



Reutilización de residuos agrícolas para la fabricación de materiales de construcción.

Caracterización física y mecánica.

Trabajo Fin de Grado. Curso 2017/2018

Grupo Docente Ñ: Felipe Palomino González
Jose Manuel Pérez Muñoz
Carlos A. Rivera Gómez (Tutor)

Realizado por: Jacinto Moreno Guzmán



Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla

AGRADECIMIENTOS:

Durante, y tras la realización de este trabajo de investigación he recordado a mucha gente importante en mi vida las cuales han sido pilares fundamentales desde hace unos años atrás hasta el día de hoy. Así, le doy las gracias a:

En primer lugar le agradezco a mi Tutor del TFG, Carlos A. Rivera Gómez su constante apoyo y dedicación desinteresada para con mi estudio. Gracias por la comprensión e implicación que has mostrado desde el primer momento en que te propuse el caso de estudio, y por saber transmitir de una manera maravillosa el amor que sientes por tu profesión.

Gracias a Miriam Sánchez Trejo por su ayuda en el laboratorio y su constante disponibilidad.

A mis compañeros de laboratorio Clara, Maria y Carlos por su simpatía y por compartir su tiempo conmigo y hacer que las horas de laboratorio se hayan hecho más amenas y divertidas.

Gracias a mis amigos del PSF por su comprensión y por su apoyo durante todos estos años pasados.

Pero sobretodo, si hay unas personas a las que tengo que agradecer haber llegado hasta aquí, sin duda es a mi familia. Gracias Mamá y Papá por vuestro constante apoyo, paciencia y por todo el esfuerzo que habéis hecho para que haya llegado hasta este momento. Gracias Jose Antonio por hacerme ver, que con el esfuerzo y el sacrificio siempre se obtienen los resultados deseados, y que sin ello nada es posible. Sois un ejemplo y referente para mí y siempre os tengo presentes.

	Índice:
1 Introducción	6
1.1- Motivaciones Generales	7
1.2- Objetivos	8
1.2.1-Objetivos Generales	.
1.2.2- Objetivos Particulares	.
1.3 Metodología	9
2- Estado de la Cuestión	10
2.1 El reciclaje y la reutilización de residuos a lo largo de la historia	11
2.2 Problemática existente con la gestión de residuos agrícolas	12
2.3 Reutilización de residuos agrícolas en la construcción	13
2.4 Gestión actual de los residuos derivados de la producción del aceite de oliva	17
3 Planteamiento Experimental	20
3.1 Introducción metodológica	21
3.2 Materiales de estudio	21
Hueso	
Ceniza	
3.3 Hipótesis de aplicabilidad	23
3.4 Dosificaciones	24
3.5 Elaboración de las probetas	27
3.6 Dimensiones de las probetas	28
3.7 Curado	28
4 Métodos	30
4.1 Ensayos de Caracterización física	31
4.1.1 Densidad	
4.2 Ensayos no destructivos	32
4.2.1 Ultrasonidos	
4.3 Ensayos destructivos	34
4.3.1 Resistencia a flexión	
4.3.2 Resistencia a compresión	

5 Resultados	28
5.1 Caracterización física	29
5.1.1 Densidad	
5.2 Ensayos no destructivos	40
5.2.2 Ultrasonidos	
5.3 Ensayos destructivos	41
5.3.1 Resistencia a flexión	
5.3.2 Resistencia a compresión	
6 Discusión de resultados	47
7 Conclusiones	51
7.1 Conclusiones Generales	
7.2 Conclusiones Específicas	
8 Futuras líneas de investigación	53
9 Bibliografía y referencias	54
10 Anexo de Tablas	56



Abstract

El presente estudio trata de evaluar el comportamiento de nuevos bloques de morteros de cemento, cal, y yeso, en los cuales se ha sustituido, en primer lugar, una parte del conglomerante por hueso de aceituna triturado (COS)(Figura 1); y en segundo lugar se sustituirá una parte del conglomerante por las cenizas de los huesos de aceitunas tras su combustión (OSA). Para ello se ha utilizado un tamaño de pieza para todos los casos e iremos variando la dosificación para obtener unos resultados comparables entre ellos con el fin de establecer una dosificación óptima para cada tipo de conglomerante base.

Previamente se ha recopilado información sobre el uso y la gestión que se ha hecho en el pasado con los diferentes residuos, hasta llegar al presente, donde una obligada visión sostenible de la arquitectura nos ha llevado a cuestionarnos tanto el modo en que construimos como los materiales que utilizamos o la manera en que reutilizamos o reciclamos los residuos provenientes de nuestros modos de vida.

Con el fin de saber el comportamiento de dichas probetas para su aplicación en elementos constructivos dentro del campo de la Arquitectura y Construcción, se han realizado ensayos referentes a la densidad real, compacidad, resistencia a flexión, resistencia a compresión.

Palabras Clave

Hueso de aceituna triturado (Crushed Olive Stone, COS), Cenizas de hueso de aceituna (Olive Stone Ashes, OSA), residuos agrícolas, sostenibilidad, reciclaje.



Fig. 1. Hueso de aceituna triturado



1 Introducción

1 Introducción

1.1 Motivaciones Generales

Durante mi formación en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla poco o nada he estudiado acerca de materiales de nueva generación y derivados de la reutilización y reciclado de residuos orgánicos e inorgánicos, es por esto que me interesa mucho la gestión de residuos para aplicarlos a nuevos materiales relacionados con la arquitectura y construcción.

Por mi lugar de nacimiento (Huelma, Jaén), he vivido toda la vida rodeado de olivos y relacionado con la cultura que hay alrededor del cultivo, recolección y obtención del Aceite de Oliva y es por esto que el tema concreto que he elegido para mi investigación tratará acerca de como los materiales de desecho de los procesos de obtención del Aceite de Oliva, en concreto el hueso triturado y sus cenizas, pueden o no contribuir a una mejora del comportamiento físico y mecánico de distintos materiales que se utilizan tradicionalmente en la construcción.

En el pasado, poco se ha experimentado en la introducción de desechos orgánicos reciclados en materiales tradicionales como pueden ser los morteros de cal, yeso o arcillas o materiales más actuales como pueden ser los cementos, hormigones y/o polímeros naturales. Si bien en el pasado, se han utilizado fibras naturales derivadas de la naturaleza como la paja (Fig. 2) o la lana para incluirlo en morteros de cal o en mamposterías, siempre se ha utilizado en el contexto de autoconstrucción, y nunca se ha desarrollado un estudio en profundidad de estas "tecnologías" para aplicarlo en la construcción actual con el fin de llevarlo a la mayoría de las construcciones.

Tanto el reciclaje de dichos residuos como el ahorro energético son, en la actualidad, temas que tienen sobre sí el foco de importantes campos de investigación. En concreto, en la arquitectura y construcción, la reutilización y el reciclaje de dichos residuos parece ser la mejor manera de construir de una manera ecológica y de disminuir el coste de las obras en un futuro, aparte de los beneficios físicos y mecánicos que puedan aportar a los materiales resultantes

Todas las industrias (Figura 3) son responsables de las grandes emisiones de gases de efecto invernadero y la huella ecológica que imponemos sobre nuestro planeta, por lo que es trabajo de todos luchar contra este mal que nos afecta. La construcción y todos los procesos vinculados a ella, junto con las emisiones de los automóviles y demás medios de transporte, son los agentes que más contribuyen a la generación de residuos gaseosos responsables del



Fig. 2. Uso de la paja en la construcción



Fig. 3. Contaminación Industrial

consabido efecto invernadero . Es por esto, por lo que reducir el consumo de energías de origen fósil, e intentar aprovechar y reciclar los residuos que se derivan de otras industrias y/o de nuestra forma de vida, es de vital importancia para conseguir un planeta más limpio e intentar abaratar los costes económicos, ecológicos y sociales intrínsecos que se derivan de nuestro trabajo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

El objetivo general de este estudio es analizar las posibilidades que tienen los residuos generados en la producción de aceite de oliva para su inclusión en materiales de construcción de forma que no sólo se reduzca el volumen de dichos residuos, sino que se incrementen las prestaciones de los materiales en los que se integren.

1.2. Objetivos Particulares

Por otro lado y de un modo más específico también nos fijamos unos objetivos más concretos:

1. En primer lugar, trataremos de caracterizar física y mecánicamente las piezas de estudio, en las diferentes dosificaciones que elaboraremos.
2. Analizaremos las diferencias que se producen entre los materiales convencionales (de referencia) y los que integran los residuos que aditaremos.
3. Verificaremos las mejoras y los posibles nuevos usos en los que tendrían cabida los nuevos materiales resultantes.
4. Dadas las carencias que en nuestro plan de estudio hay en materia de técnicas e investigación en laboratorio, este estudio también me servirá para adquirir las competencias específicas relacionadas con este campo de la arquitectura. Me permitirá desarrollar algunas actividades en el laboratorio y conocer métodos de ensayo, verificación y validación conforme a la normativa que los regulan.

5. El trabajo también servirá para dejar una base, una vía abierta para la investigación en la reutilización del hueso o sus cenizas como aditivo en materiales tradicionales como las arcillas, tierras, hormigones, cementos, yesos, cales, etc, o en combinación con polímeros de última generación.

1.3 Metodología

La elaboración del presente estudio y valoración del nuevo material se realizará siguiendo un método que tendrá una serie de fases que a continuación explicaremos:

1. En primer lugar tenemos la fase de investigación y documentación. Para ello, intentaremos indagar y obtener información, artículos y demás documentos que existan, acerca del tema de estudio o que tengan relación con el mismo.

2. Tras obtener toda la información que servirá de base para nuestro estudio, en segundo lugar, tendrá lugar una fase de estudio y trabajo en el laboratorio donde se elaborarán 3 tipos de probetas en cuanto a su material conglomerante base se refiere, que se irán modificando en su dosificación, y se irán aditando los residuos de nuestro estudio, como son el hueso y las cenizas. Después de 28 días, una vez las probetas están debidamente curadas, se ensayaran (Fig. 4) y se obtendrán datos en cuanto a su densidad, compacidad, resistencia a compresión, resistencia a flexión y algunos datos de los ensayos hídricos.

3. Tras la obtención de datos, en esta tercera fase se procederá a comparar los resultados y a hacer un análisis de ellos.

4. En última instancia, se sacarán una serie de conclusiones con respecto a sus propiedades físicas y su posible aplicación en el campo de la arquitectura.



Fig. 4. Ensayo de resistencia a compresión. ETSAS



2 Estado de la Cuestión

2 Estado de la cuestión

2.1 El reciclaje y la reutilización de residuos a lo largo de la historia.

Según nos cuenta Christian Crossing-Taylor [2] y Ricardo Estevez [3] desde el inicio de las civilizaciones el ser humano ha venido reciclando y reutilizando gran parte de los recursos que obtenía de la naturaleza. Si nos remontamos a los orígenes, expertos de la arqueología han encontrado vestigios de materiales reciclados que datan del año 400 a.C., aunque el concepto como los métodos han evolucionado mucho a lo largo de los años.

En esta historia hay un punto de inflexión muy importante que llega con la Revolución Industrial. Fue en ese momento cuando la técnica permitió la aparición de grandes fábricas, la fabricación en cadenas de montaje (Fig. 5) y la producción en masa. Este hecho, junto con la expansión de la Revolución Industrial a todo el mundo, produjo un abaratamiento en los costes de producción, por lo que el reciclar y reutilizar pasó a un segundo plano.

Ya pasada la Revolución Industrial e inmersos en pleno siglo XX, tuvieron lugar algunos hechos relevantes, como fueron las dos Guerras Mundiales que modificaron la economía mundial. También en la época de entre guerras el famoso Crack del 29 en Wall Street (EEUU) y la posterior Gran Depresión hundió a algunas de las principales potencias mundiales. Como consecuencia de estas dificultades económicas, el desempleo y la escasez se agudizó el ingenio de la población que volvió a reciclar y reutilizar determinados elementos más como una obligación que por convicción, convirtiéndose, incluso, en los años de II Guerra Mundial en una cuestión de estado.

Finalizada la II Guerra Mundial, el mundo asistió a uno de los periodos de bonanza económica más extraordinarios de la historia. El capitalismo llevó al mundo a la vuelta al consumo masivo y se generó una corriente de necesidad de productos nunca antes vista. La nueva clase media que surgió, necesitaba casas, coches, electrodomésticos, mobiliario cada vez más, en menos tiempo. [2]



Fig. 5. Cadena de montaje. Henry Ford (1913)



Fig. 6. Rachel Carson (1962)

Hasta la década de los 60 no aparecieron los primeros ecologistas. Fue Rachel Carson (Fig 6)[4], escritora del libro Primavera Silenciosa, quién dio el primer toque de atención sobre la muerte de nuestro planeta a causa de la actividad humana.

Unos años más tarde (y hasta llegar a nuestros días), fue cuando de verdad despegó esta conciencia ecologista en la población, que empezó a exigir productos más respetuosos con el medio ambiente e hizo que las empresas y grandes industrias se empezasen a interesar por el reciclaje y la sostenibilidad.

2.2 Problemática existente con la gestión de residuos agrícolas.

Durante siglos, la actividad agroganadera ha contribuido a la conservación, protección y puesta en valor del medio ambiente, considerándose una actividad en continua armonía con la naturaleza. En las últimas décadas, la intensificación de las explotaciones ha generado problemas ambientales como la contaminación, la degradación del suelo y la pérdida de hábitats naturales. Por todo esto, la agricultura de hoy en día es una actividad mucho más compleja que en años anteriores, ya que tiene que conjugar la rentabilidad de las explotaciones con la protección del medio. Dentro de este marco es donde la gestión de residuos se hace imprescindible, para aprovechar el previsible potencial que poseen dentro de la industria de la construcción.

Actualmente, en 2018, según el Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, al año se generan 88.000.000 de toneladas de residuos agrícolas en nuestro país.[4] La correcta gestión de los residuos es un problema cada vez más acuciante en España, fruto del incesante incremento de las cantidades generadas y del aumento de la gravedad de sus efectos sobre el medio ambiente. Los principales responsables de la gestión de estos son las Administraciones, que se enfrentan al reto de cambiar esta tendencia mediante la optimización de dicha gestión. Una de las vías para conseguirlo es la aplicación de políticas públicas por parte de las autoridades, con el fin de maximizar el desvío de residuos de vertedero. En algunos de los países comunitarios más avanzados- Dinamarca, Suecia, Países Bajos, Alemania- se hace evidente que la aplicación conjunta de una serie de medidas se traducen en índices de desvío muy elevados, por lo que son todo un ejemplo para el diseño de las políticas de gestión en España. [15]

2.3 Reutilización de residuos agrícolas en la construcción

Introducción

Una parte de los residuos agrícolas generados en nuestro país se utilizan como biomasa en instalaciones domésticas como es el caso de las astillas de madera o hueso de aceituna. En otros casos, los residuos se utilizan como parte de tableros conglomerados de madera. Pero la mayor parte de estos residuos no tienen una aplicación concreta por lo que acaban siendo incinerados para hacerlos desaparecer, con la consiguiente contaminación que ello conlleva y además con la pérdida de un valor que podemos aprovechar para nuestro beneficio.

