

VALORIZACIÓN DE ARENAS RESIDUALES DE FUNDICIÓN EN APLICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

LAS ARENAS RESIDUALES DE FUNDICIÓN ESTÁN CLASIFICADAS COMO RESIDUO NO PELIGROSO NO INERTE —POR EL COMPORTAMIENTO DE SUS LIXIVIADOS— Y, AL SER UN RESIDUO, DEBE SER MANIPULADO POR GESTORES AUTORIZADOS, TODO LO CUAL RESTRINGE SUS POSIBILIDADES DE VALORIZACIÓN. EL PROYECTO LIFE ECO-SANDFILL INTENTA SUPERAR ESTAS BARRERAS INTRODUCIENDO UN PROCESO DE REGENERACIÓN EN LA CADENA DE VALOR PARA OBTENER UN SUB-PRODUCTO DE ARENA DE CALIDAD SISTEMATIZADA CON BAJO POTENCIAL DE IMPACTO AMBIENTAL.

La generación de arenas residuales de fundición (Spent Foundry Sand, SFS, en inglés) es intrínseca al proceso de producción de piezas metálicas por moldeo. La mayor parte de las fundiciones férreas realizan el proceso de fundición con moldes y machos de arena, que tras su utilización son desechados (técnica de moldes perdidos). Esto genera gran cantidad de residuo de arena, aproximadamente entre 60% y 85% del total de residuos sólidos de la fundición.

En fundición existen dos tipos de moldeo con arena bien diferenciados: moldeo en verde y moldeo químico. El moldeo en verde, utiliza una mezcla de arena de sílice, agua y bentonita como aglomerante, con unos índices de sílice en torno al 85-95%. Es el más empleado, representando el 75% del total de las arenas de moldeo. En las arenas de moldeo químico la arena de sílice se mezcla con una resina y un catalizador inicia la reacción que fragua/endurece la mezcla. Las arenas químicas tienen un contenido de sílice por encima del 95%.

Por consiguiente, las arenas residuales de fundición consisten principalmente en arena de sílice (>85%), recubierta por una fina capa de compuestos carbonosos calcinados y restos de aglomerante (bentonita, resinas, etc.). Las impurezas generalmente comprenden compuestos de aluminio, calcio, sodio, carbono y potasio, por debajo del 12% en total.

Según datos de CAEF (The European Foundry Association), en el año 2015 se contabilizaron 4.616 fundiciones, férreas y no férreas, activas en Europa, con una producción total de 15,4 Mt. No existen registros precisos a nivel europeo sobre cantidades anuales de residuos procedentes de arenas de moldeo de fundición férrea y no férrea, pero a partir de las estadísticas publicadas de residuos no peligrosos por actividades industriales y de estudios llevados a cabo por asociaciones del sector, puede estimarse que en los últimos años se generaron en torno a 4,5-6 Mt/año de SFS en las fundiciones férreas europeas. Sólo el 25-30% de la arena se recicla en unas pocas aplicaciones, principalmente en la industria cementera, en suelos agrícolas y en sellado de vertederos. Sin embargo, éstas no representan una solución estable ni viable para la totalidad de la arena residual generada, siendo el porcentaje restante eliminado en vertedero.

El vertido de arenas de fundición continúa siendo un serio problema ambiental en Europa, como consecuencia de su significativo volumen. Además, constituye una oportunidad perdida, dado que significa que una cantidad enorme de material con interesantes propiedades

VALORISATION OF SPENT FOUNDRY SAND IN CONSTRUCTION APPLICATIONS

SPENT FOUNDRY SANDS ARE CLASSIFIED AS NON-HAZARDOUS, NON-INERT WASTE DUE TO THEIR LEACHING BEHAVIOUR AND, BEING A WASTE, THEY HAVE TO BE HANDLED BY AN AUTHORIZED WASTE MANAGER, ALL OF WHICH RESTRICTS THEIR VALORISATION POSSIBILITIES. LIFE ECO-SANDFILL PROJECT WOULD OVERCOME THOSE BARRIERS BY INTRODUCING A SAND RECLAMATION SYSTEM IN THE VALUE CHAIN IN ORDER TO OBTAIN A SPECIFIED QUALITY SAND BY-PRODUCT WITH LOW POTENTIAL FOR ADVERSE ENVIRONMENTAL IMPACT.

