



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Vivir sin dejar huella.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: López Chicote, Óscar

Tutor/a: Perez Rodriguez, Marta

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

VIVIR SIN DEJAR HUELLA

ALUMNO: ÓSCAR LÓPEZ CHICOTE
TUTORA: MARTA PÉREZ RODRÍGUEZ
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

CURSO: 2022/2023
TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

VIVIR SIN DEJAR HUELLA

Trabajo de Fin de Grado de Óscar López Chicote
Prof. Marta Pérez Rodríguez.

Grado en Fundamentos de la Arquitectura
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia

CURSO: 2022/2023

Universitat Politècnica de València



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

RESUMEN

Cada día que pasa deberíamos ser más conscientes del volumen total de CO₂ que emitimos anualmente. Según los datos extraídos de la Agencia Internacional de la Energía en el 2022 se ha visto incrementado, encontrándonos en la actualidad con el registro más alto computado hasta la fecha; un total de 36.8 Gt CO₂.

En el ámbito nacional, el Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico, en su informe anual de 2021 detalla que la construcción ocupa el puesto número dos en cuanto a emisiones de CO₂, con un 20,8% sobre el total. Pero si precisamos aún más, el cemento Portland, material base de nuestro modelo constructivo, alcanza entre 5-7% del total. Por ello, se hace necesario y urgente, plantear soluciones que vayan en la dirección de lograr los objetivos previstos en la agenda 2030, cuyo compromiso buscaba disminuir las emisiones de CO₂ UN 55% para el 2030.

Por todo ello, la industria, cada vez más consciente de esta situación, comienza a buscar soluciones más sostenibles en un afán por intentar responder a la problemática detectada. Teniendo en cuenta que el cemento Portland es el causante de una parte importante de las emisiones, este trabajo plantea como primer objetivo principal, evaluar la eficacia técnica y ambiental de reemplazar el cemento Portland, con cementos fabricados con residuos de diferentes ámbitos y además, aplicar estos a un sistema de construcción más eficiente. Este tipo de materiales implica una reducción considerable en las emisiones de CO₂ totales, pudiendo llegar a minimizar estas en un porcentaje elevado. Pero además, dentro de los geopolímeros, el trabajo aborda con más detalle el uso de otras materias primas para la fabricación del cemento como son, las cenizas de cáscara de arroz, el polvo de filtro de la industria del aluminio y el polvo del ladrillo. Esto permite abordar dos cuestiones relevantes. Por un lado, dar una respuesta local, ya que la base de estos elementos, como es el arroz y el ladrillo, los tenemos muy presentes en la Comunidad Valenciana. Y segundo, porque con estos materiales se permite reducir las emisiones de CO₂ total, permitiéndonos estar más cerca de los objetivos marcados, e incluso, apostar por lograr emisiones cero a la hora de elaborar este material.

Palabras clave: Cemento Portland, emisiones, arroz, ladrillo, aluminio, in situ, prefabricado industrializado.

RESUM

Cada dia que passa hauríem de ser més conscients del volum total de CO2 que emetem anualment. Segons les dades extretes de l'Agència Internacional de l'Energia en el 2022 s'ha vist incrementat, trobant-nos en l'actualitat amb el registre més alt computat fins hui; un total de 36.8 *Gt CO2.

En l'àmbit nacional, el Ministeri per a la Transició Ecològica i el repte demogràfic, en el seu informe anual de 2021 detalla que la construcció ocupa el lloc número dos quant a emissions de CO2, amb un 20,8% sobre el total. Però si precisem encara més, el ciment Portland, material base del nostre model constructiu, aconseguix entre 5-7% del total. Per això, es fa necessari i urgent, plantejar solucions que vagen en la direcció d'aconseguir els objectius previstos en l'agenda 2030, el compromís de la qual buscava disminuir les emissions de CO2 UN 55% per al 2030.

Per tot això, la indústria, cada vegada més conscient d'aquesta situació, comença a buscar solucions més sostenibles en un afany per intentar respondre a la problemàtica detectada. Tenint en compte que el ciment Portland és el causant d'una part important de les emissions, aquest treball planteja com a primer objectiu principal, avaluar l'eficàcia tècnica i ambiental de reemplaçar el ciment Portland, amb ciments fabricats amb residus de diferents àmbits i a més, aplicar aquests a un sistema de construcció més eficient. Aquest tipus de materials implica una reducció considerable en les emissions de CO2 totals, podent arribar a minimitzar aquestes en un percentatge elevat. Però a més, dins dels *geopolímeros, el treball aborda amb més detall l'ús d'altres matèries primeres per a la fabricació del ciment com són, les cendres de corfa d'arròs, la pols de filtre de la indústria de l'alumini i la pols de la rajola. Això permet abordar dues qüestions rellevants. D'una banda, donar una resposta local, ja que la base d'aquests elements, com és l'arròs i la rajola, els tenim molt presents a la Comunitat Valenciana. I segon, perquè amb aquests materials es permet reduir les emissions de CO2 total, permetent-nos estar més prop dels objectius marcats, i fins i tot, apostar per aconseguir emissions zero a l'hora d'elaborar aquest material.

Paraules clau: Ciment Portland, emissions, arròs, rajola, alumini, in situ, pre-fabricat industrialitzat

ABSTRACT

With each passing day we should be more aware of the total volume of CO₂ we emit annually. According to data extracted from the International Energy Agency, by 2022 it has increased, and we are currently at the highest level recorded to date; a total of 36.8 Gt CO₂.

On a national level, the Ministry for Ecological Transition and the demographic challenge, in its annual report for 2021, details that construction occupies the number two position in terms of CO₂ emissions, with 20.8% of the total. But if we look even further, Portland cement, the basic material of our construction model, accounts for 5-7% of the total. Therefore, it is necessary and urgent to propose solutions to achieve the objectives set out in the 2030 agenda, whose commitment was to reduce CO₂ emissions by 55% by 2030.

For all these reasons, the industry, increasingly aware of this situation, is beginning to look for more sustainable solutions in an attempt to respond to the problems detected. Bearing in mind that Portland cement is the cause of an important part of the emissions, the first main objective of this work is to evaluate the technical and environmental effectiveness of replacing Portland cement with cements made from waste from different areas and also to apply these to a more efficient construction system. This type of material implies a considerable reduction in total CO₂ emissions, which can be minimised by a high percentage. In addition, within geopolymers, the work deals in more detail with the use of other raw materials for the manufacture of cement, such as rice husk ash, filter dust from the aluminium industry and brick dust. This allows two relevant issues to be addressed. On the one hand, to provide a local response, since the basis of these elements, such as rice and brick, is very present in the Valencian Community. And secondly, because with these materials it is possible to reduce total CO₂ emissions, allowing us to be closer to the targets set, and even aim to achieve zero emissions when producing this material.

Key words: Portland cement, emissions, rice, brick, aluminium, in-situ, industrialised prefabricated

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mi familia, en especial a mis padres, por animarme en todo momento y por apoyarme en todas mis decisiones a lo largo de mi vida.

A mi pareja por aguantar todas esas horas de trabajo y todos los momentos de frustración que he podido tener, por no dejarme caminar solo en el camino tan duro que es esta carrera y por no soltarme de la mano ningún día.

A todos mis amigos de la universidad, ya que han sido mi gran pilar a diario en la escuela, con los que he compartido momentos muy duros y muy buenos a lo largo de 5 años.

A mis amigos de mi pueblo, ya que han aguantado el no verme tanto por todo lo que implica esta carrera y la carga de trabajo que tiene.

Y a Marta, no solo por guiarme en este trabajo sino por enseñarme lo que es disfrutar de la arquitectura desde que fue mi profesora en proyectos 3.

ÍNDICE

1. Introducción

- 1.1. Motivación.
- 1.2. Objetivos de la investigación.
- 1.3. Metodología.

2. Fundamentos teóricos

- 2.1. Composición y propiedades del cemento Portland.
 - 2.1.1. Composición del cemento Portland.
 - 2.1.2. Propiedades del cemento Portland.
- 2.2. Usos y tipos del cemento Portland.
- 2.3. Proceso de producción del cemento Portland.
- 2.4. Impactos ambientales y sociales de la producción del cemento.

3. Nuevos materiales para mejorar las propiedades del cemento

- 3.1. Ceniza de cáscara de arroz
 - 3.1.1. Composición y propiedades de la ceniza de cáscara de arroz.
 - 3.1.2. Ventajas y desventajas del uso de la ceniza de cáscara de arroz.
 - 3.1.3. Emisiones de CO₂ asociadas a la producción de la ceniza de cáscara de arroz.
- 3.2. Polvo de ladrillo
 - 3.2.1. Composición y propiedades del polvo de ladrillo.
 - 3.2.2. Ventajas y desventajas del uso del polvo de ladrillo.
 - 3.2.3. Emisiones de CO₂ asociadas a la producción del polvo de ladrillo.
- 3.3. Polvo de filtro de la industria del aluminio
 - 3.3.1. Composición y propiedades del polvo de filtro de la industria del aluminio.
 - 3.3.2. Ventajas y desventajas del uso del polvo de filtro de la industria del aluminio.
 - 3.3.3. Emisiones de CO₂ asociadas a la producción del polvo de filtro de la industria del aluminio.
- 3.4. Evaluación de los impactos ambientales de la producción y uso de los nuevos materiales.
- 3.5. Análisis de las ventajas y desventajas de la utilización de estos materiales en la construcción actual.
- 3.6. Conclusión sobre la utilización de los nuevos materiales.

4. Aplicación de los nuevos materiales en la construcción actual

- 4.1. Aplicación de estos materiales a los sistemas de hormigonado in situ y prefabricados industrializados de hormigón
 - 4.1.1. Sistema de hormigonado in situ.
 - 4.1.2. Sistema de hormigonado prefabricados industrializados.
 - 4.1.3. Conclusión sobre la utilización de los nuevos materiales con los sistemas de hormigonado in situ y prefabricados industrializados.

5. Respuesta de los nuevos materiales con los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030

6. Conclusiones

7. Referencias bibliográficas

8. Recursos digitales



Fig. 01. Portada. Edificio de hormigón.
Designboom.com
Fig. 02. Hormigón visto. Pixaby. Editor:
Broesis

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN

Con este trabajo he podido tener la oportunidad de acercarme a la composición del cemento y del hormigón. Poder estudiar y conocer las fases de elaboración de estos materiales con diferentes materias primas.

Desde que era pequeño ha sido un tema que me ha parecido muy interesante gracias a mi padre, el cual tiene una empresa de construcción y en la que he podido trabajar y poder tocar con mis propias manos estos materiales, poder aplicarlos y elaborarlos para diferentes estructuras y poder cuestionarme muchas cosas de este material.

Por todo lo anterior me parecía necesario poder estudiar este tema y dar a conocer a la gente las mejoras obtenidas en el campo de la sostenibilidad gracias a la introducción de nuevos componentes para la elaboración del cemento, pero analizando posteriormente los materiales que tenemos más presentes en la Comunidad Valenciana para la elaboración de un cemento más sostenible

1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos generales son:

- Evaluar la eficacia técnica y ambiental de reemplazar el cemento Portland, con cementos fabricados con cáscara de arroz, polvo de ladrillo y polvo de filtro de la industria del aluminio.
- Analizar los ejemplos de uso de estos cementos en la industria de la construcción de sistemas in situ y prefabricados

Se comienza analizando los objetivos secundarios, como:

1. Analizar las propiedades físicas y químicas, así como la composición del cemento producido en la industria de la construcción, utilizando para ello el polvo de ladrillo, el polvo de filtro de la industria de aluminio y la ceniza de la cáscara de arroz.
2. Evaluar la eficacia de estos cementos alternativos en términos de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y durabilidad en comparación con el cemento Portland.
3. Evaluar los efectos ambientales de la producción de estos cementos alternativos, incluidos los gases de efecto invernadero, el uso de energía y el manejo de desechos.
4. Analizar los precios de producción y los beneficios económicos de fabricar cementos alternativos en comparación con el cemento Portland.
5. Realizar una conclusión sobre el análisis técnico y económico de los nuevos materiales en comparación con el cemento Portland.

1.3. METODOLOGÍA

Para elaborar este trabajo se requiere definir ciertos aspectos del cemento Portland y como se verían afectadas sus prestaciones con la sustitución del clinker por otras materias primas como puede ser la ceniza de la cáscara de arroz, polvo de ladrillo y polvo de filtro de la industria del aluminio. Además de esto aplicaremos estos cementos a los sistemas de construcción actuales. Para ello nos basaremos en investigaciones realizadas, donde veremos las mejoras que aportan estos.

Las metodologías son:

1. Examinar la composición química y las propiedades físicas que tienen estos cementos, de esta manera se podrá ver las diferencias en las propiedades de el cemento Portland y los nuevos materiales,
2. Estudiar los efectos que tiene la producción de estos cementos alternativos en el medio ambiente.
3. Se realiza una investigación para ver que tipo de construcciones han utilizado estos materiales. Además, de los diferentes sistemas constructivos en los que estos materiales se pueden aplicar, comparando entre sí dos casos para observar las diferencias de emisiones.
4. Realizar un análisis de la producción de estos cementos alternativos con el cumplimiento de objetivos y metas definidos por los ODS.
5. Análisis técnico y económico, sobre los nuevos materiales en comparación al cemento Portland.

Según los resultados, se sacan conclusiones sobre si es posible reemplazar el cemento Portland con estos cementos alternativos, y sugerencias para su uso en la industria de la construcción.

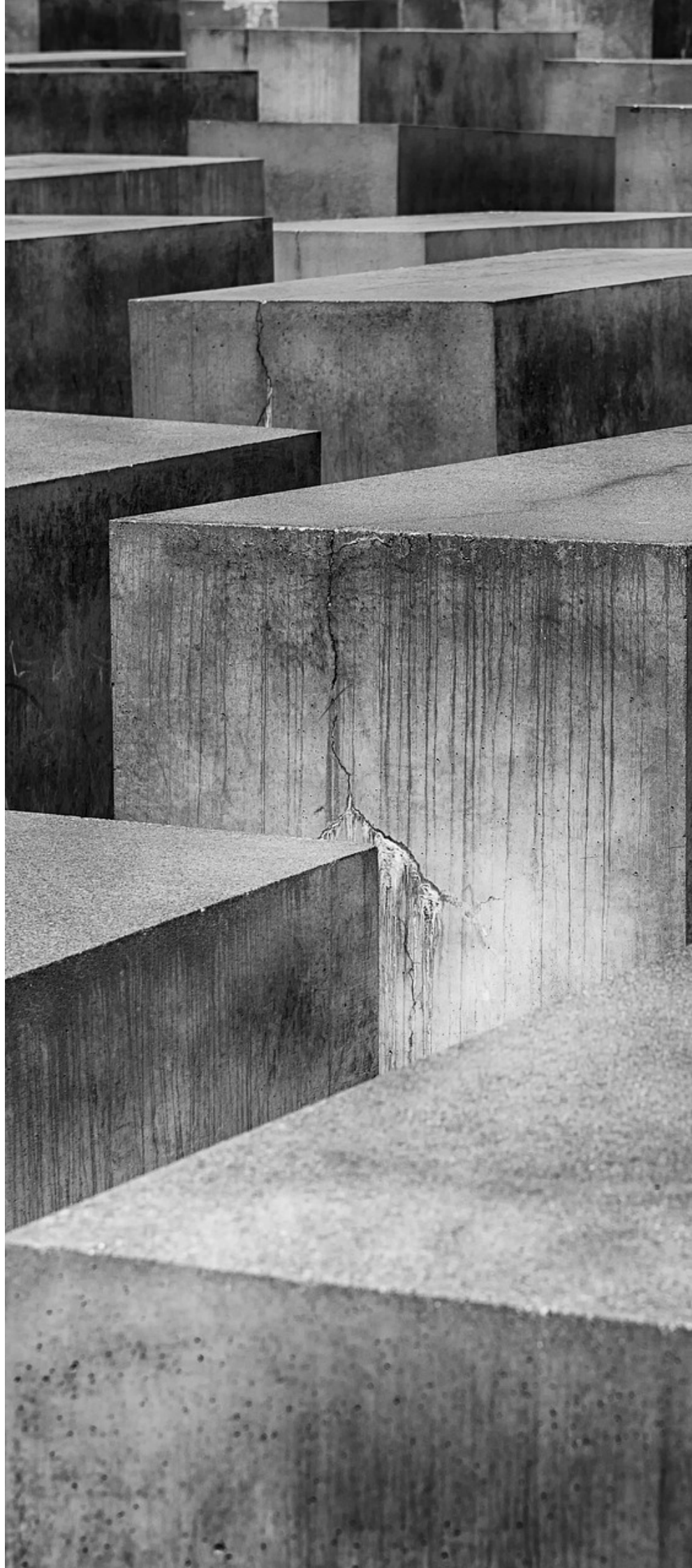


Fig. 03. Bloque de hormigón.
Pixaby. Editor: 3093594

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En 1824 Joseph Aspdin y James Parker patentaron una mezcla. Se le dio el nombre de Portland porque cuando fraguaba tenía un color muy parecido al de la piedra de Portland, una caliza extraída en la costa del Canal de Portland en Dorset, en el sur de Inglaterra (Cemento Portland, 2021).

William Aspdin, hijo de Joseph Aspdin (1815-1864), comenzó a producir cemento Portland cerca de Londres en una planta en Rotherhithe en 1843. Se considera el primer productor contemporáneo de Cemento Portland.

La producción de cemento Portland comenzó en 1850 tanto en Alemania como en Francia.

En España, la primera producción se produjo en Asturias, se hicieron 100.000 toneladas de cemento Portland en 1909 (Cemento Portland, 2021), y en 2007 llegó a su máxima producción de 54,5 millones de toneladas.