Actualmente, la industria de la construcción está inundada de productos sintéticos de nueva generación que dan respuesta a todas las cuestiones que se plantean: aislantes térmicos, aislantes acústicos, carpinterías, hormigones, morteros, revestimientos... Esto hace que la generación de residuos de carácter no biodegradable sea de un volumen muy grande, lo que en un futuro hará insostenible el sistema.

Normalmente estos productos contienen fibra de vidrio o materiales de naturaleza mineral como la lana de vidrio (Fig.7) e incluso polímeros como el poliéster. Todos estos productos no son materiales biodegradables, causando polución sobre el medioambiente y contribuyen de manera notable al aumento de las emisiones de CO₂. Sin embargo existen una serie de productos y residuos naturales, como por ejemplo la paja o la cáscara de arroz que podemos considerarlos muy adecuados para utilizarlos como aislamiento acústico y térmico u otros como las fibras de la cascara de plátano o lana de oveja para mejorar comportamientos físicos y mecánicos en hormigones, composites, morteros o pastas.

Residuos orgánicos:

Los residuos orgánicos son todos aquellos restos biodegradables procedentes de plantas o animales. Dentro de este grupo de residuos podemos incluir todos los desechos agrícolas que se generan a la hora de cultivar y producir todo tipo de frutas y verduras.

En el Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México, se está desarrollando un departamento de investigación acerca de la tecnología de materiales y sistemas constructivos. Integrado este por varios proyectos encaminados a solucionar problemas relativos a la vivienda. Este departamento pretende desarrollar materiales



Fig. 7. Fibra de vidrio



Fig. 8. Paneles a base de residuos de café (Colombia)



Fig. 9. Revestimiento paneles de residuos del café

compuestos en parte por desechos agrícolas e industriales, buscando características en ellos tales como baja densidad, excelentes propiedades térmicas y acústicas, así como una adecuada resistencia. En un estudio hecho por ellos en referencia a la inclusión de desperdicios orgánicos en hormigones afirman que, a partir de la evaluación de los resultados "los desperdicios orgánicos sometidos a un tratamiento adecuado pueden emplearse como material de construcción ya que su comportamiento es satisfactorio" [6]. También concluyen que la incorporación de una parte de arena incrementa notoriamente la resistencia en algunos casos, aún reduciendo el cemento.

Residuos del Café, Cisco:

Un caso muy ilustrativo sobre la reutilización de este residuo se da en Colombia. Este país es el tercer productor de café a nivel mundial, por lo que la cantidad de material de desecho que obtienen de este producto es muy abundante.

Un grupo de científicos ha creado un panel hecho a base de PVC como matriz y reutilizando el "cisco" o cascará de café que los productores consideran como desperdicio.

De esta unión de materiales resultan unos listones (Fig 8) que se ensamblan entre sí sin necesidad de pegamentos o cementos para componer el revestimiento exterior de la vivienda.

Los creadores de este material son estudiantes de la Universidad de los Andes, liderados por el ingeniero Jorge Medina, director del Grupo de Materiales y Manufactura CIPP-CIPEM de la institución. [7]

Este material se ha aplicado en una serie de viviendas que a simple vista se ven iguales que cualquier otro edificio con un revestimiento de paneles sandwich o similares. (Fig 9) Las diferencias se aprecian cuando se toca o se huele panel. El material además de ser respetuoso con el medio ambiente es lo suficientemente liviano y resistente para hacer frente a las inclemencias meteorológicas.

Residuos del plátano:

Según un estudio del Grupo de Investigación en Procesos Químicos, Catalíticos y Biotecnológicos de la U.N. de Manizales, Colombia [8] la cascara del plátano y la banana

también sería un residuo que se podría reaprovechar para incluirlo en hormigones y compuestos de poliéster.

Según el trabajo realizado una vez extraída la fibra de la cascara y secada se trata con óxido de manganeso para proporcionarle durabilidad y protección al material ligno-celulósico de la fibra. El óxido de manganeso resiste altos niveles de pH e interactúa fácilmente con la matriz cementicia, permitiendo así una mayor adherencia, y obteniendo unas resistencias a flexión y compresión muy elevadas. Uno de los usos que proponen es incluirlo en la elaboración de tejas para cubiertas. (Fig10)

Residuos del arroz:

La cascarilla del arroz es un desecho muy abundante en nuestro país, dado que hay regiones como las Marismas del Guadalquivir, el Delta del Ebro, la Vega del Guadiana en Extremadura o la Comunidad Valenciana que son grandes productoras de arroz. [9]

Según un estudio de Páez y Ahumada de 2016, este desecho puede utilizarse para la obtención de dióxido de silicio para el cemento y mejorar sus características mecánicas lo cual ha sido estudiado en distintas universidades del mundo las cuales han afirmado el enorme potencial de este material como fuente alternativa en la construcción. (Fig.11) Un uso que se plantea del dióxido de silicio a corto plazo es incluirlo en compuestos para cubiertas aligeradas. Otra aplicación que plantea dicho estudio es incluirlo en dosificaciones para la elaboración de ladrillos de arcilla para, del mismo modo, rebajar la densidad y conseguir elementos más livianos. El uso de la cascarilla de arroz sin un tratamiento previo supone un agente patógeno para el hormigón, ya que este contiene una gran parte de materia orgánica lo que impide el correcto fraguado del hormigón. Por lo tanto, siempre se tendrá que considerar la eliminación de la parte orgánica mediante su combustión. [10]

Fibras de coco:

La fibra de coco es la parte que se desecha de la fruta. Estas están compuestas por lignina, celulosa y pectina entre otros elementos solubles al agua. Dichas fibras son de tamaños entre 50 y 350mm de longitud y aproximadamente 2mm de diámetro. Su introducción en morteros, bloques de tierra comprimida, barros y demás pastas es muy beneficiosa ya que aporta una gran resistencia a flexión y tracción. Además debido a esto se ha demostrado que reducen la hinchazón del suelo [11]



Fig. 10. Elementos de cubierta con fibra de la cascara del plátano



Fig. 11. Cascarilla de arroz



Fig. 12. Cascarilla de arroz

Paja:

La paja es el residuo más abundante dado que se genera en todas las zonas cultivadas del mundo. (Fig 12) Se ha demostrado que con su introducción en morteros y pastas estos reducen su tiempo de curado y aumentan su resistencia a compresión. Además de estas cualidades, también poseen excelentes propiedades aislantes. Por su bajo coste y fácil acceso es un material muy utilizado en la actualidad en países subdesarrollados para la autoconstrucción, además de haber sido uno de los materiales más utilizados por la humanidad a lo largo de la historia en la construcción con barro.

Conclusión:

Como podemos ver existen una gran cantidad de residuos que actualmente se utilizan en la construcción para dar respuesta a un problema como es su gestión, además de contribuir a la reducción de emisiones de dióxido de carbono. En el caso particular de este estudio, trabajaremos e intentaremos definir las características físicas y mecánicas de un residuo derivado de la producción del aceite de oliva. Los residuos en los que nos centraremos son el hueso de la aceituna y las cenizas que se generan tras su combustión como biocombustible para generar energía.

2.4 Gestión actual de los residuos derivados de la producción del aceite de oliva.

2.4.1 Proceso de elaboración del aceite de oliva y extracción de residuos

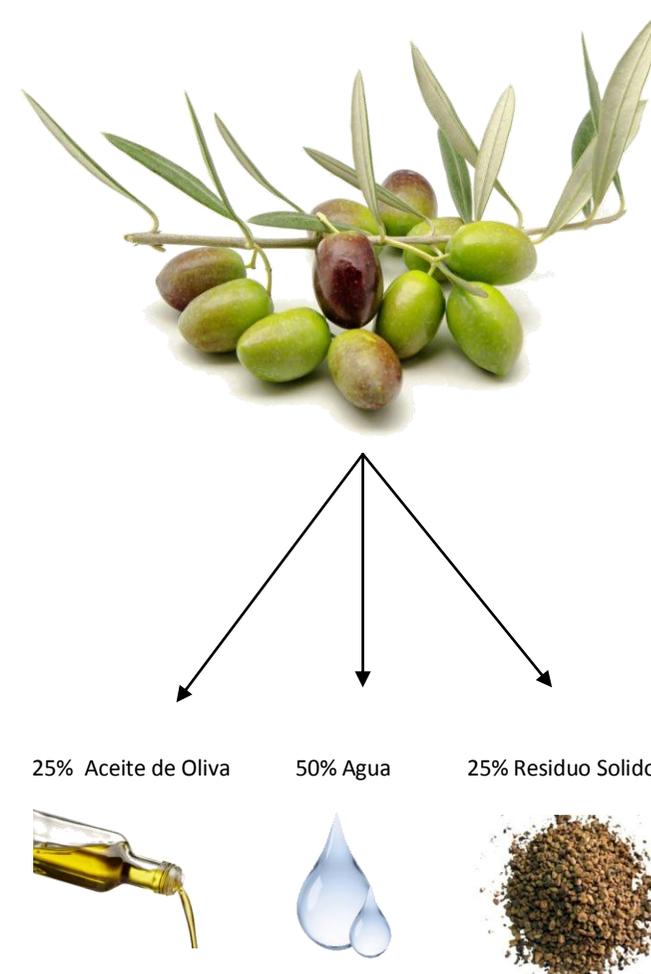
España es el primer país productor mundial de aceite de oliva con unas 1.250.000 toneladas de aceite de oliva (Tab. 1) lo que supone un 45% de la producción mundial anual. La aceituna está compuesta por un 25% de aceite, un 50% de agua y un 25% de residuo sólido o hueso, por lo que se genera un 75% de residuos solo en la extracción del aceite.

CUADRO 1: PRODUCCIÓN ACEITE DE OLIVA PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES, STOCK INICIAL Y TOTAL DISPONIBILIDADES										
	2013/2014		2014/2015		2015/2016		2016/2017		Estimación 2017/2018	
ESPAÑA	1.780.215	55,99 %	841.672	32,77 %	1.401.600	47,18 %	1.281.950	51,86 %	1.250.000	45,54 %
Stock final España	197.200	6,20 %	418.750	16,30 %	142.800	4,81 %	243.870	9,87 %	190.000	6,92 %
ITALIA	463.700	14,58 %	222.000	8,64 %	474.600	15,97 %	190.000	7,69 %	270.000	9,84 %
GRECIA	132.000	4,15 %	300.000	11,68 %	320.000	10,77 %	165.500	6,70 %	270.000	9,84 %
TÚNEZ	70.000	2,20 %	340.000	13,24 %	140.000	4,71 %	100.000	4,05 %	250.000	9,11 %
TURQUÍA	135.000	4,25 %	160.000	6,23 %	143.000	4,81 %	177.000	7,16 %	190.000	6,92 %
MARRUECOS	130.000	4,09 %	120.000	4,67 %	130.000	4,38 %	110.000	4,45 %	100.000	3,64 %
PORTUGAL	91.600	2,88 %	61.000	2,37 %	109.000	3,67 %	93.600	3,79 %	115.000	4,19 %
SIRIA	180.000	5,66 %	105.000	4,09 %	110.000	3,70 %	110.000	4,45 %	110.000	4,01 %
Tm.Aceite de Oliva	3.179.715	100 %	2.568.422	100 %	2.971.000	100 %	2.471.920	100 %	2.745.000	100 %

Tabla 1. Producción de aceite de oliva en los principales productores mundiales. Fuente:COI

La extracción del aceite de oliva es una operación compleja. Como paso previo antes de llevar a cabo su extracción se ha de recolectar la aceituna, entera y sana y llevarla a procesar lo antes posible (no más de 24h) antes de que comience su fermentación y se vea mermada la calidad de estas.

Una vez iniciado el proceso de extracción, se tendrá que lavar. A continuación se procede con la molturación y batido para romper la pulpa y dejar al aceite salir. Después de esto la pasta que obtenemos se deberá someter a un proceso de extracción y separación para obtener el aceite. Dicha extracción se puede hacer mediante dos métodos:



- Por presión (método tradicional)
- Por centrifugación

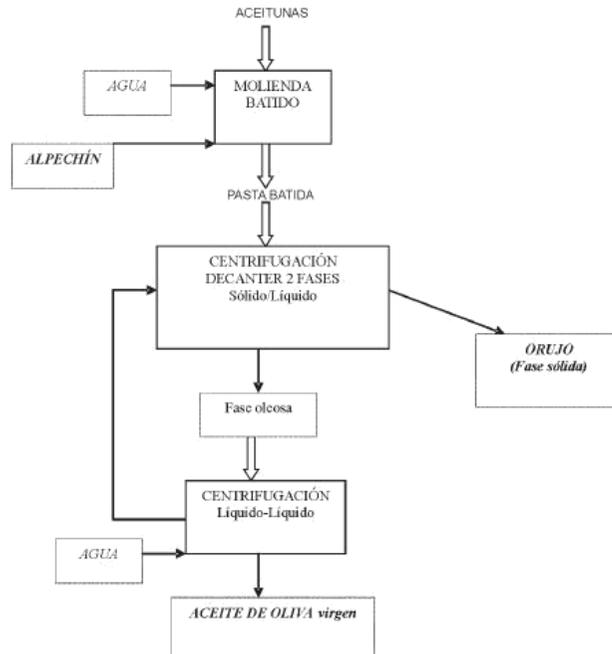


Fig. 13. Proceso de extracción del aceite de oliva

El método que se utiliza actualmente de manera generalizada, y el más eficiente y respetuoso con el medio ambiente es el de la centrifugación. (Fig. 13) Una vez que tenemos la pasta, esta se centrifuga dos veces. En la primera centrifugación obtendremos la fase sólida (orujo) por un lado y la oleosa (aceite + agua) por otro. A continuación y una vez tenemos la fase oleosa por separado volvemos a centrifugarla y por la diferencia de densidades se separarán el aceite del agua. El agua obtenida se denomina alpechín, un líquido acuoso compuesto por el agua de la vegetación y los tejidos más blandos de la aceituna, así como el agua utilizada para darle fluidez a la pasta. El orujo lo forman el hueso de la aceituna y la parte más densa de la pulpa. Para separar el hueso en concreto de los demás componentes del orujo, una vez seco este, se utilizan exclusivamente medios mecánicos para su separación. Por ejemplo utilizando la técnica del soplado. [12]

De esta manera hemos obtenido los tres subproductos derivados de la aceituna: aceite, agua y orujo. Si nos fijamos en los porcentajes de cada uno de los subproductos que obtenemos en la producción de aceite al principio de este punto, vemos que la cantidad de residuo sólido (orujo) y la cantidad de aceite son iguales, por lo que el residuo generado y con oportunidad de ser reaprovechado es mucho.

