

ENTREGABLE 3.1

PROYECTO FERRINCH

2022-2023

**DESARROLLO DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS PROCEDENTES DE RESIDUOS METÁLICOS
“FERRINCH”**

Entregable: Informe de Resultados

Número de proyecto: 22200081

Expediente: IMDEEA/2022/25

Duración: Del 01/07/2022 al 30/10/2023

Coordinado en AIDIMME por: PASCUAL PASTOR, ANA

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
FIGURAS.....	1
TABLAS.....	2
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	3
2 TRABAJO REALIZADO Y RESULTADOS.....	4
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESULTADOS ALCANZADOS.	4
3 TRANSFERENCIA Y PROMOCIÓN DE LOS RESULTADOS.....	20
4 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL PROYECTO.....	23

Figuras

<i>Figura 1. Virutas de diferentes procesos de mecanizado</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2. Torno en operación AIDIMME</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3. Fresadora en operación AIDIMME</i>	<i>6</i>
<i>Figura 4 Ensayo realizado con una viruta analizada</i>	<i>7</i>
<i>Figura 5 Virutas contaminadas por aceite de taladrina</i>	<i>8</i>
<i>Figura 6 Fabricación de hormigón, ensayo de consistencia.</i>	<i>12</i>
<i>Figura 7 Ensayo de comprensión.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8 Ensayo a flexión</i>	<i>15</i>

Tablas

<i>Tabla 1 Distintos tratamientos para desengrasar las virutas.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2 Diseño de experimentos de formulación de hormigón</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 3 Resistencia media a compresión hormigón a 14 días.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 4 Resistencia media a compresión hormigón a 28 días.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 5 Resistencia media a flexotracción hormigón a 14 días.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 6 . Resistencia media a flexotracción hormigón a 28 días.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 7: Tabla con análisis DAFO</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 8: Resultados obtenidos con el proyecto FORESPINT.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 9 Indicadores de impactos.....</i>	<i>23</i>

1 Introducción y objetivos

El presente entregable está encuadrado en el Paquete de Trabajo número 3 cuyo título es “Transferencia y promoción de los resultados”. Y tiene como objetivo fundamental la caracterización de los resultados alcanzados, la transferencia y promoción de los mismos así como una evaluación del impacto del proyecto. Por tanto, este paquete de trabajo presenta dos grandes líneas de actuación:

Estudio de los resultados alcanzados

Evaluación de la mejora alcanzada con los resultados obtenidos, considerando factores técnicos, temporales y económicos con respecto a la situación inicial antes de ejecutar el proyecto, indicando mejoras sobre el estado del arte actual.

Evaluación, transferencia y promoción de los resultados

Tras definir la estrategia para la transferencia y promoción de los resultados que se considere más adecuada, se transferirá el conocimiento obtenido, estableciendo relaciones de cooperación de investigación futura con empresas interesadas en la aplicación de los resultados.

Las reuniones con las empresas podrán ayudar a determinar el impacto del proyecto y la forma en que repercuta en las empresas de la Comunitat Valenciana.

El objetivo general del proyecto es desarrollar un hormigón de altas prestaciones que contribuya a la economía circular mediante el uso de fibras de acero que resultan como residuo de procesos de mecanizado, laminación, ..., con un muy bajo coste medioambiental y crematístico en el tratamiento previo.

En el proyecto FERRINCH se buscaba conseguir:

- Desarrollar un proceso de tratamiento que optimice la preparación de las fibras para su reutilización
- Obtener las proporciones, tamaño de fibra y esbeltez que confieren la consistencia adecuada y las mejores prestaciones al hormigón, teniendo en cuenta la sostenibilidad del producto y de su proceso de fabricación
- Analizar alternativas de uso de combinación de fibras de diferente procedencia evaluando comparativamente las propiedades del hormigón
- Caracterizar experimentalmente las propiedades de resistencia mecánica, frente al fuego y térmicas
- Realizar un estudio comparativo que refleje los porcentajes de mejora, técnica y medioambiental, que representa el uso de fibra procedente directamente del residuo de acero frente a fibra industrial y fibras de otras naturalezas
- Proponer diferentes aplicaciones, estructurales y no estructurales, en función de la composición y de sus prestaciones
- Realizar actividades de difusión y transferencia de este conocimiento al sector empresarial

2 Trabajo realizado y resultados.

2.1 Caracterización de los resultados alcanzados.

Caracterización y tratamiento de los residuos metálicos

En relación a este apartado se debe clasificar y caracterizar la viruta a reutilizar y conocer cómo prepararla para el proceso de reutilización

Caracterización

Para ello se indican las bases que llevan a una correcta caracterización de las fibras.

Características dimensionales

Las fibras se caracterizan por sus dimensiones (diámetro, diámetro equivalente, longitud, longitud "estirada", esbeltez) forma y características mecánicas (resistencia a tracción y módulo de elasticidad), lo cual depende del tipo de mecanizado del que provienen:

- Longitud recomendable en fibras estructurales de 2,5 a 3 veces el tamaño máximo de árido,
- Forma: recta, ondulada, corrugada, conformadas en extremos.
- Contenido: (<1,5% en volumen de hormigón > 0,25 volumen de hormigón (de 20 a 120 kg/m³ de fibras de acero)

Los valores de trabajo fueron:

- Longitud viruta de torno entre 10-50 mm
- Longitud viruta de fresadora entre 10-20 mm
- Diámetro/espesor 1 mm

Tipos de mecanizado

El mecanizado puede ser sin arranque de viruta, por abrasión y por arranque de viruta. Lo habitual cuando se hace referencia a mecanizado es que haya una eliminación de material o lo que es lo mismo, arranque de viruta, en caso contrario se hablaría más bien de fabricación o conformación.

