 92% de yeso reciclado, en torno a un 8% de residuo de papel y menos de un 1% de metal⁶⁶.

Cuando la cantidad de residuos de producción que se reincorpora⁶⁷ en el proceso es pequeña en comparación con la totalidad de la materia prima (yeso natural y/o FGD), en muchos casos no es necesario separar el papel del núcleo de yeso. Para cantidades mayores, se considera necesario separar el papel y cartón presente en las placas de la matriz de yeso.

Por otra parte, la reincorporación del yeso reciclado en el proceso de fabricación de PYL, deberá evaluarse en cuanto a su particular idoneidad para la fabricación de placas de yeso, que puede variar en función de la pureza u otros parámetros técnicos y ambientales del material, de manera similar a como se hace con las materias primas habituales (mineral de yeso y sintético FGD) que pueden emplearse en el proceso.

⁶⁴ Jiménez-Rivero, A. García-Navarro, J. (2016). *Indicators to measure the management performance of end-of-life gypsum: from deconstruction to production of recycled gypsum*, Waste and Biomass Valorization.

Jiménez-Rivero, J. García-Navarro. (2017) *Exploring factors influencing post-consumer gypsum recycling and landfilling in the European Union*.

⁶⁵ Jiménez-Rivero, A. García-Navarro J. (2017) *Characterization of quality recycled gypsum and plasterboard with maximized recycled content*.

⁶⁶ Jiménez Rivero, A; de Guzmán Báez, A.; Rodríguez Quijano, M., García Navarro, J. Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria, giSCI-UPM, Universidad Politécnica de Madrid. (2015). *Resumen del Inventario de prácticas actuales relacionadas con el reciclaje de productos de yeso en Europa*.

⁶⁷ Eurogypsum. (2015) *Life+ Gypsum to Gypsum (GtoG) project 'From production to recycling: a circular economy for the European Gypsum Industry with the Demolition and Recycling Industry' LIFE11 ENV/BE/001039, FINAL Report Covering the project activities from 01/01/2013 to 31/12/2015*.

En cualquier caso, el yeso reciclado **se introduce en una mezcla controlada** en el proceso de fabricación **como una sola corriente** y no como corrientes separadas dependiendo de sus fuentes.

Camarini et al⁶⁸. evaluaron los efectos a varias temperaturas (120 °C, 150 °C y 200 °C) y tiempos de calentamiento (1, 2, 5, 8, 16 y 24 h) empleando residuos de yeso como sustituto del yeso natural. Los mejores resultados se obtuvieron cuando el material se calentó a 150 °C y concluyó que el comportamiento mecánico y ambiental de los nuevos materiales de yeso/escayola fabricados a base de residuos de yeso era mejor que el obtenido para el yeso de construcción obtenido con otras fuentes de yeso.

Finalmente, con relación a la calidad que debe alcanzar el yeso reciclado para su reincorporación en el proceso productivo, se señala que cada país dispone de distintas especificaciones, siendo otro de los objetivos del proyecto GtoG el análisis y determinación de criterios de calidad unificados.

En función del análisis realizado, el proyecto presenta una propuesta de criterios que abarca parámetros técnicos y toxicológicos y que está basada en las especificaciones de calidad establecidas para el yeso reciclado en Alemania, Reino Unido, Países Bajos, Bélgica e Italia.

Tabla 2.3.1-1. Propuesta de criterios de calidad técnicos. Proyecto LIFE GtoG.

Parámetro	Valores límite
Tamaño de partícula	0 - 15 mm
Humedad libre	< 10%
Pureza (Sulfato de calcio CaSO ₄ 2H ₂ O)	> 80%
COT	< 1,5% en peso
Sales de magnesio, Solución acuosa.	< 0,1% en peso
Sales de sodio, solución acuosa.	< 0,06% en peso
Sales de potasio	< 0,05% en peso
Solución de Cloruro	< 0,02% en peso
pH	6-9

Según el proyecto GtoG⁶⁹ todos estos parámetros tienen cierta influencia en el proceso de fabricación de placas de yeso laminado. En concreto:

Las variaciones en la distribución del tamaño de partícula de la materia prima pueden afectar a la tasa de calcinación (para tamaños de partícula más gruesos, los tiempos son más elevados en comparación con los tamaños más finos) y, por lo tanto, influye en la eficiencia de calcinación. Es por ello por lo que el tamaño de partícula de yeso reciclado debe estar en línea con la materia prima convencional utilizada por el fabricante.

⁶⁸ Camarini, G. Dos Santos Lima K.D., Pinheiro, S.M (2016). *Investigation on gypsum plaster waste recycling: an eco-friendly material.*

⁶⁹ Jimenez-Rivero, A. García-Navarro J. (2017) *Characterization of quality recycled gypsum and plasterboard with maximized recycled content.*

<https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/2202/2783>

La reincorporación de yeso reciclado con alto contenido de humedad libre puede plantear un problema técnico, ya que el material necesitaría operaciones de secado adicionales, que podrían requerir energía, aumentando los costes.

Las pautas del proyecto GtoG sobre los criterios de calidad de yeso reciclado establecen una pureza mínima del 80 % y el Grupo de Trabajo de Reciclaje de Eurogypsum recomienda un valor de, al menos, el 85 %. Debido a la naturaleza endotérmica de la reacción de calcinación, cuanto mayor sea la pureza, mayor será la demanda de energía térmica, porque la materia prima contiene más agua unida químicamente que debe eliminarse. Sin embargo, la alta pureza de la materia prima es preferible por razones de calidad del producto, principalmente porque da como resultado la producción de placas de yeso de menor peso. Si la pureza del yeso reciclado es compatible con la materia prima convencional ya utilizada, se minimiza cualquier impacto negativo en la calidad del estuco y las placas de yeso, mientras se mantiene el consumo de energía a los niveles estándar.