Spent Foundry Sand (SFS) generation is intrinsic to metal casting processes. Most ferrous foundries use sand moulds and cores for casting, which are discarded after pouring (lost mould technique). This generates large amounts of waste sand, representing approximately 60-85% of total solid waste from foundry.

Foundries use two differentiated types of sand moulding: green sand and chemically-bonded sand moulding. Green sand mixture is made up of silica sand, water and bentonite clay, acting as binder, with silica content of around 85-95%. Green sand moulding is the most common moulding technique, representing about 75% of total foundry sand. In the chemically-bonded sand, silica sand is mixed with a resin and a catalyst initiates the reaction for setting/hardening the mixture. Chemical sands have silica contents of over 95%.

Therefore, Spent Foundry Sand consists primarily of silica sand (>85%), coated with a thin film of burnt carbonaceous and residual binder (bentonite, resins, etc.). The impurities usually comprise aluminium, calcium, sodium, carbon and potassium components, in total below 12%.

According to statistics from CAEF (The European Foundry Association), 4616 ferrous and non-ferrous foundry units were active in 2015 in Europe, with total yearly production of 15.4 Mt of metal castings.



Colada de acero en molde de arena en la fundición
Steel being poured into sand mould in the foundry

There are no accurate records on a European level of annual amounts of ferrous and non-ferrous foundry sand waste, but based on public statistics on non-hazardous waste by industrial activity and studies carried out by industry sector associations, the volume of SFS generated by ferrous foundries in Europe can be estimated at around 4.5-6 Mt/yr. Only 25-30% of that waste sand is recovered in a few applications, mainly in the cement industry, agricultural soils and landfill covering. However, those do not constitute stable solutions viable for all the waste sand generated, and the remaining percentage is disposed of in landfills.

Landfilling of foundry sand remains a severe environmental problem in Europe due to



its significant quantity. Besides, it is a lost opportunity, as a huge amount of material with very interesting properties (valuable silica mineral) for potential recycling is landfilled and therefore lost. Silica sand, although abundant, is a non-renewable resource and a great deal of energy (mainly fuel) is used in extracting, processing and using it, due to the fact that heavy motorised equipment is required. The consequences are environmental impacts associated with global warming, air pollution (particulate matter), land and landscape, water quality and noise. Taking this into consideration, every effort should be made to conserve this natural mineral and reduce its extraction. Substituting it with recycled sand from the foundry industry would be beneficial in helping to preserve the environment through reducing the need to mine and quarry sand, and conserving existing supplies.

para su potencial reciclado (mineral de sílice con valor económico) se deposita en vertedero y, por tanto, se desaprovecha. La arena de sílice, aunque abundante, es un recurso no renovable, que conlleva un elevado consumo de energía (combustibles) en su extracción, procesado y utilización, puesto que requiere el empleo de maquinaria pesada motorizada. Ello genera impactos ambientales relacionados con el calentamiento global, contaminación atmosférica (partículas), suelo y paisaje, calidad del agua y ruido. Considerando esto, debe realizarse un esfuerzo por conservar este recurso mineral y reducir su extracción. Su sustitución por arenas residuales de fundición recicladas sería beneficioso para preservar el medio ambiente al minimizar la necesidad de extracción de nueva arena y conservar las reservas existentes.

El proyecto LIFE ECO-SANDFILL se orienta, precisamente, a convertir este residuo de la industria de fundición en un recurso útil para otros sectores industriales y para la propia fundición, reduciendo el vertido y los impactos ambientales asociados.

La sílice se emplea en muy diversas industrias, las principales vidrio, fundición, construcción, cerámica e industria química. El sector de la construcción es el principal consumidor de minerales de sílice, que son utilizados como áridos, para fabricar hormigón, cemento, morteros, ladrillos, bloques, tubería, rellenos, etc. Por lo que se refiere a la demanda de áridos, según datos de Eurostat, la extracción de arena y grava en Europa (EU28) ascendió a 1,98 Gt en 2014 y el consumo interno de estos materiales fue de 1,99 Gt.

La utilización de arena de fundición como árido fino en aplicaciones de construcción ofrece una oportunidad para absorber las cantidades de arena regenerada que no sean reutilizadas en fundición para fabricación de moldes y machos, al tiempo que contribuye a prácticas de construcción sostenible, reduciendo la huella ambiental de obras y productos de construcción.