Dentro del mecanizado por arranque de viruta hay procesos muy nuevos y procesos tradicionales. Entre los procesos muy nuevos se encuentra el método electroquímico, por descarga eléctrica o electroerosión y por láser (partículas diminutas).

Cuando se trata de arranque tradicional encontramos el proceso del torneado, fresado, taladrado y aserrado. En función de la técnica se generan diferentes tipos de residuos.

El mecanizado por arranque de viruta presenta múltiples ventajas: alto grado de precisión, no altera las propiedades mecánicas del material (acero), tienen un funcionamiento muy versátil y no es más costoso que otros procesos. Como inconvenientes: el tamaño de la pieza es limitado, no es más económico, puede requerir proceso de desbarbado, precisa de tiempo y sobre todo

genera sobrante de material difícil de reutilizar.

En la mayoría de los procesos industriales aparece el mecanizado por arranque de viruta, así pues, está presente en la industria de la automoción, militar, aeronáutica, diseño urbano y mobiliario, energética



Figura 1. Virutas de diferentes procesos de mecanizado

En este estudio se analizan las virutas según su origen, lo que obliga a que, para tener la seguridad del mismo, se hayan generado en máquinas que realizaban un solo proceso, controlando materiales y parámetros, evitando así posibles mezclas de residuos y, por tanto, de orígenes o procesos de mecanizado.

Las virutas de torno se diferencian por los parámetros de elaboración en función de los parámetros de la máquina:

- Velocidad de corte: 100/**120** rev/s
- Avance: 0,5 mm/1mm
- Profundidad de pasada: 100/**120** rev/s

Respecto a las virutas de fresadora, los parámetros de la máquina son:

- S (revoluciones): 700 rev/s
- F (avance): 233
- Z (pasada): 0,4 mm



Figura 2. Torno en operación AIDIMME



Figura 3. Fresadora en operación AIDIMME

Características mecánicas

La norma UNE-EN ISO 6892-1 Materiales metálicos. Ensayos de tracción a temperatura ambiente, establece una serie de requisitos en función del tipo y severidad de la aplicación del metal.

A continuación, se da una fotografía del ensayo realizado con una de las virutas analizadas, tanto las comerciales (vírgenes para reforzar el hormigón), como las recicladas procedentes de diversos procesos de transformación del metal.



Figura 4 Ensayo realizado con una viruta analizada

Como deducción principal se tiene que las virutas recicladas, como era de esperar, presentan una resistencia inferior, la cual varía, pero que se puede indicar que es del orden de 1/40, o menos, que las fibras comerciales fabricadas expofeso. Es importante analizar después cómo influye en el comportamiento del hormigón con fibras recicladas

Tratamiento

El tratamiento de las virutas, tras haber sido obtenidas en un proceso de mecanización cualquiera, debe pasar por un desengrasado, debido a las sustancias empleadas para minimizar la fricción.

Desengrasado:

La viruta de mecanizado puede presentar grasa procedente de las máquinas y es susceptible de su eliminación para mejorar el comportamiento de la fibra en el interior de la masa de hormigón. La grasa mayoritaria en las máquinas de donde proviene las virutas es la taladrina, consistente en una mezcla de aceites y lubricantes de diversa índole, de la familia de los ésteres, junto con, en una proporción mínima, de aditivos, entre los que se encuentran parafinas, derivados del azufre y del cloro. El uso de esta grasa es necesario para disminuir el rozamiento y así que el arranque de viruta sea más eficaz, pero que, al mismo tiempo, no se produzcan calentamientos que perjudicarían la calidad de éstas y la seguridad del proceso. Ahora bien, una vez obtenida la viruta, los restos de la grasa conviene que sean eliminados, para no generar dificultades en el mojado o recubrimiento de la masa de hormigón (debido a la baja tensión superficial de la grasa) e incompatibilidades químicas que dificulten el fraguado y disminuyan la adherencia y con ello las resistencias y la durabilidad.

Los tratamientos de desengrasado a los que puede someterse la muestra son diversos: sin tratamiento, decantado (tratamiento lento), centrifugado, desengrasado con agua, desengrasado con tensoactivos, desengrasado bacteriano.

	Ventajas	Inconvenientes	A tener en cuenta
Disolvente de rápida evaporación	<ul style="list-style-type: none"> No requiere secado No requiere una temperatura específica El disolvente se recircula para el siguiente ciclo de tratamiento 	<ul style="list-style-type: none"> Hay que capturar las evaporaciones para que no contaminen el aire 	<ul style="list-style-type: none"> Una vez la cantidad de grasa depositada en el fondo supera una cantidad se retira y tiene que ser tratada por una empresa
Desengrasante acuoso		<ul style="list-style-type: none"> Requiere una temperatura más elevada (30º) frente a la necesaria con un disolvente de rápida evaporación Necesita un lavado (eliminar la espuma) y secado posterior (evitar la oxidación) 	<ul style="list-style-type: none"> El desengrasante atrapa la grasa. La grasa queda mezclada, y cuando su concentración es superior a 20g/l tiene que retirarse y tratarse
Desengrasante bacteriano	<ul style="list-style-type: none"> Menor impacto medioambiental 	<ul style="list-style-type: none"> Requiere una temperatura más elevada (30º) frente a la necesaria con un disolvente de rápida evaporación Necesita un lavado (eliminar la espuma) y secado posterior (evitar la oxidación) Proceso más lento 	<ul style="list-style-type: none"> La grasa se transforma por las bacterias. Lo obtenido tras la transformación debe tratarse

Tabla 1 Distintos tratamientos para desengrasar las virutas



Figura 5 Virutas contaminadas por aceite de taladrina

Evaluación del desengrasado con disolvente

El hexano fue el disolvente seleccionado debido a varias causas. Por un lado, es un disolvente universal, fácil de conseguir su aprovisionamiento, y, por otro lado, es un disolvente relativamente poco contaminante (de entre los que tiene capacidad de eliminar grasas), así

como se puede considerar inerte, es decir, que no reacciona fácilmente con otras sustancias, ya que carece de grupos funcionales que lleve a incompatibilidades de esta índole.