El COT (Carbono Orgánico Total) varía con el contenido de papel residual en el yeso reciclado. Este residuo de papel proviene del revestimiento en las placas de yeso. Aunque la tecnología existente para el reciclaje de yeso está diseñada para separar el papel del núcleo de yeso, pueden quedar restos de papel en el material reciclado.

Las sales solubles en agua incluyen magnesio, sodio, potasio y cloruro. Estas sales se pueden encontrar en todos los tipos de yeso, por lo que no están particularmente vinculadas al uso de yeso reciclado. Sin embargo, un alto contenido de sales puede deberse a altas cantidades de papel residual.

Los parámetros toxicológicos están relacionados con posibles contaminantes en los residuos de yeso. La siguiente tabla muestra los parámetros relevantes que forman parte de las pautas de GtoG.

Tabla 2.3.1-2. Propuesta de parámetros toxicológicos⁷⁰. Proyecto LIFE GtoG.

Parámetro	Valores límite [mg/kg]	Método de ensayo
As	< 4	DIN EN ISO 11885 Determinación de elementos seleccionados ICP-OES
Be	< 0,7	
Pb	< 22	
Cd	< 0,5	
Cr	< 25	
Co	< 4	
Cu	< 14	
Mn	< 200	
Ni	< 13	

⁷⁰ Los valores de los parámetros toxicológicos que figuran en la Guía de criterios de calidad para el yeso reciclado no deben considerarse como valores límite absolutos, sino como niveles de referencia o advertencia, ya que se derivaron de un estudio sobre yeso natural y sintético que fue establecido por Beckert et al. en 1990. El objetivo principal de este estudio era examinar el impacto en la salud del yeso FGD, utilizado en la industria del yeso, en comparación con el yeso natural.

Parámetro	Valores límite [mg/kg]	Método de ensayo
Se	< 16	
Te	< 0,3	
Tl	< 0,4	
V	< 26	
Zn	< 50	
Hg	< 1,3	DIN EN 1483 AAS-DIN EN 12338- Proceso de Mercurio tras enriquecimiento por fusión DIN ISO 1785 Espectrometría de fluorescencia atómica
Índice Radioactividad	< 0,5	Documento RP 112 (EC)
Amianto	Ninguno	Método de absorbancia atómica y PLM

La frecuencia de los ensayos a realizar debe ser acordada entre el reciclador y el fabricante. En general, se recomienda que los parámetros toxicológicos se analicen mensual o trimestralmente, dependiendo del volumen de polvo reciclado que se suministre. Para los parámetros técnicos se recomienda un control semanal o mensual, aunque algunos parámetros pueden tener que ser ensayados diariamente dependiendo de la ubicación, por ejemplo, la humedad y el cloruro.

2.3.2 Fin de condición de residuo

Protocolo de Calidad de Reino Unido

El Protocolo de Calidad “Quality Protocol for Recycled Gypsum from Waste Plasterboard⁷¹” desarrollado por la Agencia de Medio Ambiente de Reino Unido y el Programa de Acción sobre Residuos y Recursos (WRAP) establece criterios fin de condición de residuo para la producción y el uso de yeso reciclado a partir de residuos de placas de yeso laminado (tanto preconsumo como postconsumo) que han sido recogidos por separado, o clasificados y separados de otros residuos o materiales.

Este protocolo fue desarrollado en 2008, revisado en el año 2013 y actualizado en el año 2015. Es aplicable en Inglaterra, Gales e Irlanda del Norte.

⁷¹ EPA, Agencia Protección Ambiental UK. (2015). *Quality Protocol Recycled gypsum from waste plasterboard End of waste criteria for the production and use of recycled gypsum from waste plasterboard*. [Recycled gypsum from waste plasterboard: quality protocol - GOV.UK \(www.gov.uk\)](http://www.gov.uk)

Su alcance se limita a los residuos de placa de yeso laminado, definidos en la norma BSI BS/NS PAS 109^{72 73}, que define las especificaciones para tres grados de yeso reciclado, los procedimientos de muestreo y los ensayos necesarios para verificar el cumplimiento de las especificaciones.

También establece requisitos para la gestión de la calidad, que abarca especificaciones organizativas, suministro y manipulación de los residuos de yeso para su reciclaje, tratamiento, verificación del material, manipulación, almacenamiento y expedición.

Según la norma, se regula el uso de yeso reciclado para distintas aplicaciones; la fabricación de nuevas placas de yeso, la fabricación de cemento, la fabricación de productos de construcción, la aplicación en suelos (agricultura, medios de cultivo, fertilizantes) e identifica el punto en el que los residuos de yeso pueden considerarse un material no residual que puede ser reutilizado por la industria o suministrado a otros mercados. Para cada aplicación, el material debe cumplir la especificación BSI BS/NS PAS 109.

Asimismo, se establecen los requisitos que deberá cumplir el yeso reciclado para los usos previstos, relacionados con la distribución del tamaño de partícula, contenido de papel residual, pureza, contaminación física y química (metales pesados), así como criterios de aceptabilidad en relación con el color y el olor.

Protocolo de calidad de Irlanda

En junio de 2010 Irlanda notificó a la Comisión Europea un borrador de Protocolo de Calidad (Notificación 2010/350/IRL)⁷⁴, limitando el alcance de la norma a los residuos de placas de yeso y estableciendo los mismos requisitos de calidad para el yeso reciclado que los establecidos en el protocolo de calidad desarrollado en Reino Unido.

Se recibieron diversos comentarios a este borrador, que fueron incorporados en el documento final publicado en 2011⁷⁵. En este documento, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Irlanda, determina que el yeso reciclado de residuos de placa de yeso puede alcanzar el fin de la condición de residuo si cumple los siguientes criterios:

- El proceso de reciclado tendrá que ser realizado y gestionado conforme a la norma BSI BS/NS PAS:109.
- El yeso recuperado debe cumplir los valores límite de metales pesados establecidos en el Protocolo de Calidad del Reino Unido.