2.4.2 Gestión del residuo

Como hemos dicho anteriormente, el hueso de aceituna se genera a la par, en tiempo y cantidad, que se produce aceite de oliva en nuestro país, por lo que su reaprovechamiento es una oportunidad que se presenta para valorizar aún más el aceite de oliva.

Este año en España se generarán aproximadamente un millón de toneladas de este residuo, lo cual es una cantidad enorme y es de vital importancia tener conciencia sobre su correcta gestión y utilización. Por sus características físicas, este producto se utiliza en un 90% para su quema en instalaciones de biomasa.

Otra de las bondades de los huesos de la aceituna es su capacidad para limpiar y depurar aguas contaminadas. Según la tesis de M.C. Trujillo, de la Universidad de Granada [13], los huesos, tras activarlos químicamente aumentan de manera exponencial su capacidad para absorber metales pesados.

En cuanto a su gestión actual de la cantidad de hueso de aceituna existente no existen muchos problemas ya que prácticamente el 100% se acaba consumiendo en el año de producción del mismo. Lo que a mi juicio es una equivocación es utilizar el hueso exclusivamente para la producción de energía. Si bien es cierto que esta energía se produce con un material, a priori infinito, natural y limpio, estamos contribuyendo a aumentar los valores de emisiones de CO₂. Creo firmemente que, investigar y encontrar posibles usos alternativos de estos residuos hará aumentar su valor como material y será positivo en todos los sentidos para el medio ambiente, obligando por otro lado a fomentar la producción de energía solar y eólica.



3 Planteamiento Experimental

Planteamiento Experimental

3.1 Introducción Metodológica

Una vez establecidos los objetivos que queremos obtener del estudio y la metodología que vamos a llevar durante todo el proceso propuestos en las fases iniciales del trabajo, y descrito el estado de la cuestión acerca del tema a tratar, pretendemos establecer un punto de partida que pueda servir en el futuro como base para el desarrollo de estos nuevos materiales de construcción respetuosos con el medio ambiente.

Recordando que para la elaboración de este trabajo se proponía la elaboración y análisis de morteros de yeso cemento y cal, aditados con residuos de la aceituna como son el hueso y las cenizas y que no hay apenas antecedentes de la reutilización de este residuo, el estudio se convierte en un trabajo eminentemente experimental, por lo que establecer un método bien detallado, y ser rigurosos a la hora de aplicarlo nos servirá para que los resultados sean lo suficientemente esclarecedores y nos den una idea de lo que se puede o no hacer con dichos materiales.

En primer lugar se procederá a elaborar las probetas, acopio y secado de todas las probetas necesarias para la posterior caracterización física y mecánica mediante los ensayos que hemos establecido.(Fig.14) Una vez obtenidas estas, procederemos con la caracterización física de las mismas (dimensiones, densidad) para a continuación realizar los ensayos de ultrasonidos, resistencia a flexión y resistencia a compresión.

Para concluir, una vez obtenidos todos los datos se analizarán, compararán y obtendremos los resultados que nos permitirán conocer dichos materiales y proponer posibles usos, mejoras y/o futuras líneas de investigación.

3.2 Materiales de estudio

Para el estudio en cuestión vamos a utilizar una serie de materiales como son los morteros de yeso, cemento y cal, combinados con dos residuos naturales como son el hueso de aceituna triturado y las cenizas derivadas de su combustión. Como hemos comentado antes, este residuo (hueso) es muy abundante en nuestro país, debido a que somos los primeros productores de aceite de oliva del mundo y su aprovechamiento supone una gran oportunidad además de añadir un valor extra que a priori no tenía.



Fig. 14. Probetas e cemento y cal en sus encofrados

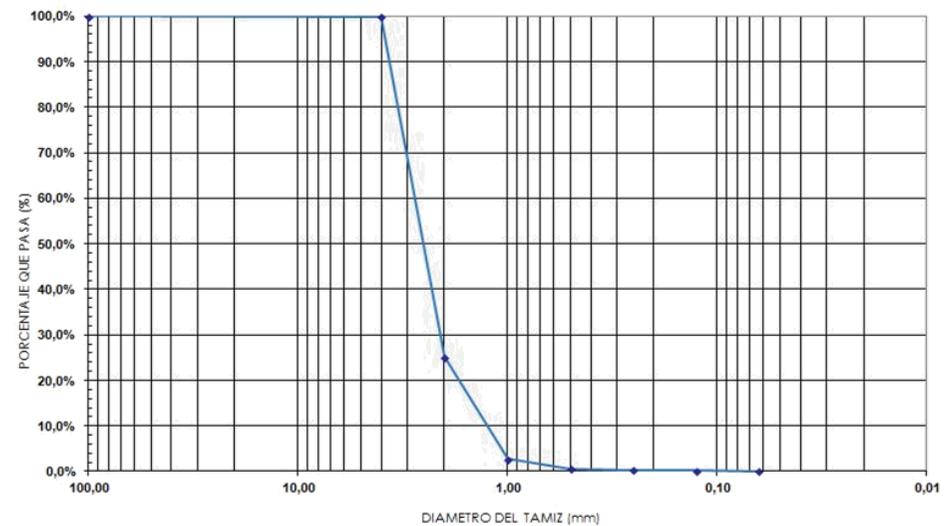
a) Hueso de Aceituna

El formato que hemos elegidos para analizar y utilizar en nuestro estudio es el triturado (Fig. 15), que por su granulometría es muy parecido a las arenas o gravillas. Esto hace que sea idóneo para incluirlo en morteros y pastas de cemento, yeso y cal. En la siguiente tabla y grafica podemos ver la granulometría que hemos obtenido:



Fig. 15. Ensayo Granulométrico

Granulometría Hueso de Aceituna Triturado				
Tamiz (mm)	% que pasa	Masa que pasa (g)	% retenido	Masa retenida (g)
100,000	100,00%	500	0	0
4,000	99,84%	499,22	0,16%	0,78
2,000	25,11%	125,56	74,73%	373,66
1,000	2,76%	13,79	22,35%	111,77
0,500	0,52%	2,58	2,24%	11,21
0,250	0,28%	1,40	0,24%	1,18
0,125	0,15%	0,73	0,13%	0,67
0,063	0,03%	0,15	0,12%	0,58
<0,063	0,00%	0	0,03%	0,15
Total	100,00	500	100%	500



b) Cenizas

Las cenizas es el segundo residuo que vamos a incluir en los morteros y pastas, concretamente las derivadas de la quema del hueso de aceituna por la relación entre ellos. Aunque existen dos tipos de cenizas, las cenizas volantes y las cenizas de fondo, solo utilizaremos estas últimas por la facilidad a la hora de conseguirlas. La ceniza volante es la fracción más fina de cenizas, arrastradas por los gases de combustión, que se recoge y precipita en los filtros. En las plantas de combustión de biomasa a pequeña escala sin tecnología de eliminación de materia particulada eficiente, esta fracción de cenizas se emite con el gas de combustión y hace casi imposible conseguirla. Sin embargo, la ceniza de fondo comprende la fracción gruesa de ceniza producida en la parrilla, en la cama inferior y en la cámara de combustión primaria de la caldera en cuestión, por lo que su consecución se hace de manera manual, fácil y domestica. [14]



Fig. 16. Cenizas de hueso de aceituna

3.3 Hipótesis de aplicabilidad

Creo que por el simple hecho de investigar en una posible reducción de la contaminación producida por la quema de desechos orgánicos y el contribuir al desarrollo en nuevos métodos de gestión de los residuos son suficiente justificación para empezar este estudio aún sabiendo que es posible que al finalizar éste, no se cumplan las hipótesis que pretendemos verificar.

Hueso de aceituna triturado:

Sabemos a priori, que el hueso de aceituna es muy poroso y tiene una densidad menor que las arenas y gravas por lo que sustituir un % de estas en la elaboración de morteros de cemento u hormigones puede contribuir a reducir su densidad total. Esta es la razón por la que pensamos que pueden funcionar bien para aplicarlo en formaciones de pendientes; sustituyendo nuestro compuesto por los aligerados con arlita. (Fig.17). Por la misma razón y combinado con sus propiedades fonoabsorbentes, podrían hacer que nuestros morteros de cemento puedan aplicarse en revestimientos exteriores, para reducir el ruido de nuestras ciudades y aislarnos del exterior de una manera sostenible.

En combinación con pastas de yeso y cal podrían aplicarse como revestimiento interior para acondicionar acústicamente espacios. (Fig. 18)



Fig. 17. Arlita

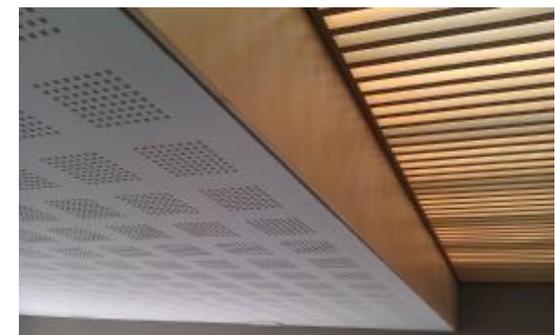


Fig. 18. Revestimiento acústico en techo



Fig. 19. Emisiones de una cementera en Guanta. Venezuela

Ceniza:

Las cenizas en general tienen propiedades cementantes por lo que las hacen un material muy interesante a la hora de incluirlo en morteros y pastas. Este hecho podría suponer alguna mejora en el comportamiento mecánico de estos materiales tal y como se usan habitualmente. También podrían suponer un ahorro en cemento, reduciendo así la contaminación que se genera en la elaboración de este. (Fig. 19)

3.4 Dosificaciones

Para la elaboración de las probetas hemos partido de una dosificación preestablecida para morteros de yeso cal y cemento. Al nosotros introducir un aditivo como son el hueso de aceituna triturado y las cenizas, lo que haremos será sustituir de manera gradual una parte del conglomerante por dichos aditivos para comparar a posteriori sus propiedades. A continuación detallamos las dosificaciones en particular de cada uno de los tipos de probetas que ensayaremos.

a) Dosificación Referencia.

Las probetas de referencia son aquellas que nos servirán como base para comparar todas las demás y que representan a los materiales bases tal y como se vienen utilizando de manera tradicional, sin ningún tipo de aditivo o adicción que cambie sus características.

Probetas de Referencia		
Componente	Agua (g)	Componente Seco (g)
Yeso	150	300
Cal	80	470
Cemento	80	470

b) Dosificación Mortero de Yeso + Hueso de Aceituna (YH).

Para la elaboración de estas probetas hemos decidido sustituir una parte del sólido por el hueso de aceituna, y disminuir el peso de agua, ya que tendrá que hidratar menor cantidad de yeso.

Mortero de Yeso + Hueso de Aceituna (YH)			
% Aditivo	Agua (g)	Yeso (g)	Hueso (g)
20%	120	240	60
30%	105	210	90
40%	90	180	120

c) Dosificación Mortero de Cal + Hueso de Aceituna (CAH).

En la dosificación del mortero de cal he mantenido la misma cantidad de agua para todas las dosificaciones, después de haber hecho algunas pruebas fallidas. Puesto que el agua con la cal es un vehículo y no reacciona químicamente en su fraguado esta tendrá que hidratar la misma cantidad de sólido. En un principio rebajamos la cantidad de agua en la mezcla y esta quedaba muy seca y no era sencilla su manipulación y encofrado. Así tenemos:

Mortero de Cal + Hueso de Aceituna (CAH)			
% Aditivo	Agua (g)	Cal (g)	Hueso (g)
20%	80	376	94
30%	80	329	141
40%	80	282	188

d) Dosificación Mortero de Cemento + Hueso de Aceituna (CH).

La dosificación con mortero de cemento ha resultado más complicado de lo que esperábamos. En un primer intento hicimos una dosificación en la que la cantidad de agua era proporcional a la cantidad de conglomerante al igual que en la dosificación del YH antes descrita, pero el mortero quedaba muy seco, lo que nos daba una idea de lo que posteriormente pasaría. Al pasar un par de semanas las probetas habían perdido toda el agua y



Fig. 20. Afogado en probetas de Cemento + Hueso

se encontraban en un estado decepcionante. Las probetas se habían afogado (Fig. 20) fenómeno resultante de un incorrecto fraguado. El afogado de un mortero, en este caso de cemento, es resultando de una falta de humedad en la mezcla evidente. (Fig. 21)

En un principio no contamos con la capacidad absorbente del hueso de aceituna, por lo que al realizar la mezcla la mayor parte del agua era absorbida en días posteriores por el hueso, por lo que el cemento se quedaba sin agua con la que reaccionar. Dicho esto, procedemos a calcular la absorción del hueso para calcular cuanta cantidad de agua deberemos añadir a este mortero resultando la siguiente dosificación:

Mortero de Cemento + Hueso de Aceituna (CH)			
% Aditivo	Agua (g)	Yeso (g)	Hueso (g)
20%	120	240	60
30%	105	210	90
40%	90	180	120

e) Dosificación Mortero de Yeso + Cenizas (YC).

Mortero de Yeso + Cenizas (YC)			
% Aditivo	Agua (g)	Yeso (g)	Cenizas (g)
5%	150	285	15
10%	150	270	30



Fig. 21. Falta de humedad en la mezcla C + H

f) Dosificación Mortero de Cal + Cenizas (CAC).

Mortero de Cal + Cenizas (CAC)			
% Aditivo	Agua (g)	Cal (g)	Cenizas (g)
5%	80	446,5	23,5
10%	80	423	47

g) Dosificación Mortero de Cemento + Cenizas (CC).