Por tanto, la extracción de las virutas se ha hecho con hexano. Tras la extracción se evapora el disolvente a 100°C y por gravimetría se determina el residuo. La extracción de cada una de las muestras en el equipo se hace durante 2h

La muestra inicial sucia de las virutas de la fresadora tras la extracción tiene un residuo de 23394 mg/kg y tras la limpieza de las virutas la extracción da 5789 mg/kg, por lo que tiene una eficiencia del 75%. Por otro lado, la muestra inicial sucia de las virutas de torno tras la extracción tiene un residuo de 2474 mg/kg y tras la limpieza de las virutas la extracción da 587 mg/kg, por lo que tiene una eficiencia del 76%.

En ambos procesos de mecanizado, la eficiencia es del mismo orden, aunque es de resaltar la mayor cantidad de grasa, alrededor de 9,5 veces mayor, tanto al inicio, como tras el tratamiento, en el caso del mecanizado con fresadora.

Optimización del proceso de tratamiento

A continuación se da, en función del tipo de desengrase seleccionado, las etapas adecuadas para optimizar el proceso de limpieza.

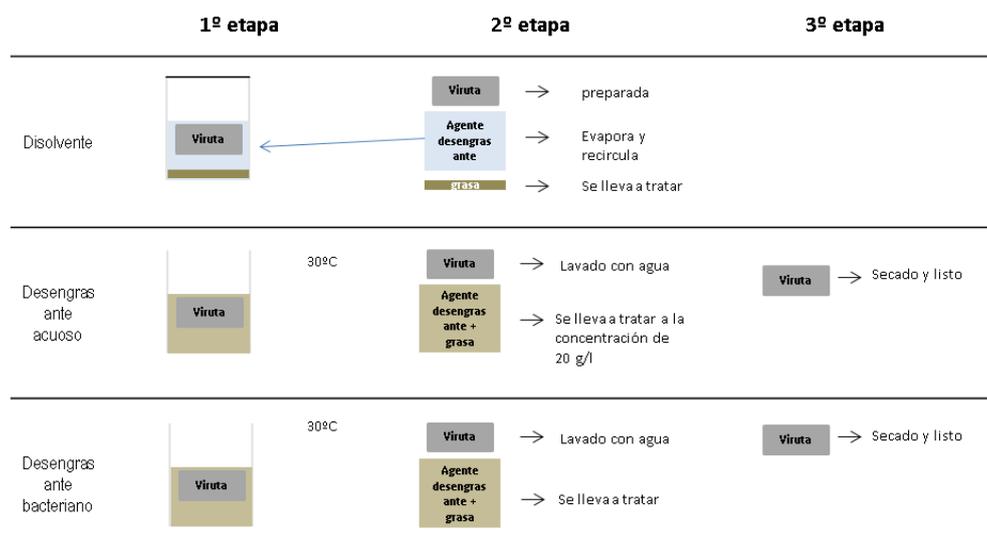


Ilustración 1. Proceso de tratamiento de virutas

Conclusiones

En cuanto a los resultados alcanzados, se ha conocido qué proceso es el más factible de ser el origen de la viruta reciclada, cuáles son los mejores parámetros para trabajar con esa viruta reciclada y el tratamiento idóneo para su limpieza.

El proceso de torno da valores mecánicos similares a los de la fresadora, peor ésta conlleva una mayor cantidad de grasa, por lo que la limpieza es más fácil con el torno. Respecto a las virutas vírgenes, éstas presentan mayor resistencia que las recicladas, pero hay que analizar su influencia en el hormigón reforzado.

Desarrollo de formulación del hormigón

En esta actividad se preparan diferentes formulaciones del hormigón reforzado con las fibras de residuo del metal para poder mostrar las posibilidades de incorporación de la viruta, incluyendo la dosificación y el estudio del proceso óptimo. Esta formulaciones permiten, a continuación, analizar su comportamiento y obtener conclusiones pertinentes.