⁷² British Standards Institution (2013). *Specification for the production of reprocessed gypsum from waste plasterboard - PAS 109:2013* (<https://www.readkong.com/page/specification-for-the-production-of-reprocessed-gypsum-from-3353904>)

⁷³ BSI-BS NS/PAS 109.(2013). *Specification for the production of reprocessed gypsum from waste plasterboard*

⁷⁴ Agencia Protección Ambiental Irlanda. *Proposed (draft) position on end-of-waste for recycled gypsum. 10 junio 2010.* [Search the database - European Commission \(europa.eu\)](#)

⁷⁵ *Final position on end-of-waste status for recycled gypsum.* (2011) [Gypsum-EoW-position-FINAL-Jan-2011.pdf \(epa.ie\)](#)

- El yeso recuperado será usado únicamente conforme a las especificaciones del Protocolo de Calidad del Reino Unido.

Se señala la obligación de que los criterios y especificaciones de calidad anteriores se incluyan en los correspondientes permisos o autorizaciones ambientales para cada instalación de reciclaje.

República Federal de Alemania

En Alemania no existe ninguna regulación de fin de la condición de residuo para el yeso reciclado. Sin embargo, la Asociación Alemana de Yesos (BV Gips) ha establecido unos criterios de calidad del yeso reciclado para la producción de nuevos artículos de yeso, cuya versión de junio de 2018 se adjunta por el solicitante en respuesta al requerimiento realizado. Se ha identificado una última versión⁷⁶ con fecha de junio de 2020, cuyo contenido se resume a continuación.

En los permisos ambientales otorgados para las cuatro plantas de reciclaje de yeso existentes actualmente en Alemania, las autoridades acuerdan el estado y las condiciones a seguir para considerar el fin de la condición de residuo. Concretamente el yeso recuperado debe cumplir con las recomendaciones de calidad de la Asociación Alemana de Yesos (BV Gips) y su uso deberá estar garantizado por los contratos de venta.

De forma general, la Asociación Alemana de Yesos establece tanto recomendaciones de calidad del yeso recuperado, como el método analítico a emplear para verificar que dichos parámetros de calidad se cumplen. Dentro de estas **recomendaciones de calidad**, se establecen tres tipos de parámetros:

- **Técnicos**: se establece el contenido mínimo de sulfato de calcio dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) $\geq 85\%$, permitiéndose valores 5 puntos porcentuales inferiores (hasta al menos 80%) en caso de que haya acuerdo especial entre las partes. También se establecen otros parámetros de carácter técnico, como los que figuran en la propuesta del grupo de trabajo del proyecto LIFE GtoG.
- **Relacionados con la seguridad a la salud humana**, como el contenido de oligoelementos o el índice de radioactividad según *la Directiva 2013-59-EURATOM, del Consejo, de 5 de diciembre de 2013*⁷⁷.
- **Relativos al eluato**⁷⁸: establece los valores límite de metales pesados que debe contener el eluato en caso de que el yeso pueda entrar en contacto con el suelo. Los ensayos de lixiviación se han establecido en base a la norma DIN EN 13657:2003-01⁷⁹.

⁷⁶ [Qualitaetsempfehlungen Gipsrecycling Analyseverfahren Stand Juni 2020.pdf](#)

⁷⁷ *Directiva 2013-59-EURATOM, del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen **normas de seguridad básicas** para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan otras Directivas.*

⁷⁸ Solución obtenida por medio de una prueba de lixiviación en laboratorio.

⁷⁹ *DIN EN 13657: 2003-01 Caracterización de residuos - Digestión para la posterior determinación de la porción soluble de agua regia de los elementos en los residuos. ESTÁNDAR publicado el 1.1.2003*

3 ANÁLISIS DE SU CONSIDERACION COMO SUBPRODUCTO

A continuación, se lleva a cabo la verificación del cumplimiento de las condiciones establecidas en el artículo 4.1 de la *Ley 22/2011, de 28 de julio*, derogada por la *Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular*, para que un residuo de producción pueda ser declarado subproducto.

¿Se tiene la seguridad de que la sustancia u objeto va a ser utilizado ulteriormente?

Los restos de pasta de yeso con fibra de vidrio originados en el proceso de fabricación de artículos de yeso de construcción/escayola tienen las mismas propiedades físicas, químicas y biológicas que las sustancias de partida de las que deriva (sulfato cálcico dihidrato formado por la hidratación del yeso semihidrato con agua y fibra de vidrio), al no producirse ninguna interacción química éstos. En consecuencia, presenta las mismas propiedades que el yeso natural (sulfato cálcico dihidrato), material al que pretende sustituir parcialmente, pero con cierto contenido de fibra de vidrio, que únicamente otorga resistencia y dureza a la pieza final.

■ pese a que en la actualidad el residuo de producción es eliminado en vertedero de residuos inertes o no peligrosos, en caso de ser declarado subproducto se estima poder destinar una cantidad de 26.653 toneladas anuales a su empleo junto con mineral de yeso en la producción de yeso/escayola con fibra de vidrio (SH+fibra de vidrio). Esta cantidad representa el 90% de la cantidad total del residuo que se ha estimado se puede generar a nivel nacional.

■ adjunta un certificado de compromiso de reutilización del residuo que expone que existe demanda segura por parte de los asociados fabricantes de placas y elementos de yeso para el aprovechamiento del material de yeso de construcción/escayola con trazas de fibra de vidrio obtenido con hasta un 20% de residuo de producción, ya que cumple las especificaciones de las normas y estándares aplicables a los yesos de construcción y conglomerantes a base yeso para la construcción.

Además, se deduce que la reincorporación del residuo de producción en el proceso de fabricación de yeso de construcción/escayola va a ser ventajosa para la industria del yeso. Por una parte, se entiende que se reducirán los costes derivados tanto del consumo de la materia prima procedente de la cantera como los asociados a la gestión del residuo. Y, por otra parte, desde el punto de vista ambiental, se limita el consumo de un recurso natural y se reduce la cantidad de residuo de yeso que va a vertedero que, generalmente, contribuye a aumentar las emisiones de sulfuro de hidrógeno.