Mortero de Cemento + Cenizas (CC)			
% Aditivo	Agua (g)	Cemento (g)	Cenizas (g)
5%	80	446,5	23,5
10%	80	423	47

A continuación vemos un cuadro resumen de la cantidad total (74) de probetas que hemos tenido que hacer para el estudio:

	Dosificación Adit.	Yeso	Cal	Cemento
Referencia	0%	9	9	9
Hueso	20%	3	3	5
	30%	3	3	3
	40%	3	3	3
Cenizas	5%	3	3	3
	10%	3	3	3
Total		74		

3.5 Elaboración de las probetas.

Para la elaboración del trabajo, realizamos 6 tipos de probetas, que vendrán definidas por su material conglomerante (yeso, cal y cemento) en combinación con los aditivos que son objeto del estudio (hueso de aceituna triturado y cenizas), además de unas probetas de referencia que nos servirán para comparar resultados y sacar conclusiones. (Fig. 22). La elaboración de la mezcla se realizó de manera artesana en el laboratorio de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla partiendo de unas dosificaciones de referencia establecidas para morteros de yeso, cal y cemento.



Fig. 22. Probetas elaboradas de todos los tipos

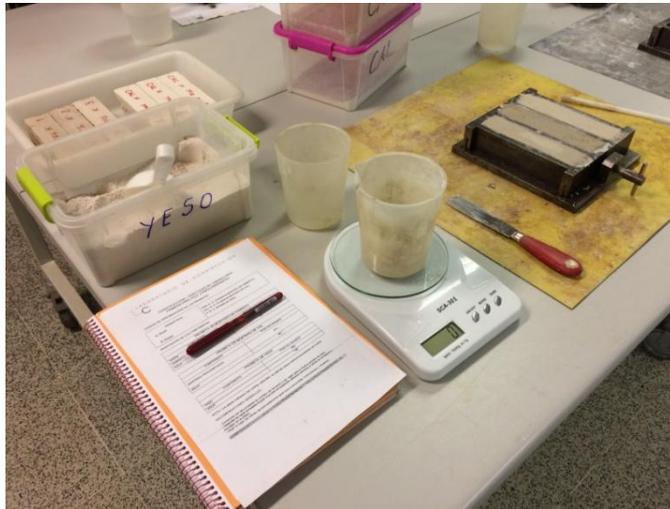


Fig. 23. Trabajo en laboratorio. de construcción. ETSAS

La instrumentación utilizada para su elaboración es básica. (Fig. 23) Contaremos con útiles para el almacenaje y mezcla de los materiales, así como una bascula, y un encofrado con unas medidas concretas que posteriormente definiremos.

3.6 Dimensiones de las probetas

En cuanto a las dimensiones de las piezas, estas serán de forma prismática de 4x4x16cm conforme con la descripción recogida en las normas UNE-EN 772-16:2011.

Una vez hecha la mezcla de las diferentes dosificaciones se introducirá en encofrados de acero a los que previamente se habrá aplicado una grasa desencofrante para facilitar el desencofrado. Este se hará a las 48horas de la ejecución.

Una vez extraídas las piezas de sus moldes deberemos retirarlas y almacenarlas en un lugar a temperatura ambiente, donde no les dé el sol directo para su correcto secado natural. Es recomendable ir girando las probetas cada cierto tiempo para favorecer el correcto secado de cada una de sus caras. En nuestro caso, las probetas se secaron en un ambiente no controlado, a una temperatura de entre 18-25°C. (Fig. 24)



Fig. 24. Probetas de cal durante el tiempo de curado

3.7 Curado

Puesto que tenemos diferentes materiales base, cada uno de ellos tiene un tiempo de fraguado y curado el cual deberemos de respetar tal y como indica la norma para obtener unos resultados lo más precisos y rigurosos posible.

En el caso de las probetas con base de yeso estuvieron al menos 20 días secando y curando lo que es un tiempo más que suficiente para su posterior ensayo.

Las probetas de cal, son las que más tiempo necesitan para su correcto curado (60 días). Por el poco tiempo del que disponemos para la elaboración de este estudio, este tuvo que reducirse en algunos casos. En el peor de los casos (Cal+Cenizas) el tiempo de reposo que obtuvieron fue de 32 días. Según expone José Ignacio Álvarez en un estudio acerca de la preparación y ensayo de morteros de cal de nueva factura para su empleo en restauración del patrimonio [15] los morteros de cal que él ensaya ven elevada su resistencia a compresión y a flexión de manera determinante entre los 28 hasta los 365 días de curado, por lo que para un

mejor análisis de los morteros de cal sería necesario una mayor cantidad de tiempo, lo cual sería interesante para un futuro estudio. Dicho lo cual, nuestro análisis de las probetas de cal nos sitúa en el caso más desfavorable por lo que los datos de resistencia obtenidos podrían ser mejorables tal y como ya hemos expuesto con anterioridad.

Las piezas elaboradas con mortero de cemento han tenido un curado de 30 días aproximadamente lo que supone un tiempo prudente antes de ser ensayadas.



4 Métodos

5 Métodos

5.1 Ensayos de Caracterización

En este apartado procederemos a explicar todos y cada uno de los ensayos de caracterización que hemos realizado para recopilar toda la información referente a sus propiedades físicas. Para su ordenarlas hemos codificado cada una de las probetas a ensayar de la siguiente manera:

Puesto que tenemos tres tipos de probetas por cada material base conglomerante (yeso, cal y cemento) la primera o primeras dos letras del código estará asociada al material base. Yeso=Y, Cal=CA y Cemento= C.

A continuación irá una letra correspondiente al aditivo que se habrá utilizado. En nuestro caso Hueso=H y Cenizas=C.

Después de esto, añadiremos un numero referente a la cantidad de aditivo en % que lleva al dosificación. (5,10,20,30 o 40 %).

Y por último utilizaremos un numero para enumerar las probetas que son del mismo tipo (1,2,3...)

De este modo, el código que identifica a la probeta Nº 2, con conglomerante Cal y con un 20% de hueso de aceituna será el siguiente:

CA H 20 - 2

4.1.1 Densidad aparente:

- Introducción

Se entiende por densidad aparente como "el cociente entre la masa de la materia seca de un cuerpo poroso y su volumen aparente, expresado en gramos por centímetro cúbico o kilogramos por metro cubico; entendiendo el volumen aparente, como la suma de los volúmenes de la materia solida, los poros abiertos y los poros cerrados dentro de un cuerpo poroso". Por lo tanto podemos decir que la densidad de las probetas dependerá de las densidades de los materiales que forman parte de ella.

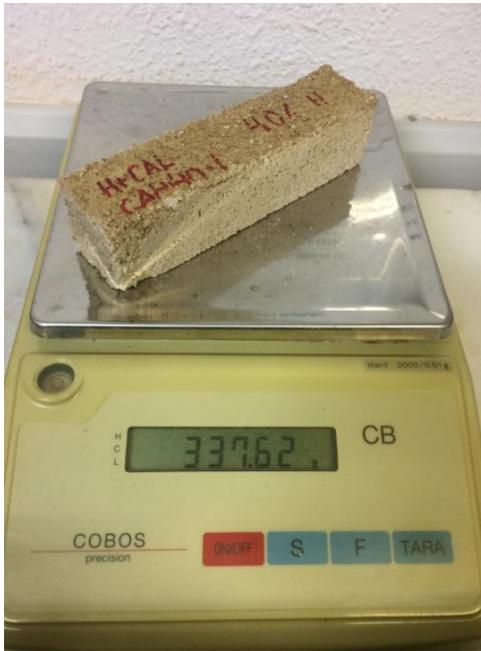


Fig. 25. Pesado de probetas. ETSAS

Esta medida se ha tomado con el objetivo de comprobar la diferencia de densidad que se pueden dar entre las diferentes dosificaciones, para hallar posibles aplicaciones alternativas en el campo de la construcción.

- Metodología

Para obtener la densidad aparente de las piezas hemos procedido a la medición de todas ellas con un calibre digital o pie de rey y a pesarlas mediante una balanza de precisión recogiendo así las variables necesarias para el cálculo de la densidad. (Fig)

4.2 Ensayos no destructivos

4.2.1 Ultrasonidos:

- Introducción

El ensayo de ultrasonidos es considerado uno de los más ventajosos ya que se trata de una técnica no destructiva y de ahí su extendido uso para determinar o hacernos una idea de la resistencia de determinados materiales. Esta técnica permite conocer el grado de compacidad o disgregación de la materia interior y extraer conclusiones acerca de posibles discontinuidades en el interior de las piezas tales como fisuras o disgregaciones intergranulares.

Según el EHE, en su apartado de "*Ensayos de información del hormigón*" introducen este ensayo como una técnica fiable para analizar el mismo. Es por esto por lo que lo hemos elegido para aplicarlo en nuestro estudio. Su desarrollo queda recogido en la UNE 12504-4. [16] "*Ensayos de hormigón en estructuras, Parte 4: Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos*".

- Metodología

Para realizar este ensayo se ha utilizado un modelo ultrasónico BPV Krautramer. Consiste en la medición de la velocidad a la que se propaga unas ondas longitudinales a través de la probeta desde que sale de una sonda hasta que llega a la otra. Estas ondas ultrasónicas son oscilaciones micromecánicas que se propagan a través de un medio elástico, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos, empleando un rango de frecuencia que oscila entre 20KHz y 1MHz. El equipo cuenta con transductores cilíndricos de 50KHz y una pantalla en la que muestra el resultado de la medición con una precisión de μ s.



Fig. 26. Modelo ultrasonico para ensayos.

Para la correcta toma de resultados es imprescindible conseguir una transmisión de ondas adecuadas entre los palpadores y la pieza de estudio por lo que el contacto entre ellos debe ser lo mejor posible sin que ningún elemento entre en contacto con la pieza a ensayar. La presión ejercida sobre la probeta debe ser siempre constante para que el resultado elegido sea lo más veraz posible.

Para conocer la velocidad de los impulsos, se deberá calcular en función del tiempo que emplea la onda en atravesar la pieza. Para ello utilizaremos la ecuación fundamental de la velocidad $V=d/t$, siendo d la distancia entre el palpador de emisión y el receptor, que coincide con la dimensión longitudinal de la probeta ensayada, y t el tiempo en microsegundos obtenido.

4.3 Ensayos destructivos

4.3.1 Resistencia a flexión

- **Introducción:**

En este punto se describe el ensayo encaminado a determinar la resistencia a flexión y deformación de todas y cada una de las probetas que hemos descrito anteriormente. La incorporación de hueso y ceniza en las probetas ha cambiado la naturaleza original del material y por tanto variará su resistencia y capacidad para deformarse.

Al igual que en los ensayos anteriores, el ensayo para determinar la resistencia a flexión tiene una norma por la cual se rige. En este caso la norma que regula el modo en que tenemos que actuar es la UNE 1051-11-2000 sobre "*Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido*". [17]

- **Metodología**

Para la obtención de los resultados de resistencia a flexión se ha utilizado una prensa multiensayo de 300Kn, del fabricante Codein SL, modelo MCO-30. (Fig. 27). Con la ayuda de dicha maquina podemos obtener la carga de rotura y deformación a la que se somete a la probeta de ensayo, y está conectada a un ordenador mediante un software nos permite controlarla. A través de este programa informático obtendremos los datos que posteriormente analizaremos y discutiremos.

El ensayo a realizar se conoce como ensayo de tres puntos. En él se aplica una carga máxima de 10Kn a una velocidad estimada de 0.5MPa/s de manera que la rotura se produzca a los entre 30-90s, cumpliendo así con lo especificado en la norma antes mencionada. La prensa está provista de dos cilindros de acero horizontales de 10mm de diámetro separados 10cm entre sí sobre los que se apoya la probeta; y un tercer cilindro de carga igual a los anteriores que aplicará la presión estimada sobre la probeta. Para evitar esfuerzos de torsión, uno de los rodillos de apoyo y el de carga pueden oscilar ligeramente para crear una distribución uniforme de las tensiones sobre la pieza de ensayo.



Fig. 27. Ensayo de resistencia a flexión

Una vez rotas las probetas (Fig 28) y registrados los datos facilitados por el ordenador,(Fig. 31) las dos mitades se guardarán para su posterior ensayo a compresión. La resistencia a flexión final tendremos que calcularla mediante la siguiente expresión:

$$f=1,5 *(Fl/bd^2)$$

donde b y d son la altura y anchura de las probetas, F la carga aplicada y l la longitud entre los apoyos.

4.3.2 Resistencia a compresión

- Introducción:

Tras realizar el ensayo de resistencia a flexión, procederemos a realizar el ensayo a compresión con una de las mitades obtenidas en el ensayo anterior de resistencia a flexión de todas y cada una de las probetas.

Al igual que en el ensayo anterior, el ensayo para determinar la resistencia a compresión se rige por la misma norma que en el caso de la Resistencia a flexión: UNE 1051-11-2000 sobre "*Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 11:Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido*".[17]

- Metodología

Para obtener los resultados de resistencia a compresión se ha utilizado la misma prensa que en el caso anterior. Se trata de una prensa multiensayo de 30Kn, fabricada por Codein SL, MCO-30. Con ella se pueden obtener mediante un ordenador conectado a ella, los datos de carga máxima de rotura y deformación de la probeta.

En este caso, a diferencia del anterior, la carga se aplica de manera uniforme sobre la probeta. Un cabezal de area 40x40mm aplicará la carga sobre una zona de la probeta con las mismas dimensiones. (Fig. 29). La máquina dispone de dos platos, uno de soporte y otro de carga, ambos de acero con una dureza Vickers mínima de 600HV, medida según la norma EN ISO 6507-1.



Fig. 28. Rotura de una probeta tras el ensayo de flexion



Fig. 29. Base para aplicación de la carga a compresión



Fig. 30. Rotura de una probeta tras el ensayo a compresión

Uno de estos platos deberá ser basculante para poder adaptarse a las irregularidades de la probeta, mientras que el segundo debe ser un bloque plano y no basculante.

La norma establece que las probetas deben ensayarse en dirección perpendicular a la cara de apoyo y estas deben estar adecuadamente curadas. En nuestro caso, las probetas de CAL, no han tenido el tiempo suficiente para curarse de la manera especificada en la normativa por la duración de este estudio (3 meses), es por ello que al analizar los resultados podríamos considerar que podríamos haber obtenido una mejor resistencia a compresión.

Una vez destruidas las probetas (Fig. 29) y obtenidos los datos necesarios de carga y deformación, procedemos a calcular la resistencia a compresión mediante la siguiente expresión:

$$f=C/b^2$$

donde b^2 es el area de la placa base, y C la carga máxima obtenida.