Formulación

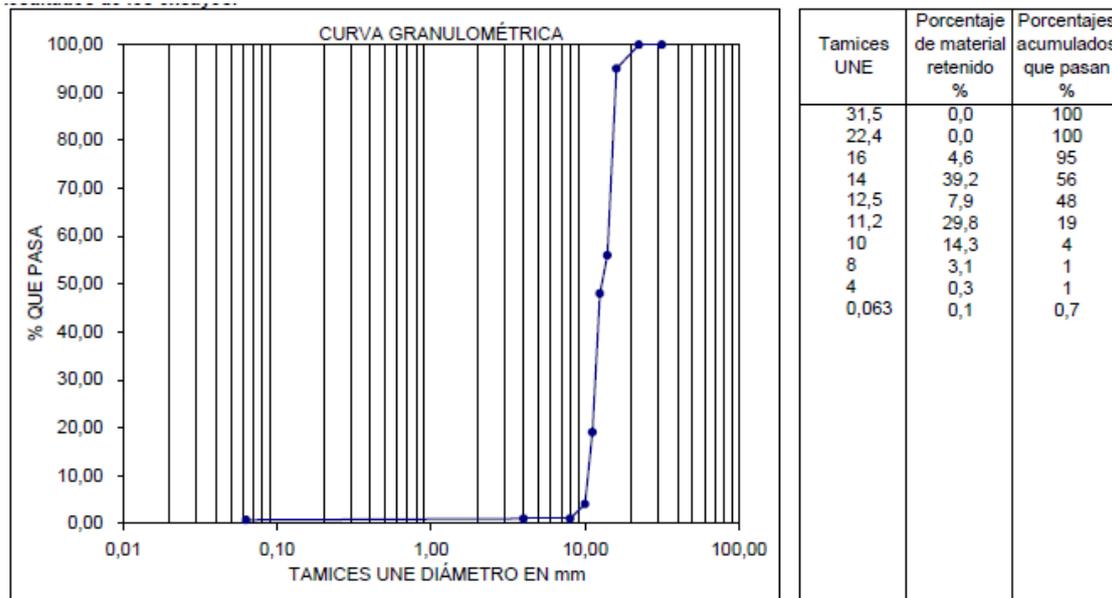
Para ello se preparó un diseño de experimentos, de forma que las diversas variables que entran en juego se contemplaran. En la siguiente tabla se muestra el diseño de experimentos que se siguió en el proyecto.

	Código	cemento kg	agua		árido grueso (12/20) kg	arido fino (6/12) kg	arena	adiciones	aditivos kg	tipo de fibra	% en fibra (por V _h)
			A/C	I							
Dosificación 1 (Estudio UPV_ACI)	CONTROL	420	0,45	189	650	325					
	V1_075	420	0,45	189	650	325				v1	0,75
	V1_1	420	0,45	189	650	325				v1	1
	V1_15	420	0,45	189	650	325				v1	1,5
Dosificación 1_2 (Estudio UPV)	CONTROL	300	0,6	180	666,5	286,595	855		1,5		
	V1_075	300	0,6	180	12/20; 6/12	666,5	286,595	855	1,5	v1	0,75
	V1_1	300	0,6	180	666,5	286,595	855	1,5	1,5	v1	1
	V1_15	300	0,6	180	666,5	286,595	855	1,5	1,5	v1	1,5
Dosificación 2 (Shewalul) >25MPa	CONTROL	398,93	0,5	199,465	1140,77		762,00				
	V1_075	398,93	0,5	199,465	<4; media	1140,77	762,00			v1	0,75
	V1_1	398,93	0,5	199,465	20	1140,77	762,00			v1	1
	V1_15	398,93	0,5	199,465	1140,77		762,00			v1	1,5
Dosificación 3 (Girardi) 44 MPa	CONTROL	280	0,35	98	400	200	971				
	V1_075	280	0,35	98	12/25;	400	200	971		v1	0,75
	V1_1	280	0,35	98	8/12;4/0	400	200	971		v1	1
	V1_15	280	0,35	98	400	200	971			v1	1,5
Dosificación 4 (Enrique) H- 25	CONTROL	350	0,673	235,55	650	310,05	800				
	V1_075	300	0,6	180	7/14;	650	310,05	800		v1	0,75
	V1_1	300	0,6	180	4/7;4/0	650	310,05	800		v1	1
	V1_15	300	0,6	180	650	310,05	800			v1	1,5

Tabla 2 Diseño de experimentos de formulación de hormigón

Se trabajo con viruta procedente de torno y de fresadora, con los valores encontrados como adecuados y expuestos arriba.

En cuanto a los áridos, aparte de las dosificaciones utilizadas para las pruebas, se tuvo en cuenta la distribución de la granulometría de los mismos, dando a continuación solo una muestra (la del Árido Grueso Machacado Calizo Seco 8/16 mm Cantera) del tipo de información que recoge esta variable:



Como cemento de base se utilizó el cemento tipo CEM II/B-M (Q-L) 42,5 R de la marca Élite Cementos, ya que es un cemento tipo II que es de lo más convencional en el mercado para realizar hormigones de alta resistencia tanto armado como en masa en grandes volúmenes, hormigón proyectado, para elementos estructurales prefabricados de hormigón armado, hormigón con áridos potencialmente reactivos, así como para la producción de mortero.

No se usaron aditivos porque se encontró que la fluidez era adecuada

Las características del hormigón de control fueron:

HF-25/F / 20				
Volumen	%	1000	90	litros
Ingrediente:		Pesos		
CEMENTO		277,5	24,98	kg
AGUA efectiva (teórica)		180,0	16,20	kg
GRAVA 11/20		680,0	61,20	kg
GRAVA 4/11		420,0	37,80	kg
ARENA rodada 0/4		900,0	81,00	kg
Virutas de acero	1,25	98,1	8,83	kg

Respecto al hormigón con fibras se formularon 6 dosificaciones para las amasadas de hormigón con virutas provenientes de mecanizado de acero, con porcentajes del 0,75%, 1% y 1,25% respectivamente, tanto para las que provenían de fresadora como de torno, en las siguientes tablas se desglosa la dosificación empleada para formular 90 litros de cada amasada, lo cual era suficiente para obtener las probetas necesarias para los ensayos de flexotracción, conductividad térmica, compresión y tratamiento isotérmico. Estas características son las de interés por parte de los usuarios.