Según los resultados del proyecto GtoG en el que se realiza un análisis y recopilación de las prácticas actuales de reciclaje, la reincorporación de residuos de producción propia (placas húmedas y secas fuera de especificación) en la producción de placas de yeso, es práctica habitual en la mayoría de las plantas de fabricación pese a ser el producto de yeso más complejo, que requiere de un tratamiento previo para separar la matriz de yeso del cartón. En alguno de los países analizados también se reincorporan residuos de bloques de yeso y residuos de yeso en general.

Asimismo, el proyecto demuestra que es posible producir placas de yeso de calidad suficiente de una manera económicamente racional mediante el uso de yeso reciclado procedente incluso de residuos de construcción

y demolición, material más complejo y de características variables que los residuos de yeso generados durante el proceso de producción.

En función de todo lo expuesto, se puede concluir que se tiene la seguridad de que los restos de pasta de yeso con trazas de fibra de vidrio generados en la fabricación de artículos de yeso de construcción/escayola se van a emplear en las instalaciones de fabricación de yeso de construcción/escayola y, por tanto, **se cumple la primera condición.**

¿La sustancia u objeto se puede utilizar directamente sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial habitual?

El residuo de producción (DH+fibra de vidrio) se pretende utilizar junto con mineral de yeso (DH), en el proceso de fabricación de yeso/escayola (SH semihidrato), en una proporción entre el 15 y el 20% de residuo en peso total de la mezcla, siendo sometido al mismo tratamiento que la materia prima natural: molienda y tratamiento térmico para obtener el yeso de construcción/escayola con fibra de vidrio.

No obstante, antes de ser mezclado con el mineral de yeso, es necesario llevar a cabo un acondicionamiento previo que consiste en un cribado y tamizado del residuo de producción para la eliminación de restos impropios como restos de papel, cartón y plásticos no peligrosos, que proceden del envoltorio protector de los artículos de yeso que se rompen antes de su comercialización y tienen que ser desechados por los fabricantes de artículos de yeso. Aunque se prevé que sean retirados en estas instalaciones, se estima un porcentaje máximo de impropios del 0,1% en peso total del residuo, al no ser eliminados en su totalidad.

Con relación a este acondicionamiento previo, [REDACTED] sería similar al del tamizado primario que suele tener lugar en las plantas de fabricación de yeso/escayola para eliminar impropios que puede tener el propio mineral de yeso, como restos vegetales y otros materiales rocosos de la mina. Por ello consideran que el proceso que tiene lugar en las instalaciones de fabricación de yeso/escayola cuando se incorpora residuo de producción, es similar al llevado a cabo únicamente con materia prima virgen, formando parte de la etapa de preprocesamiento de las materias primas antes de la etapa de calcinación.

Por otra parte, y en relación con el secado del residuo de producción en las instalaciones de fabricación de artículos de yeso antes de su expedición, se trata de una etapa habitual que se realiza exclusivamente con el fin de reducir el peso del residuo de cara a su posterior transporte y gestión, independientemente del destino final del residuo de producción.

En consecuencia, se considera que el residuo de producción puede utilizarse directamente en el proceso de fabricación de yeso/escayola, sin que tenga que ser sometido a una transformación distinta a la práctica industrial habitual y, por tanto, se **cumple la segunda condición.**

¿La sustancia u objeto se produce como parte integrante de un proceso de producción?

El proceso de fabricación de artículos de yeso/escayola consiste en la hidratación del yeso de construcción o escayola (semihidrato SH) producido en las instalaciones de fabricación de yeso/escayola, a partir de la cual se forma una pasta a la que se añade como aditivo un porcentaje máximo de un 1% de fibra de vidrio; seguido

de la dosificación y fraguado de la pasta en moldes, la extracción de la pasta endurecida de estos moldes, el secado de las piezas y finalmente, el envasado y paletización de los distintos artículos de yeso obtenidos.

El residuo de producción se genera en prácticamente todas las fases del proceso de fabricación de artículos de yeso/escayola, debido a errores en la mezcla, piezas rotas y defectuosas durante el proceso de fraguado y de la extracción del molde, por secado defectuoso de la pieza o por diferencia térmica, roturas de piezas y materiales en el transporte y durante el envasado y paletización por incidencias en el envasado.

En consecuencia, se considera que el residuo de producción se produce como parte integrante del proceso productivo de producción de artículos de yeso/escayola y, por tanto, se **cumpliría la tercera condición**.

¿El uso ulterior cumple todos los requisitos pertinentes relativos a los productos, así como a la protección de la salud humana y del medio ambiente, sin que se produzcan impactos generales adversos?

Requisitos relativos a los productos

Según el informe técnico aportado [REDACTED] dado que no existe interacción entre la fibra de vidrio y el yeso de construcción o escayola (SH) durante la hidratación de éste con agua en el proceso de producción de artículos de yeso, se puede concluir **que el residuo de producción generado en esta etapa es una mezcla de materiales que no precisa de REACH propio porque no se genera ninguna sustancia diferente de las de partida que precise REACH.**

Según el *Documento de orientación sobre el registro* elaborado por la ECHA, las obligaciones de registro se **aplican a las sustancias consideradas individualmente, con independencia de que se encuentren como tales, en forma de mezcla, o en un artículo.**

En el informe técnico se expone que, de los componentes del residuo de producción, únicamente requieren de registro REACH la fibra de vidrio y el sulfato cálcico semihidrato, ya que los hidratos de una sustancia, formados por la asociación de una sustancia con agua, están exentos de registro según el apartado 6 del anexo V del reglamento, siempre que la forma anhidra esté registrada. Se ha constatado que en el dossier de registro⁸⁰ de la forma anhidra disponible en la ECHA, varias compañías españolas de fabricación de yeso disponen de su correspondiente número de registro para el sulfato cálcico semihidrato.