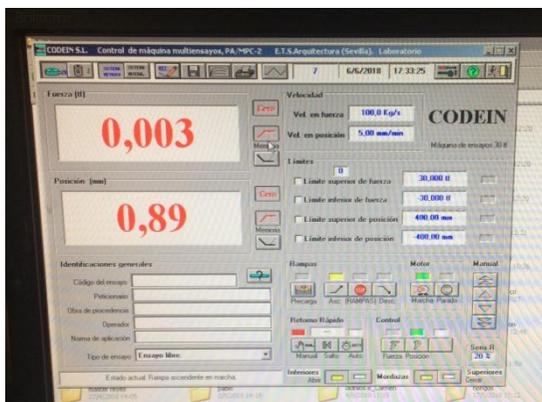


Fig. 31. Toma de datos a través del software utilizado

US [m/s]	Flexión			Compresión		
	Carga [Kg]	Deformación [mm]	Tensión [N/mm²]	Carga [Kg]	Deformación [mm]	Tensión [N/mm²]
1,53	202,00	2,00	4,73	2032,00	2,73	12,70
3,33	143,00	2,35	3,43	1733,00	2,33	11,24
7,40	176,00	4,35	4,43	1564,00	4,02	8,53
11,50	100,00	2,11	4,41	1557,00	2,62	12,23
16,66	136,00	2,40	4,53	2244,00	2,83	13,04
21,77	121,00	2,10	2,84	1605,00	2,74	10,03
27,41	134,00	4,35	4,55	1760,00	2,83	11,05
32,36	104,00	2,23	4,31	1707,00	2,70	10,67
38,35	164,00	3,44	3,84	1607,00	2,73	10,04
44,02	140,00	2,15	3,20	1431,00	3,23	7,07
49,61	110,00	2,24	2,77	1100,00	3,14	6,00
55,41	133,00	2,24	3,26	1243,00	3,22	7,50
61,10	103,00	2,33	2,41	831,00	3,00	5,13
67,73	107,00	2,10	2,51	1225,00	3,35	7,66
74,70	110,00	2,42	2,50	1107,00	3,65	7,42
81,33	30,00	2,31	2,41	1175,00	3,33	7,34
88,31	87,00	2,14	2,84	1101,00	3,70	7,30
95,20	80,00	2,00	2,86	1131,00	3,07	7,44
102,32	33,00	2,10	2,10	561,00	3,20	3,51
109,40	66,00	2,37	1,55	305,00	3,16	2,41
116,05	30,00	1,35	2,30	207,00	2,34	1,73
122,76	82,00	2,25	1,32	406,00	3,40	2,54
129,16	77,00	2,10	1,00	532,00	2,53	3,33
135,02	77,00	2,03	1,00	566,00	2,77	3,54

US [m/s]	Flexión			Compresión		
	Carga [Kg]	Deformación [mm]	Tensión [N/mm²]	Carga [Kg]	Deformación [mm]	Tensión [N/mm²]
1,21	35,00	2,12	2,23	532,00	3,32	3,70
2,14	30,00	2,14	2,11	612,00	2,77	3,03
3,31	83,00	2,07	2,03	430,00	3,24	3,11
4,34	103,00	2,47	2,55	653,00	2,50	4,12
5,02	73,00	2,46	1,71	351,00	2,43	2,13
6,32	87,00	2,63	2,84	207,00	3,37	1,73
7,50	35,00	2,15	2,23	253,00	3,03	1,62
8,63	87,00	2,24	2,84	574,00	2,76	3,33
9,81	73,00	2,36	1,83	755,00	2,45	4,72
10,73	16,00	3,07	1,30	477,00	4,61	1,11
11,47	33,00	2,22	1,77	106,00	3,30	1,16
12,05	23,00	2,50	1,54	206,00	4,01	1,73
12,54	11,00	2,32	1,26	132,00	4,63	0,83
13,74	14,00	2,30	1,33	113,00	4,70	0,71
14,30	16,00	2,05	1,30	203,00	4,62	1,31
15,01	3,00	2,23	1,21	60,00	4,04	0,43
15,43	3,00	2,16	1,21	33,00	4,11	0,50
16,13	10,00	2,50	1,23	155,00	4,33	0,37
16,65	36,00	1,31	1,04	243,00	3,75	1,37
17,31	21,00	2,33	1,43	214,00	3,63	1,34
18,10	25,00	1,83	1,53	270,00	3,71	1,74
18,33	45,00	1,33	1,83	341,00	3,30	2,13
18,85	50,00	2,06	1,47	316,00	4,60	1,30
19,20	45,00	1,73	1,83	377,00	3,03	2,36

Tipo Prueba	Valores Medios		
	Carga [Kg]	Deformación [mm]	Tensión [N/mm²]
Yano Referencia	174,03	2,40	4,10
Yano - Horno 20 X	132,33	2,21	3,10
Yano - Horno 30 X	106,67	2,20	2,50
Yano - Horno 40 X	80,33	2,10	2,07
Yano - Cocina 5 X	83,67	2,14	2,01
Yano - Horno 10 X	71,67	2,47	1,04

Tipo Prueba	Valores Medios Yano		
	Carga [Kg]	Deformación [mm]	Tensión [N/mm²]
Cal Referencia	1203,67	2,06	11,15
Cal - Horno 20 X	1110,00	3,22	7,10
Cal - Horno 30 X	1001,00	4,00	6,76
Cal - Horno 40 X	1102,33	3,05	7,33
Cal - Cocina 5 X	411,00	3,13	2,57
Cal - cocina 10 X	501,33	2,30	3,13

Tipo Prueba	Valores Medios CAL		
	Carga [Kg]	Deformación [mm]	Tensión [N/mm²]
Cal Referencia	83,33	2,30	2,03
Cal - Horno 20 X	24,00	2,03	0,56
Cal - Horno 30 X	13,67	2,50	0,32
Cal - Horno 40 X	3,33	2,30	0,22
Cal - Cocina 5 X	27,33	2,03	0,64
Cal - Horno 10 X	46,67	1,35	1,03

Tipo Prueba	Valores Medios CAL		
	Carga [Kg]	Deformación [mm]	Tensión [N/mm²]
Cal Referencia	503,67	2,36	3,13
Cal - Horno 20 X	216,33	4,17	1,35
Cal - Horno 30 X	151,33	4,65	0,35
Cal - Horno 40 X	103,33	4,45	0,66
Cal - Cocina 5 X	237,00	3,70	1,40
Cal - cocina 10 X	344,67	3,04	2,15

5 Resultados

5 Resultados

5.1 Caracterización física

5.1.1 Densidad

A continuación se pueden ver los resultados medios que hemos obtenido con respecto a las medidas y densidades medias aparentes de todos los tipos de probetas que hemos elaborado. Para más detalle, al final de este trabajo se exponen todos los datos detallados e individualizados.

Codigo	Longitud (Cm)	Fondo (Cm)	Altura (Cm)	Peso (g)	Densidad (g/m ³)
Y	16,00	4,00	4,00	332,78	1299,92
YH20	16,00	4,00	4,00	321,50	1255,85
YH30	16,00	4,00	4,00	319,04	1246,25
YH40	16,00	4,00	4,00	320,48	1251,89
YC5	16,00	4,00	4,00	322,95	1261,54
YC10	16,00	4,00	4,00	328,09	1281,60

Codigo	Longitud (Cm)	Fondo (Cm)	Altura (Cm)	Peso (g)	Densidad (g/m ³)
CA	16,00	4,00	4,00	456,67	1783,86
CAH20	16,00	4,00	4,00	401,27	1567,47
CAH30	16,00	4,00	4,00	379,67	1483,09
CAH40	16,00	4,00	4,00	345,33	1348,95
CAC5	16,00	4,00	4,00	453,21	1770,35
CAC10	16,00	4,00	4,00	462,91	1808,23

Codigo	Longitud (Cm)	Fondo (Cm)	Altura (Cm)	Peso (g)	Densidad (g/m ³)
C	16,00	4,00	4,00	417,60	1631,26
CH20	16,00	4,00	4,00	346,85	1354,88
CH30	16,00	4,00	4,00	334,54	1306,80
CH40	16,00	4,00	4,00	292,61	1143,01
CC5	16,00	4,00	4,00	465,51	1818,41
CC10	16,00	4,00	4,00	470,70	1838,68

5.2 Ensayos no destructivos

5.2.1 Ultrasonidos

En las siguientes tablas se muestran los valores medios obtenidos en μs y velocidad de todos y cada uno de los tipos de probetas ensayados. Las tablas completas con los datos individualizados se encuentran en el anexo final. Cabe decir que en el caso de las probetas de cemento+hueso no hemos podido tomar valores por la fragilidad de estas, debido al problema de ahogado explicado en el apartado 3.4 *Dosificaciones*. (Pag.24)

Código	Longitud (Cm)	Ultrasonidos (μs)	Velocidad US (m/s)
Y	16,00	64,05	2498,16
YH20	16,00	67,56	2368,19
YH30	16,00	73,63	2173,09
YH40	16,00	79,88	2002,98
YC5	16,00	80,62	1984,61
YC10	16,00	81,96	1952,27

Código	Longitud (Cm)	Ultrasonidos (μs)	Velocidad US (m/s)
CA	16,00	77,42	2066,62
CAH20	16,00	103,03	1552,90
CAH30	16,00	116,58	1372,46
CAH40	16,00	168,95	947,04
CAC5	16,00	88,41	1809,77
CAC10	16,00	80,50	1987,58

Código	Longitud (Cm)	Ultrasonidos (μs)	Velocidad US (m/s)
C	16,00	67,96	2354,21
CH20	16,00	-	-
CH30	16,00	-	-
CH40	16,00	-	-
CC5	16,00	79,66	2008,53
CC10	16,00	70,64	2265,04

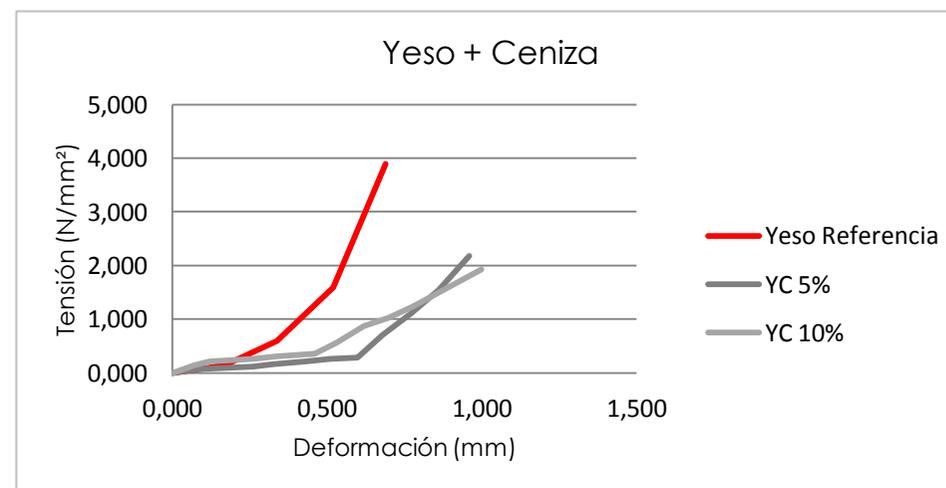
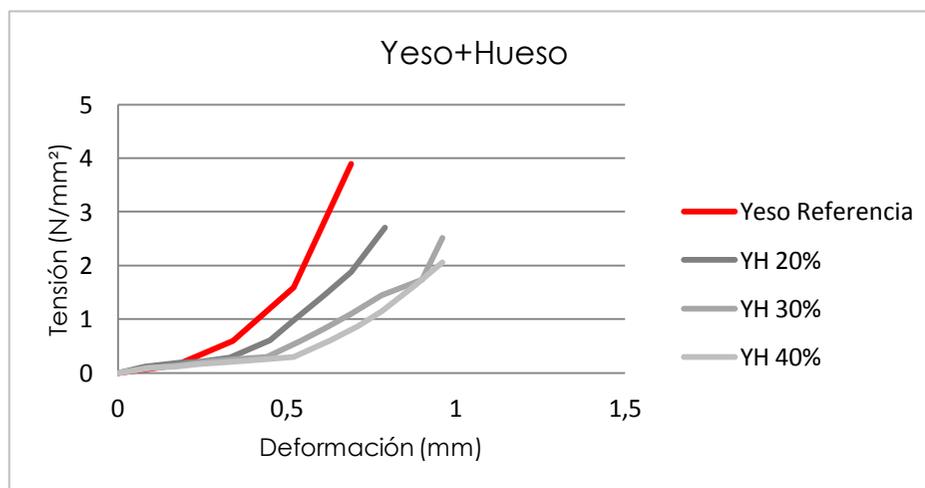
5.3 Ensayos destructivos

5.3.1 Resistencia a flexión

En las siguientes tablas vemos los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a flexión. También se pueden observar las graficas Tensión-deformación de cada uno de los tipos de probetas comparadas con las de referencia en cada caso. Como ya hemos comentado con anterioridad, las probetas de cemento + hueso no se han podido ensayar debido a su poca consistencia.