2.1. COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DEL CEMENTO PORTLAND



Fig. 04. Cemento Portland en polvo. (RUBI, 2022)

El cemento Portland puede presentar en su composición diversos materiales. Los que más se utilizan para su elaboración suelen ser los expresados en la tabla 1.

2.1.1. Composición del cemento Portland

El cemento Portland, una de las formas más comunes de cemento, se compone de varios compuestos químicos. Los principales componentes son el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminato tricálcico y el ferrito tetracálcico. También contiene una pequeña cantidad de álcalis y pequeñas cantidades de óxidos. En la tabla 01 se detalla la composición promedio del cemento Portland

Tabla 01. Composición química del cemento Portland (Hewlett,2003) .

COMPONENTES	%
Silicato tricálcico (C3S)	50-60%
Silicato dicálcico (C2S)	15-20%
Aluminato tricálcico (C3A)	5-10%
Tetra-calcio aluminoferrito (C4AF)	5-15%
Álcalis	1-5%
Trióxido de azufre (SO ₃)	1-5%
Óxido de magnesio (MgO)	1-5%
Óxido de hierro (Fe ₃ O ₄)	1-5%

Asimismo, las impurezas también pueden estar presentes en la composición del cemento Portland, como los óxidos de calcio (CaO) y magnesio (MgO) (Cemento Portland, 2021).

2.1.2. Propiedades del cemento Portland

En cuanto a las propiedades físicas del cemento Portland, podemos destacar 8:

1. Granulometría: La finura del cemento Portland es una propiedad importante dentro del desarrollo de las características cementantes. La hidratación del cemento depende directamente de su composición y acabado, por lo que Portland juega un papel importante en el desarrollo de las características cementantes (Finura Del Cemento Portland, n.d.).

En la superficie exterior de los granos es donde comienza la hidratación del cemento. La finura del cemento se calcula a partir de la superficie específica de las partículas en un gramo de cemento. Esto se debe a que, a pesar de que la finura está muy relacionada con el tamaño de las partículas de cemento, el área superficial de las partículas representa el material disponible para hidratación (Finura Del Cemento Portland, n.d.).

El proceso de fabricación del cemento Portland a través de la molienda del Clinker y las operaciones tecnológicas posteriores determinan las leyes sobre la distribución del tamaño de los granos de cemento.

Según Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi (2004), el 95% de las partículas de cemento son menores a 45 µm con un promedio de 15 µm.

Según Duda (1977), la fracción granulométrica de 3 – 30 µm es decisiva para el desarrollo de las resistencias mecánicas del cemento. La fracción menor de 3 µm solo proporciona resistencias iniciales; esa fracción se hidrata rápidamente y, después de un día, proporciona resistencias a compresión y flexotracción más altas. La fracción que supera los 60 µm se hidrata lentamente y solo desempeña un papel secundario en la resistencia del cemento. Sin embargo, como aclaró Duda (1977), estos datos son solo un punto de partida.

2. Tiempo de fraguado: El fraguado es el proceso por el cual el hormigón (o mortero de cemento) se endurece y pierde su plasticidad.

El endurecimiento inicial es el primer paso en el endurecimiento del hormigón, cuando comienza a fraguar pierde elasticidad a nivel superficial. Dependiendo de la humedad, la temperatura, el viento y otros factores, este endurecimiento inicial puede durar aproximadamente 10 horas (DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL DEL CEMENTO , n.d.).

Siempre se puede agregar aditivos retardantes o acelerantes del fraguado, según te convenga, si necesita mejorar la trabajabilidad.

Dependiendo del tipo de cemento se establecen diversas especificaciones para tiempos de fraguado como puede observarse en la tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones de fraguado según la norma. (DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL Y FINAL DEL CEMENTO , n.d.)

Tipo de cemento	Norma ASTM	Aparato	Tiempo mínimo de fraguado	Tiempo máximo de fraguado
Cemento Portland	C 150-02	Gillmore	60 min	600 min
		Vicat	45 min	375 min

3. Color: El color del cemento Portland puede variar desde un gris claro hasta un gris oscuro, dependiendo de la composición específica del cemento y de los materiales utilizados en su producción.

4. Porosidad: Según el "Concrete Design and Production" publicado por el American Concrete Institute (ACI), la porosidad del cemento Portland bien curado puede oscilar entre 10 y 20%. Sin embargo, estos valores pueden variar dependiendo de las condiciones específicas mencionadas anteriormente.

5. Resistencia a compresión: La prueba de resistencia a la compresión evalúa la capacidad del cemento para soportar la presión. Los técnicos prueban las muestras en cubos de mortero de cemento en condiciones controladas para determinar su resistencia a compresión. La hidratación ocurre a diferentes ritmos, lo que hace que el cemento Portland alcance diferentes niveles de resistencia con el tiempo, dependiendo del tipo de cemento y el uso previsto.

Los técnicos realizan pruebas de resistencia en diferentes momentos. Se realizan pruebas en un día, tres días, siete días, 28 días o 90 días. Una vez pasado el correspondiente plazo de tiempo, se colocan en una máquina hidráulica bajo una carga de compresión hasta que se rompa. Analizan los resultados de acuerdo con los requisitos de resistencia a la compresión establecidos por una norma internacional, como la ASTM C150. Hay que tener en cuenta que el promedio es de 34,8 MPa.

6. Resistencia a flexión: Diversos estudios han determinado que la resistencia a la flexión del cemento Portland típico puede variar dependiendo de varios factores, como la proporción de agua-cemento, el tipo de agregado utilizado y el tiempo de curado. En general, se puede esperar que la resistencia a la flexión del cemento Portland sea en el rango de 4 a 8 MPa después de 28 días de curado

7. El peso específico del cemento Portland es una medida de cuánto pesa una cierta cantidad de este material en comparación con la misma cantidad de agua. Es una propiedad importante ya que afecta tanto a la resistencia como a la trabajabilidad del concreto.

Según "Concrete Technology" de Neville y Brooks (2010), el peso específico del cemento Portland normalmente oscila entre 3,10 y 3,15 g/cm³ (o 3100-3150 kg/m³).

8. Densidad: Según el "Concrete Design Handbook" publicado por la Cement Association of Canada, la densidad absoluta del cemento Portland es de aproximadamente 3150 kg/m³, mientras que su densidad aparente (que incluye aire y espacio vacío entre las partículas) es ligeramente menor, entre 1440 y 1480 kg/m³. La densidad también puede cambiar si el cemento se compacta, lo cual puede suceder durante el almacenamiento y el manejo.

2.2. USOS Y TIPOS DEL CEMENTO PORTLAND

Es crucial emplear los materiales y productos adecuados en cualquier tipo de construcción para asegurar su eficacia. En el caso de la construcción de infraestructuras, el uso de cemento Portland es fundamental para obtener excelentes resultados, siendo uno de los mejores para una amplia gama de estructuras de hormigón.

El cemento Portland es uno de los más conocidos por estar compuesto por clinker pulverizado y sulfato de calcio. Es un polvo que toma una consistencia homogénea rápidamente en contacto con el agua debido a sus propiedades, lo que lo hace mucho más manejable y producir resultados de alta resistencia.

USOS DEL CEMENTO PORTLAND:

Este tipo de cemento se utiliza con frecuencia y es de alta calidad, por lo que se emplea en estructuras que requieren un desencofrado rápido, en trabajos de hormigón armado, para la creación de ladrillos, adoquines y bloques de hormigón, así como para cualquier trabajo de albañilería que requiera un cemento que se endurezca rápidamente. (Uso Y Aplicación Del Cemento Portland, n.d.)

TIPOS DEL CEMENTO PORTLAND:

Los principales tipos de cementos Portland según ASTM C150 son:

Tipo I: Cemento Portland ordinario.

Tipo II y Tipo II (MH): Resistencia media al calor y sulfatos. .

Tipo III: Cemento de endurecimiento rápido.

Tipo IV: Cemento Portland para bajo calor de hidratación.

Tipo V: Cemento resistente a los sulfatos.

A continuación se analizarán mas detalladamente cada tipo.

Tipo I: Cemento Portland ordinario.

El del tipo I es adecuado para todos los usos donde no se requieren las propiedades especiales de otros tipos. Se utiliza en situaciones en las que el cemento o el hormigón no están expuestos a exposiciones específicas, como a los sulfatos del suelo o del agua, o a temperaturas exageradas provocadas por la hidratación. (Hablando De Cementos Portland, 2019)

Sus usos incluyen puentes, estructuras ferroviarias, tanques, depósitos, alcantarillas, unidades de mampostería, tuberías de agua y estructuras de hormigón armado.

Tipo II y Tipo II MH: Resistencia media al calor y sulfatos. .

Se puede usar en estructuras normales, así como en miembros expuestos a suelos o agua subterránea donde las concentraciones de sulfatos o calor de hidratación son más altas de lo normal pero no extremas.

Debido a que no contiene más del 8% de aluminato tricálcico, este cemento tiene propiedades de resistencia moderada a los sulfatos. Para prevenir el ataque al hormigón, se debe utilizar el cemento tipo II junto con un material cementante que tenga una relación de agua baja y una baja permeabilidad. (Hablando De Cementos Portland, 2019)

Tipo III: Cemento de endurecimiento rápido.

Ofrece una alta resistencia a edades tempranas, con una duración prolongada de una semana o menos. Este cemento es comparable al cemento Tipo I, pero sus partículas se muelen más fácilmente. Por lo tanto, se usa cuando las cimbras (encofrados) deben eliminarse lo antes posible o cuando la estructura debe ser puesta en servicio rápidamente. (Hablando De Cementos Portland, 2019)

Tipo IV: Cemento Portland para bajo calor de hidratación.

Se utiliza en situaciones en las que se debe reducir la cantidad de calor producido por la hidratación. Como resultado, este tipo de cemento desarrolla la resistencia más lentamente que otros tipos. Se puede utilizar en estructuras de hormigón masivo donde la alta temperatura resulta del calor producido durante el endurecimiento y debe reducirse. (Hablando De Cementos Portland, 2019)

Tipo V: Cemento resistente a los sulfatos.

Se utiliza en hormigones que están expuestos a altas concentraciones de sulfatos, principalmente en áreas donde el suelo y el agua subterránea contienen altas concentraciones de estos. Este cemento tiene una alta resistencia a los sulfatos debido a su bajo contenido de aluminato tricálcico, que no supera el 5%. (Hablando De Cementos Portland, 2019)

2.3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL CEMENTO

La fabricación consta de diferentes etapas expresadas a continuación (tabla 03):

1. Fragmentado y triturado: En esta primera fase, la piedra calcárea y la arcilla se fragmentan y se muelen hasta quedar reducidas a polvo (Yepes Piqueras, 2015).

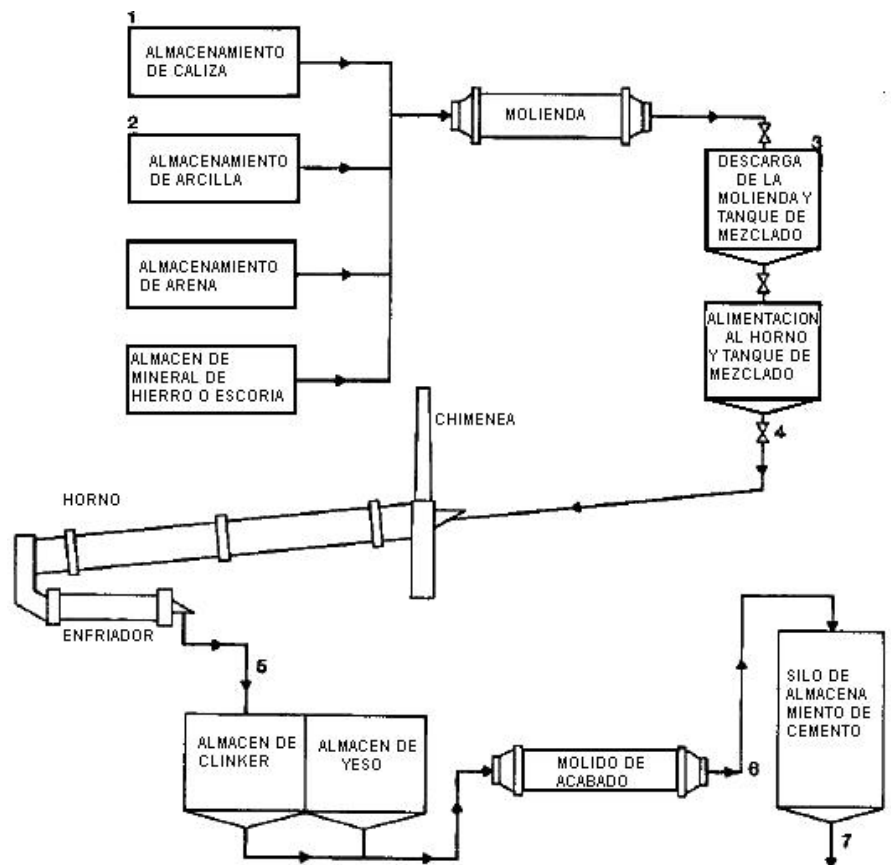
2. Dosificación y mezcla: Las cantidades precisas de cada material se mezclan en una cuba o cisterna grande y se amasan hasta lograr la textura deseada (Yepes Piqueras, 2015).

3. Cocción: Se lleva a cabo en un horno giratorio en forma de cilindro con una longitud máxima de 100 metros. El material fluye lentamente a través del tubo y se cuece a una temperatura de entre 1.300 y 1.500 °C. El clínker es un tipo de bola que sale de él (Yepes Piqueras, 2015).

4. Molido del clínker: El cemento es un polvo muy fino que se forma cuando se muele el clínker (Yepes Piqueras, 2015).

5. Empaquetamiento y almacenamiento: El cemento se almacena en silos de almacenamiento. Después se empaqueta en sacos de 50 kg y se prepara para su venta y uso (Yepes Piqueras, 2015).

Tabla 3. Proceso de producción del cemento.



2.4. IMPACTOS AMBIENTALES Y SOCIALES DE LA PRODUCCIÓN DEL CEMENTO

A lo largo de este apartado veremos los impactos ambientales que tiene el cemento según el proceso productivo, y aportaremos datos sobre la energía producida y sobre las emisiones emitidas a la atmósfera.

Tabla 4. Impactos ambientales según la etapa del proceso productivo (Navas de García et al., 2015):

ETAPA DEL PROCESO	IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS
1.Recepción de la materia prima	<ul style="list-style-type: none"> ·Contaminación atmosférica por emisiones de polvo. ·Abundante uso de energía y agua. ·Dispuesto en fosas de decantación, que requiere la disposición del material solidificado y el saneamiento.
2.Producción del hormigón	<ul style="list-style-type: none"> ·Contaminación del aire, se generan gases ·Incremento de los niveles de ruido en la planta de concreto y áreas cercanas. ·Afectación de la calidad de las aguas por descargas de efluentes parcialmente tratados durante la operación de la planta. ·Manejo inadecuado de desechos peligrosos y no peligrosos en la planta y áreas cercanas
3.Uso del producto	<ul style="list-style-type: none"> ·Afectación de la calidad de las aguas como consecuencia del proceso de lavado y mantenimiento de las diversas obras. ·Manejo inadecuado de desechos sólidos en obras de remodelación
4.Disposición final	<ul style="list-style-type: none"> ·Disposición inadecuada de los desechos generados en las obras de demolición. ·Incremento en los niveles de ruido durante las obras de desmantelamiento y demolición. ·Contaminación atmosférica por generación de polvo y gases. ·Afectación a la calidad de las aguas por generación de efluentes contaminados.

2.4.1. Uso de energía durante la fabricación de cemento Portland:

En la actualidad, es muy importante el control de la energía, por lo que a la hora de producir el material será un aspecto a tener en cuenta.

El cemento blanco se produce mediante el calentamiento de una mezcla de arcilla y caliza a aproximadamente 1.450 °C. El conjunto de las reacciones que se producen hasta la obtención del clínker, de carácter duro endotérmico, consume entre 380 y 440 kcal/kg de clínker, con un valor más frecuente de 420 kcal/kg. (MORALES, n.d.)

En 2004, el sector del cemento, consumió 422 trillones de Btus de energía, casi el 2% del total de energía consumida por la industria americana (PCA 2006).

En España, la producción de cemento es la segunda industria en consumir más combustible (2 MM t) después de las centrales térmicas, y la situación es similar en la mayoría de los países europeos. Además, la energía en todas sus formas es un factor importante en el costo del cemento. Antes de la crisis energética, se calculó que esta parte del precio del cemento representaba el 25 %, pero ahora supera el 35 % según los siguientes consumos medios por t de clínker.

2.4.2. Emisiones a la atmósfera

Es evidente que la mayor connotación negativa de los productos derivados del cemento, como es el caso de los elementos prefabricados de hormigón, es el impacto ambiental relacionado con la producción de cemento, particularmente como resultado del proceso de calcinación, también conocido como descarbonatación, para producir el cemento principal.

En la actualidad, para la producción de clínker se calcina la piedra caliza, compuesta esencialmente de carbonato cálcico (CaCO_3), a unos 900°C para generar óxido de calcio o cal (CaO), liberando dióxido de carbono (CO_2) en el proceso. Posteriormente el CaO reacciona en el horno a altas temperaturas (entre $1400\text{-}1500^\circ\text{C}$) con sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxidos de hierro (Fe_2O_3), para formar silicatos, aluminatos y ferritas de calcio, principales constituyentes del clínker. El horno se calienta mediante la combustión de diferentes tipos de combustibles, generando emisiones asociadas a la combustión. (FABRICACIÓN DE CEMENTO (COMBUSTIÓN), n.d.)

Además, durante la fabricación de cemento ocurren actividades emisoras de partículas como son la manipulación de materias primas, la molienda del clínker o los procesos de almacenaje y envasado. También ocurren emisiones de partículas en la actividad de obtención de materias primas que alimentan el proceso.