Proceso

Tras el pesado de los materiales, áridos en seco de diferente granulometría y agua, se colocan de mayor a menor tamaños los áridos, ya con la amasadora en marcha, y se agrega posteriormente el cemento. Al irse mezclando los materiales secos se agrega el agua. En el caso de las amasadas con fibras, estas se agregan mientras se continúa mezclando la amasada de hormigón hasta haber depositado el total de las virutas por la rejilla de la amasadora, mientras esta sigue en marcha.

Se busca una consistencia suficientemente fluida, con movimiento y que no segregue. En la primera amasada se analiza a fluidez con el equipo del cono de Abrams, para comprobar que se encuentra dentro de los valores deseados o si hay que cambiar alguna pequeña dosificación.



Figura 6 Fabricación de hormigón, ensayo de consistencia.

Antes del fraguado, se procura que no quede aire ocluido, con el fin de evitar fallas en los ensayos. Posteriormente, las muestras se pasan al día o a los dos días a una piscina con agua para el curado de las probetas.

Conclusiones:

Se han obtenido diversas formulaciones que cubren diferentes valores de dosificación de los distintos componentes del hormigón, con los que poder estudiar su comportamiento y la influencia de los diversos parámetros. El proceso realizado permite obtener muestras homogéneas, sin aire ocluido.

Evaluación del comportamiento del hormigón y análisis comparativo

Esta actividad consiste en la evaluación del comportamiento del hormigón reforzado con fibras de residuo de acero, estudiando su aplicación y comparando sus prestaciones con hormigones no reforzados o reforzados con otro tipo de fibras.

Resultados experimentales del comportamiento mecánico

Se analizaron las diferentes mezclas realizadas, con distintas dosificaciones, tanto para virutas provenientes de procesos de torno, como de fresadora, así como con un hormigón de control sin virutas de refuerzo.

Su identificación se da a continuación

Hormigón control:

HC

Hormigón de fibras a partir de viruta de torno:

HF-VT075 (dosificación de viruta 0,75% de volumen de hormigón)

HF-VT1 (dosificación de viruta 1% de volumen de hormigón)

HF-VT125 (dosificación de viruta 1,25% de volumen de hormigón)

Hormigón de fibras a partir de viruta de fresadora:

HF-VF075 (dosificación de viruta 0,75% de volumen de hormigón)

HF-VF1 (dosificación de viruta 1,00% de volumen de hormigón)

HF-VF125 (dosificación de viruta 1,25% de volumen de hormigón)

Los ensayos mecánicos se realizaron a 14 y 28 días de curado. 28 días de curado es el tiempo de fraguado normativo, el que asegura que se alcanzan las propiedades finales, pero el de 14 días es un tiempo en el que, prácticamente, se han debido de alcanzar un elevadísimo porcentaje de los valores finales de dichas propiedades, siendo un tiempo de fraguado ampliamente utilizado, en ocasiones, por acortar el tiempo de estudio. Independientemente de ello, el fraguado a los 14 días da información de la evolución del proceso, pues este control a 14 días permite tener un dato sobre la evolución de las características a edad temprana datos muy convenientes para las empresas fabricantes.

Resistencia a la compresión

Esta característica es la base para la clasificación de los hormigones.

El ensayo responde a la UNE-EN 12390-3 Ensayos hormigón endurecido. Resistencia a compresión.



Figura 7 Ensayo de compresión

Los resultados obtenidos fueron

TIPO DE HORMIGÓN	COMPRESIÓN 14 DIAS
	(kN) MEDIA
H	25,48
HF-VT075_P2	27,51
HF-VT1	28,98
HF-VT125	27,92
HF-VF075	19,93
HF-VF1	14,05
HF-VF125	15,14

Tabla 3 Resistencia media a compresión hormigón a 14 días

TIPO DE HORMIGÓN	COMPRESIÓN 28 DIAS
	(kN) MEDIA
HC	25,89
HF-VT075_P2	33,32
HF-VT1	32,73
HF-VT125	34,46
HF-VF075	23,46
HF-VF1	15,11
HF-VF125	18,13

Tabla 4 Resistencia media a compresión hormigón a 28 días.

Resistencia a la Flexión

El ensayo responde a la normativa UNE-EN 14651 Métodos de ensayo hormigón con fibras metálicas. Resistencia a tracción por flexión.

Como en los ensayos de compresión, se realizaron ensayos de flexotracción a los 14 y a los 28 días de curado. En las tablas que se muestran a continuación pueden observarse los valores de resistencia a flexotracción obtenidos a los 14 días y a los 28 días, en los cuales se observa que hay cambios significativos entre los 14 y los 28 días de cerca del 70% de diferencia entre unos y otros.



Figura 8 Ensayo a flexión

TIPO DE HORMIGÓN	FLEXIÓN 14 DIAS (kN) MEDIA
HC	3,76
HF-VT075_P2	4,74
HF-VT1	4,10
HF-VT125	
HF-VF075	3,85
HF-VF1	2,561
HF-VF125	

Tabla 5 Resistencia media a flexotracción hormigón a 14 días

TIPO DE HORMIGÓN	FLEXIÓN 28 DIAS (kN) MEDIA
HC	10,69
HF-VT075_P2	10,15
HF-VT1	10,10
HF-VT125	
HF-VF075	10,55
HF-VF1	7,464
HF-VF125	8,18

Tabla 6 . Resistencia media a flexotracción hormigón a 28 días

Propiedades térmicas

Degradación térmica

El objetivo con este estudio es determinar si el material experimenta una degradación no asumible en caso de uso como acumulador de calor.