El proyecto LIFE ECO-SANDFILL, cofinanciado por la UE, pretende demostrar la validez, desde un enfoque técnico, económico y medioambiental, de la reutilización de las arenas residuales de fundición, convenientemente acondicionadas, como material granular en tres aplicaciones concretas de construcción: terraplenes, materiales fluidos de baja resistencia controlada (MBRC) y morteros bombeados. Además, explora las posibilidades de reutilizar en la fundición las SFS regeneradas, para fabricación de moldes y machos, en sustitución de arena nueva. El objetivo final del proyecto es reducir el gran volumen de residuo de arena de fundición que se elimina en vertedero anualmente, disminuyendo a su vez los costes de gestión de residuo y los de materias primas.

The approach of the LIFE ECO-SANDFILL project will turn waste from the casting industry into useful feedstock for foundry and other industrial sectors, leading to a reduction in the landfilling of waste and the associated environmental impacts.

Silica is used in a vast array of industries, the main ones being the glass, foundry, construction, ceramics and chemical industries. By volume, the construction sector is by far the largest consumer of silica minerals, which are used in construction aggregates, to make concrete, cement, mortar, durable bricks, blocks, pipes, construction filler, etc. In terms of aggregates demand, according to Eurostat data, domestic extraction of sand and gravel in the EU28 in 2014 amounted to 1.98 Gt and domestic consumption of the same materials was 1.99 Gt.

The reuse of foundry sand as fine aggregates in construction applications offers an excellent opportunity to absorb the amount of reclaimed silica sand that would not be reused for moulds and core manufacturing in foundry, while contributing to enhancing sustainable construction practices, by reducing the carbon footprint of construction works and products.

The LIFE ECO-SANDFILL project, co-funded by the EU, aims to demonstrate the technical, economic and environmental feasibility of using Spent Foundry Sand, adequately processed, as fine aggregate in three construction applications, specifically for embankments, Controlled Low Strength Material (CLSM) and flowable mortars for injection. It also explores high quality reutilisation of reclaimed SFS in the foundry sector for core and mould making, as a substitute for new sand. The ultimate goal of the project is to reduce the annual volume of SFS disposed of in landfills, thereby reducing costs associated with waste management and raw materials.

The SFS reclamation technique proposed in the project is an innovative mechanical process based on attrition of sand grains in a closed system. The sand and fines are later fluidised, and fines are extracted by the dust collector. The process can remove over 90% of impurities in the sand and, since this technology is less aggressive than others, reject (fines) accounts for less than 15%.

The selection of a mechanical technology for reclamation purposes is mainly an economic and environmental issue, since other methods (thermal, wet or cryogenic) are



Aplicaciones de construcción previstas para uso de arena regenerada como árido fino secundario en LIFE ECO-SANDFILL: terraplén, MBRC y mortero bombeado
 Construction applications envisaged for use of reclaimed SFS as secondary fine aggregates in LIFE ECO-SANDFILL: Embankment, CLSM and flowable mortar for spraying

La tecnología de regeneración de SFS propuesta en el proyecto es un proceso mecánico novedoso basado en la atrición de los granos de arena en una cámara cerrada. Los finos y la arena son posteriormente fluidizados, extrayéndose los finos en un colector de polvo. El proceso es capaz de eliminar más del 90% de impurezas de la arena y obtener un material con la calidad requerida para aplicaciones de fundición y árido fino en construcción, con un rechazo (finos) por debajo del 15%.

La selección de una técnica de regeneración mecánica obedece a motivos económicos y ambientales, ya que otros métodos (térmicos, húmedos o criogénicos), además de su elevado coste, presentan un elevado consumo de energía, contaminación del aire y generan más finos o incluso lodos. El proceso propuesto ofrece alta productividad con bajos costes operativos y de mantenimiento y puede reajustarse para tratar distintos tipos de arenas (de sílice, de zirconio, de olivino, cromita, sintética...) y aglomerantes (en verde, furánicas, fenólicas, silicato) y obtener calidades para diferentes aplicaciones finales.