Actualmente a nivel mundial, la fabricación de cemento representa aproximadamente del 5 al 7 % de las emisiones totales de CO_2 a la atmósfera, que esto equivale a 2900 millones de toneladas anuales (Mariela, 2022). En España, la producción de cemento también contribuye significativamente a las emisiones de CO_2 (La Recarbonatación De Los Elementos Constructivos De Hormigón Como Vía De Reducción De Las Emisiones De CO_2 , n.d.). En 2019, la industria del cemento en España emitió alrededor de 16,4 millones de toneladas de CO_2 (Oficina Española de Cambio Climático, 2021). Esta cifra representa aproximadamente el 5% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero del país. (Oficina Española de Cambio Climático, 2021)

En comparación a lo expuesto anteriormente, en el año 2020 se asociaron 1.452.538 toneladas de emisiones de CO_2 a la rama del cemento, que esto equivale un 17,8 % de las emisiones totales de la comunidad Valenciana. (Balance de emisiones de gases de efecto invernadero del año 2020, de las instalaciones de la comunitat valenciana con autorización administrativa de emisión de gases de efecto invernadero, 2020)

La producción de cemento Portland también produce partículas, metales pesados, óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x), además de emisiones de CO_2 . Estos contaminantes pueden dañar la calidad del aire y la salud humana, por lo que su control es crucial para la gestión ambiental de las plantas de cemento (Bosoaga et al., 2009).

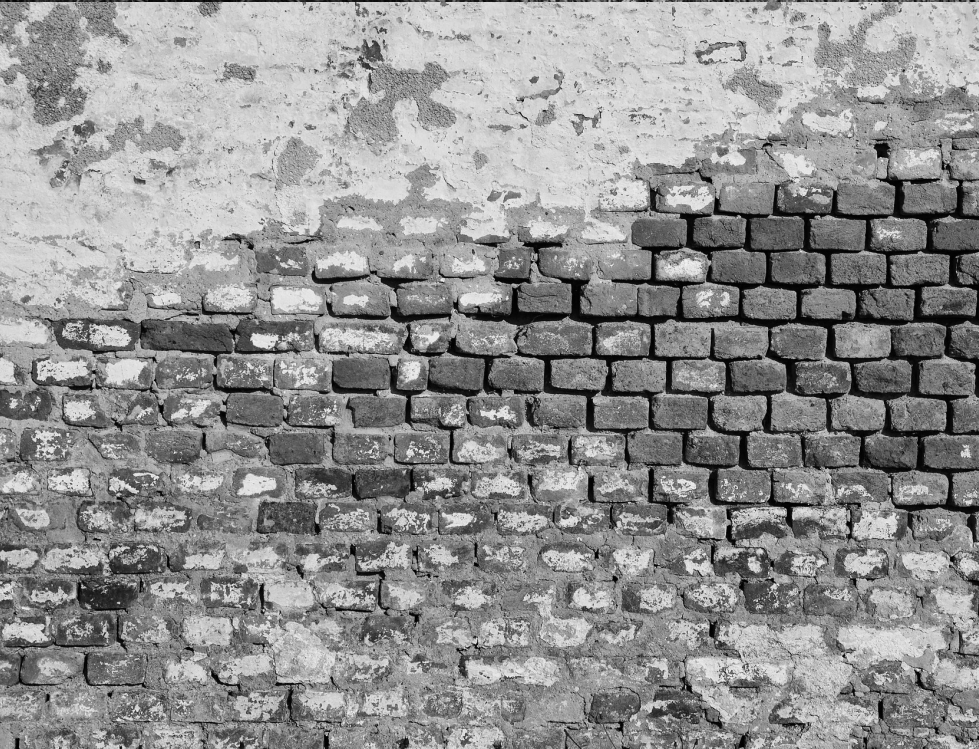


Fig. 05. Campo de arroz. Valencia gastronomic.com
Fig. 06. Tabique de ladrillo. Pixaby.
Editor: Uvlik05
Fig. 07. Perfiles de aluminio. Pixaby.
Editor: Tanya1223

3. NUEVOS MATERIALES PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO

Con el fin de mejorar las prestaciones del cemento y sus propiedades, se tiene en cuenta la posibilidad de incorporar ciertos materiales en su proceso de fabricación, los cuales tras los ensayos correspondientes se podrá ver si son factibles o no. Se analizarán la cáscara de arroz, el polvo de ladrillo y el polvo de filtro de la industria de aluminio.

Además de mejorar las propiedades del cemento, entra en juego una cuestión sostenible de los materiales incorporados, como puede ser el reciclaje de los desechos en la producción del arroz, el aprovechamiento del polvo de ladrillo proveniente de las demoliciones de edificios y el aprovechamiento del polvo de los residuos en la industria del aluminio.

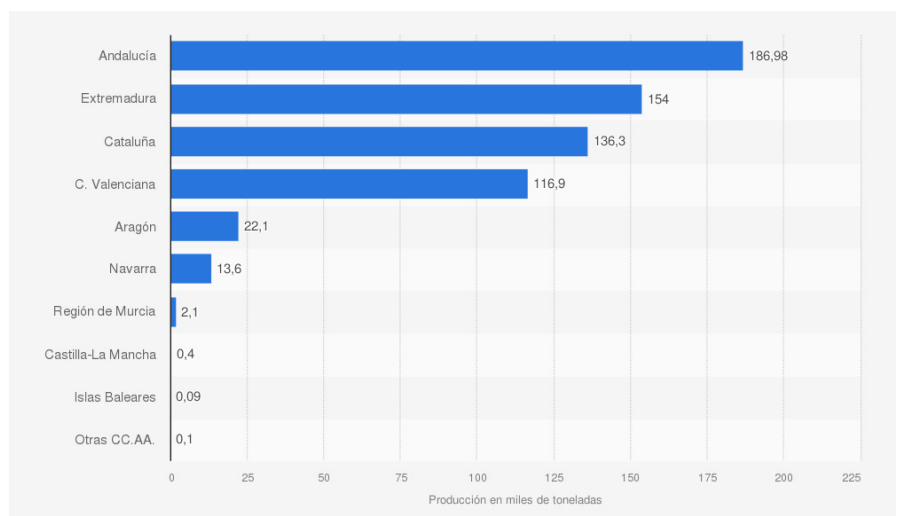
Para la investigación de las siguientes adiciones se tienen en cuenta diferentes ensayos, como el realizado por Laboratorios Contecon Urbar (Bogotá) para el caso de la cáscara de arroz; el ensayo de evaluación de la adición de polvo de ladrillo, realizado por la Fundación Universidad de América (Bogotá); y el ensayo para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un hormigón ligero a partir del polvo de aluminio, realizado por la Universidad Ricardo Palma (Perú).

3.1. CENIZA DE CÁSCARA DEL ARROZ

El arroz es conocido como uno de los alimentos más comunes e importantes del mundo. En cuanto a su producción, según los datos de la FAO, la producción mundial de arroz en 2022/23 ha disminuido levemente, alcanzando los 516,7 millones de toneladas de arroz elaborado. Este nivel sería un 1,8 % por debajo de la estimación de 2021/22. El máximo histórico fue de 526,0 millones de toneladas (Producción De Arroz Con Cáscara En Grano En España En 2021, Por Comunidad Autónoma , 2021).

En cuanto a la producción en la Comunidad Valenciana, se encuentra como la cuarta de España, con una producción de 116,9 mil toneladas (Tabla 05).

Tabla 05. Producción de arroz con cáscara en grano en España 2021 .



La cáscara de arroz es un subproducto producido por la industria arrocera, y representa el 20% de la producción total de arroz. Debido a su alto contenido en sílice (SiO₂) (Mafla, 2009), solo se puede llegar a usar en la elaboración de alimentos para animales, pero para digerirla mejor esta se tiene que remover o triturar.

3.1.1. Composición y propiedades de la ceniza de cáscara de arroz

3.1.1.1. Composición de la cáscara de arroz

La cáscara de arroz es un tejido vegetal rico en celulosa y sílice. Debido a su alto contenido de sílice, la cáscara de arroz sufre procesos de disociación al quemarse, lo que la hace ideal para su uso como material agroindustrial y le otorga resistencia al cemento.

Entre los porcentajes de los elementos que la componen el que tiene un grado alto de relevancia es el sílice (20%). El poder calorífico de la cáscara de arroz es de 3.281 cal/kg debido a tener una estructura cerrada. Otra característica es que en condiciones naturales tiene una baja biodegradación. Según investigaciones, al ser quemado produce alrededor del 17,8% de la ceniza con contenido de sílice. (Prada & Cortés, 2010)

En la tabla 06 se analiza la composición química de la cáscara de arroz y la ceniza de cáscara de arroz.

Tabla 06. Composición química de la cáscara de arroz y la ceniza de cáscara de arroz (Prada & Cortés, 2010)

Cáscara de arroz		Ceniza de cáscara de arroz	
Componente	%	Componente	%
Carbono	39,1	Ceniza de sílice (SiO ₂)	94,1
Hidrogeno	5,2	Oxido de Calcio (CaO)	0,55
Nitrógeno	0,6	Oxido de magnesio (MgO)	0,95
Oxigeno	37,2	Oxido de Potasio (K ₂ O)	2,1
Azufre	0,1	Oxido de Sodio (Na ₂ O)	0,11
Cenizas	17,8	Sulfato	0,06
		Cloro	0,05
		Oxido de Titanio (TiO ₂)	0,05
		Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,12
		Otros Componentes (P ₂ O ₅ F ₂ O ₃)	1,82
TOTAL	100	TOTAL	100

Al realizar la quema de la cáscara de arroz se obtiene la ceniza de cáscara de arroz, con la cual se realizan las mezclas para conseguir el cemento.

3.1.1.2. Propiedades de la cáscara de arroz

Antes de hablar de las principales propiedades de la cáscara del arroz, se puede destacar la conductividad térmica de esta en la tabla 07.

La conductividad térmica de un material, es una medida de su habilidad para conducir el calor. En el contexto de la construcción, la conductividad térmica es un factor importante en el rendimiento térmico de un edificio. Un material con baja conductividad térmica es un buen uso, lo que significa que puede ayudar a mantener constante la temperatura interior de un edificio, independientemente de las condiciones exteriores.

Tabla. 07. Conductividad térmica de algunos materiales ((LEIVA, 2017))

Material	Conductividad Térmica " λ "(W/M*K)
Lana mineral	0.0303
Poliestireno expandido	0.0330
Cáscara de arroz	0.0360
Fibra de vidrio	0.0380
Corcho aglomerado	0.0450

Las propiedades de la ceniza de cáscara de arroz varían según la composición y el proceso de producción utilizado. Las siguientes son algunas características comunes de la cáscara del arroz, con valores aproximados:

1. Granulometría: Según un estudio de Salahudeen et al. (2015), las cenizas de cáscara de arroz molidas pueden tener un tamaño de granulometría de alrededor de 5 μm , que es comparable al tamaño de las partículas de cemento Portland. Este tamaño de partícula pequeña aumenta la reactividad del cemento y mejora sus propiedades, como su resistencia a la compresión y su durabilidad a largo plazo.

2. Color: El color del cemento de ceniza de cáscara de arroz puede variar mucho según el proceso de producción, la pureza de la ceniza de cáscara de arroz (RHA) y otros factores. El color de RHA varía de blanco a gris claro. Cuando se mezcla con agua y se utiliza en la producción de cemento, el producto final tiende a mantener un color similar al del cemento Portland tradicional.

3. Porosidad: Un estudio realizado por Ismail y Waliuddin (1996) investigó los efectos de la adición de diferentes porcentajes de RHA en la porosidad del cemento. Se descubrió que al agregar hasta un 20% de RHA puede reducir la porosidad del cemento en un 38%. Según este resultado, el uso de RHA en el cemento puede aumentar la densidad y la resistencia.

4. Comportamiento químico: La presencia de otros compuestos en el RHA, como el óxido de hierro (Fe_2O_3) y el óxido de aluminio (Al_2O_3), puede tener un impacto en cómo se comporta el cemento químicamente. Debido a su contenido menor en RHA, su impacto puede ser menos significativo que el del sílice.

Un estudio realizado por Givi et al. (2010) investigó el efecto del RHA en la microestructura del cemento y encontró que la adición de RHA puede resultar en una pasta de cemento más densa y menos porosa. Este hallazgo indica que el RHA puede mejorar la calidad del cemento cambiando su comportamiento químico.

5. La resistencia a compresión El sílice presente en la RHA puede reaccionar con el hidróxido de calcio del cemento para formar silicatos de calcio hidratados (CSH), lo que ayuda a que el cemento sea más resistente a compresión.

Según algunos estudios, el cemento que incorpora RHA puede aumentar la resistencia a compresión. Por ejemplo, un estudio realizado por Chandrasekhar et al. (2003) descubrió que después de 28 días de curado, la mejora de RHA a la mezcla de cemento puede aumentar la resistencia a compresión en comparación con el cemento Portland normal. Otro estudio de Feng, Metha y Monteiro (2004) encontró que la incorporación de RHA después de 91 días de curado puede aumentar la resistencia a compresión del cemento

6. La resistencia a flexión: Según "Rice Husk Ash - A Valuable Resource for High-Performance Concrete", un estudio de 2004 de Kumar Mehta, el concreto hecho con RHA tiene una mayor resistencia a la flexión que el concreto normal. Mehta descubrió en su experimento que después de 28 días de curado, el cemento hecho con 10 % de ceniza de cáscara de arroz en lugar del cemento normal tenía una resistencia a la flexión del 10 al 15 % mayor. Debido a la reactividad puzolánica de la ceniza de cáscara de arroz, este aumento en la resistencia a la flexión se atribuyó a la microestructura más densa y compacta del concreto RHA, debido a la reactividad puzolánica de la ceniza de cáscara de arroz.

Otro estudio realizado en 2005, "Efecto de la finura de las cenizas volantes sobre la resistencia a la compresión y el tamaño de los poros de la pasta de cemento mezclado", encontró resultados similares. En su investigación, los autores disfrutaron que el concreto hecho con RHA mostró una resistencia a la flexión 7-20% mayor después de 28 días de curado en comparación con el concreto normal, dependiendo de la proporción de RHA en la mezcla.

7. El peso específico La ceniza de cáscara de arroz (RHA) es una sustancia de peso ligero con un peso específico que oscila entre 2,0 y 2,6 g/cm³. Esto es con disminución menor que el peso específico del cemento Portland ordinario, que es generalmente alrededor de 3,15 g/cm³.

Esta disminución en el peso específico puede mostrar una variedad de características del cemento de ceniza de cáscara de arroz. En general, puede llevar a un menor peso de las estructuras de concreto, lo que puede ser mejorado en términos de manejo y costos de transporte. Además, la reducción del peso puede aumentar la resistencia a la fisuración y mejorar el aislamiento térmico y acústico del concreto (Habeeb y Mahmud, 2010).

8. La densidad La densidad de la ceniza de cáscara de arroz (RHA) oscila entre 500 y 750 kg/m³; es un material ligero (Nguyen et al., 2011). Como resultado, el uso de RHA puede reducir la densidad del cemento en comparación con el cemento Portland tradicional, cuya densidad es de alrededor de 1440 kg/m³.

Esta disminución en la densidad puede tener implicaciones significativas para el rendimiento y la utilidad del cemento de ceniza de cáscara de arroz. Puede resultar en estructuras de hormigón más ligeras que pueden ser ventajosas en términos de manejo, costos de transporte y carga estructural (Habeeb & Mahmud, 2010). Además, el concreto más ligero puede proporcionar mejor aislamiento térmico y acústico que el concreto convencional (Mehta, 2004).

3.1.2. Ventajas y desventajas del uso de la cáscara de arroz

VENTAJAS:

1. Reducción de las emisiones de CO₂: el cemento es uno de los principales emisores de CO₂, un gas de efecto invernadero que tiene un impacto significativo en el cambio climático. Según un estudio de 2016 publicado en el "Journal of Cleaner Production", el uso de ceniza de cáscara de arroz (RHA) en lugar de cemento Portland puede reducir las emisiones de CO₂ en un 10% (Chindaprasirt et al., 2016). Por otro lado, Si se utiliza la cáscara de arroz en lugar de los combustibles fósiles para producir energía, puede ayudar a reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

2. Propiedades mecánicas mejoradas: Según un estudio publicado en "Compuestos de cemento y cemento", la RHA puede aumentar la resistencia a la compresión del cemento en un 20% cuando se usa en una proporción del 20% en peso (Nguyen et al., 2011). La resistencia al agrietamiento y la resistencia a la tracción del cemento también pueden mejorarse con RHA.

3. Uso de desechos agrícolas: la industria del arroz produce cáscara de arroz. La FAO informa que alrededor de 136 millones de toneladas de cáscaras de arroz se producen a nivel mundial cada año. La mayoría de estas cáscaras se desperdician o queman al aire libre, lo que libera CO₂ y otros contaminantes (FAO, 2019). Una forma de valorizar este subproducto es usar la cáscara de arroz en el cemento.

4. Reducción de gastos: los materiales utilizados en la producción de cemento suelen ser más costosos que la cáscara de arroz. Según un estudio de la Universidad de Malasia, la RHA puede reducir los costos de producción de cemento hasta en un 30% (Abdullah et al., 2015).

DESVENTAJAS

1. Inconsistencia en la calidad de la ceniza: las condiciones de quemado de las cáscaras de arroz pueden afectar la calidad y la consistencia del cemento.

2. Disponibilidad y logística: En áreas donde la producción de arroz es baja, la disponibilidad de cáscaras de arroz puede ser limitada. La recolección y el transporte de las cáscaras de arroz también pueden ser difíciles.

3. Necesidad de equipamiento adicional: Para producir RHA de alta calidad, se necesita equipamiento específico para quemar las cáscaras de arroz bajo condiciones controladas y altas temperaturas .