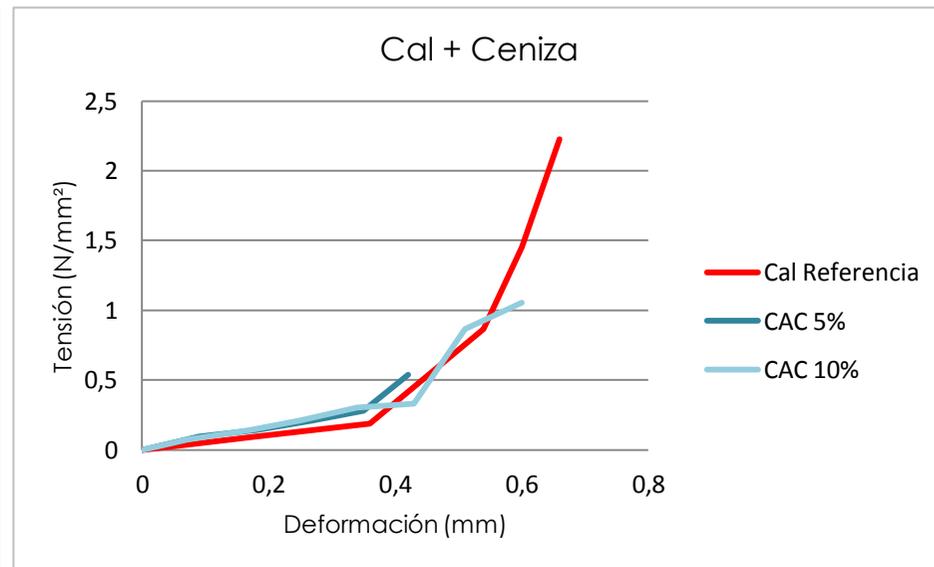
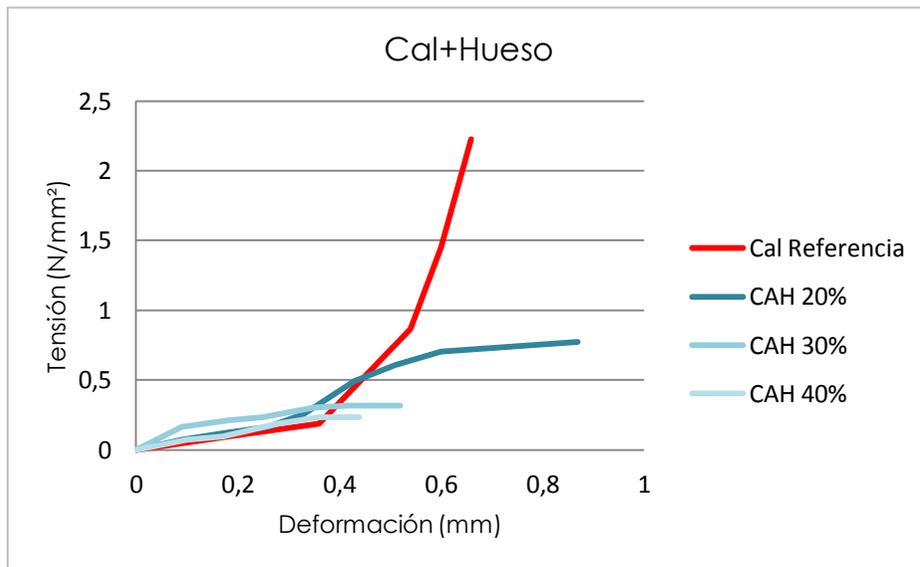
Resistencia a Flexión Probetas Yeso:

Valores Medios YESO			
Tipo Probeta	Flexión		
	Carga Max (Kg)	Deformación Max (mm)	Tensión Max (N/mm ²)
Yeso Referencia	174,89	2,40	4,10
Yeso + Hueso 20 %	132,33	2,21	3,10
Yeso + Hueso 30 %	106,67	2,28	2,50
Yeso + Hueso 40 %	88,33	2,18	2,07
Yeso + Ceniza 5 %	85,67	2,14	2,01
Yeso + Ceniza 10 %	78,67	2,17	1,84



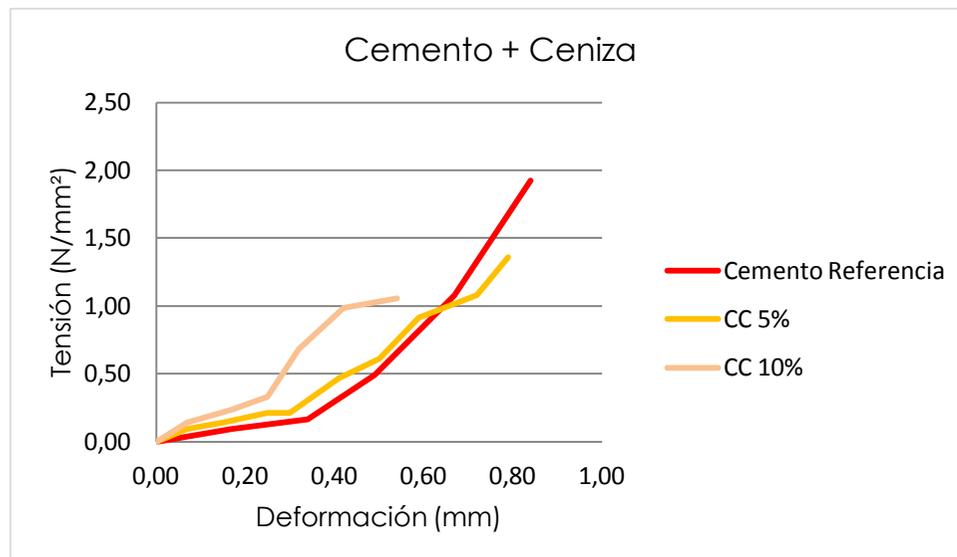
Resistencia a Flexión Probetas Cal:

Valores Medios CAL			
Tipo Probeta	Flexion		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Cal Referencia	89,33	2,30	2,09
Cal + Hueso 20 %	24,00	2,89	0,56
Cal + Hueso 30 %	13,67	2,58	0,32
Cal + Hueso 40 %	9,33	2,30	0,22
Cal + Ceniza 5 %	27,33	2,03	0,64
Cal + Hueso 10 %	46,67	1,95	1,09



Resistencia a Flexión Probetas Cemento:

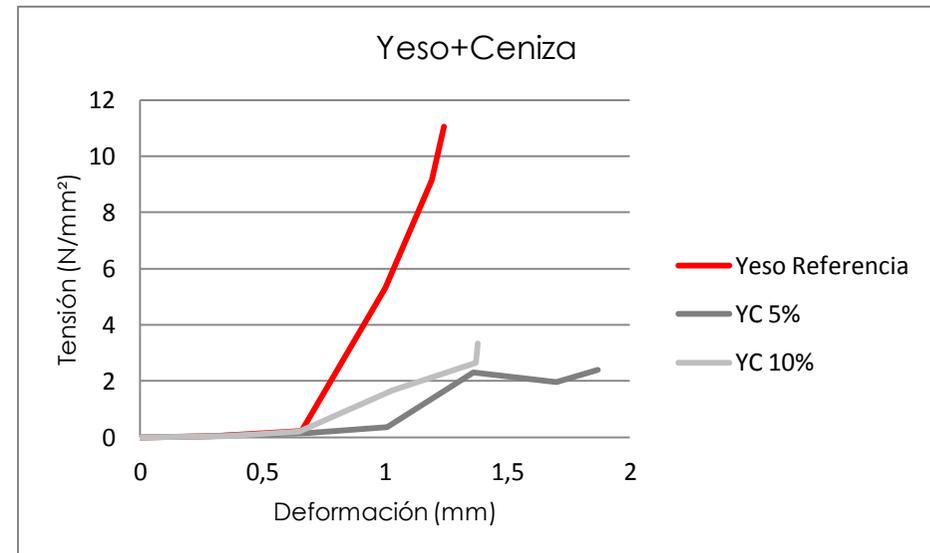
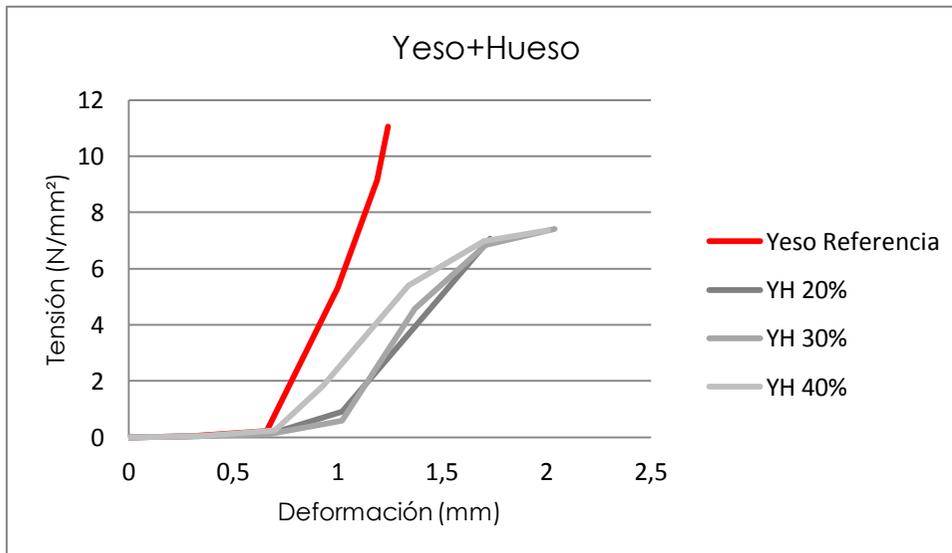
Valores Medios Cemento				
Tipo Probeta	Flexión			
	Carga Max (Kg)	Deformación (mm)	Max	Tensión Max (N/mm ²)
Cemento Referencia	53,00	2,04		1,10
Cemento + Hueso	-	-		-
Cemento + Ceniza 5%	61,00	1,91		1,43
Cemento + Ceniza 10%	58,50	2,00		1,37



5.3.2 Resistencia a compresión

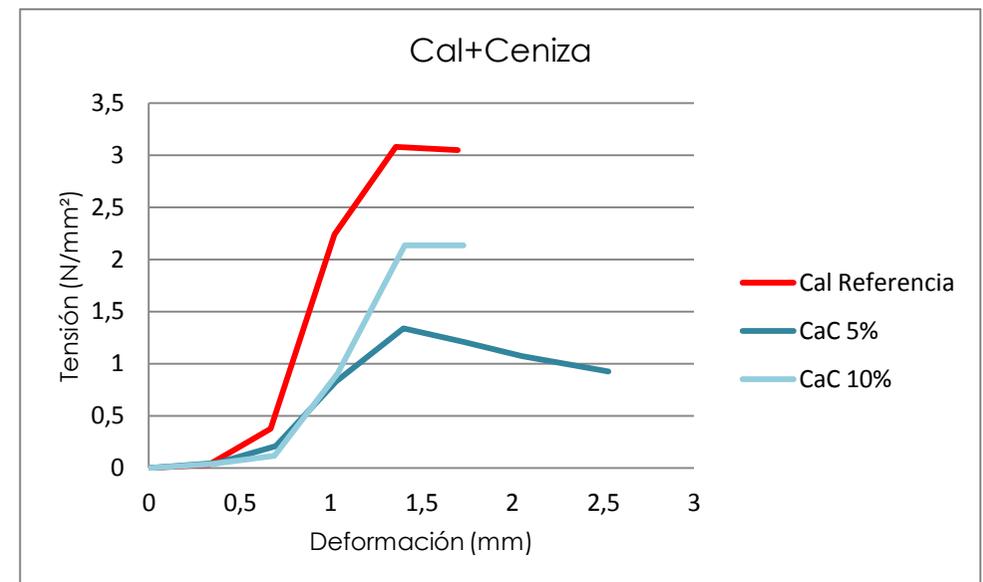
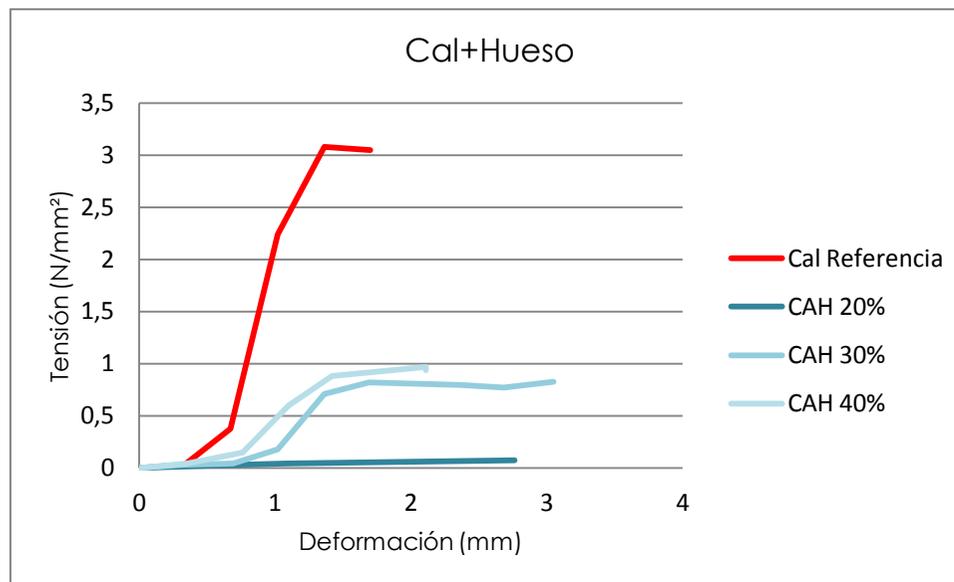
Resistencia a Compresión Probetas Yeso:

Valores Medios Yesos			
Tipo Probeta	Compresión		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Yeso Referencia	1783,67	2,86	11,15
Yeso + Hueso 20 %	1148,00	3,22	7,18
Yeso + Hueso 30 %	1081,00	4,00	6,76
Yeso + Hueso 40 %	1182,33	3,85	7,39
Yeso + Ceniza 5 %	411,00	3,13	2,57
Yeso + ceniza 10 %	501,33	2,90	3,13



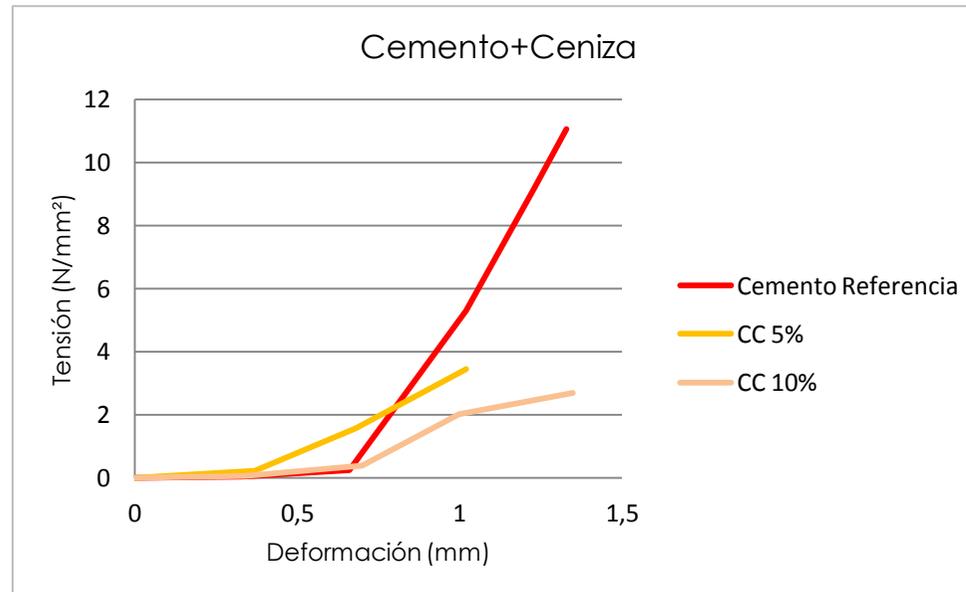
Resistencia a Compresión Probetas Cal:

Valores Medios CAL			
Tipo Probeta	Compresión		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Cal Referencia	509,67	2,96	3,19
Cal + Hueso 20 %	216,33	4,17	1,35
Cal + Hueso 30 %	151,33	4,65	0,95
Cal + Hueso 40 %	105,33	4,45	0,66
Cal + Ceniza 5 %	237,00	3,70	1,48
Cal + ceniza 10 %	344,67	3,84	2,15



Resistencia a Compresión Probetas Cemento:

Valores Medios CEMENTO			
Tipo Probeta	Compresión		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Cemento Referencia	721,56	2,82	4,51
Cemento + Hueso	-	-	-
Cemento + Ceniza 5%	497,00	3,01	3,11
Cemento + Ceniza 10%	487,00	3,24	3,04





6 Discusión de Resultados

6 Discusión de resultados

6.1 Densidad

Si observamos los datos obtenidos podemos afirmar que en las probetas en las que se incluye el hueso de aceituna triturado la densidad es bastante menor que en todas las demás. En las probetas que incluyen hueso, concretamente en las de Yeso la densidad se reduce un 4% aproximadamente, en las de Cal la densidad se reduce un 18% y en las de cemento un 23%.