Con este tratamiento lo que se pretende es evaluar la pérdida de masa que experimenta la muestra a una determinada temperatura durante 4 horas. Las temperaturas a las que se estudia son: 150° C., 250°C, 350°C y 450°C, las medidas de masa se realizan cada 30 min. Se emplea como punto de partida la experiencia de [1]. El objetivo de evaluar la pérdida de masa está también relacionado con la pérdida de masa de la propia fibra que deja canales por los que el agua se mueve y dificulta el spalling (degradación del hormigón por calor). Se evalúa el comportamiento del hormigón a elevadas temperaturas a fin de caracterizar su comportamiento como acumulador de energía. En este caso se evaluarán a 4 temperaturas diferentes: 150°C, 250°C, 350°C y 450°C.

Como resultado general se puede indicar que hay una disminución de peso después de la primera exposición de la mufla.

También, tras la primera exposición, se observa un ennegrecimiento de las partes metálicas de la muestra H25_VT75. Este defecto se mantiene constante tras las siguientes exposiciones a temperatura.

Las variaciones de las medidas dimensionales son debidas a las irregularidades que presenta la superficie medida, con lo que no se pueden dar resultados concluyentes.

Conductividad térmica

Durante la medición, se genera una cantidad precisa de calor en un hilo resistivo situado entre dos probetas de la muestra, en un entorno de temperatura constante, y se registra la temperatura medida por un termopar emplazado en su proximidad. El análisis de la evolución de la temperatura en este transitorio permite estimar la conductividad térmica.

En el hormigón de control H25P2 se ha obtenido un valor de conductividad térmica de 0,706 W/mK, mientras que en el hormigón con fibras se han obtenido valores del orden de 1,51 W/mK en el caso de la mezcla VF1 y valores alrededor del 1,32 y 1,43 W/mK en la mezcla VT075

Permeabilidad al vapor de agua

Aunque el hormigón es permeable per se, las muestras presentan una permeabilidad tal que no es de esperar que se dé un agrietamiento o spalling, como corresponde a un hormigón que no es de alta resistencia.

El spalling no sucede en hormigones con una permeabilidad superior a 5 10-11 cm. El spalling se produce como consecuencia de la presión que ejerce el vapor de agua, la permeabilidad permite reducir la presión, que es el resultado a su vez de la deshidratación de los productos del cemento y la temperatura. Si no se da el valor límite indicado arriba, es fácil que las muestras experimenten spalling. La baja permeabilidad que implica no superar el valor de 5 10-11 cm, aumenta cuando la muestra se somete a un proceso de calentamiento a 300°C.

Conclusiones

Compresión:

Las fibras de refuerzo de virutas de torno mejoran la resistencia a compresión del hormigón con respecto al no aditivado, no así las de virutas de fresado. En gran medida debido al aditivo utilizado para la mecanización con la fresadora y también por la resistencia de las virutas como se explica más adelante. La forma trenzada de las virutas y su mayor longitud frente a las virutas de fresadora también aporta mayor resistencia, a pesar de haber originado dificultades en la fase de amasado.

A mayor cantidad de fibras en las virutas de torno mayor resistencia final se alcanza. Lo contrario ocurre en las de fresadora, pues a mayor contenido de fibras aumenta la cantidad de lubricante y con ello el efecto perjudicial de la amasada.

La evolución entre 14 y 28 días de fraguado es del mismo orden entre ambos tipos de viruta, y el patrón dando valores entre 80-90 % la resistencia de las probetas ensayadas a los 14 días del hormigonado respecto al valor final alcanzado a los 28 días, obteniendo resistencias altas ya desde los 14 días lo que indica que la adición de virutas no retrasa el porcentaje de ganancia de resistencias con respecto a un hormigón normal.

Tracción:

Los resultados de las probetas con virutas de torno obtuvieron mejores resultados con respecto a las de fresadora para el 1,25% de virutas dentro de la dosificación, lo cual indica que las virutas de torno aportan más propiedades mecánicas a hormigones de estas características.

Analizando la resistencia máxima, los valores del hormigón con viruta de torno son superiores a los del hormigón control. Excluyendo el caso de la viruta de fresadora al 0,75 %, pues el tipo de viruta fue diferente, para el resto de porcentajes de viruta la resistencia desciende, al contrario de lo esperado y lo que sucede con una fibra comercial fabricada expofeso, probablemente debido al resto del aditivo del proceso mecanizado para disminuir la fricción. Se concluye que la adición de viruta representa una mejora, sin ser sustancial, en la resistencia a flexotracción en el caso de la viruta de torno y que supone una pérdida de las mismas, en el caso de la viruta de fresadora, siendo en parte responsable la grasa del proceso de mecanizado, por lo que el proceso de limpieza es esencial.

En cuanto a la ductilidad, la menor pendiente de la rama de descenso (observada en las representaciones gráficas no adjuntadas en este documento) puede estar relacionada con una mejora de la ductilidad, siendo ésta una de las causas principales por las que se añade virutas para reforzar el hormigón.

En cuanto a la taladrina (aditivo para el mecanizado) que finalmente se utilizó para 1,0 % y 1,25 % de mezcla de viruta, fue el "Rhenus FU 70 w", la cual es un fluido refrigerante de corte EP emulsionable en agua. Este componente se utiliza principalmente para operaciones de mecanizado de aleaciones de aluminio, acero, titanio, etc. En la ficha técnica del producto se menciona que tiene un excelente efecto lubricante, la cual asegura excelentes calidades superficiales y prolongada vida a la herramienta. Este material empeoró las propiedades de la viruta de cara a su aprovechamiento para la fabricación de hormigones.