4. Impacto en el tiempo de fraguado: Según un estudio de "Construcción y materiales de construcción", reducir la RHA puede prolongar el tiempo de fraguado inicial del cemento. Esto puede ser un problema en algunos escenarios de construcción.

3.1.3. Emisiones de CO₂ asociadas a la producción de la ceniza de cáscara de arroz

La producción total de arroz que se estimó en 2021 en aproximadamente 770 millones de toneladas, es la base para estimar la producción mundial de cáscaras de arroz (FAO, 2021). Según las estimaciones, las cáscaras del grano de arroz representan aproximadamente el 20% de su peso, lo que nos da un total de aproximadamente 154 millones de toneladas de cáscaras de arroz producidas anualmente en todo el mundo (Cherubini, 2010).

En general, las emisiones de CO₂ relacionadas con la ceniza de cáscara de arroz pueden provenir de varias fuentes. Primero, si la cáscara de arroz se deja pudrir o se quema al aire libre, puede emitir gases de efecto invernadero (GEI) como metano (CH₄) y CO₂. Sin embargo, la mayoría del carbono se libera como CO₂ cuando la cáscara de arroz se quema en condiciones controladas, como en una planta de energía (IPCC, 2006).

En España las emisiones por producción de arroz se estiman en 765.000 toneladas de CO₂ y en la Comunidad Valenciana 4.500 toneladas de CO₂.

Las emisiones exactas pueden variar en número dependiendo de las condiciones y las prácticas de manejo. La quema de cáscara de arroz puede liberar aproximadamente 0.66 toneladas de CO₂ por tonelada de cáscaras de arroz quemadas (IPCC, 2006), pero comparándolas con las toneladas generadas por el cemento Portland, que son 0,9 de toneladas de CO₂, se observa que se reducen de una manera positiva. Sin embargo, si se utilizan tecnologías de quema más eficientes, este número puede ser menor.

Es importante tener en cuenta que, este análisis no toma en cuenta el dióxido de carbono que se captura durante el crecimiento del arroz. Durante su crecimiento, las plantas de arroz absorben CO₂ del aire y una parte de este carbono se almacena en la cáscara de arroz.

En resumen, la ceniza de cáscara de arroz puede contribuir a las emisiones de CO₂, pero también puede reducirlas si se usa correctamente. En particular, el uso de ceniza de cáscara de arroz para la generación de energía y la producción de bioproductos puede ser un método efectivo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

3.2. POLVO DE LADRILLO

Originalmente, los cuerpos de ladrillo de productos o rechazos de ladrillos usados, que generalmente se trituraban con un tamaño de grano de alrededor de 1 mm, se utilizaban como una puzolana. Actualmente, el polvo de ladrillo es un subproducto de la producción de componentes de ladrillo calibrados que son molidos para obtener las dimensiones precisas para la albañilería, para mortero y para la elaboración de cementos mas sostenibles.

Según el informe más reciente del "Mercado de ladrillos cerámicos" de la consultora MAXIMIXE, la producción nacional de ladrillos experimentó un crecimiento del 48,5% en 2021; sin embargo, desde ese ha disminuido en dos ocasiones, la primera a finales de año en un 75,8 % y en 2022 respecto al anterior valor un 6,8. Esto se debe a un alto nivel de ruido político, la postergación o descarte de proyectos residenciales, así como el retraso en la ejecución de obras privadas y públicas en el 2022 y primer trimestre de 2023. Por otro lado, la desaceleración de la autoconstrucción se debería a la normalización de los hábitos de gasto de las familias y a la menor disposición individual del fondo de la AFP (Tabla 08 y Tabla 09).

Tabla. 08. Producción nacional de ladrillos

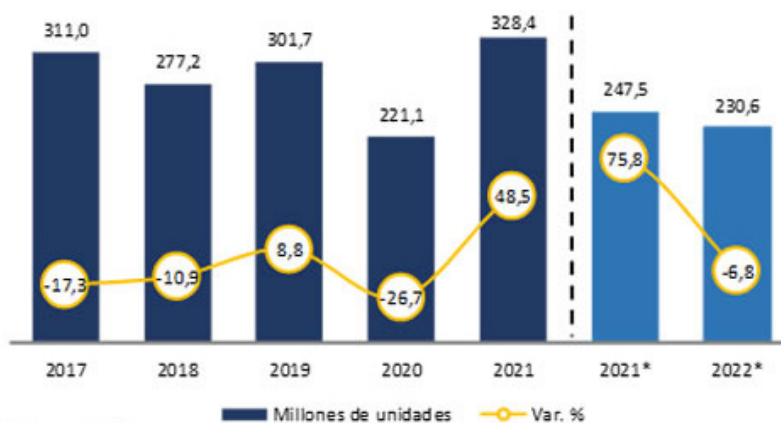
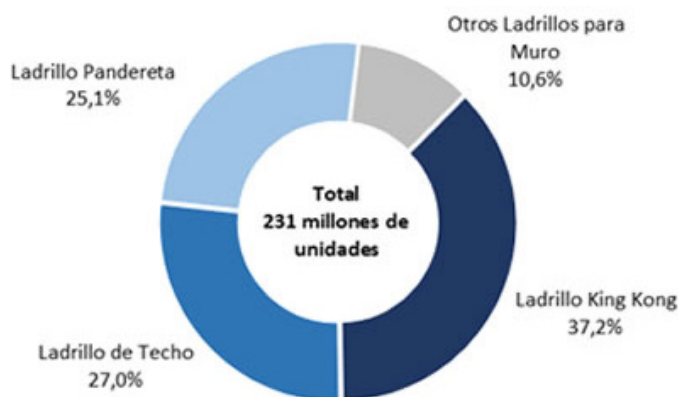


Tabla. 09. Producción por tipo de ladrillo 2022



3.2.1. Composición y propiedades del polvo de ladrillo

3.2.1.1. Composición del polvo de ladrillo

En la tabla 10 se puede analizar en porcentajes la composición del cemento hecho a partir de polvo de ladrillo

Tabla 10. Composición química del polvo de ladrillo (Cyr, Coutand & Clastres, 2007) (Cornejo & Castellón, 2010).

COMPONENTES	%
Silicatos de aluminio	60-70%
Óxido de silicio (SiO ₂)	20-30%
Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	5-15%
Óxidos de hierro (Fe ₂ O ₃)	2-5%
Óxido de calcio (CaO)	2%
Magnesio (Mg)	<1%
Potasio (K)	<1%
Sodio (Na)	<1%

3.2.1.2. Propiedades del polvo de ladrillo

Las propiedades del polvo de ladrillo varían según la composición y el proceso de trituración utilizado. Las siguientes son algunas características comunes del polvo de ladrillo, con valores aproximados (Cyr, Coutand & Clastres, 2007):

1. Granulometría: El tamaño de las partículas del polvo de ladrillo puede variar. Se encuentra generalmente en un rango de 5 a 500 micrómetros, con un tamaño de partícula predominante entre 20 y 200 micrómetros (Cyr, Coutand & Clastres, 2007).

2. Color: Debido a la presencia de óxidos de hierro en su composición, el polvo de ladrillo generalmente tiene un color rojizo o marrón. El tipo de ladrillo utilizado puede afectar el tono del color.

3. Porosidad: La estructura porosa de los ladrillos cerámicos originales hace que el polvo de ladrillo sea poroso. La porosidad varía del 20% al 60% dependiendo de la densidad del ladrillo original y el grado de trituración (Cyr, Coutand & Clastres, 2007).

4. Comportamiento químico: En condiciones normales, el polvo de ladrillo no reacciona fácilmente con otros materiales porque es químicamente estable. Sin embargo, en condiciones específicas, puede haber interacciones químicas con ciertos compuestos.

5. La resistencia a compresión del polvo de ladrillo, depende de una variedad de factores, incluida la composición del ladrillo original, el método de trituración y compactación utilizado y las condiciones de curado. Los rangos de resistencia a la compresión promedio para el polvo de ladrillo son los siguientes :

- Un estudio realizado por Sadek et al. (2016), encontramos que el hormigón que apareció un 10% de polvo de ladrillo como suplemento de cemento tenía una resistencia a la compresión de aproximadamente 33 MPa después de 28 días de curad

- Sin embargo, cuando el porcentaje de polvo de ladrillo se incrementó al 20%, la resistencia a la compresión se redujo a aproximadamente 26 MPa.

6. La resistencia a flexión del polvo de ladrillo depende de una variedad de factores, incluida la composición del ladrillo original, el método de trituración y compactación utilizado y las condiciones de curado. Los rangos de resistencia a la flexión promedio para el polvo de ladrillo son los siguientes:

- La resistencia a la flexión típica del polvo de ladrillo está entre 2 y 8 MPa. (Cyr, Coutand & Clastres, 2007)

- La densidad del polvo del ladrillo y el grado de compactación durante el proceso de producción tienen un impacto en esta cifra.

- Polvo de ladrillo con aditivos o mejoras: Como con la resistencia a compresión, se pueden agregar aditivos o realizar modificaciones en la producción del polvo de ladrillo para mejorar su resistencia a la flexión. En tales situaciones, dependiendo de las modificaciones específicas realizadas, la resistencia a flexión puede superar los 8 MPa (Cyr, Coutand & Clastres, 2007).

7. El peso específico es de 1,7 a 2 kg/dm³ (Cyr, Coutand & Clastres, 2007) ; aunque es menor que el de los agregados típicos, es mayor que otros agregados livianos, lo que aumenta la densidad del hormigón.

8. La densidad del polvo del ladrillo depende de una variedad de factores, incluida la composición exacta del ladrillo, el proceso de trituración utilizado y el grado de compactación del polvo. La densidad general del polvo de ladrillo es de 1,2 a 1,8 g/cm³ (Cyr, Coutand & Clastres, 2007).

3.2.2. Ventajas y desventajas del uso del polvo de ladrillo

El uso del polvo de ladrillo puede tener beneficios y desventajas. Las siguientes son algunas de ellas:

VENTAJAS:

1. Reutilización y reciclaje: El uso de polvo de ladrillo reciclado en la construcción ayuda a reducir los desechos en un 20-50% dependiendo de la proporción de polvo de ladrillo utilizado.

2. Mejora de propiedades: El polvo de ladrillo puede mejorar las propiedades del cemento. Puede mejorar la resistencia mecánica y la durabilidad de las estructuras. El aumento de la resistencia mecánica en comparación con el cemento sin polvo de ladrillo es del 10 al 30% (Ramezani pour et al., 2014).

3. Reducción de gastos: al utilizar polvo de ladrillo en lugar de materiales convencionales, se puede reducir el costo de producción porque es menos costoso que otros aditivos o materiales. Se ahorra en gastos un 10-30% al reemplazar parte del cemento por polvo de ladrillo. Considerando el costo de los ladrillos reciclados y el proceso de trituración. El precio estimado de producir 1 kg de polvo de ladrillo es entre 0.006€ y 0.05€ (Ramezani pour et al., 2014) .

4. Disminución de emisiones de CO₂: La utilización de polvo de ladrillo en la fabricación de cemento y el reciclaje de ladrillos pueden reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con la producción de materiales de construcción entre un 20 % y un 40 % (Ramezani pour et al., 2014).

DESVENTAJAS:

1. Variabilidad de la calidad: Al ser un material que viene de la trituración de residuos, es difícil controlar los porcentajes de ladrillo y escombros para realizar una mezcla correcta.

2. Menor resistencia: Los estudios han demostrado que el cemento hecho con polvo de ladrillo puede tener una resistencia suficiente (Ramezani-pour et al., 2014).

3. Compatibilidad con los aditivos utilizados en la mezcla de cemento: Puede haber problemas con la compatibilidad de los aditivos utilizados en la mezcla de cemento (Kadir & Sarani, 2012).

3.2.3. Emisiones de CO2 asociadas a la producción del polvo de ladrillo

La producción de arcilla triturada, también conocida como polvo de ladrillo, requiere una variedad de procesos industriales que pueden producir emisiones significativas de dióxido de carbono (CO2) (Chappin & van der Lei, 2014). La extracción de la arcilla, su transporte, trituración, molienda, cocción, enfriamiento y distribución del producto final son algunos de estos procesos.

La construcción, incluida la producción de ladrillos, es responsable de aproximadamente el 2% de las emisiones globales de CO2, con 763 millones de toneladas anuales. Estas cifras no separan la producción específica de polvo de ladrillo, por lo que no es posible proporcionar un número preciso. Sin embargo, la cocción de la arcilla, que es una parte importante de la producción de polvo de ladrillo, es un proceso intensivo en energía que puede liberar grandes cantidades de CO2.

La producción de ladrillos y tejas en España se estimó en 5,3 millones de toneladas en 2021 (Oficemen, 2021). Podemos usar esta cifra como una aproximación porque no hay datos específicos sobre la producción de polvo de ladrillo. Un estudio de la Universidad de Bath (Hammond & Jones, 2011) afirma que la producción de ladrillos produce alrededor de 0,43 toneladas de CO2 por tonelada de ladrillo. Esto indica que en 2021, la producción de ladrillos en España podría haber producido alrededor de 2,3 millones de toneladas de CO2.

La Comunidad Valenciana, es una de las regiones con mayor producción de cerámica en España. La producción de polvo de ladrillo en la comunidad representa alrededor del 25% de la producción total de ladrillos y tejas en España (IVACE, 2021), se espera que las emisiones de CO2 relacionadas con la producción de polvo de ladrillo sean proporcionales, lo que resultaría en alrededor de 575.000 toneladas de CO2 en 2021.

Es posible reducir estas emisiones mediante el uso de energías renovables, la optimización del proceso de producción, la reutilización y reciclaje de materiales y la captura y almacenamiento de carbono.

3.3. POLVO DE FILTRO DE LA INDUSTRIA DEL ALUMINIO

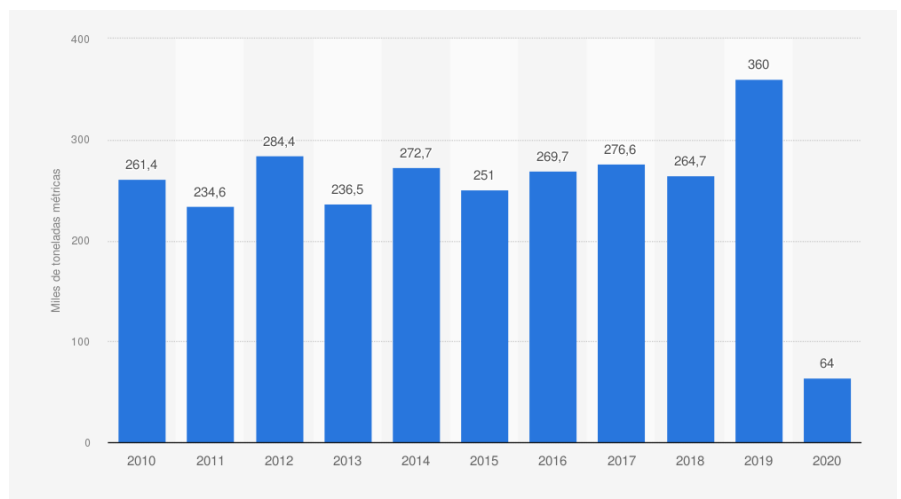
Para evitar la contaminación ambiental, se debe encontrar una alternativa para los desechos producidos por la producción de aluminio secundario. Una solución es el uso del polvo de filtro de la industria del aluminio como materia prima para mejorar las características físicas, mecánicas o químicas de productos ya existentes o nuevos.

Estos desechos se han estudiado con otros materiales alternativos para crear agregados de arcilla ligeros, como agregados a bloques de hormigón sin función estructural, agregado para hormigón refractario y cementos con alto contenido de alúmina diseñado específicamente para aplicaciones de alta temperatura (Shinzato e Hypolito, 2005 ; Satish Reddy y Neeraja, 2016), como agregado a vidrios de aluminato de calcio (López et al., 2009), como sustituto de componentes finos en materiales refractarios (Yoshimura et al., 2008) o como soportes de membranas cerámicas (Zhaoling et al., 2016).

El uso de subproductos de otros procesos productivos como materia prima es una opción que cumple con los principios del desarrollo sostenible porque permite la reutilización de materiales que actualmente son considerados desechos y le dan al material cerámico sostenibles propiedades diferentes de las que tiene actualmente, lo que le brinda una oportunidad única para el desarrollo de nuevos materiales.

En la tabla 11 se observa la evolución anual de la producción del aluminio en España (Evolución Anual De La Producción De Aluminio Secundario En España De 2010 a 2020 , 2021).

Tabla. 11. Evolución nacional de la producción de aluminio secundario en España de 2010 a 2020.



3.3.1. Composición y propiedades del polvo de filtro de la industria del aluminio

3.3.1.1. Composición del polvo de filtro de la industria del aluminio

Según Liu et al. (2007), la composición típica del polvo de filtro de la industria del aluminio es la expuesta en la tabla 12, pero puede variar dependiendo de la fuente y el proceso:

Tabla 12. Composición química del polvo de filtro de la industria del aluminio

COMPONENTES	%
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	30-60%
Haluros (como NaCl y KCl)	10-20%
Óxido de calcio (CaO)	5-15%
Óxido de silicio (SiO ₂)	5-10%
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	1-5%
Óxido de sodio (Na ₂ O)	0,5-2%
Óxido de potasio (K ₂ O)	0,5-2%
magnesio (MgO)	<1%
Óxidos de titanio (TiO ₂)	<1%

Es importante recordar que el polvo de filtro de la industria del aluminio puede contener contaminantes, como metales pesados y otros materiales peligrosos. Por lo tanto, el manejo y el uso de PFIA deben realizarse con cuidado para evitar que estos contaminantes se liberen al medio ambiente.