Durante el desarrollo del proyecto se aspira a valorizar más de 1000 t de arena. Para ello se integrará un prototipo de regenerador en las instalaciones de Fundiciones del ESTANDA, S.A. que permita obtener un sub-producto ambientalmente seguro a partir de un residuo (arena no peligrosa). Aproximadamente el 40% se reutilizará en los sistemas de molde de la propia fundición, para validar su uso como sustitutivo de la arena nueva, y el 60% se empleará como árido fino secundario en construcción. Las tres aplicaciones piloto que se plantea llevar a cabo en el marco de la obra del tren de Alta Velocidad Madrid-Bilbao, se engloban en dos tipos:

1. Aplicaciones geotécnicas (terraplén): la arena regenerada, añadida directamente o mezclada con árido grueso, se compacta pero no se encapsula. Su calidad se especifica de acuerdo al Pliego PG-3 (clasificación de suelos) y a especificaciones técnicas de la obra.
2. Aplicaciones relativas a la fabricación de un producto constructivo, donde la arena

financially unfeasible, apart from requiring more energy, causing more air pollution generating more fines or even sludge. The proposed process has excellent productivity with low operating and maintenance costs. It can be readjusted in order to treat several types of sands (silica, zirconium, chrome, olivine and synthetic) and binder systems (green, furanic, phenolic, silicate) and to meet quality requirements for different end applications.

Over 1000 t of SFS is expected to be recovered throughout the project. To this end, a reclamation prototype yielding an environmentally safe by-product from a waste stream (non-hazardous SFS) will be integrated into the facilities of Fundiciones del ESTANDA, S.A. Approximately 40% of this will be reused in the moulding shop of the foundry, in order to validate it as replacement for new sand. The remaining 60% will be used as secondary fine aggregate in construction. The project's three pilot studies will be carried out within the framework of construction work on the Madrid-Bilbao High Speed Train line and will feature two types of application:

1. Geotechnical applications (embankment). The reclaimed SFS is added directly or mixed with coarse aggregates. The sand is compacted but remains unencapsulated. The quality of the reclaimed sand will be in accordance with PG-3 (soils classification) and the technical specifications of the worksite.
2. Applications related to the manufacture of a construction product, where the reclaimed sand is blended with other raw materials and binding agents: CLSM, for underpasses for tracks or road repairs, and flowable mortars, for backfilling of tunnel concrete coverings. The quality requirements are set out in the Spanish EHE 08 Code on structural concrete and the UNE-EN 13139 standard.

Hence, the LIFE ECO-SANDFILL project is in accordance with the EU waste management hierarchy: if SFS cannot



Vista general del prototipo de regeneración mecánica (izqda.) e imágenes SEM de muestras de arena residual de fundición antes (dcha. sup.) y después (dcha.inf.) del tratamiento de regeneración | General view of reclamation prototype (left) and SEM images of SFS samples before (right, top) and after (right, bottom) reclamation

Obras de una sección del tren de Alta Velocidad Madrid-Bilbao en el País Vasco | *Worksite on a section of the Madrid-Bilbao High Speed Train line in the Basque Country*

regenerada se mezcla con otras materias primas y aglomerantes: MBRC, para pasos bajo vía o reparaciones de calzada, y morteros bombeados, para relleno de cubiertas de hormigón de túneles. Los requisitos de calidad vienen marcados por la Instrucción EHE 08 y la norma UNE-EN 13139.

Así pues, el proyecto LIFE ECO-SANDFILL responde a la jerarquía de gestión de residuos de la UE: si la prevención no es posible, el material valioso contenido en las arenas residuales debe ser recuperado, preferiblemente reciclado. El proyecto también conecta con las provisiones del Paquete sobre Economía Circular, que introduce nuevos objetivos para residuos dirigidos a incentivar mayor eficiencia en el uso de recursos y medidas concretas para promover la reutilización y estimular la simbiosis industrial, convirtiendo los subproductos de una industria en materias primas de otra. Entre los elementos clave se encuentra un objetivo vinculante de reducción gradual de la eliminación en vertedero, desplegado en coherencia con los requisitos de reciclado en tres fases (2020, 2025 y 2030), hasta la prohibición de depósito en vertedero de todos los residuos excepto residuos peligrosos y finales para los que el vertido resulta la mejor opción desde el punto de vista ambiental. En el caso de los residuos industriales, habida cuenta de la diversidad de este flujo, la UE apuesta por un enfoque sectorial que utilice los documentos de referencia sobre las mejores técnicas disponibles (BREF) para abordar los problemas específicos referidos a la gestión de un determinado tipo de residuos.