En cambio, el primer tipo de taladrina es "Rhenus Fu 52 td", esta taladrina, utilizada para 0,75 % de mezcla de viruta, conforme a su ficha técnica menciona es un fluido mineral EP emulsionable, especial para el mecanizado de aluminio, especialmente de aleaciones que se manchen fácilmente, así como para acero y fundición. La aditivación EP permite también mecanizados exigentes tales como, mecanizado de aleaciones de titanio o el conformado sin arranque de viruta de piezas cincadas. La utilización de este material no perjudicó en las características del hormigón.

Conductividad térmica:

Aumenta la conductividad térmica en los hormigones reforzados con viruta respecto al de control, siendo este aumento mayor cuanto mayor es la dosificación. No se aprecia una tendencia de diferenciación entre virutas provenientes de torno y de fresadora.

Permeabilidad al vapor de agua:

Aunque el hormigón es permeable por se, las muestras presentan una permeabilidad tal que no es de esperar que se dé un agrietamiento o spalling, como corresponde a un hormigón que no es de alta resistencia (caso de los hormigones desarrollados y analizados).

Hay que tener en cuenta que el fenómeno del spalling afecta mucho más a los hormigones de alta resistencia que a los hormigones convencionales por el hecho de que el aumento de la resistencia se produce, en parte, por la utilización de relaciones agua/cemento muy pequeñas y la adición de humo de sílice, lo cual disminuye considerablemente la permeabilidad del hormigón. Dada la baja permeabilidad que presentan los hormigones de alta resistencia, el vapor de agua que se forma en el interior del elemento producto del aumento de la temperatura dentro del mismo no puede ser disipado, produciendo un incremento en la presión de poros en el interior del elemento, produciéndose el spalling en el momento en que dicha presión supera la resistencia a la tracción del hormigón.

Dadas las características detectadas, se estiman estos posibles usos:

- Piezas prefabricadas que no vayan a estar sometidas a grandes tensiones
- Pavimentos con tráfico medio
- Acumulador térmico
- Intercambiadores de calor

3 Transferencia y promoción de los resultados

Se ha realizado un análisis DAFO de las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del mercado potencial con los resultados obtenidos, en relación a la posibilidad de formular hormigones con viruta reciclada, tal como se indica en la siguiente tabla:

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> • Utilización de residuos provenientes de otras industrias como la del mecanizado de piezas metálicas e incluso residuos de la demolición y construcción. • Obtención de propiedades mecánicas equiparables con hormigones fabricados con fibras metálicas industriales. • Conocimiento de la normativa. • Disponibilidad del equipamiento necesario para formular y caracterizar los hormigones con virutas. • Accesibilidad al mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades logísticas para la obtención de virutas con las propiedades físicas y mecánicas necesarias para sustituir a las fibras metálicas existentes en el mercado. • No todas las virutas que se producen en la industria del mecanizado son aptas para utilizarlas en hormigones reforzados, ya que no aportan propiedades mecánicas suficientes al hormigón. • Coste económico extra para los usuarios. • Potencial heterogeneidad de las fibras recicladas, aunque provengan de un mismo proceso industrial
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Uso de virutas metálicas de distintas industrias del metal para uso como refuerzo en el hormigón. • Menor coste ambiental y económico en la gestión de restos de fibras de procesos metálicos • Mejora en el impacto ambiental (energía embebida y emisión de CO2) en la elaboración de hormigón reforzado • Mejora de la posición en el mercado y la imagen de nuestras empresas. • Conocimiento de las necesidades del mercado y de las formulaciones obtenidas para poderlas mejorar en el futuro. • Conocimiento de exigencias normativas y legislativas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de proveedores de virutas metálicas por cambios en los procesos de fabricación en la industria metálica debido a su modernización, en el cual se puede disminuir la producción de virutas.

Tabla 7: Tabla con análisis DAFO

A continuación, se describen los resultados obtenidos especificando su naturaleza, propiedad, potencial usuario y/o destinatario, medios de promoción y difusión.

Resultado esperado del proyecto	TRL inicial	TRL final	Propietario del resultado	Uso esperado del resultado	Potencial grupo usuario	Medidas previstas para la transferencia y promoción de resultados
Conocimiento características fibras según proceso de mecanizado y su influencia en el hormigón reforzado	TRL4	TRL5	AIDIMME	No comercial: mejora de las competencias y capacidades tecnológicas. Comercial: servicios de consultoría, transferencia de conocimiento, acuerdos de colaboración para nuevos desarrollos.	Empresas constructoras, empresas de elementos prefabricados, empresas de mecanizado del metal	Acuerdos de explotación y transferencia de resultados. Difusión a través de canales internos y externos: página web, redes sociales, jornadas, ferias, conferencias, publicaciones en medios de masa y en medios especializados.
Optimización del proceso de desengrasado	TRL4	TRL5 TRL6	AIDIMME	No comercial: mejora de las competencias y capacidades tecnológicas. Comercial: servicios de consultoría, transferencia de conocimiento, acuerdos de colaboración para nuevos desarrollos	Empresas de mecanizado del metal.	Acuerdos de explotación y transferencia de resultados. Difusión a través de canales internos y externos: página web, redes sociales, jornadas, ferias, conferencias, publicaciones en medios de masa y en medios especializados.
Conocimiento de la influencia de las diferentes dosificaciones y tipos de virutas en el resultado final del hormigón reforzado con viruta reciclada	TRL4	TRL5	AIDIMME	No comercial: mejora de las competencias y capacidades tecnológicas. Comercial: servicios de consultoría, transferencia de conocimiento, acuerdos de colaboración para nuevos desarrollos.	Empresas constructoras, empresas de elementos prefabricados, empresas de mecanizado del metal	Acuerdos de explotación y transferencia de resultados. Difusión a través de canales internos y externos: página web, redes sociales, jornadas, ferias, conferencias, publicaciones en medios de masa y en medios especializados.
Resultado de las propiedades mecánicas y físicas de los nuevos hormigones reforzados	TRL4	TRL5 TRL6	AIDIMME	No comercial: mejora de las competencias y capacidades tecnológicas. Comercial: servicios de consultoría, transferencia de conocimiento,	Empresas constructoras, empresas de elementos prefabricados	Acuerdos de explotación y transferencia de resultados. Difusión a través de canales internos y externos: página web, redes sociales, jornadas, ferias, conferencias,