3.3.1.2. Propiedades del polvo de filtro de la industria del aluminio

Las propiedades del polvo de filtro de aluminio varían según la composición y el proceso de trituración utilizado. Las siguientes son algunas características comunes del polvo de ladrillo, con valores aproximados:

1. Granulometría: La granulometría del PFIA varía y es una característica esencial para comprender su uso potencial en diferentes aplicaciones. En términos generales, este polvo suele estar formado por partículas muy finas, en su mayoría menores de 100 micrómetros. La fracción más grande del polvo puede constar de partículas de hasta 1 mm. No obstante, los tamaños de partículas pueden variar dependiendo de los procesos específicos de la planta de producción y las técnicas de recolección y procesamiento utilizado (Pan, J., et al., 2012).

2. Color: El color del polvo de filtro utilizado puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo el tipo específico de proceso de producción de aluminio y los materiales involucrados. Sin embargo, generalmente, el polvo de filtro de la industria del aluminio tiende a ser de color gris oscuro o negro.

3. La porosidad del polvo de filtro generalmente puede estar entre el 20 % y el 50 % en volumen, lo que significa que el volumen total de poros puede representar entre el 20 % y el 50 % del volumen total del material (Kim et al., 2010).

4. Comportamiento químico: El silicio (Si), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el titanio (Ti), el zinc (Zn) y el cobre (Cu) pueden estar presentes en porcentajes más pequeños en el polvo de filtro de aluminio. Sin embargo, la cantidad exacta de estos elementos y sus porcentajes particulares pueden variar significativamente según la fuente y el proceso de producción.

5. La resistencia a compresión: Un estudio de Li et al. (2013) encontró que cuando un 15% del cemento era acabado por residuos de fundición de aluminio, la resistencia a compresión alcanzaba aproximadamente 45 MPa a los 28 días, una mejora considerable respecto al cemento Portland convencional.

6. La resistencia a la flexión: El polvo de filtro de aluminio está hecho de partículas finas y porosas que se utilizan para retener partículas sólidas en suspensiones líquidas o gaseosas. Un estudio realizado por Lu et al. (2012) evaluó la resistencia a la flexión de los hormigones que incorporaron polvo de filtro de aluminio. En este estudio, el hormigón que comenzó un 15% de polvo de filtro de aluminio como suplemento de cemento tenía una resistencia a la flexión de 5.6 MPa después de 28 días de curado.

7. El peso específico: El polvo de filtro utilizado en la industria del aluminio generalmente tiene un peso específico de 2,5 y 3,5 gramos por centímetro cúbico.

8. La densidad aparente del polvo de filtro de aluminio generalmente oscila entre 0,5 y 1,5 g/cm³. Es importante tener en cuenta que la densidad puede variar según las condiciones de almacenamiento y el grado de compactación del polvo (Zhang et al., 2012).

3.3.2. Ventajas y desventajas del uso del polvo de filtro de la industria del aluminio

El uso del polvo de filtro de la industria del aluminio puede tener beneficios y desventajas. Las siguientes son algunas de ellas:

VENTAJAS:

1. Resistencia temprana mayor: el cemento de aluminato de calcio puede alcanzar una alta resistencia en las primeras etapas de curado, a diferencia del cemento Portland (Zhang et al., 2011). Esto podría acelerar el tiempo de construcción y reducir los costos laborales.

2. Resistencia a los ambientes químicos agresivos: el cemento de aluminato de calcio es más resistente que el cemento Portland a los ambientes químicos agresivos ricos en sulfatos (Péra et al., 2004).

3. Reutilización de desechos industriales: la fabricación de cemento con polvo de filtro de la industria del aluminio aprovecha desechos industriales y apoya la economía circular (Jiakuan et al., 2002).

4. Resistencia a altas temperaturas: el polvo de filtro de aluminio puede soportar altas temperaturas sin descomponerse ni perder su eficacia de filtración.

5. Reducción de gastos : Dado que el polvo de filtro de aluminio es un subproducto de la industria del aluminio, su uso en la producción de cemento puede ayudar a reducir los costos de fabricación (Pera et al., 1997).

DESVENTAJAS:

1. Riesgo de corrosión: En comparación con el cemento Portland, el cemento de aluminato de calcio puede causar una mayor corrosión del acero de refuerzo. Esto puede requerir medidas de protección adicionales (Bai et al., 2013).

2. Riesgo de expansión: El cemento de aluminato de calcio puede expandirse debido a la reacción álcali-agregado, al igual que el cemento Portland. Sin embargo, este riesgo puede reducirse con agregados adecuados (Kurda et al., 2018).

3.3.3. Emisiones de CO2 asociadas a la producción del polvo de filtro de la industria del aluminio

La industria del aluminio emite aproximadamente 1,1 mil millones de toneladas de CO2 a nivel mundial en 2020, lo que representa cerca del 2% de las emisiones globales totales de gases de efecto invernadero. A pesar de que estas estadísticas abarcan todas las fases de la producción de aluminio, desde la extracción de la bauxita hasta la fabricación de metal, también reflejan la producción de polvo de filtro.

Según la Asociación Española del Aluminio (AEA, 2022), la producción primaria de aluminio en España fue de aproximadamente 370.000 toneladas en 2022. Esto implicaría que la producción de aluminio en España habría generado alrededor de 444.000 toneladas de CO2 en 2022, según la estimación promedio de la industria que sugiere que la producción de una tonelada de aluminio genera aproximadamente 1,2 toneladas de CO2 (International Aluminium Institute, 2020).

La Comunidad Valenciana no tiene plantas de producción primaria de aluminio, por lo que las emisiones de CO2 relacionadas con la producción de polvo de filtro de aluminio son mínimas o inexistentes en esta región (GV, 2023).

Estas cifras son aproximaciones y las cifras exactas pueden variar dependiendo de una variedad de factores, como la tecnología utilizada, la eficiencia de los procesos y las prácticas de manejo de desechos.

La producción de aluminio y la generación de polvo de filtro pueden reducirse mediante la mejora de la eficiencia de los procesos, el uso de energías renovables, el reciclaje de aluminio y la captura y almacenamiento de carbono.

En pocas palabras, la producción de aluminio y la generación de polvo de filtro están relacionadas con emisiones significativas de CO2. Sin embargo, existe un gran potencial para reducir estas emisiones mediante el uso de tecnologías más limpias y prácticas sostenibles.

3.4. EVOLUCIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA PRODUCCIÓN Y USO DE LOS NUEVOS MATERIALES

La evaluación de los efectos ambientales de la producción y uso de cemento de cáscara de arroz, polvo de ladrillo y polvo de filtro en la industria del aluminio abarca una variedad de dimensiones. Las emisiones de gases de efecto invernadero, la utilización de recursos, la generación de desechos y la salud humana son los temas principales de este análisis.

En las tablas 13 y 14 se pueden observar las emisiones de las industrias dependiendo la zona geográfica y cuantas emisiones de CO2 puede generar cada material

Tabla 13. Comparativa de emisiones de CO2 anuales según la industria

	Industria del Cemento	Industria del Arroz	Industria del Ladrillo	Industria del Aluminio
Mundial	2900 millones de toneladas	508,2 millones de toneladas	763 millones de toneladas	1100 millones de toneladas
España	16,4 millones de toneladas	0,0765 millones de toneladas	2,3 millones de toneladas	0,444 millones de toneladas
Comunidad Valenciana	1,4 millones de toneladas	0,0045 millones de toneladas	0,575 millones de toneladas	-

Tabla 14. Comparativa de emisiones de CO2 emitidas por cada tonelada de material

	Cemento Portland	Cemento con Ceniza de Cáscara de Arroz	Cemento con Polvo de Ladrillo	Cemento con Polvo de la Industria del Aluminio
Emisiones de CO2 para producir 1 tonelada de cemento	0,9 toneladas	0,66 toneladas	0,223 toneladas	1,2 toneladas

Como se destaca en la tabla 13, a nivel mundial la industria del cemento tiene mucha más producción y por ello muchas más emisiones de CO2, ya que por cada tonelada de cemento Portland producida se genera 0,9 toneladas de CO2, tal y como se puede observar en la tabla 14. Además en España y en la Comunidad Valenciana las emisiones son mucho mayores respecto a los nuevos materiales.

En cuanto a nivel de España y Comunidad Valenciana, la industria del cemento Portland también destaca en emisiones producidas sobre las otras. En referencia a las industrias de los nuevos materiales, se puede observar que nivel mundial el aluminio tiene muchas más emisiones que la industria del ladrillo, que esta iría por debajo y la industria del arroz quedaría en último lugar en cuanto a emisiones producidas a nivel mundial. Pero en España la industria del ladrillo es la que más emisiones provoca ya que es la que más producción tiene.

Por último, en la Comunidad Valenciana no se han conseguido valores de emisiones de CO2 en relación a la producción del aluminio, pero comparando la industria del ladrillo y el arroz, se destaca que el ladrillo tiene muchas más emisiones, al ser una de las comunidades con más producción de ladrillo en España. A pesar de que el valor de 0,66 toneladas de CO2 generadas por 1 tonelada de ceniza de cáscara de arroz es mayor que el del polvo de ladrillo que son 0,223 toneladas de CO2 por cada tonelada de este, tal y como se refleja en la tabla 14, la diferencia de emisiones y de producción es abismal.

En conclusión, con estos valores se puede observar que la utilización de nuevos materiales va a generar menos emisiones de CO2, no solo por ser menor las emisiones emitidas al generarlo, sino porque son materiales que utilizan residuos y esto hace que no se emitan emisiones en por la extracción de materiales de canteras como es el caso del clinker.

3.5. ANÁLISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE ESTOS MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN ACTUAL

Para realizar un análisis de las ventajas y desventajas de los nuevos materiales, se han realizado la tabla 15 de ventajas y la tabla 16 de desventajas.

Tabla 15. Comparativa de ventajas

VENTAJAS	TIPO DE CEMENTO		
	Cemento con Ceniza de Cáscara de Arroz	Cemento con Polvo de Ladrillo	Cemento con Polvo de filtro de la Industria del Aluminio
Reducción de emisiones	X	X	X
Mejora de propiedades	X	X	X
Usos de desechos	X	X	X
Reducción de gastos	X	X	X
Mejora de resistencia	X		X
Resistencia a los ambientes químicos agresivos			X
Resistencia a altas temperaturas			X

Tabla 16. Comparativa de desventajas

DESVENTAJAS	TIPO DE CEMENTO		
	Ceniza de Cáscara de Arroz	Cemento con Polvo de Ladrillo	Cemento con Polvo de filtro de la Industria del Aluminio
Variabilidad de calidad	X	X	X
Disponibilidad y logística	X	X	X
Necesidad de nueva maquinaria	X		
Alarga el tiempo de fraguado	X		
Menor resistencia		X	
Problemas con aditivos		X	
Expansión			X
Riesgo de corrosión			X

En cuanto a las ventajas de los tres materiales nuevos sobre el cemento Portland, se pueden destacar 7, de las cuales no todos los materiales responde a todos.

En primer lugar, los tres materiales coinciden en 4 ventajas, que són: Reducción de emisiones, mejora de propiedades, uso de desechos y reducción de gastos.

En segundo lugar, el polvo de filtro y la ceniza cáscara de arroz, mejoran la resistencia en comparación a la del cemento Portland.

Por último, el polvo de filtro mejora la resistencia a los ambientes químicos y a altas temperaturas.

Por otro lado, en las desventajas no coinciden tanto como en las ventajas. Los tres materiales coinciden en que no mejoran la variabilidad de calidad, ya que el residuo no es tan homogéneo, Además, coinciden en que es difícil la disponibilidad y la logística.

En cuanto a la ceniza cáscara de arroz, se necesitarán nuevas máquinas para su quema ya que tiene que realizarse con las menores emisiones posibles. También puede alargar el tiempo de fraguado.

Por otro lado, el polvo de ladrillo tiene menor resistencia a la del cemento Portland y puede tener problemas a la hora de mezclarlo con aditivos.

El cemento con polvo de filtro, puede provocar expansión y tiene riesgo a la corrosión.

Dependiendo del sistema de construcción utilizado, los nuevos materiales responderán de una forma diferente, aportando nuevas ventajas y desventajas a cada uno

En conclusión cada material aporta cosas positivas a la construcción, pero no se puede dejar de lado algunos de los problemas que en un futuro hay que mejorarlos.

3.6. CONCLUSIÓN SOBRE LA UTILIZACIÓN DE LOS NUEVOS MATERIALES.

En cuanto a la viabilidad técnica hay que tener en cuenta las propiedades que tienen los nuevos cementos y compararlas a las del cemento Portland. En la siguiente se analizan las propiedades físicas de cada cemento.

Tabla 17. Comparativa de propiedades de los cementos estudiados

PROPIEDADES	TIPO DE CEMENTO			
	Cemento Portland	Cemento con Ceniza de Cáscara de Arroz	Cemento con Polvo de Ladrillo	Cemento con Polvo de la Industria del Aluminio
Granulometría	3 a 30 µm	5 µm	20 a 200 µm	100 µm
Color	Grisáceo	Blanco a Gris claro	Rojizo o Marrón	Gris oscuro o Negro
Porosidad	Entre 10 y 20%	16 a 20%	Entre el 20% al 60%	Entre el 20% al 50%
Resistencia a Compresión (28 días)	Promedio de 34,8 MPa	40 a 50 MPa	26 a 33 MPa	45 MPa
Resistencia a Flexión (28 días)	4 a 8 MPa	35 MPa	2 a 8 MPa	5,6 MPa
Peso Específico	3,0 a 3,15 g/cm ³	2,0 a 2,6 g/cm ³	1,7 a 2,0 g/cm ³	2,5 a 3,5 g/cm ³

Analizando las propiedades físicas de estos cementos se observan que sustituyendo el cemento Portland por otros materiales, podemos llegar a tener mejoras significativas en sus propiedades.

En primer lugar, sustituyendo el cemento convencional por el de ceniza de cáscara de arroz, se obtiene que tanto la resistencia a compresión como la resistencia a flexión se mejoran de forma significativa. Este material es mucho más ligero al tener una densidad menor que la del Portland, con ello es mucho más fácil trabajar la mezcla.

En segundo lugar, al sustituir el cemento Portland por el cemento hecho a partir de polvo de ladrillo mejoramos las resistencias mecánicas, pero como se observa en la tabla las resistencias a flexión de y a compresión pueden ser menores a las del cemento Portland. También destacamos que es un material que puede tener menos densidad y a su vez se podrá trabajar mejor la mezcla.

Por último, si utilizamos el polvo de filtro de la industria del aluminio como materia prima para producir un cemento, hay que tener en cuenta que se va a mejorar la resistencia a compresión pero no se sabe con certeza como va a trabajar a flexión. Como los otros materiales, este tiene menos densidad y por lo tanto también mejora a la hora de trabajar la mezcla.

Sin embargo, existen problemas para garantizar la calidad y disponibilidad constante de estos materiales y que cumplen con las normas y estándares de construcción.



Fig. 08. Cemento acopiado.
Ecofet.

4. APLICACIÓN DE LOS NUEVOS MATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN ACTUAL

4.1. APLICACIÓN DE ESTOS MATERIALES A LOS SISTEMAS DE HORMIGONADO IN SITU Y PREFABRICADOS INDUSTRIALIZADOS DE HORMIGÓN

Un sistema de hormigonado se refiere a un método o proceso utilizado para mezclar, transportar, colocar y curar el hormigón en una construcción. Existen varios sistemas de hormigonado y cada uno tiene sus propias ventajas y desventajas dependiendo de la naturaleza del proyecto. Algunos de los sistemas más comunes son el hormigonado in situ, el hormigonado prefabricado, el hormigonado premezclado, el hormigonado autocompactable y el hormigón proyectado o shotcrete.

El hormigonado es esencial para la construcción de estructuras de hormigón y tiene un impacto significativo en la calidad, costo y cronograma del proyecto. Por lo tanto, es importante seleccionar el sistema de hormigonado más adecuado basado en factores como el tipo de proyecto, el presupuesto, las condiciones del sitio, las regulaciones locales y las consideraciones ambientales.

En este trabajo se pretende analizar los 2 sistemas más utilizados, hablando sobre sus exigencias constructivas, procesos, costes y como los nuevos materiales mejoran sus propiedades.

4.1.1. Sistema de hormigonado in situ.

El sistema in situ de hormigonado, también conocido como concreto colocado en el sitio o concreto in situ, se refiere al proceso de preparación, mezcla y colocación de concreto directamente en el lugar de construcción. Es una técnica que se contrapone al uso de elementos prefabricados de hormigón, que se fabrican en un lugar separado y luego se transportan e instalan en el sitio de construcción.

4.1.1.1. Proceso de hormigonado in situ

El proceso de hormigonado in situ consta de varias fases importantes, que incluyen la preparación, la mezcla, el transporte, la colocación, la compactación, el acabado y el curado del hormigón. Cada una de estas fases requiere una cuidadosa planificación y ejecución para garantizar la calidad y la durabilidad del hormigón.

1. Preparación: Esta fase implica la preparación del sitio de construcción y la creación de encofrados que actuarán como moldes para el hormigón. Los encofrados pueden ser de madera, metal o plástico, y deben diseñarse y construirse cuidadosamente para garantizar la forma y la estabilidad de la estructura de hormigón (Neville, AM, 2011).

2. Mezcla: Esta fase implica la mezcla de los ingredientes del hormigón, que incluyen cemento, agua, agregados y aditivos. La mezcla puede realizarse en el lugar de construcción utilizando una hormigonera, o puede realizarse en una planta de hormigón y transportarse al sitio de construcción (Neville, AM, 2011).

3. Transporte: Esta fase implica el transporte del hormigón mezclado desde la hormigonera o la planta de hormigón hasta el encofrado. Esto se realiza normalmente utilizando camiones hormigonera, bombas de hormigón o carretillas (Hewlett, PC, 2003).

4. Colocación: Esta fase implica verter el hormigón en el encofrado. Es importante asegurarse de que el hormigón se coloca uniformemente y de que se llenan todas las esquinas y espacios del encofrado (Hewlett, PC, 2003).