Si observamos los datos de las probetas que incluyen ceniza, lo más relevante que podemos obtener es que en las probetas de cemento la densidad aumenta en un 12% con respecto a la de referencia (C).

6.2 Absorción del hueso de aceituna triturado

Como comentábamos en la página 24 "3.4 Dosificaciones" , al elaborar y curar las probetas de cemento con hueso, estas se ahogaban. Esto se debe a una falta de humedad en la mezcla, y más en concreto en el hueso de aceituna con respecto al resto de la mezcla. Por los resultados que obtuvimos en el ensayo de absorción, vimos que el hueso era capaz de absorber hasta un 30% del agua de la mezcla de manera casi instantánea, lo que suponía que el cemento no fraguara adecuadamente. Esto nos hace ver que el hueso habría que humedecerlo hasta cierto punto, lo cual abre una línea de estudio acerca de los posibles tratamientos que podrían aplicarse sobre ciertos residuos para incluirlos en cementos y hormigones.

6.3 Ultrasonidos

Según los datos obtenidos en los casos de estudio se podría asignar una correlación relativamente fiable entre la resistencia del material, su compacidad, porosidad y la velocidad de propagación de los ultrasonidos. Así podemos decir, que una mayor velocidad de propagación de la onda implica que la probeta de estudio sea muy compacta y por consiguiente cuenta con un menor índice de poros, aumentando por tanto su resistencia; y al viceversa.

En nuestro caso, las probetas en las que se incluye hueso de aceituna la velocidad de propagación se reduce notablemente por lo que podemos afirmar que se convierte en un material más ligero y poroso si lo comparamos con las de referencia (Y,CA,C). La comparación

entre materiales no tendría mucho sentido puesto que son de naturaleza diferente al tratarse de conglomerantes y pastas diferentes en cada caso, aunque si es llamativo, que el efecto del hueso triturado en la Cal es más influyente que en el resto de dosificaciones disminuyendo su velocidad de propagación en hasta un 50% en el mejor de los casos comparándolo con su referencia (Ca)

El efecto que tienen las cenizas también se hace visible en la mayoría de los tipos, pero es especialmente reseñable que al combinarlas con el yeso, la velocidad de propagación de US disminuya aun más que en las dosificaciones de Y+Hueso. Esto se debe a que las cenizas reaccionan con el yeso y producen microfisuras interiores lo cual entorpece la propagación de la honda.

6.4 Resistencia a Flexión

Observando los resultados obtenidos podemos afirmar, como imaginábamos, que a mayor cantidad de hueso incluido en la dosificación menor resistencia a flexión. Esto tiene relación con la compacidad del material resultante. El hueso de aceituna por si solo es muy poroso, y al combinarlo con el yeso y la cal (el cemento no hemos podido ensayarlo) hacen que el material sea más poroso que el de referencia lo que le resta resistencia a flexión. Esto se aprecia con mayor claridad en la probetas de cal, donde su resistencia se reduce en un 75% aproximadamente, lo que lo hace un material relativamente frágil.

Donde los resultados son más gratificantes e ilustrativos es en las probetas de cemento que incorporaban ceniza. En el caso de estas, la resistencia media de las probetas aumentan en un 30% incorporando solo un 5% de ceniza. Bien es cierto que la cantidad de probetas ensayadas puede que no sea suficientemente ilustrativa para afirmar que la resistencia aumenta exclusivamente al incorporar las cenizas. Puede que este aumento se deba a otros factores como el tiempo de curado, la temperatura de curado o el proceso de elaboración de las piezas, pero es un punto desde el que partir para posteriores estudios.

6.5 Resistencia a Compresión

En cuanto a los datos obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión, en el caso de las probetas de yeso, podemos afirmar que la ceniza afecta demasiado a su

resistencia a compresión. Como explicamos en el punto "7.3 Ultrasonidos" la ceniza reacciona químicamente con el yeso debilitando el material. Esto hace que su resistencia a compresión disminuya. Sin embargo, en las dosificaciones yeso-hueso, la influencia del aditivo influye mucho menos.

En el caso de la Cal, las cenizas funcionan mucho mejor. En nuestro caso hemos aditado un 5 y 10% y a mayor cantidad de ceniza, mayor resistencia a compresión. A la vista de este último dato, sería interesante continuar con el estudio para hallar un % óptimo de cenizas en el que la resistencia a compresión y la resistencia a flexión se equilibren, así como no comprometer las demás características físicas y mecánicas del material. Puesto que las probetas de cal tienen un curado de larga duración, llegando a durar incluso 6 meses según lo expuesto en el punto "3.7 Curado", podríamos esperar unos resultados mejores aumentando el tiempo de curado. Dicho esto, sería interesante ensayar cada una de las mitades que sobraron de cada una de las probetas de cal dentro de unos meses para ver su evolución en el tiempo, y realizar una comparación con los datos obtenidos en este estudio.

En cuanto a las probetas de cemento, solo hemos obtenido resultados en los morteros de cemento con ceniza, los cuales no son muy ilustrativos, ya que los cementos ya incluyen cenizas volantes en su composición. La resistencia de estos morteros disminuye alrededor de un 30% lo cual consideramos que no es mucho si el uso al que se destinan no requiere de una resistencia excesiva. Puesto que el mortero de cemento es un material muy utilizado en la construcción, lo más interesante habría sido obtener mejores resultados en las probetas en las que incluimos hueso de aceituna ya que es un residuo muy abundante.

7 Conclusiones

7.1 Conclusiones generales

De los resultados obtenidos podemos concluir que, en líneas generales, eran los que se esperaban a priori. Con el ensayo de ultrasonidos se ha podido asignar una correlación entre la resistencia del material, su compacidad, porosidad y la velocidad de propagación del ultrasonido.

Puesto que los materiales base, como son el yeso, la cal y el cemento son muy diferentes entre sí, no se pueden hacer correlaciones entre ellos en cuanto a resistencias, pero si hemos podido ver como algunos combinan mejor que otros con los dos aditivos de estudio. Dicho esto, la ceniza no funciona bien con el yeso, ya que reaccionan químicamente entre si y al secar y curar se microfisura, debilitándose en demasía y afectando a su compacidad y por consiguiente a su resistencia a flexión y a compresión. Sin embargo funciona relativamente bien con cales y cementos no afectando de una manera muy grave a su resistencia. Lo cual implica que sería viable estudiar este tipo de adiciones en distintas dosificaciones y con distintas clases de cementos y cales con objeto de ajustar más esta mejora de las resistencias mecánicas.

El hueso triturado, sin tratar, como lo hemos utilizado nosotros, también afecta a la compacidad y resistencia de las probetas de estudio. En combinación con el yeso es donde mejor funciona, reduciendo sus resistencias en un 25% aproximadamente.

En combinación con el cemento, como hemos comentado con anterioridad, el hueso sin tratar no funciona. La falta de humedad interior en el hueso hace que absorba todo el agua de la mezcla y no se produzca un fraguado correcto. Esto hace obligatorio tratar de algún modo el hueso para reducir su absorción o estabilizarlo térmicamente, de manera que no "quite" el agua al cemento.

Por el limitado tiempo del que hemos dispuesto para la realización del estudio no hemos podido estudiar las posibles bondades de estos residuos con respecto al aislamiento térmico y acústico, lo cual me parece muy importante. Dado que actualmente se construye en abundancia con materiales que incluyen materiales naturales como maderas o lanas para cumplir la normativa frente al ruido y el intercambio de energía, considero de vital importancia estudiar en un futuro las capacidades acústicas y aislantes de los materiales en cuestión.

En cuanto a las conclusiones personales puedo afirmar que ha sido una experiencia de lo más enriquecedora. El hecho de poder conocer y trabajar cerca de personas que se dedican

profesionalmente a la investigación es algo que nunca había experimentado y resulta muy interesante, puesto que me ha dado la oportunidad de conocer otras ramas profesionales.

El conocimiento y las habilidades adquiridas en cuanto a la búsqueda, obtención y análisis de artículos y ensayos científicos me han abierto un mundo de posibilidades del cual no era consciente hasta ahora, lo cual me va a resultar muy útil para mi futuro personal y profesional, ya sea con la continuación de este estudio o con otros. Con respecto al trabajo desarrollado en el laboratorio, me ha supuesto la oportunidad de aplicar los procedimientos que las normativas establecen para comprobar si los materiales son adecuados para su utilización en la construcción.

El hecho de que el estudio haya sido eminentemente práctico ha hecho que el proceso de aprendizaje sea mucho más satisfactorio que las clases teóricas de cursos anteriores. El manejo de los materiales y útiles de trabajo, junto con los ensayos realizados, me han permitido adquirir ciertas competencias que hasta ahora no había podido obtener, y que si no hubiera sido gracias a este TFG quizá nunca habría podido conocer.

El tema elegido en cuestión también me ha supuesto un enriquecimiento personal muy importante. En el momento en que vivimos es muy importante tener una opinión y juicio con respecto a la contaminación y la conservación del medio ambiente. En un futuro muy cercano, la reutilización de residuos en general será un tema sumamente importante, ya que los recursos son limitados y la gestión de estos tendrán un lugar muy importante dentro de nuestro modo de vida. En concreto, dentro de la arquitectura y la construcción, tendrá mucho más impacto porque generamos y manejamos gran cantidad de ellos. Establecer métodos y sistemas que permitan ahorrar costes económicos y medioambientales dará lugar a una arquitectura más sostenible y accesible a todo el mundo.

7.2 Conclusiones Específicas

En lo concerniente a las conclusiones específicas referidas a las distintas Hipótesis de Aplicabilidad postuladas en un principio cabe concluir lo siguiente:

Respecto a la utilización del hueso triturado para la fabricación de morteros aligerados, dados los resultados experimentales obtenidos, sería necesario un estudio más pormenorizado de dosificaciones e incluso estudiar la posibilidad de introducir los huesos enteros en la mezcla.

En lo que se refiere al uso del hueso triturado para la fabricación de morteros y pastas para revestimientos interiores, a pesar de que los ensayos mecánicos muestran una disminución

de la resistencia, esta no es excesivamente relevante en el caso del yeso y queda margen suficiente para ajustar dosificaciones minimizando esta pérdida. Como se ha comentado con anterioridad, las mediciones acústicas y térmicas de estos materiales no se han realizado, pero, por asimilación a otros productos similares existentes en la actualidad, cabe esperar ciertas mejoras respecto al yeso de referencia, sobre todo a lo que se refiere a la atenuación y absorción acústicas.

En relación al uso de cenizas, se ha comprobado su efectividad mecánica en cementos y cales y quedarían pendientes otros ensayos de envejecimiento a medio y largo plazo, ya que se desconocen las posibles interacciones químicas entre estos productos.

8 Futuras líneas de investigación

Para continuar con este estudio y mejorar posibles errores de planteamiento que haya podido cometer se plantean una serie de líneas que bien podrían ser complementarias a este estudio.

En primer lugar, dado que hemos tenido problemas con las probetas de Cemento+Hueso, planteamos un posible estudio acerca de cómo tratar el hueso de aceituna para estabilizarlo y evitar la absorción de agua en los morteros.

Por otro lado planteamos estudiar nuevas dosificaciones de los morteros y pastas, bien para optimizar las que se han expuesto en este estudio o para experimentar posibles nuevos usos de estos.

Otra línea, quizá una de las más importantes, y que sería complementaria a esta, sería ampliar el número de probetas a ensayar, así como los tipos de ensayos. Se deberían incluir ensayos acústicos y térmicos de manera que nos den más datos físicos y mecánicos y nos permitan conocer mucho mejor el potencial de estos materiales. Dado que ciertas hipótesis que barajábamos a priori tienen que ver con revestimientos, el conocimiento acerca de las propiedades acústicas y térmicas de dichos es de vital importancia.

9 Bibliografía y referencias

- [1] Pixcove.com. (2018). *Olive Bone | PixCove*. [online] Disponible en: <https://www.pixcove.com/tag/olive-bone/>
- [2] Crossing-Taylor, C. and Crossing-Taylor, C. (2018). *La historia del reciclaje hasta nuestros días*. [online] Toda Historia | El lugar donde discutir y aprender sobre Historia. Disponible en: <http://www.todahistoria.com/historia-reciclaje/>
- [3] Estevez, R. (2014). *Algo sobre la historia del reciclaje*. [online] eointeligencia. Disponible en: <https://www.eointeligencia.com/2014/01/historia-reciclaje/>
- [4] Angulo, E. (2014). El caso de Rachel Carson - Cuaderno de Cultura Científica. [online] Cuaderno de Cultura Científica. Disponible en: <https://culturacientifica.com/2014/04/14/el-caso-de-rachel-carson/>
- [5] Romero, J. (2017). *tapia Archivos | bioconstrucción · casas de paja · construcción sana y sostenible*. [online] bioconstrucción · casas de paja · construcción sana y sostenible. Disponible en: <http://casadepaja.es/tag/tapia/>
- [6] Lemus, V., Lopez, H., & Olvera, H. (1982). Materiales a base de desechos agrícolas e industriales. *Viviendas de Muy Bajo Coste*, 7–33.
- [7] Noticias.arq.com.mx. (2018). Casas hechas con residuos de café. [online] Disponible en: <http://noticias.arq.com.mx/Detalles/12123.html#.Wzj4DdUzbIU>
- [8] Rodríguez, L. J., Sarache, W. A., & Orrego, C. E. (2014). Compuestos de poliéster reforzados con fibra de plátano/banano
- [9] Arroz.es. (2017). Los grandes productores españoles del arroz - Comer arroz. [online] Disponible en: <http://arroz.es/arroz/productores-espanoles-arroz>
- [10] Ahumada, L. M., & Rodríguez-Páez, J. E. (2006). Uso del SiO₂ obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio
- [11] Macías Espada, A. (2017). Evolución del comportamiento mecánico de bloques y baldosas de tierra comprimida estabilizada sometidas a heladicidad

- [12] Universidad de Santiago de Compostela, (2011). Gestión de residuos orgánicos de uso agrícola.
- [13] M^a Carmen Trujillo Miranda. (2015). Eliminación De Cromo (Vi) De Medios Acuáticos Mediante Biosorción Con Hueso De Aceituna: Escalado Del Proceso Y Aplicación a La Depuración De Aguas Reales. Web Oficial de la Universidad de Granada.
- [14] Cedexmateriales.es. (2018). Cenizas procedentes de la incineración de biomasa CEDEX. [online] Disponible en: <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/23/diciembre-2014/>
- [15] Lanas, J & Álvarez, José. (2006). Preparación y ensayos de morteros de cal de nueva factura para su empleo en restauración del patrimonio.
- [16] UNE-EN 12504-4, (2006) "Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 4: Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos," AENOR Asoc. Española Norm. y Certificación".
- [17] UNE-EN 1015-11, (2000) "Métodos de ensayo de los morteros para albañilería - Parte 11: Determinación de la resistencia a flexión y a compresión del mortero endurecido," Aenor.