En el caso del **yeso de construcción/escayola con fibra de vidrio** obtenido por calcinación de la mezcla constituida por yeso natural y residuo de producción en una proporción entre el 15-20% de residuo en peso total de la mezcla, le será aplicable el Reglamento REACH en las mismas condiciones que al yeso de construcción/escayola obtenido en las plantas de fabricación de yeso al que posteriormente se le añade fibra de vidrio en las plantas de fabricación de artículos de yeso, así como los requisitos establecidos en el Reglamento CLP.

⁸⁰ ECHA, Agencia Europea de Sustancias Químicas. <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/15878>

En relación con el cumplimiento de la normativa asociada al uso posterior, el yeso de construcción o escayola obtenido a partir de la deshidratación de la mezcla constituida por un 80% de yeso mineral y un 20% de residuo de producción, deberá cumplir el *Reglamento Europeo de Productos de Construcción (UE) Nº 335/2011* y la norma *UNE-EN 13279. Yesos de construcción y conglomerados a base de yeso para la construcción. Parte 1 y Parte 2*. Se menciona también la norma española *UNE EN 102011:2013. Escayolas para la construcción. Especificaciones* que no son de obligado cumplimiento.

Según los resultados del informe de ensayos realizado [REDACTED] el yeso de construcción/escayola, así obtenido, cumple con las especificaciones y ensayos recogidos en las normas UNE-EN 13279-1 y UNE 102011 correspondientes y, por ende, los requisitos para el mercado CE de yesos de construcción y conglomerantes a base yeso para la construcción.

En concreto, cumple con las especificaciones de un producto tipo A, para el cual únicamente se fija como requisito que el contenido en sulfato de calcio sea mayor o igual al 50%. Adicionalmente, cumple también los ensayos complementarios recogidos en la norma española UNE 102011:2013, que tiene carácter voluntario y que realizan los fabricantes que están en posesión de la marca N de AENOR para proporcionar más información sobre las características de los productos de yeso o escayola.

Respecto al cumplimiento de las especificaciones para el resto de las categorías de yeso, [REDACTED] aclara que, conforme al esquema de las familias de yeso de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción de la norma UNE EN 13279, el conglomerante a base yeso tipo A es el **producto base** para fabricar productos tipo B y C. A partir del yeso tipo A se pueden volver a fabricar productos tipo A (como demuestra el informe de ensayo aportado) de igual forma que si se emplea 100% de yeso natural o se puede emplear como materia prima para fabricar productos tipo B o C, que pueden entenderse como productos derivados del producto A, por lo que no se han realizado ensayos específicos para dichas categorías.

Los fabricantes que elaboren productos de yeso de construcción/escayola tipo B o C a partir del producto tipo A, ya sea a partir de yeso natural (DH) o de la mezcla de 80% de yeso natural + 20% de residuo de producción (DH+fibra de vidrio), deberán realizar los ensayos correspondientes según las especificaciones de la norma para demostrar su cumplimiento.

En función de todo lo expuesto, se considera que el yeso de construcción o escayola obtenido empleando hasta un 20% del residuo de producción junto con yeso mineral, cumple los requisitos normativos aplicables a los yesos de construcción y conglomerantes a base de yeso para la construcción y, por tanto, se **cumple la cuarta condición en relación con el cumplimiento de requisitos de producto**.

Requisitos relativos a la protección humana o el medio ambiente

El informe justificativo argumenta que, dado que no se produce interacción química entre los componentes del residuo de producción (entre la fibra de vidrio y el semihidrato que, al hidratarse se convierte de nuevo en dihidrato), se puede asignar al residuo de producción las mismas características químicas, biológicas y medioambientales que las de los materiales originales de los que procede de forma individual.

Es decir, presenta las mismas propiedades que el yeso natural (sulfato cálcico dihidrato), material al que pretende sustituir parcialmente, pero con cierto contenido de fibra de vidrio, que únicamente otorga resistencia y dureza a la pieza final.

Es por ello por lo que la repercusión sobre la salud humana y ambiental vendrá determinada por las características definidas para cada uno de los componentes del residuo de producción que se detallan en las fichas de seguridad (FDS).

En estas fichas se expone que tanto el sulfato cálcico semihidrato como el dihidrato y la fibra de vidrio, son sustancias no peligrosas ni cancerígenas, para las que no se detectan riesgos notables al no producir efectos adversos al medio ambiente ni a la salud humana.

Únicamente en la ficha de seguridad del semihidrato se señala que puede producirse una gran cantidad de polvo durante su pulverización en seco y en la hoja de instrucciones de la fibra de vidrio se indica que puede ocasionar prurito temporal de la piel y en las membranas mucosas, debido al efecto de abrasión mecánica de las fibras, así como por exposición al polvo y las fibras. En todo caso, se trata de una exposición de tipo ocupacional, que deberá ser controlada mediante medidas de prevención de riesgos laborales y que se produce independientemente de que se emplee como materia prima yeso natural solo o mezclado con el residuo de producción.

Por todo lo anterior, **no se espera que se vayan a generar efectos sobre la salud humana y la seguridad** distintos a los que se producirían empleando el yeso mineral, **ni se esperan impactos ambientales adversos durante el empleo del residuo de producción** en la fabricación de yeso de construcción o escayola, **por lo que se cumple la cuarta condición.**

4 CONCLUSIONES

El presente estudio ha tenido como objeto evaluar la consideración como subproducto de los **residuos de yeso con fibra de vidrio** originados en el proceso de fabricación de productos/artículos de yeso/escayola (como falsos techos continuos y desmontables de escayola aligerada y reforzada, productos para la decoración en escayola y yeso laminado y paneles de yeso para la ejecución de tabiques), **para su uso en la fabricación de yeso de construcción/escayola, junto con yeso mineral** en una proporción entre el 15-20% de residuo en peso total de la mezcla. Esta evaluación parte de la solicitud de declaración de subproducto presentada en diciembre de 2018 por [REDACTED]

Los residuos de yeso para los que se solicita la declaración como subproducto son restos de yeso con trazas de fibra de vidrio generados en el proceso de fabricación de artículos o piezas de yeso/escayola debido a errores en la mezcla, piezas rotas y defectuosas durante el proceso de fraguado y de la extracción del molde, por secado defectuoso de la pieza o por diferencia térmica, roturas de piezas y materiales por transporte y durante el envasado y paletización por incidencias en el envasado.