5. Compactación: Esta fase implica eliminar las burbujas de aire del hormigón para aumentar su densidad y resistencia. Esto se hace normalmente utilizando vibradores de hormigón (Neville, AM, 2011).

6. Acabado: Esta fase implica alisar y dar forma a la superficie del hormigón. Esto puede implicar el uso de herramientas manuales o mecánicas para alisar el hormigón, así como técnicas de texturización o estampado para dar al hormigón una apariencia específica (Hewlett, PC, 2003).

7. Curado: Esta es la última fase del proceso de hormigonado in situ y es crucial para garantizar la resistencia y duración del hormigón. El curado implica mantener el hormigón húmedo ya una temperatura controlada para permitir la hidratación del cemento. Esto normalmente se logra cubriendo el hormigón con plástico o mantas de curado, o rociándolo con agua o compuestos de curado (Neville, AM, 2011).

Se pueden destacar una serie de ventajas y desventajas que tiene este sistema frente a otros:



Fig. 9. Encofrado in situ. Ulmaconstruction.

4.1.1.2. Ventajas y desventajas del hormigonado in situ

VENTAJAS

1. Flexibilidad: Una de las ventajas más significativas del hormigón in situ es su flexibilidad. Al hormigonar en el sitio, se pueden crear estructuras de cualquier forma y tamaño, permitiendo diseños arquitectónicos más complejos y personalizados (Björnsson, L., 2015).

2. Control de calidad: Con este método, el control de calidad puede ser muy riguroso ya que todo el proceso se lleva a cabo en el lugar de la construcción, bajo supervisión constante (Mehta, PK, & Monteiro, PJM, 2006).

3. Economía de transporte: Elimina la necesidad de transportar componentes prefabricados de hormigón, lo que puede ser costoso y requiere una logística complicada (Neville, A., 2011).

DESVENTAJAS

1. Dependencia del tiempo: El hormigonado in situ es altamente dependiente de las condiciones climáticas. El mal tiempo puede retrasar significativamente los proyectos y aumentar los costos (Neville, A., 2011).

2. Requiere mano de obra calificada: Este método requiere trabajadores con un alto nivel de habilidad y experiencia, lo que puede aumentar los costos y hacer que la planificación sea más difícil (Hewlett, P., 2003).

3. Velocidad: El hormigonado in situ puede ser un proceso lento, especialmente en comparación con el uso de componentes prefabricados. Esto puede prolongar la duración de los proyectos de construcción (Björnsson, L., 2015).

4.1.1.3. Ejemplos de construcciones que aplican este sistema y los nuevos materiales

La industria de la construcción está considerando el uso de materiales alternativos para fabricar cemento debido a la búsqueda de soluciones sostenibles y ambientalmente responsables. El cemento de ceniza cáscara de arroz, el polvo de ladrillo y el polvo de filtro de la industria del aluminio han surgido como alternativas viables en este contexto. Estos son algunos ejemplos de construcciones que utilizan estos materiales con el sistema in situ:

CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ:

La ceniza de alta reactividad que se produce al quemar la cáscara de arroz se utiliza como aditivo en la producción de cemento. La ciudad de Nueva Delhi, en India, es un ejemplo excelente de esto. Muchos de sus edificios, incluidos el Lotus Temple (1986) diseñado por el arquitecto Fariborz Sahba (Fig.10) y el Indian Institute of Technology (Fig.11), han construido con cemento de ceniza de cáscara de arroz. Este uso de un subproducto agrícola reduce las emisiones de CO2 relacionadas con la producción de cemento tradicional y mejora la durabilidad y la calidad del concreto (Mehta, 2002).



Fig. 10. Lotus Temple. Britannica.



Fig. 11. Indian Institute of Technology. Siasat.

Estos son solo algunos ejemplos de edificios construidos con cemento de ceniza de cáscara de arroz. Estos proyectos demuestran la sostenibilidad, la eficiencia energética y la reducción de la huella de carbono de este material. Cada edificio puede ajustar el uso de este tipo de cemento de acuerdo con las regulaciones de construcción locales específicas.

POLVO DE LADRILLO:

El polvo de ladrillo, un subproducto de la industria de la construcción, se ha utilizado en la producción de cemento para mejorar su durabilidad y resistencia al desgaste. El edificio Copan (Fig.12) y el Conjunto Nacional (Fig.13), han demostrado que el cemento mezclado con polvo de ladrillo puede ser una opción sostenible y duradera para la construcción (Oliveira, 2018).



Fig. 12. Edificio Copan. Wikipedia



Fig. 13. Conjunto Nacional. Archdaily

Actualmente, de los 2,7 millones de toneladas anuales de agregado reciclado, el 10 al 15 % se utiliza para la pavimentación, el 20 al 30 % para la construcción de carreteras y otros trabajos de mantenimiento, y el 60 al 70 % para la fabricación de cemento estructural (Pérez Rojas, 2012).

POLVO DE FILTRO DE LA INDUSTRIA DEL ALUMINIO:

El polvo de filtro de aluminio, un residuo de la producción de aluminio, se ha utilizado en la producción de cemento para mejorar sus propiedades y reducir su impacto ambiental. En el Reino Unido, la empresa Alusid ha utilizado polvo de filtro de aluminio en la producción de un tipo de cemento que se utiliza en la construcción de edificios sostenibles. Alusid ha fabricado una serie de productos de construcción, como ladrillos y baldosas, que han sido utilizados en la construcción de edificios comerciales y residenciales en todo el Reino Unido (Wang, 2016)

Este material también es utilizado para proyectos de infraestructura: En la construcción de puentes, carreteras u otras estructuras de gran escala, el uso de cemento con polvo de filtro de la industria del aluminio podría proporcionar una alternativa más sostenible. Esto podría contribuir a la reducción de las emisiones de CO2 y al uso eficiente de los recursos.

Es importante destacar que el uso del polvo de filtro de la industria del aluminio en el cemento está en etapas de investigación y desarrollo, por lo que es necesario realizar más estudios y pruebas para evaluar su viabilidad técnica y ambiental en diferentes aplicaciones de construcción.

4.1.1.4. Estudio de caso de vivienda unifamiliar con sistema in situ de VIRAJE

Anteriormente se ha nombrado varios ejemplos donde se aplica el sistema in situ con los nuevos materiales. Pero para poder aportar unos valores aproximados de la huella de carbono de una vivienda con este sistema, se ha elegido una vivienda unifamiliar del estudio de arquitectura VIRAJE con los datos de la tabla 18.

Tabla 18. Datos de la vivienda in situ de VIRAJE.

	LUGAR	M2 CONS-TRUIDOS	M2 ÚTILES	PLANTAS	TIPO HORMIGÓN	TIPO ESTRUC-TURA
VALORES	BÉTERA	305,20 m2	260,73 m2	2	H.limpieza : HL-150/B/20 Cimenta./Vigas/Forjados/ Pilares/Muros: HA-25/B/20/XC2	IN SITU

Lo primero que se ha realizado es un estudio de las partes de la estructura que tiene la casa, como el forjado, muros, cimentación, etc. Además, se tiene en cuenta las propiedades de estos, como el tipo de hormigón, trabajadores, tiempo de realización y proceso de construcción de las partes de la estructura. Una vez hecho el análisis de la vivienda, se aplican estos valores a una calculadora de huella de carbono, en este caso se ha utilizado la herramienta Etool. En esta se ha diseñado la estructura teniendo en cuenta todos los valores de la estructura, estos valores van desde la obtención de la materia y su preparación hasta la construcción y los sistemas de encofrados y equipos necesarios para ellos, de esta manera se puede generar la tabla 19, donde se analizan las emisiones GWP en kg CO2 eq/superficie bruta .

Tabla 19. Estudio de huella de carbono con sistema de construcción in situ de una vivienda unifamiliar de VIRAJE

	Módulo	A1A3	A4	A5	B4	C2
	Descripción del módulo	Etopa del Producto	Transporte de Equipos y Materiales	Construcción	Reemplazo	Transporte de Residuos Fuera de Sitio
DesingFunctionName						
Vivienda		148.601,48	24.540,95	25.320,36	10.213,17	17.025,56
Totales		148.601,48	24.540,95	25.320,36	10.213,17	17.025,56

C3	C4	D2	D3	D4	Totales
Procesamiento de Residuos	Desechos	Reciclaje de Circulo Cerrado	Reciclaje de Circulo Abierto	Recuperación de Energía de Materiales	
0,00	9.179,19	5.675,12	0	88,26	240.644,09
0,00	9.179,19	5.675,12	0	88,26	240.644,09

La tabla 19 se separa en diferentes apartados para definir la huella de carbono de la vivienda.

En primer lugar, se destaca la primera fase, que es la etapa del producto (A1A3), donde se refleja la mayor parte de emisión, ya que es donde se elabora el este. Esta fase es la que genera más emisiones, ya que es donde se forma el hormigón y también donde se tiene en cuenta la elaboración de los productos de los que se compone este.

En segundo lugar, se tiene en cuenta el transporte del producto y de los equipos a la obra (A4) y a continuación se analiza la fase de construcción (A5). Estas dos son las segundas que mas emisiones tienen.

Por último se analizan otras fases que no dejan de ser importantes, como el reemplazo del material (B4), trasporte de los residuos (C2), desechos (C4), reciclaje (D2)(D3) y la recuperación de la energía de los materiales (D4).

En conclusión se obtiene que las emisiones totales son de 240644,09 en kg CO2 eq/superficie bruta. Para contrastar si este sistema es peor que el prefabricado, se analizará otro proyecto de VIRAJE con las mismas medidas y características técnicas.

4.1.2. Sistema de hormigonado prefabricado industrializado.

Un sistema de hormigonado prefabricado industrializado se refiere a un método de construcción en el que los componentes de un edificio o estructura se fabrican en un entorno controlado (como una fábrica), luego se transportan al lugar de la construcción y se montan allí. Este método difiere del enfoque tradicional "in situ" en el que el hormigón se mezcla y se vierte en el sitio de la construcción.

El hormigón prefabricado puede ser producido en una variedad de formas y tamaño para adaptarse a las necesidades específicas de un proyecto. Algunos ejemplos de elementos de hormigón prefabricados incluyen losas de piso, vigas, columnas, muros, escaleras, y más.

En el caso de este sistema, se estudia la empresa valenciana de Viraje - UBI-KO, la cual ha proporcionado como es el proceso de construcción de este sistema, ventajas frente al sistema in situ.

Utilizan un sistema prefabricado de hormigón en 2D en sus diversas tipologías para fachadas, estructura y forjados. Diseñan cada estructura de forma individualizada para cada proyecto. A continuación cada pieza es fabricada en taller y transportada a obra donde se realiza el montaje para conformar el volumen de la vivienda.

4.2.2.1. Proceso de hormigonado prefabricado industrializado

1. Diseño de la estructura: Desde anteproyecto, se estudia la sección de la vivienda, el despiece de lo que serán las futuras placas de hormigón prefabricado según los parámetros de transporte y peso, así como el tamaño y la ubicación de los huecos.

2. Modelado de estructura: El volumen se levanta en 3D. Se diseñan encuentros, apoyos y detalles entre piezas.

3. Despiece: Una vez realizado el despiece, se enumeran las piezas para tenerlas localizadas a lo largo de todo el proceso de cálculo, fabricación y montaje.

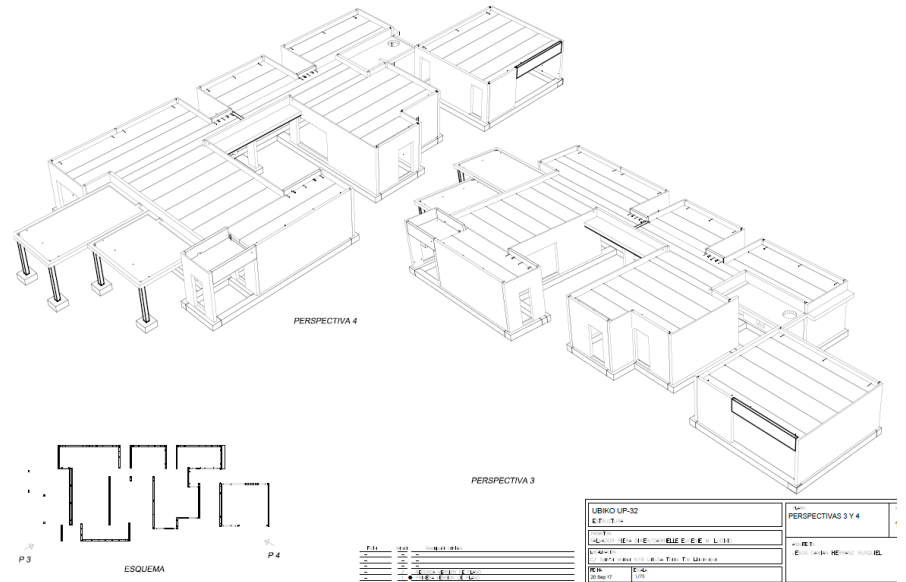


Fig. 14. Esquemas en 3D de la estructura. Ubiko

4. Planes de montaje: El transporte de las piezas es uno de los condicionantes más importantes para el diseño de las mismas, tanto por dimensión como por pesos. Una vez se ha realizado el diseño definitivo, se optimiza el transporte (número de viajes, tiempos de entrega, ubicación de palets, etc.)

Los planes de montaje se generan simultáneamente a la paletización, de manera que con antelación, se planifica el cómo, el dónde y el cuándo se coloca cada una de las piezas.

5. Montaje: El montaje se realiza con un equipo de profesionales especializados en el sector junto al equipo interno de UBIKO.



Fig. 15. Montaje estructura. Ubiko

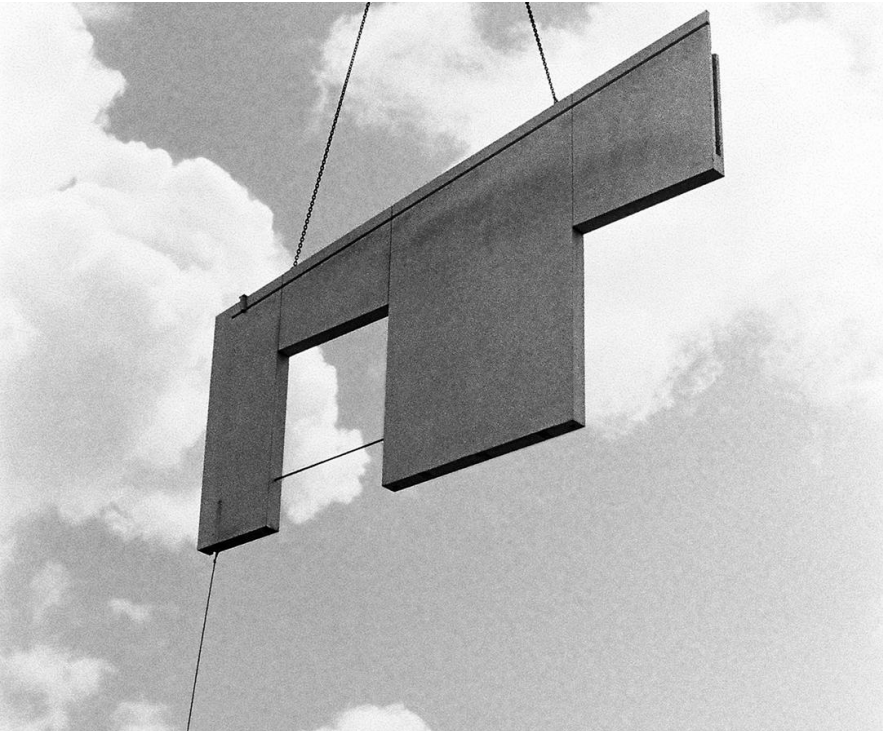


Fig. 16. Montaje estructura. Ubiko



Fig. 17. Montaje estructura. Ubiko

4.1.2.2. Ventajas y desventajas del hormigonado prefabricado industrializado

VENTAJAS

1. Retorno de la inversión (ROI): Al tratarse de un método de construcción más rápido que la obra tradicional, las promotoras pueden recuperar la inversión en un tiempo menor. Además, permite la liberación más rápida de recursos para abordar otros proyectos.

2. Estabilidad en costes: Con la construcción industrializada se consiguen costes mucho más estudiados, controlados, previsibles y estables. Los costes indirectos debidos a desplazamientos de material, acopios y movimientos innecesarios se ven considerablemente reducidos.

3. Sostenibilidad: La industrialización de la construcción reduce el impacto acústico, visual y de residuos. Se optimiza y reduce el uso de energía y de los materiales utilizados, debido a los procesos estandarizados y a la concentración del proceso de construcción en una planta industrial, disminuyendo considerablemente la rotura y el desaprovechamiento de estos. Al mismo tiempo de maximiza el reciclaje y minimizan los escombros y por tanto la huella de carbono.

4. Mayor calidad en construcción: Llevar el sistema constructivo en fábrica aumenta la calidad del proceso y de los acabados, disminuyendo el desperdicio de los materiales. El estudio de la trabajabilidad de las unidades ejecutadas nos permiten introducir mejoras en futuras actuaciones.

6. Garantía y calidad: Todos los sistemas y materiales poseen los sellos de calidad ISO 9001, ISO 14001, MARCADO CE, SELLO CIETAN.

7. Personalización: La industrialización no significa hacerlo todo igual. Se ofrecen proyectos bajo demanda con un gran abanico de posibilidades y además de una forma ágil. Aprovechando la tecnología disponible se puede conseguir un producto único diseñado a medida.

8. Seguridad y salud: Reducción de los accidentes laborales. Dado que todo sucede en un entorno más controlado, se pasa menos tiempo en obra, lo que conlleva más seguridad.