10 Anexo

Tablas codificadas y completas de todos los datos obtenidos en el estudio

PROBETAS DE YESO

PROBETAS DE YESO													
Codigo	Longitud (Cm)	Fondo (Cm)	Altura (Cm)	Peso (g)	Densidad (Kg/m ³)	Ultrasonidos (μs)	Velocidad US (m/s)	Flexion			Compresion		
								Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Y1	16,00	4,05	4,03	333,89	1278,57	61,5	2601,63	202,00	2,88	4,73	2032,00	2,79	12,70
Y2	16,00	4,03	4,15	327,14	1222,53	65,2	2453,99	149,00	2,35	3,49	1799,00	2,33	11,24
Y3	16,00	4,04	4,08	335,48	1272,05	61,6	2597,40	176,00	1,95	4,13	1364,00	4,02	8,53
Y4	16,00	4,07	4,03	338,54	1290,00	60,8	2631,58	188,00	2,11	4,41	1957,00	2,62	12,23
Y5	16,00	4,05	4,02	332,80	1277,56	61,1	2618,66	196,00	2,48	4,59	2214,00	2,89	13,84
Y6	16,00	4,01	4,06	323,64	1242,43	63,7	2511,77	121,00	2,18	2,84	1605,00	2,74	10,03
Y7	16,00	4,06	4,02	332,46	1273,11	67,3	2377,41	194,00	1,96	4,55	1768,00	2,83	11,05
Y8	16,00	4,07	4,07	338,19	1276,00	68,6	2332,36	184,00	2,23	4,31	1707,00	2,78	10,67
Y9	16,00	4,10	3,96	332,88	1281,41	67,2	2380,95	164,00	3,44	3,84	1607,00	2,73	10,04
YH20-1	16,00	3,96	4,00	323,85	1277,82	66,5	2406,02	140,00	2,15	3,28	1131,00	3,29	7,07
YH20-2	16,00	4,02	3,86	318,17	1281,52	68,3	2342,61	118,00	2,24	2,77	1100,00	3,14	6,88
YH20-3	16,00	4,03	4,00	322,47	1250,27	67,9	2356,41	139,00	2,24	3,26	1213,00	3,22	7,58
YH30-1	16,00	3,97	4,02	315,70	1236,34	74,9	2136,18	103,00	2,33	2,41	831,00	5,00	5,19
YH30-2	16,00	4,03	4,06	321,84	1229,39	72,9	2194,79	107,00	2,10	2,51	1225,00	3,35	7,66
YH30-3	16,00	4,02	4,00	319,58	1242,15	73,1	2188,78	110,00	2,42	2,58	1187,00	3,65	7,42
YH40-1	16,00	3,97	4,01	316,22	1241,46	76,8	2083,33	90,00	2,31	2,11	1175,00	3,99	7,34
YH40-2	16,00	4,01	4,06	320,30	1229,61	83,8	1909,31	87,00	2,14	2,04	1181,00	3,70	7,38
YH40-3	16,00	4,02	4,10	324,93	1232,14	79,2	2020,20	88,00	2,08	2,06	1191,00	3,87	7,44
YC5-1	16,00	4,01	3,91	329,48	1313,37	77,9	2053,92	93,00	2,10	2,18	561,00	3,28	3,51
YC5-2	16,00	4,02	4,05	306,64	1177,14	87,7	1824,40	66,00	2,37	1,55	385,00	3,16	2,41
YC5-3	16,00	4,02	4,00	332,74	1293,30	76,7	2086,05	98,00	1,95	2,30	287,00	2,94	1,79
YC10-1	16,00	4,03	4,04	325,79	1250,64	79,1	2022,76	82,00	2,25	1,92	406,00	3,40	2,54
YC10-2	16,00	4,01	4,05	332,05	1277,86	85,6	1869,16	77,00	2,18	1,80	532,00	2,53	3,33
YC10-3	16,00	4,02	4,03	326,43	1259,33	81,3	1968,02	77,00	2,09	1,80	566,00	2,77	3,54

Tipo Probeta	Valores Medios		
	Flexion		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Yeso Referencia	174,89	2,40	4,10
Yeso + Hueso 20 %	132,33	2,21	3,10
Yeso + Hueso 30 %	106,67	2,28	2,50
Yeso + Hueso 40 %	88,33	2,18	2,07
Yeso + Ceniza 5 %	85,67	2,14	2,01
Yeso + Hueso 10 %	78,67	2,17	1,84

Tipo Probeta	Valores Medios Yesos		
	Compresión		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Cal Referencia	1783,67	2,86	11,15
Cal + Hueso 20 %	1148,00	3,22	7,18
Cal + Hueso 30 %	1081,00	4,00	6,76
Cal + Hueso 40 %	1182,33	3,85	7,39
Cal + Ceniza 5 %	411,00	3,13	2,57
Cal + ceniza 10 %	501,33	2,90	3,13

PROBETAS DE CAL

PROBETAS DE CAL													
Codigo	Longitud (Cm)	Fondo (Cm)	Altura (Cm)	Peso (g)	Densidad (Kg/m ³)	Ultrasonidos (μs)	Velocidad US (m/s)	Flexion			Compresion		
								Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
CA1	16,00	3,97	4,07	438,28	1695,30	68,9	2322,21	95,00	2,12	2,23	592,00	3,32	3,70
CA2	16,00	4,00	4,08	453,11	1735,26	69,2	2312,14	90,00	2,14	2,11	612,00	2,77	3,83
CA3	16,00	3,98	4,03	462,80	1803,37	71,9	2225,31	89,00	2,07	2,09	498,00	3,24	3,11
CA4	16,00	4,00	3,99	464,40	1818,61	72,4	2209,94	109,00	2,47	2,55	659,00	2,58	4,12
CA5	16,00	4,04	4,00	441,19	1706,34	84,7	1889,02	73,00	2,46	1,71	351,00	2,43	2,19
CA6	16,00	3,98	3,95	455,86	1812,31	86,8	1843,32	87,00	2,69	2,04	287,00	3,97	1,79
CA7	16,00	4,08	4,07	464,12	1746,85	79,9	2002,50	95,00	2,15	2,23	259,00	3,09	1,62
CA8	16,00	4,10	3,98	454,90	1742,32	85,9	1862,63	87,00	2,24	2,04	574,00	2,76	3,59
CA9	16,00	4,07	4,00	475,36	1824,94	79,8	2005,01	79,00	2,36	1,85	755,00	2,45	4,72
CAH20-1	16,00	3,98	4,00	404,29	1587,19	97,1	1647,79	16,00	3,87	0,38	177,00	4,61	1,11
CAH20-2	16,00	3,98	3,98	398,57	1572,60	101,3	1579,47	33,00	2,22	0,77	186,00	3,90	1,16
CAH20-3	16,00	3,97	4,00	400,96	1578,09	111,2	1438,85	23,00	2,58	0,54	286,00	4,01	1,79
CAH30-1	16,00	3,96	3,90	378,40	1531,34	109,1	1466,54	11,00	2,52	0,26	132,00	4,63	0,83
CAH30-2	16,00	3,98	3,97	374,75	1482,34	113,9	1404,74	14,00	2,38	0,33	113,00	4,70	0,71
CAH30-3	16,00	3,98	3,93	385,86	1541,82	127,5	1254,90	16,00	2,85	0,38	209,00	4,62	1,31
CAH40-1	16,00	3,97	3,92	337,60	1355,83	162,6	984,01	9,00	2,25	0,21	68,00	4,84	0,43
CAH40-2	16,00	3,99	3,94	345,42	1373,28	168,7	948,43	9,00	2,16	0,21	93,00	4,11	0,58
CAH40-3	16,00	3,98	3,95	352,97	1403,26	175,8	910,13	10,00	2,50	0,23	155,00	4,39	0,97
CAC5-1	16,00	4,01	3,96	428,43	1686,24	80,7	1982,65	36,00	1,91	0,84	219,00	3,75	1,37
CAC5-2	16,00	4,01	3,90	461,80	1845,55	94,2	1698,51	21,00	2,33	0,49	214,00	3,63	1,34
CAC5-3	16,00	4,01	4,09	469,40	1788,77	90,9	1760,18	25,00	1,85	0,59	278,00	3,71	1,74
CAC10-1	16,00	4,06	4,05	453,86	1725,13	80,3	1992,53	45,00	1,99	1,05	341,00	3,90	2,13
CAC10-2	16,00	4,07	4,05	469,21	1779,09	80,4	1990,05	50,00	2,06	1,17	316,00	4,60	1,98
CAC10-3	16,00	4,00	4,00	465,65	1818,95	80,8	1980,20	45,00	1,79	1,05	377,00	3,03	2,36

Valores Medios CAL			
Tipo Probeta	Flexion		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Cal Referencia	89,33	2,30	2,09
Cal + Hueso 20 %	24,00	2,89	0,56
Cal + Hueso 30 %	13,67	2,58	0,32
Cal + Hueso 40 %	9,33	2,30	0,22
Cal + Ceniza 5 %	27,33	2,03	0,64
Cal + Hueso 10 %	46,67	1,95	1,09

Valores Medios CAL			
Tipo Probeta	Compresión		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Cal Referencia	509,67	2,96	3,19
Cal + Hueso 20 %	216,33	4,17	1,35
Cal + Hueso 30 %	151,33	4,65	0,95
Cal + Hueso 40 %	105,33	4,45	0,66
Cal + Ceniza 5 %	237,00	3,70	1,48
Cal + ceniza 10 %	344,67	3,84	2,15

PROBETAS DE CEMENTO

PROBETAS DE CEMENTO													
Codigo	Longitud (Cm)	Fondo (Cm)	Altura (Cm)	Peso (g)	Densidad (Kg/m ³)	Ultrasonidos (μs)	Velocidad US (m/s)	Flexion			Compresion		
								Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
C1	16,00	4,00	4,00	423,09	1652,70	69,7	2295,55	60,00	2,09	1,41	720,00	2,54	4,50
C2	16,00	4,01	4,00	423,45	1649,98	68,0	2352,94	-	-	-	981,00	2,18	6,13
C3	16,00	4,00	4,02	416,59	1619,21	66,7	2398,80	54,00	2,07	1,27	745,00	2,89	4,66
C4	16,00	4,00	4,04	420,21	1625,19	66,0	2424,24	64,00	2,06	1,50	996,00	2,53	6,23
C5	16,00	4,01	3,92	414,29	1647,23	67,9	2356,41	43,00	2,12	1,01	575,00	3,24	3,59
C6	16,00	4,00	4,00	421,10	1644,92	65,3	2450,23	44,00	2,20	1,03	935,00	2,91	5,84
C7	16,00	4,01	3,96	419,98	1652,99	67,8	2359,88	57,00	2,14	1,34	530,00	3,26	3,31
C8	16,00	4,00	3,94	406,90	1613,66	68,6	2332,36	65,00	3,07	1,52	522,00	3,28	3,26
C9	16,00	4,00	3,96	412,81	1628,83	71,9	2225,31	37,00	2,59	0,87	490,00	2,58	3,06
CH20-1	16,00	4,00	3,94	360,13	1428,18	-	-	-	-	-	-	-	-
CH20-2	16,00	4,00	4,00	322,13	1258,32	-	-	-	-	-	-	-	-
CH20-3	16,00	4,00	3,98	351,97	1381,79	-	-	-	-	-	-	-	-
CH20-4	16,00	4,00	3,94	346,84	1375,48	-	-	-	-	-	-	-	-
CH20-5	16,00	4,00	3,98	353,17	1386,50	-	-	-	-	-	-	-	-
CH30-1	16,00	4,00	3,94	332,67	1319,28	-	-	-	-	-	-	-	-
CH30-2	16,00	4,00	4,02	336,41	1307,56	-	-	-	-	-	-	-	-
CH30-3	16,00	4,00	4,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CH40-1	16,00	4,00	4,00	299,34	1169,30	-	-	-	-	-	-	-	-
CH40-2	16,00	4,00	3,98	285,88	1122,33	-	-	-	-	-	-	-	-
CH40-3	16,00	4,00	3,98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CC5-1	16,00	4,04	4,04	469,64	1798,38	81,2	1970,44	58,00	1,98	1,36	552,00	3,07	3,45
CC5-2	16,00	4,03	4,14	470,33	1761,88	83,9	1907,03	64,00	1,83	1,50	473,00	2,85	2,96
CC5-3	16,00	4,00	4,00	456,57	1783,48	74,2	2156,33	-	-	-	466,00	3,11	2,91
CC10-1	16,00	4,07	4,02	463,60	1770,94	71,3	2244,04	72,00	2,07	1,69	508,00	3,20	3,18
CC10-2	16,00	4,06	4,12	487,74	1822,41	68,0	2352,94	45,00	1,92	1,05	497,00	3,27	3,11
CC10-3	16,00	4,01	4,00	460,77	1795,39	72,7	2200,83	-	-	-	456,00	3,26	2,85

Valores Medios			
Tipo Probeta	Flexion		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Cemento Referencia	53,00	2,04	1,10
Cemento + Hueso	-	-	-
Cemento + Ceniza 5%	61,00	1,91	1,43
Cemento + Ceniza 10%	58,50	2,00	1,37

Valores Medios Cemento			
Tipo Probeta	Compresión		
	Carga (Kg)	Deformación (mm)	Tensión (N/mm ²)
Cemento Referencia	721,56	2,82	4,51
Cemento + Hueso	-	-	-
Cemento + Ceniza 5%	497,00	3,01	3,11
Cemento + Ceniza 10%	487,00	3,24	3,04