Según lo anterior, el residuo de producción es el resultado de una mezcla de **sulfato cálcico dihidratado (DH)**, **agua y fibra de vidrio**, además de una serie de **impropios** en un porcentaje inferior al 0,1 % en peso total del

residuo, como restos de papel, cartón y plásticos no peligrosos, procedentes de incidencias en la etapa de envasado de la pieza o artículo de yeso y no en el proceso de producción de la pieza en sentido estricto.

En relación con el cumplimiento de las cuatro condiciones para ser declarado subproducto, se estima que se podrá emplear una cantidad de 26.653 toneladas al año de residuo en la producción de yeso/escayola con fibra de vidrio, que supone el 90% de la cantidad total que se ha estimado se puede generar a nivel nacional, ya que presenta las mismas propiedades que el mineral de yeso al que pretende sustituir parcialmente, pero con cierto contenido de fibra de vidrio, que únicamente otorga resistencia y dureza a la pieza final.

■ adjunta un certificado de compromiso de reutilización del residuo según el cual existe demanda segura por parte de los asociados fabricantes de placas y elementos de yeso para el aprovechamiento del material de yeso de construcción/escayola con trazas de fibra de vidrio obtenido con hasta un 20% de residuo de producción, ya que cumple las especificaciones de las normas y estándares aplicables.

La reincorporación del residuo de producción en el proceso de fabricación de yeso de construcción/escayola se entiende que será ventajosa, tanto desde el punto de vista económico al reducirse los costes derivados del consumo de materia prima natural y de gestión del residuo, como ambiental, al limitarse la extracción de un recurso natural y reducirse la cantidad de residuo enviada a vertedero.

Según los resultados del proyecto GtoG, la reincorporación de residuos de producción propia en la producción de placas de yeso es práctica habitual en la mayoría de las plantas de fabricación, pese a ser un producto de yeso complejo que necesita un tratamiento previo para separar el yeso del cartón y, por otra parte, se demuestra que es posible producir placas de yeso de calidad suficiente mediante el uso de yeso reciclado procedente incluso de residuos de construcción y demolición, material más complejo y de características más variables que los residuos de producción.

En consecuencia, se considera que el residuo de producción se va a emplear con seguridad en las instalaciones de fabricación de yeso de construcción/escayola y, por tanto, **se cumple la primera condición.**

En cuanto a la segunda condición, el acondicionamiento previo del residuo de producción antes de su mezcla con el yeso mineral, que tiene como fin eliminar los impropios presentes como restos de papel, cartón y plásticos no peligrosos, se considera que es similar al tamizado primario que suele tener lugar en las plantas de fabricación de yeso/escayola para eliminar impropios que puede tener el propio mineral de yeso, como restos vegetales y otros materiales rocosos de la mina. Respecto al secado previo del residuo en la instalación en la que se genera antes de su expedición, se considera una práctica habitual que se lleva a cabo con el fin de reducir el contenido de humedad presente en el residuo de cara a su posterior transporte y gestión. En consecuencia, el residuo de producción puede utilizarse directamente en el proceso de fabricación de yeso/escayola sin tener que someterse a una transformación ulterior distinta de la práctica industrial habitual y, por tanto, se **cumple la segunda condición.**

En relación con la tercera condición, el residuo de producción se produce como parte integrante del proceso de fabricación de artículos de yeso/escayola, tratándose de rechazos que se producen como consecuencia de errores en la mezcla, piezas rotas o defectuosas, incidencias en el envasado, etc., o de piezas o artículos que no cumplen las especificaciones de calidad establecidas, **por lo que se cumple la tercera condición.**

En cuanto al cumplimiento de los requisitos relativos a los productos, dado que no se produce interacción química entre los componentes del residuo de producción, este no es más que una mezcla de materiales (sulfato cálcico dihidrato y fibra de vidrio) que no precisa de REACH propio al no generarse ninguna sustancia diferente de las de partida que precise del registro REACH. Según la ECHA únicamente deberán registrarse las sustancias, con independencia de que estén en forma de mezcla o artículos, por lo que serán de aplicación los requisitos de obligación de registro de las distintas sustancias que lo componen de manera individual. Asimismo, le serán aplicables los requisitos del Reglamento CLP.

De manera similar, al material de yeso de construcción/escayola con fibra de vidrio obtenido por calcinación de la mezcla constituida por yeso natural y residuo de producción en una proporción entre el 15-20% de residuo en peso total de la mezcla, también le será aplicable Reglamento REACH en las mismas condiciones que al yeso de construcción o escayola obtenido en las plantas de fabricación de yeso al que posteriormente se le añade fibra de vidrio en las plantas de fabricación de artículos de yeso, así como los requisitos establecidos en el Reglamento CLP.

Por otra parte, el yeso de construcción/escayola así obtenida, cumple con las especificaciones de las normas UNE-EN 13279-1 y UNE 102011:2013 correspondientes y, por ende, los requisitos para el mercado CE de yesos de construcción y conglomerantes a base yeso para la construcción. En concreto, cumple con las especificaciones de un producto tipo A, recogidas en la norma UNE-EN 13279-1 para los conglomerantes de yeso, que únicamente fija como requisito un contenido en sulfato de calcio mayor o igual al 50%. Adicionalmente, cumple también los ensayos complementarios de la norma española UNE 102011:2013, que tiene carácter voluntario. Aquellos fabricantes que elaboren productos de yeso de construcción/escayola tipo B o C a partir del producto tipo A, ya sea a partir de yeso natural (DH) o de la mezcla de 80% de yeso natural + 20% de residuo de producción, deberán realizar los ensayos correspondientes según las especificaciones de la norma.