El consorcio LIFE ECO-SANDFILL reúne todos los actores de la cadena de valor: Fundiciones del ESTANDA, S.A., fundición de acero generador de SFS de procesos de moldeo químico y en verde; ONDARLAN, S.L., suministrador del equipo de regeneración de arenas y perteneciente al grupo internacional INDUCTOTHERM, proveedor de equipamiento para la industria de fundición; la constructora ACCIONA Construcción responsable de la ejecución de los proyectos de demostración en obra con sustitución de áridos finos naturales por arenas regeneradas; y los Centros tecnológicos IK4-AZTERLAN (líder del proyecto), con experiencia reconocida en procesos metalúrgicos y soluciones ambientales a empresas del sector de la fundición, y GAIKER-IK4, especializado en el desarrollo y aplicación de herramientas de análisis de ciclo de vida y sostenibilidad. Las actividades del proyecto se desarrollan en el País Vasco, donde la industria de fundición de metales es una de las actividades industriales con mayor arraigo, concentrando alrededor del 50% de la fundición nacional. En esta comunidad la generación de arenas residuales de fundición representa la 5ª corriente principal de Residuos No Peligrosos, ascendiendo su generación anual a 135.000 t y presentando una tasa de valorización en torno al 33%, lo que deja 90.000 t/a con destino a vertedero, que requieren nuevas soluciones de gestión, como la ofrecida por el proyecto LIFE ECO-SANDFILL.



be prevented, the valuable materials from the waste sand should be recovered, preferably by recycling. The project is also consistent with the provisions of the Circular Economy Package, which introduces new waste targets for the purpose of achieving greater resource efficiency, and specific measures to promote reuse and stimulate industrial symbiosis — turning one industry's by-product into another industry's raw material. The targets of the Package include a binding, gradual reduction of all landfilling, implemented in coherence with recycling requirements, in three stages (2020, 2025 and 2030), eventually leading to a ban on all landfilling, except for certain hazardous waste and residual waste for which landfilling is the most environmentally sound option. For industrial waste, in view of the diversity of this stream, the EU has opted for an industry-oriented approach using Best Available Techniques reference documents (BREFs) to address the specific issues related to the management of a given type of waste.

The project consortium brings together all actors in the value chain: Fundiciones del ESTANDA, S.A., a steel foundry producing SFS from chemical and green moulding; ONDARLAN, S.L., a sand reclamation equipment supplier, belonging to the international INDUCTOTHERM Group, supplier of equipment to the foundry industry; the construction company ACCIONA Construcción, which is responsible for executing construction demos substituting natural fine aggregates with reclaimed SFS; the IK4-AZTERLAN Technology Centre (project coordinator), which has widely acknowledged expertise in metallurgical processes and the provision of environmental solutions to the foundry industry, and the GAIKER-IK4 Technology Centre, a specialist in the development and application of sustainability and life cycle assessment tools. The project is being carried out in the Basque Country, where the metal casting industry is long-established and accounts for around 50% of Spanish foundry production. SFS is the 5th largest Non-Hazardous Waste stream in terms of volume in this region. 135,000 t of this waste is generated annually and a recovery rate of 33% means that 90,000 t/yr is sent to landfill. Hence the need for new waste management solutions, such as those proposed in the LIFE ECO-SANDFILL project.

AVISO LEGAL | DISCLAIMER

Los contenidos de este artículo reflejan la opinión de los autores y no necesariamente la de la Comisión Europea. La Agencia no se hace responsable del posible uso de la información que contiene. | *The opinion stated in this article reflects the opinion of the authors and not the opinion of the European Commission. The Agency is not responsible for any use that may be made of the information it contains.*

AGRADECIMIENTO | ACKNOWLEDGEMENT

El proyecto LIFE ECO-SANDFILL está cofinanciado por el programa LIFE de la Unión Europea (Nº Contrato LIFE15 ENV/ES/000612) | *LIFE ECO-SANDFILL is co-financed by the LIFE programme of the European Union (Grant Agreement No. LIFE15 ENV/ES/000612)*



Delgado, Clara (IK4-AZTERLAN); Garitaonandia, Erika (IK4-AZTERLAN); Colaboradores: Rodríguez, Jose Luis (ONDARLAN); Ríos, Javier (GAIKER-IK4); García, Iñaki (ESTANDA); Martínez Puche, Antonio (ACCIONA)