DESVENTAJAS

1. Requerimientos de logística y almacenamiento: El uso de elementos prefabricados requiere un cuidado a la coordinación y programación para garantizar que los elementos lleguen al sitio de construcción en el orden correcto y en el momento adecuado. Además, los sitios de construcción pueden requerir áreas de almacenamiento significativas para los elementos prefabricados (Wang, et al., 2016).

2. Inadaptabilidad a los cambios en el sitio: Una vez que se han fabricado los elementos prefabricados, es difícil hacer cambios en el diseño. Esto puede ser un problema si surgen imprevistos en el sitio de construcción o si hay cambios en los requisitos del proyecto (Bashir, et al., 2018).

4.1.2.3. Estudios que aplican este sistema y los nuevos materiales

Para este apartado se ha cogido como referencia estudios ya que no se han podido encontrar construcciones que utilicen este sistema y los nuevos materiales.

CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ:

En cuanto a la ceniza de cáscara del arroz se han realizado varios estudios donde utilizan este material para la realización de sistemas prefabricados:

1. "La cascarilla de arroz como material de agregado en la producción de prefabricados de mortero secos utilizados en el aligeramiento de losas de concreto"
2. "Panel prefabricado de guadua -acero-mortero microvibrado con ceniza de cáscara de arroz para viviendas de interés social"
3. Estudio sobre prefabricados constructivos aislantes a partir de plantas marinas de Dénia y cáscara de arroz, por la empresa Aidimme.
4. "Bloque de concreto prefabricado de 12 cm x 20 cm x 40 cm con ceniza de cascarilla de arroz para mejorar su resistencia a la comprensión, Tarapoto 2021"

POLVO DE LADRILLO:

En cuanto al polvo de ladrillo se han realizado varios estudios donde utilizan este material para la realización de sistemas prefabricados:

1. "Hormigón con áridos gruesos reciclado (RCA) más poliestireno expandido para paneles prefabricados en viviendas de interés social"
2. "Evaluación de la adición de polvo de ladrillo en la mezcla de cemento, para la producción de prefabricados de concreto en la empresa reciclados industriales de Colombia"

4.1.2.4. Estudio de caso de vivienda unifamiliar con sistema prefabricado industrializado de VIRAJE

Anteriormente se ha nombrado varios estudios donde se aplica el sistema prefabricado industrializado con los nuevos materiales. Pero para poder aportar unos valores aproximados de la huella de carbono de una vivienda con este sistema, se ha elegido una vivienda unifamiliar de VIRAJE con los datos de la tabla 20.

Tabla 20. Datos de la vivienda prefabricada de VIRAJE.

	LUGAR	M2 CONS-TRUIDOS	M2 ÚTILES	PLANTAS	TIPO HORMIGÓN	TIPO ESTRU-C-TURA
VALORES	BÉTERA	310,60 m2	265,23 m2	2	H.limpieza: HL-150/B/20 Cimenta.: HA-25/B/20/XC2 Pilares/Muros/Vigas: HA-35/B/20/XC4 Forjados: HA-45/B/20/XC3	Prefa-bricada industriali-zada

El proceso de elaboración de la tabla 21 es el mismo que el proceso utilizado en la tabla 19 .

Tabla 21. Estudio de huella de carbono con sistema de construcción prefabricado industrializado de una vivienda unifamiliar de VIRAJE

Módulo	A1A3	A4	A5	C2	C3
Descripción del módulo	Etapo del Producto	Transporte de Equipos y Materiales	Construcción	Transporte de Residuos Fuera de Sitio	Procesamiento de Residuos
DesingFunctionName					
Vivienda	169.309,79	7.764,79	4.859,75	5.041,81	0
Totales	169.309,79	7.764,79	4.859,75	5.041,81	0

C4	D2	D3	D4	Totales
Desechos	Reciclaje de Círculo Cerrado	Reciclaje de Círculo Abierto	Recuperación de Energía de Materiales	
5.497,32	1.104,08	0	88,26	193.665,79
5.497,32	1.104,08	0	88,26	193.665,79

La tabla 221 se separa en diferentes apartados para definir la huella de carbono de la vivienda, donde se sacan unos valores que se comparan con los valores extraídos del sistema in situ

Contrastando los valores del sistema prefabricado industrializado con los del in situ, se puede destacar en primer lugar la etapa del producto, ya que en esta etapa el sistema prefabricado genera mas emisiones que el in situ, esto ocurre porque en esta etapa ya está aplicada la parte de modelado de los muros prefabricados.

En las dos siguientes etapas el prefabricado va a tener menos emisiones, ya que el proceso de transporte y de construcción se realizan en periodos más cortos y no necesitan tantos equipos como el in situ

Las siguientes fases también afirman que la utilización de este sistema aprovecha mejor el material y no existen tantos residuos con en el anterior y por tanto no necesita tanto reciclaje.

En conclusión se obtiene que las emisiones totales son de 193665,79 en kg CO2 eq/superficie bruta. Contrastando los dos valores finales, podemos afirmar que el sistema prefabricado industrializado tiene menos huella de carbono y mejora la reducción de las emisiones.

4.1.3. Conclusión sobre la utilización de los nuevos materiales con los sistemas de hormigonado in situ y prefabricados industrializados

En función de las ventajas vistas anteriormente tanto de los materiales mencionados como de los sistemas prefabricados industrializados, se ha llegado a una conclusión sobre el uso de ambos en la construcción actual.

Los tres materiales a analizar, coinciden en una reducción de emisiones que sumado al reciclaje de éstos, conllevan una mejora de la sostenibilidad en la construcción. Así pues, si se combina con un sistema prefabricado industrializado, el cual reduce el impacto tanto acústico, como de residuos, se obtiene una solución innovadora y sostenible en comparación con el sistema de construcción in situ.

La mejora en la resistencia, tanto a compresión como a flexión, así como su trabajabilidad debido a la finura y baja densidad, hacen de la cascarilla de arroz, el polvo de ladrillo y el polvo de filtro de aluminio, materiales perfectamente compatibles con la construcción prefabricada, mejorando la calidad de la construcción.

Finalmente, analizando cuestiones económicas y de eficiencia de trabajo, la reducción de costes tanto por parte del sistema constructivo como de los materiales innovadores, permite que con su combinación se pueda obtener un retorno de la inversión en un menor tiempo, reducir precios y mantenerlos más estables. Esto se traduce a una mejor dinámica de trabajo y oportunidad de inversión.

En conclusión, la combinación de los sistemas prefabricados industrializados con los materiales innovadores analizados en este trabajo, puede incrementar las ventajas individuales de ambos con el fin de mejorar el futuro de la construcción.



Fig. 18. Planta rompiendo el cemento.
deltoroantunez.

5. RESPUESTA DE LOS MATERIALES CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2023

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), también conocidos como Objetivos Globales, fueron establecidos en 2015 por las Naciones Unidas como un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad.

Los 17 ODS están conectados: reconocen que la acción en una región afectará los resultados en otros y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental. Los países se han comprometido a dar la máxima prioridad al progreso de las personas más desfavorecidas.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible tienen como objetivo acabar con la pobreza, el hambre, el VIH/SIDA y la discriminación contra las mujeres.

La creatividad, el conocimiento, la tecnología y los recursos financieros de toda la sociedad son necesarios para alcanzar los ODS en todos los contextos.

De los 17 ODS y sus 169 metas, la cáscara del arroz, el polvo del ladrillo y el polvo de la industria del aluminio, contribuyen en mayor o menor medida a 10 ODS y 43 metas.

ODS 3. SALUD Y BIENESTAR

Puesto que se reducen las emisiones de CO₂, se consiguen espacios más saludables y seguros, lo cual sumado a una reducción de emisiones en la producción de estos materiales, mejora la salud y el bienestar de las personas:

“Meta 3.8 Lograr la cobertura sanitaria universal, en particular la protección contra los riesgos financieros, el acceso a servicios de salud esenciales de calidad y el acceso a medicamentos y vacunas seguros, eficaces, asequibles y de calidad para todos.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 3.9 Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

ODS 6. AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO

Mejorando las infraestructuras de la construcción se logrará un mejor acceso al agua potable:

“Meta 6.1 De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

Al utilizar la ceniza de cáscara de arroz en la producción de cemento, se disminuye la cantidad de la cáscara de arroz que termina en los cuerpos de agua, contribuyendo a la Meta 6.3 de mejorar la calidad del agua reduce la contaminación:

"Meta 6.3 De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

El proceso de producción del cemento a base de ceniza de cáscara de arroz puede requerir menos agua que los métodos tradicionales de producción de cemento:

"Meta 6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

ODS 7. ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE

Con la creación de fábricas de producción, se garantiza la energía en zonas rurales con energía renovable gracias al calor desprendido en la producción.

La producción de estos materiales es más eficiente que los tradicionales puesto que se necesita menos calor para fundirlos lo que se traduce en menos energía. Al llevar estos procesos a otros países menos desarrollados, promovamos un avance en ellos:

"Meta 7.1 De aquí a 2030, garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

"Meta 7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

"Meta 7.a De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

"Meta 7.b De aquí a 2030, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países en desarrollo sin litoral, en consonancia con sus respectivos programas de apoyo." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

ODS 8. TRABAJO DECENTE Y CRECIMIENTO ECONÓMICO

Al utilizar los nuevos materiales reducimos en costes ya que la producción de estos es menos costosa al utilizar residuos y no tener que extraerlos del medio ambiente como el cemento Portland. También al utilizar el sistema prefabricado reducimos en costes y se generan muchos menos residuos:

"Meta 8.1 Mantener el crecimiento económico per capita de conformidad con las circunstancias nacionales y, en particular, un crecimiento del producto interno bruto de al menos el 7% anual en los países menos adelantados." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 8.4 Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

La investigación y desarrollo en la producción de cemento a base de los nuevos materiales puede impulsar la innovación en la construcción de infraestructuras más resilientes y sostenibles y también ayuda a promover la venta del cemento:

“Meta 8.2 Lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 8.3 Promover políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y fomentar la formalización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas, incluso mediante el acceso a servicios financieros.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 8.5 De aquí a 2030, lograr el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todas las mujeres y los hombres, incluidos los jóvenes y las personas con discapacidad, así como la igualdad de remuneración por trabajo de igual valor.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 8.6 De aquí a 2020, reducir considerablemente la proporción de jóvenes que no están empleados y no cursan estudios ni reciben capacitación.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

Si promovemos estos nuevos materiales en los lugares menos desarrollados vamos a incentivar una ayuda en el comercio :

“Meta 8.a Aumentar el apoyo a la iniciativa de ayuda para el comercio en los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados, incluso mediante el Marco Integrado Mejorado para la Asistencia Técnica a los Países Menos Adelantados en Materia de Comercio.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

ODS 9. INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA

Los nuevos materiales pueden mejorar las propiedades del hormigón, aumentando su resistencia a las tensiones ambientales y físicas. Esto se traduce en infraestructuras más resilientes:

“Meta 9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

En la producción de los materiales nuevos, utilizamos residuos, es decir, materiales renovables, con ello además de promover los materiales sostenibles también estamos eliminando residuos:

“Meta 9.2 Promover una industrialización inclusiva y sostenible y, de aquí a 2030, aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto, de acuerdo con las circunstancias nacionales, y duplicar esa contribución en los países menos adelantados.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

En el caso del sector de la agricultura, al promover el cemento hecho a partir de ceniza de cáscara de arroz, vamos a incentivar que los colectivos pequeños de este sector puedan aumentar y tener un desarrollo mayor:

“Meta 9.3 Aumentar el acceso de las pequeñas industrias y otras empresas, particularmente en los países en desarrollo, a los servicios financieros, incluidos créditos asequibles, y su integración en las cadenas de valor y los mercados.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

La investigación y desarrollo en la producción de cemento a base de los nuevos materiales, ayuda para aumentar la innovación en las tecnologías y en los conocimientos para la utilización de los residuos:

“Meta 9.4 De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 9.5 Aumentar la investigación científica y mejorar la capacidad tecnológica de los sectores industriales de todos los países, en particular los países en desarrollo, entre otras cosas fomentando la innovación y aumentando considerablemente, de aquí a 2030, el número de personas que trabajan en investigación y desarrollo por millón de habitantes y los gastos de los sectores público y privado en investigación y desarrollo.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 9.b Apoyar el desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, incluso garantizando un entorno normativo propicio a la diversificación industrial y la adición de valor a los productos básicos, entre otras cosas.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

ODS 11. CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES

Al usar los nuevos materiales en lugar de la caliza tradicional en la producción de cemento y utilizar sistemas prefabricados se puede reducir la emisión de gases de efecto invernadero y otras formas de contaminación del aire. Además, tendremos espacios mas sostenibles y más seguros gracias a las mejoras de las propiedades:

“Meta 11.3 De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per capita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

El cemento hecho a partir de los nuevos materiales tiene propiedades superiores en términos de resistencia y durabilidad, lo que puede resultar en infraestructuras urbanas más resistente al cambio climático ya los desastres naturales:

“Meta 11.b De aquí a 2020, aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el uso eficiente de los recursos, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

Si llevamos este tipo de producción a los países con menos desarrollo provocaremos una gran inversión en estos:

“Meta 11.c Proporcionar apoyo a los países menos adelantados, incluso mediante asistencia financiera y técnica, para que puedan construir edificios sostenibles y resilientes utilizando materiales locales.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

ODS 12. PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLE

Los nuevos materiales, proceden de otras industrias, se pueden utilizar para la producción de cemento, lo que ayuda a reducir la cantidad de residuos generados y promover la economía circular :

“Meta 12.2 De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 12.c Racionalizar los subsidios ineficientes a los combustibles fósiles que fomentan el consumo antieconómico eliminando las distorsiones del mercado, de acuerdo con las circunstancias nacionales, incluso mediante la reestructuración de los sistemas tributarios y la eliminación gradual de los subsidios perjudiciales, cuando existan, para reflejar su impacto ambiental, teniendo plenamente en cuenta las necesidades y condiciones específicas de los países en desarrollo y minimizando los posibles efectos adversos en su desarrollo, de manera que se proteja a los pobres y a las comunidades afectadas.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

Por promover estos nuevos cementos, las cementeras se tienen que actualizar con sistemas más sostenibles. Tanto estas como las nuevas cementeras, van a tener que formar a empleados y de esta manera se va a promover una educación mucho mas sostenible. Además, los empleados de constructoras y de fabricas se tendrán que formar para la producción y colocación de los sistemas prefabricados:

“Meta 12.6 Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 12.8 De aquí a 2030, asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el desarrollo sostenible y los estilos de vida en armonía con la naturaleza.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

A causa de llevar estos nuevos cementos a las zonas menos desarrolladas, vamos a promover que la mejora de la tecnología de estas zonas aumenten:

"Meta 12.a Ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

ODS 13. ACCIÓN POR EL CLIMA

Los nuevos materiales también pueden mejorar la durabilidad y resistencia del cemento, lo que puede resultar aumento en regiones afectadas por el cambio climático, donde las estructuras construidas necesitan ser más resistentes a condiciones ambientales adversas :

"Meta 13.1 Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

La producción de cemento convencional es uno de los mayores contribuyentes a las emisiones de CO₂. Al sustituir una parte del cemento convencional por los nuevos materiales, se puede reducir la cantidad de CO₂ emitida durante el proceso de producción. Además, al sustituir el sistema de construcción in situ por un sistema prefabricado también reducimos las emisiones de CO₂:

"Meta 13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

Por la creación de estas nuevas industrias, promovemos la educación sostenible, tanto para los nuevos empleados como para la sociedad:

"Meta 13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana." (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

ODS 14. VIDA SUBMARINA

La producción de cemento convencional puede generar agua residual con un alto contenido de partículas sólidas y pH elevado. Al reemplazar parcialmente el cemento convencional con ceniza de cáscara de arroz, la cantidad de agua residual puede reducirse, lo que puede disminuir la contaminación de las fuentes de agua. Según un estudio de Kumar et al. (2015), la ceniza de cáscara de arroz puede reducir en un 20% la generación de agua residual en la producción de cemento. :

“Meta 14.1 De aquí a 2025, prevenir y reducir significativamente la contaminación marina de todo tipo, en particular la producida por actividades realizadas en tierra, incluidos los detritos marinos y la polución por nutrientes.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 14.2 De aquí a 2020, gestionar y proteger sosteniblemente los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes, incluso fortaleciendo su resiliencia, y adoptar medidas para restaurarlos a fin de restablecer la salud y la productividad de los océanos.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

El CO₂ liberado en la atmósfera puede ser absorbido por los océanos, provocando su acidificación. Al reducir las emisiones de CO₂ en la producción de cemento, el cemento hecho a partir de los nuevos materiales puede contribuir indirectamente a disminuir la acidificación oceánica :

“Meta 14.3 Minimizar y abordar los efectos de la acidificación de los océanos, incluso mediante una mayor cooperación científica a todos los niveles.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

ODS 15. VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES

La producción de cemento a partir de ceniza de cáscara de arroz ayuda a hacer uso de un subproducto de la producción de arroz que a menudo se desperdicia o se quema, liberando dióxido de carbono en la atmósfera. Al utilizar la ceniza de cáscara de arroz en la producción de cemento, se promueve la gestión sostenible de los residuos agrícolas :

“Meta 15.2 Para 2020, promover la gestión sostenible de todos los tipos de bosques, poner fin a la deforestación, recuperar los bosques degradados e incrementar la forestación y la reforestación a nivel mundial.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

Al reducir la dependencia de la extracción de piedra caliza para la producción de cemento convencional, la producción de cemento a partir de nuevos materiales puede ayudar a reducir la degradación de la tierra y la desertificación:

“Meta 15.3 Para 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

Al evitar la extracción excesiva de materiales naturales, se protegen los hábitats y se ayuda a prevenir la pérdida de biodiversidad:

“Meta 15.4 Para 2030, velar por la conservación de los ecosistemas montañosos, incluida su diversidad biológica, a fin de mejorar su capacidad de proporcionar beneficios esenciales para el desarrollo sostenible.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

“Meta 15.5 Adoptar medidas urgentes y significativas para reducir la degradación de los hábitats naturales, detener la pérdida de la diversidad biológica y, para 2020, proteger las especies amenazadas y evitar su extinción.” (Objetivos de desarrollo sostenible, n.d.)

6. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo sobre la posibilidad de sustituir el cemento Portland con cementos fabricados a partir de la ceniza de cáscara de arroz, polvo de ladrillo y polvo de filtro de la industria del aluminio. La información obtenida en la investigación ha permitido conocer más cerca de estos materiales y todas las posibilidades que nos pueden aportar.

En primer lugar, se demuestra claramente que la ceniza de cáscara de arroz, el polvo de ladrillo y el polvo de filtro de la industria del aluminio pueden, de hecho, ser utilizados para producir cemento. Además, se ha encontrado que este cemento alternativo ofrece una serie de beneficios significativos en términos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental.

La utilización de estos materiales alternativos para la producción de cemento ayuda a reducir las emisiones de CO₂ asociados con la fabricación de cemento Portland, ya que estos materiales son subproductos de otras industrias y su uso en la producción de cemento ayuda a reutilizar los residuos que de otro modo serían desechados, con sus correspondientes impactos negativos en el medio ambiente.

Los cementos fabricados a partir de estos materiales alternativos pueden cumplir con los requisitos de rendimiento necesarios para su uso en aplicaciones de construcción. Se ha observado que los cementos producidos a partir de la ceniza de cáscara de arroz, el polvo de ladrillo y el polvo de filtro de aluminio mostraron una resistencia a la compresión comparable a la del cemento Portland, lo que indica que estos materiales alternativos pueden ser efectivos para su uso en aplicaciones de construcción.

Además, el hecho de que estos cementos alternativos sean capaces de cumplir con las normas de la industria de la construcción sugiere que su adopción en el sector de la construcción podría ser viable desde una perspectiva técnica.

También hay que atender al tipo de sistema constructivo con el que se realiza la vivienda, ya que en el periodo constructivo se provocan muchas emisiones. Teniendo en cuenta esto, a partir de la investigación realizada y contrastando datos, se ha comprobado que el sistema prefabricado también responde a la problemática de la reducción de emisiones de CO₂.

Por tanto, si la sustitución de estos materiales se implementa a sistemas de construcción más sostenibles que el in situ, como el sistema de construcción de prefabricados industrializados, conseguiremos muchas más ventajas en cuanto a economía, reducción de emisiones, calidad y seguridad.

No obstante, aunque los datos son prometedores, también han destacado una serie de desafíos que deben abordarse para que la sustitución del cemento Portland por estos cementos alternativos pueda realizarse a gran escala.

En la actualidad existe la necesidad de desarrollar y optimizar los procesos de fabricación para la producción de cementos a partir de estos materiales alternativos. Aunque se demuestra que es posible producir cemento a partir de estos materiales, la optimización de los procesos de fabricación será fundamental para garantizar la eficacia y eficiencia de la producción de cemento a gran escala.

En resumen, la investigación ha iluminado un camino prometedor hacia la creación de una industria de la construcción sostenible más. Si bien existen desafíos a superar, los beneficios potenciales en términos de reducción del impacto medioambiental y de conservación de los recursos naturales son significativos.

El trabajo que se ha realizado constituye un punto de partida para una exploración más profunda en este campo, y esperamos que nuestros datos inspiren a más gente a conocer esta área. Al trabajar para superar los desafíos identificados y capitalizar los beneficios de estos cementos alternativos, existe la oportunidad de cambiar la forma superior en que construimos nuestro mundo, de una manera que es más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Por tanto, animamos a la comunidad científica y a la industria de la construcción a que continúen explorando estas alternativas y trabajen para su implementación práctica. A través de este trabajo, estoy convencido de que es posible crear un futuro de la construcción más verde y sostenible.

7. BIBLIOGRAFÍA

Abdullah, MMAB, Jamaludin, L., Hussin, K., Zakaria, F., Muhamad, R. y Abdullah, MT (2015). Ceniza de cáscara de arroz: material puzolánico para la sostenibilidad. *Revista internacional de investigación en ingeniería aplicada*, 10(24), 44250-44273.

Asociación Española del Aluminio (AEA, 2022). *Anuario del Aluminio 2022*.

Asociación de Cemento de Canadá. (2006). *Manual de diseño de hormigón*, 3ª edición. Ottawa, ON: Asociación de Cemento de Canadá.

Balance de emisiones de gases de efecto invernadero del año 2020, de las instalaciones de la comunitat valenciana con autorización administrativa de emisión de gases de efecto invernadero. (2020, October 9). *gva.es*. Retrieved July 12, 2023, from <https://www.gva.es>

Báez, J. (2020, February 14). La industria del cemento y los objetivos de desarrollo sostenible. LinkedIn. Retrieved July 6, 2023, de <https://es.linkedin.com/pulse/la-industria-del-cemento-y-los-objetivos-de-desarrollo-julissa-b%-C3%A1ez>

Bosoaga, A., Masek, O. y Oakey, JE (2009). Tecnologías de captura de CO₂ para la industria del cemento. *Energy Procedia*, 1(1), 133-140.

CementoPortland. (2021, April 21). Becosan. Retrieved July 10, 2023, from https://www.becosan.com/es/cemento-portland/#Historia_del_cemento_Portland

Chandrasekhar, S., Satyanarayana, KG, Pramada, PN, Raghavan, P. y Gupta, TN (2003). Revisión del procesamiento, las propiedades y las aplicaciones de la sílice reactiva de la cáscara de arroz: una descripción general. *Revista de ciencia de los materiales*, 38(15), 3159-3168. <https://doi.org/10.1023/A:1025157114800>

Chappin, EJ y van der Lei, T. (2014). Adaptación de infraestructuras interconectadas al cambio climático: Una perspectiva de sistemas socio-técnicos. *Política de Servicios Públicos*, 31, 10-17.

Cherubini, F. (2010). El concepto de biorrefinería: uso de biomasa en lugar de petróleo para producir energía y productos químicos. *Gestión y conversión de energía*, 51(7), 1412-1421.

Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C. y Rukzon, S. (2008). Resistencia, porosidad y resistencia a la corrosión del mortero de mezcla ternaria de cemento Portland, ceniza de cascara de arroz y ceniza volante. *Construcción y materiales de construcción*, 22(8), 1601-1606.

Cornejo, MH, & Castellón, ER (2010). Uso de ladrillo de arcilla molido como material puzolánico para reducir la reacción álcali-sílice en el hormigón. *Investigación sobre cemento y hormigón*, 40(3), 470-476.

Cyr, M., Coutand, M. y Clastres, P. (2007). Comportamiento tecnológico y ambiental de las cenizas de lodos de depuradora (SSA) en materiales base cemento. *Investigación sobre cemento y hormigón*, 37(8), 1278-1289.

Delgado Sánchez. (2017, October). Consideraciones sobre los cultivos sin suelo de clavel. *researchgate.net*. Retrieved July 6, 2023, de <https://www.researchgate.net/publication/320592593>

Evolución anual de la producción de aluminio secundario en España de 2010 a 2020. (2021). *STATISTA*. Retrieved July 6, 2023, de <https://es.statista.com/estadisticas/1140332/produccion-de-aluminio-secundario-en-espana/>

Fabricación de cemento (combustión). (n.d.). Miteco.

FAO (2021). FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

FAO. (2019). Rice Market Monitor, abril de 2019. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Finura del cemento Portland. (n.d.). Umng. Retrieved July 10, 2023, from http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria_civil/tecnologia_del_concreto_y_laboratorio/unidad_1/medios/documentacion/p6h19.php

Generalitat Valenciana (GV, 2023). Informe sobre la Industria Metalúrgica en la Comunidad Valenciana.

Givi, AN, Rashid, SA, Aziz, FNA y Salleh, MAM (2010). Investigación experimental de los efectos del tamaño de las nanopartículas de SiO₂ en las propiedades mecánicas del hormigón de mezcla binaria. *Compuestos Parte B: Ingeniería*, 41(8), 673-677. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2010.08.003>

GV (2022). Estrategia Valenciana de Cambio Climático 2030. Generalitat Valenciana

Habeeb, GA y Mahmud, HB (2010). Estudio de las propiedades de la ceniza de cascarilla de arroz y su uso como material sustitutivo del cemento. *Investigación de materiales*, 13(2), 185-190.

Hablando de Cementos Portland. (2019, June 19). Cemex. Retrieved July 12, 2023, from <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland#:~:text=Su%20empleo%20en%20concreto%20incluye,concreto%20prefabricado%20entre%20otras%20cosas>.

Hewlett, PC (2003). Química del cemento y el hormigón de Lea. 4

Instituto Americano del Concreto. (2005). Diseño y Producción de Hormigón. ACI.

Instituto Internacional del Aluminio (2020). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero del Sector Aluminio.

IPCC (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Ismail, MS y Waliuddin, AM (1996). Efecto de la Ceniza de Cáscara de Arroz sobre Concreto de Alta Resistencia. *Construcción y materiales de construcción*, 10(7), 521-526. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(96\)00010-5](https://doi.org/10.1016/0950-0618(96)00010-5)

IVACE (2021). Sector cerámico en la Comunidad Valenciana. Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial.

Jiakuan, Y., Baojing, C., Xueying, L. y Huisheng, S. (2002). Hidratación de cemento alto en alúmina utilizando residuos de alúmina de escoria salina de aluminio. *Investigación sobre cemento y hormigón*, 32(9), 1431-1434.

Kadir, AA y Sarani, NA (2012). Investigación experimental de las propiedades puzolánicas de cenizas residuales para uso en materiales base cemento. *Revista de Producción más Limpia*, 21(1), 66-75.

Karim, MR, Hossain, MM, Khan, MNN, Zain, MFM, Jamil, M. y Lai, FC (2011). Aprovechamiento de residuos sólidos en materiales de construcción. Revista Internacional de Ciencias Físicas, 6(29), 6690-6700.

Kim, W., Jeong, S. y Sohn, H. (2010). "Preparación de óxido de aluminio de alta pureza mediante un proceso de dos etapas utilizando escoria de aluminio". Transacciones metalúrgicas y de materiales B, 41(2), 330-335.

La recarbonatación de los elementos constructivos de hormigón como vía de reducción de las emisiones de CO₂. (n.d.). Andace. Retrieved July 12, 2023, from [https://www.andace.org/la-recarbonatacion-de-los-elementos-constructivos-de-hormigon-como-via-de-reduccion-de-las-emisiones-de-co2/#:~:text=La%20fabricaci%C3%B3n%20de%20una%20tonelada,hace%20ya%20a%C3%B1os%20\(uso%20de](https://www.andace.org/la-recarbonatacion-de-los-elementos-constructivos-de-hormigon-como-via-de-reduccion-de-las-emisiones-de-co2/#:~:text=La%20fabricaci%C3%B3n%20de%20una%20tonelada,hace%20ya%20a%C3%B1os%20(uso%20de)

LEIVA. (2017). Escayola aditiva con residuos de cáscara de arroz.

León, M. (n.d.). En 20 años se duplicaron emisiones de CO₂ de la industria del cemento Mariela León by Mariela León 02/07/2022 in Medioambiente 0 Noticias. Cambio16.

Li, L., Wang, Q. y Wang, X. (2013). Propiedades de los composites cementosos con residuos industriales ultrafinos: Escorias y fangos rojos. Revista de Materiales en Ingeniería Civil, 26(10), 04014069.

Liu, M., Li, X. y Zhang, L. (2007). Aprovechamiento integral de escorias de aluminio en procesos basados en sinterización para la fabricación de materiales cementosos de alto desempeño. Revista de Materiales Peligrosos, 139(1), 48-52.

Mehta, PK (2002). Ecologización de la industria del hormigón para el desarrollo sostenible. Concreto internacional, 24(7), 23-28.

Ministerio de España, Oficina Española de Cambio Climático (2021)

Morales. (n.d.). Posibilidades de ahorro de energía en la industria del cemento. Aplesa.

Navas de García, Reyes Gil, & Galván Rico. (2015, October). Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto. SciELO. Retrieved July 6, 2023, de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422015000400067

Neville, AM (2011). Propiedades del hormigón (5ª ed.). Pearson.

Nguyen, LH, Sun, X., Kurniawan, W., Gallage, C. y Ma, G. (2011). Influencia de la ceniza de cascarilla de arroz en las propiedades de endurecimiento y la durabilidad del hormigón con áridos reciclados. Construcción y materiales de construcción, 25(6), 2775-2783.

Objetivos de desarrollo sostenible. (n.d.). Un. Retrieved July 12, 2023, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Oficiales (2021). Anuario Estadístico 2021.

Oliveira, LAP, De Castro, AA y Sampaio, CH (2018). Beneficios del uso ambiental de residuos de construcción y demolición en la fabricación de bloques de hormigón. Revista de Gestión Ambiental, 217, 786-796.

Pan, J., et al. (2012). Revisión de la recuperación de alúmina a partir de cenizas volantes de carbón, con un enfoque en China. Combustible, 102, 657-661.

Péra, J. y Ambroise, J. (2004). Nuevas aplicaciones del cemento de sulfoaluminato de calcio. *Investigación sobre cemento y hormigón*, 34(4), 671-676.

Prada, & Cortés. (2010, December 1). La descomposición térmica de la cascara de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral. Universidad De Los Llanos Colombia.

Producción de arroz con cáscara en grano en España en 2021, por comunidad autónoma. (2021, January 23). STATISTA. Retrieved July 6, 2023, de <https://es.statista.com/estadisticas/501804/produccion-de-arroz-cascara-grano-en-comunidades-autonomas-de-espana/>

Ramezaniapour, AA (2014). *Materiales de Reemplazo del Cemento: Propiedades, Durabilidad, Sostenibilidad*. Saltador.

Ramezaniapour, AA, Malhotra, VM y Khanlari, GR (2014). Efecto del curado sobre la resistencia a la compresión, la resistencia a la penetración de iones de cloruro y la porosidad de hormigones que incorporan escoria, cenizas volantes o humo de sílice. *Compuestos de cemento y hormigón*, 17(2), 125-133.

Sadek, DM, El-Sayed, AK y Ramli, M. (2019). Propiedades del hormigón auto-compactante que incorpora ceniza de cascara de arroz sin tratar. *Construcción y Materiales de Construcción*, 209, 286-301.

Salahudeen, AB, Ede, AN y Olofinnade, OM (2015). Investigación sobre la viabilidad del uso de ceniza de cascara de arroz (RHA) y vidrio pulverizado (PG) como reemplazo parcial del cemento en obras de hormigón. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 4(5), pp-55-60.

Uso y aplicación del Cemento Portland. (n.d.). Cementosinka. Retrieved July 12, 2023, from <https://www.cementosinka.com.pe/blog/uso-y-aplicacion-del-cemento-portland/>

Wang, S., Ang, HM y Tade, MO (2016). Producción de ácidos grasos volátiles a partir de desechos de alimentos: efectos del pH, la temperatura y la tasa de carga orgánica. *Tecnología de biorecursos*, 216, 914-921.

Zhang, MH, Lastra, R. y Malhotra, VM (2011). Pasta de ceniza de cascara de arroz y concreto: algunos aspectos de la hidratación y la microestructura de la zona interfacial entre el agregado y la pasta. *Investigación sobre cemento y hormigón*, 26(6), 963-977.

Zhang, Y., Zhang, Y. y Reza Barati, M. (2012). "Recuperación de valores metálicos a partir de escoria de aluminio residual". *Revista trimestral metalúrgica canadiense*, 51(4), 434-441.

Yepes Piqueras, V. (2015, May 23). *Fabricación del cemento*. Universidad politécnica de valencia

8. RECURSOS DIGITALES

- **FIGURA 1:** <https://www.designboom.com/architecture/montemurro-aguiar-architetti-raiffeisen-bank-campagnadorna-stabio-switzerland-02-25-2017/>
- **FIGURA 2:** <https://pixabay.com/es/photos/hormig%C3%B3n-arquitectura-agujero-pared-2420845/>
- **FIGURA 3:** <https://pixabay.com/pt/photos/memorial-blocos-de-concreto-concreto-1621728/>
- **FIGURA 4:** <https://www.rubi.com/es/blog/cemento-portland-que-es/>
- **FIGURA 5:** <https://valenciagastronomica.com/el-cultivo-del-arroz-en-la-albufera-ayuda-a-sostener-un-uso-adecuado-en-los-ecosistemas-originales/>
- **FIGURA 6:** <https://pixabay.com/es/photos/pared-ladrillo-pared-de-ladrillo-2507525/>
- **FIGURA 7:** <https://pixabay.com/pt/photos/armaz%C3%A9m-a%C3%A7o-metal-ferro-materiais-5635000/>
- **FIGURA 8:** <https://www.escofet.com/blog/hormigon-reciclado-la-alternativa-sostenible>
- **FIGURA 9:** <https://www.ulmaconstruction.es/es-es/servicios/alquiler-de-encofrados-y-andamios>
- **FIGURA 10:** <https://www.britannica.com/topic/Lotus-Temple/>
- **FIGURA 11:** <https://www.siasat.com/first-indian-institute-of-technology-to-be-setup-in-uae-2279099/>
- **FIGURA 12:** https://es.wikipedia.org/wiki/Edificio_Copan
- **FIGURA 13:** <https://www.archdaily.com.br/br/777375/classicos-da-arquitatura-conjunto-nacional-david-libeskind>
- **FIGURA 14:** <https://www.ubiko.es/>
- **FIGURA 15:** <https://www.ubiko.es/>
- **FIGURA 16:** <https://www.ubiko.es/>
- **FIGURA 17:** <https://www.ubiko.es/>
- **FIGURA 18:** <https://blog.deltoroantunez.com/2019/02/hormigon-armado-material-sostenible.html>