En consecuencia, siempre que se garantice el cumplimiento de los requisitos establecidos en las normas aplicables, se considerará que **se cumple la cuarta condición en relación con el cumplimiento de requisitos de producto para el yeso de construcción/escayola** obtenida tras la calcinación de la mezcla formada por un 80% de yeso natural y un 20% de residuo de producción.

En cuanto a los requisitos relativos a la protección humana o el medio ambiente, dado que no se produce interacción química entre los componentes del residuo de producción, se puede asignar al residuo las mismas características químicas, biológicas y medioambientales que las de los materiales originales de forma individual. Según las FDS tanto el semihidrato, el dihidrato como la fibra de vidrio, no son sustancias peligrosas ni cancerígenas, para las que no se detectan riesgos notables al no producir efectos adversos al medio ambiente ni a la salud humana. En consecuencia, no se espera un impacto negativo en la salud humana distinto al que se pueda estar produciendo en la actualidad durante la manipulación del residuo de producción o durante la fabricación de yeso de construcción o escayola a partir de éste, relacionado con la generación de polvo en el caso del semihidrato y dihidrato y la exposición de fibras que puede ocasionar prurito de la piel y las membranas mucosas.

En consecuencia, los restos de pasta de yeso con trazas de fibra de vidrio generados en la fabricación de artículos de yeso de construcción/escayola destinados a emplearse en la fabricación de yeso de construcción o escayola junto con mineral de yeso en una proporción máxima en la mezcla del 20%, siempre y cuando cumplan los requisitos y especificaciones contenidas en la normativa aplicable, se entenderá que cumple lo establecido en el artículo 4, de la Ley 22/2011, de 28 de julio, para poder ser considerado un subproducto conforme a esta Ley, derogada por la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

5 REFERENCIAS

- ATEDY, Asociación Técnica y Empresarial del Yeso. (1985). *Manual Sulfato de calcio*.
- ATEDY, Asociación Técnica y Empresarial del Yeso. www.atedy.es
- Begliardo, H., Panigatti, M., Sánchez, M., Grifa, C., Boglione, R., Casenave, S., & Cassina, D. (2007). *Estudio del reciclaje de residuos de construcción con yeso*.
- Berná Serna, J. M. (2013). *Evolución de las propiedades mecánicas de los morteros aditivados de yeso con vermiculita. (Tesis Doctoral)*.
- British Standards Institution (2013). *Specification for the production of reprocessed gypsum from waste plasterboard - PAS 109:2013* (<https://www.readkong.com/page/specification-for-the-production-of-reprocessed-gypsum-from-3353904>)
- Camarini G., Dos Santos Lima K.D.; Pinheiro. S.M (2016). *Investigation on gypsum plaster waste recycling: an eco-friendly material*.
- CEDEX. (2010). *Ficha Técnica. Residuos de Construcción y Demolición*.
- Comisión Europea (2007). *Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo (COM). Comunicación interpretativa sobre residuos y subproductos*.
- Comisión Europea. (2012). *Draft Guidelines on the interpretation of key provisions of Directive 2008/98/CE on waste*
- de Villanueva, L., de Lasheras, F., del Río, M., & Olivares, F. H. (1994). *Modelo matemático del comportamiento mecánico en flexión del cartón-yeso. Informes de la Construcción, 45(430), 43-51*.
- del Río Merino, M., Olivares, F. H., & Almenara, P. C. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas de la E.T.S.A.M. y Instituto Eduardo Torroja. (2004). *Estado del arte sobre el comportamiento físico-mecánico de la escayola reforzada con fibras de vidrio E. Informes de la Construcción, 56(493), 33-37*.
- Dominguez, A., & Villanueva, L. (2018). *Manual del yeso*.

- Environment Agency UK. (2015). *Quality Protocol Recycled gypsum from waste plasterboard End of waste criteria for the production and use of recycled gypsum from waste plasterboard*. [Recycled gypsum from waste plasterboard: quality protocol - GOV.UK \(www.gov.uk\)](http://www.gov.uk)
- ECHA, Agencia Europea de Sustancias Químicas. (2016). *Documento de orientación sobre el registro Versión 3.0 Noviembre de 2016*.
- ECHA, Agencia Europea de Sustancias Químicas. (2012). *Documento de orientación para el Anexo V. Exenciones al registro obligatorio*.
- ECHA, Agencia Europea de Sustancias Químicas. Dossier de registro del sulfato cálcico semihidrato y de la fibra de vidrio. <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/15878/1/2>; <https://echa.europa.eu/es/registration-dossier/-/registered-dossier/15936>.
- EPA, Agencia Protección Ambiental Irlanda. (2011). *Final Position on End-of-Waste Status for Recycled Gypsum*.
- EPA, Agencia Protección Ambiental UK. (2015). *Quality Protocol Recycled gypsum from waste plasterboard End of waste criteria for the production and use of recycled gypsum from waste plasterboard*. [Recycled gypsum from waste plasterboard: quality protocol - GOV.UK \(www.gov.uk\)](http://www.gov.uk)
- Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Valencia. (sin fecha). *Manual de Instalación de techos fijos de escayola*.
- EuroGypsum. (2009). *Critically of Raw Materials. Gypsum Data*. (<http://www.eurogypsum.org/wp-content/uploads/2015/05/091109CriticalityGypsumData.pdf>)
- Eurogypsum (2015). *Life+ GTOG: From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. DB4: Report on Production Process Parameters*.
- Eurogypsum (2013). *Life+ GTOG: From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. DA1: Inventory of Current Practices*.
- Eurogypsum. (2015) *Life+ Gypsum to Gypsum (GtoG) project 'From production to recycling: a circular economy for the European Gypsum Industry with the Demolition and Recycling Industry' LIFE11 ENV/BE/001039, FINAL Report Covering the project activities from 01/01/2013 to 31/12/2015*
- García Santos, A. (1988). *Modelo teórico del comportamiento mecánico del yeso y sus compuestos fibrosos poliméricos. Tesis Doctoral*.
- Gironés Gúell R. Universidad de Girona. (2012). *Metodología y análisis de la fabricación de anhidrita en horno rotativo mediante elementos de inteligencia artificial*.
- Gobierno de Navarra. Instituto Geológico y Minero de España. (2007). *El recorrido de los minerales en la Comunidad Foral de Navarra*.
- Gomis Yagües V. Universidad de Alicante. (sin fecha). *El yeso*. (<https://diq.ua.es/yeso/introduccion.htm>)