				acuerdos de colaboración para nuevos desarrollos, realización de ensayos.		publicaciones en medios de masa y en medios especializados.
Posibles usos de dichos hormigones reforzados	TRL5	TRL5 TRL6	AIDIMME	No comercial: mejora de las competencias y capacidades tecnológicas. Comercial: servicios de consultoría, transferencia de conocimiento, acuerdos de colaboración para nuevos desarrollos	Empresas constructoras, empresas de elementos prefabricados	Acuerdos de explotación y transferencia de resultados. Difusión a través de canales internos y externos: página web, redes sociales, jornadas, ferias, conferencias, publicaciones en medios de masa y en medios especializados.

Tabla 8: Resultados obtenidos con el proyecto FORESPINT.

En el proyecto FERRINCH se ha cumplido con el plan de trabajo propuesto, habiéndose obtenido conocimiento e información sobre los resultados buscados: caracterización virutas, optimización del desengrasado, influencia de dosificaciones, comportamiento de los nuevos hormigones reforzados y estimación de posibles usos de los mismos.

Con el fin de aumentar las prestaciones del hormigón reforzado con virutas recicladas y, con ello los posibles usos de los mismos, es necesario seguir con esta línea de investigación que ayude a las empresas implicadas en la cadena de valor, desde las empresas mecanizadoras y transformadoras del metal, de forma que puedan encontrar una amplia gama de segmentos de mercado para sus residuos en vez de gestionarlos como tales, a las empresas del sector de la construcción, constructoras y de elementos prefabricados, para que así puedan aumentar la sostenibilidad de una elevado número de sus productos.

El proyecto FERRINCH ha proporcionado el conocimiento y la base para los objetivos arriba indicados.

AIDIMME seguirá con el tiempo la implementación de los resultados y la estimación del impacto del proyecto en las empresas, estableciendo contactos y difundiendo en la medida de lo posible, los nuevos productos y desarrollos.

4 Evaluación del impacto del proyecto

Se ha realizado una evaluación del impacto del proyecto, para estimar la contribución significativa del mismo al logro de distintos fines, los cuales pueden ser de naturaleza social, empresarial y medioambiental.

Para ello, se han recogido una serie de indicadores relativos a cada uno de los aspectos señalados anteriormente:

Impacto en el Medioambiente	Impacto en las Empresas de la Construcción	Impacto en AIDIMME	Impacto en las Personas y la Sociedad
<ul style="list-style-type: none"> • Contribuirá a disminuir las emisiones de CO₂, debido a la eliminación de la fabricación ex-profeso de virutas • Disminuirá la energía embebida del hormigón reforzado al desaparecer uno de los procesos de su elaboración. • Disminuirá los residuos de la industria del metal transformado, al utilizar parte de sus restos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevas alianzas estratégicas y sinergias entre sectores. • Incremento de la rentabilidad • Mejora de la visión del sector en su preocupación por el medio ambiente • Generación de un factor o segmento de mercado que pueda contribuir al mejor posicionamiento de las empresas dedicadas a la transformación del metal 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevos productos y procesos. • Mayor Know-How. • Transferencia de tecnologías. • Creación de nuevas redes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorará la percepción de la sociedad respecto al sector de la construcción • Necesidad de mayor mano de obra en empresas de transformados del metal

Tabla 9 Indicadores de impactos

Como un impacto a medio plazo, hay que señalar que el proyecto permite abrir futuras investigaciones en relación a la de éste, como es la realización de acumuladores e intercambiadores de calor con este tipo de hormigones, reforzar hormigón con fibras de origen vegetal o mejorar la durabilidad del hormigón con procesos de origen biótico. Para ello:

- Se debe seguir profundizando en la influencia de las fibras sobre el comportamiento del hormigón
- Se debe estudiar cómo afecta la composición de los aditivos empleados en la mecanización de las virutas.
- Se debe estudiar cómo mejorar los procesos de mecanizado para que los residuos generados sean de mayor calidad
- Se debe estudiar la durabilidad del hormigón frente a diversos agentes y formas de realizar un adecuado mantenimiento

Con la colaboración de:



AIDIMME

INSTITUTO TECNOLÓGICO

Domicilio fiscal —

C/ Benjamín Franklin 13. (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 366 070 | Fax 961 366 185

Domicilio social —

Leonardo Da Vinci, 38 (Parque Tecnológico)
46980 Paterna. Valencia (España)
Tlf. 961 318 559 - Fax 960 915 446

aidimme@aidimme.es

www.aidimme.es