- GtoG project. (2015) *Life+ GTOG: From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry*. DC2: Protocol of action B2.2: Quality criteria for recycled gypsum, technical and toxicological parameters
- Guillén Viñas, J. (2005). *Nuevas aplicaciones de recursos yesíferos: desarrollo, caracterización y reciclado*. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Minas (UPM).
- IGME (Instituto Geológico Minero Español). Panorama minero 2017. (2017). Yeso y alabastro.
- Ingeminsa S.L (a petición de PLADUR GYSPUM). (2018). *Plan de Restauración de la concesión de explotación "Soledad III" 3562 del término municipal de Seseña (Toledo)*.
- Jiménez Rivero, A.; de Guzmán Báez, A.; Rodríguez Quijano, M., García Navarro, J. (2015). Grupo de Investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria, giSCI-UPM, Universidad Politécnica de Madrid. *Resumen del inventario de prácticas actuales relacionadas con el reciclaje de productos de yeso en Europa*. (<https://blogs.upm.es/gisci/wp-content/uploads/sites/15/2014/05/GtoG-Resumen-Ejecutivo.pdf>)
- Jimenez-Rivero, A. García-Navarro, J. (2016). *Indicators to measure the management performance of end-of-life gypsum: from deconstruction to production of recycled gypsum, Waste and Biomass Valorization*.
- Jimenez-Rivero, J. García-Navarro. (2017) *Exploring factors influencing post-consumer gypsum recycling and landfilling in the European Union*.
- Jimenez-Rivero, A. García-Navarro J. (2017) *Characterization of quality recycled gypsum and plasterboard with maximized recycled content*.
- Herbert J. H. 2006. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. *Métodos de Minería a cielo abierto*.
- La Spina V. Departamento de Arquitectura y Tecnología de la Edificación, Universidad Politécnica de Cartagena. Informes de la Construcción. (2020). *La diversidad tipológica de los hornos tradicionales de calcinación de yeso en España*.
- Materiales de construcción. Yeso. <http://e-construir.com/yeso/>
- Moreno López J. J. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. (2015). *Proyecto de explotación de cantera de calizas del Páramo*.
- Pietropaoli, A., Basti, F., Veiga-Álvarez, Á., & Maqueda-Blasco, J. (2015). *Manejo de la fibra de vidrio en entorno laboral, potenciales efectos sobre la salud y medidas de control (Revisión)*. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 61(240), 393-414.
- Piñeiro, S. R. (2016). *Refuerzo de la escayola mediante fibras de lana mineral procedentes del reciclaje de RCD (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid)*.

- *Reglamento (CE) nº 1272/2008, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.*
- *Resolución de 12 de abril de 2007 de la Delegada Provincial de la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de Murcia por la que se otorga la Autorización Ambiental Integrada a la empresa Yesos Millán, S.L. AAS20170107, para para instalación con actividad principal “fabricación de Yesos”.*
- *Resolución de 28 de julio de 1995 de la Delegada Provincial de la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de Murcia por la que se otorga la Autorización Ambiental Integrada a la empresa Maquinaria, escayolas y derivados del yeso, S.L. AAS20180004, para para instalación con actividad principal “fabricación de Yesos”.*
- *Resolución de 8 de Octubre de 2013 de la Delegada Provincial de la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería, Pesca y Medio Ambiente de Murcia por la que se otorga la Autorización Ambiental Integrada a la empresa Yesos Rubio, C.B. AAS20200022, para para instalación con actividad principal “fabricación de Yesos”.*
- *Rio Merino, M. D. (1999). Elaboración y aplicaciones constructivas de paneles prefabricados de escayola aligerada y reforzada con fibras de vidrio E y otros aditivos (Tesis Doctoral, Arquitectura).*
- *Rivero Fernández L. Dpto. I+D/Calidad. Yesos Ibéricos, S.A. Grupo Uralita. (2007). Fabricación de productos de base yeso y sus aplicaciones industriales <http://boletines.secv.es/upload/199736591.pdf>*
- *Romaniega Piñeiro S. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. (2016). Refuerzo de la escayola mediante fibras de lana mineral procedentes del reciclaje de RCD.*
- *Santos Jiménez, R. (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid). (2018) Reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) de tipo cerámico para nuevos materiales de construcción sostenibles.*
- *Sanz Arauz D. Universidad Politécnica de Madrid. (2009). Análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas.*
- *Silgado, S. S. S. (2014). Viabilidad ambiental del reciclaje del yeso. Congreso Nacional del Medio Ambiente.*
- *Subsecretaría de Minería. (2017). Perfil de mercado del yeso.*
- *Wirsching F.; Díez Reyes C. (traducción). (1996). Resumen de la Ullmann-S Encyclopedia of Industrial Chemistry. (<https://artesdelascalesylosyesos.files.wordpress.com/2015/03/sultato-de-calcio.pdf>)*

En Madrid, 05 de junio de 2023.