



ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES PARA LA PREDICCIÓN
DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA DE CONCRETO DE
ALTO DESEMPEÑO SOMETIDO A ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA.

JULIÁN SANTIAGO ROJAS GRILLO

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Pregrado en Ingeniería Civil
Bogotá, Colombia
2020

IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES PARA LA PREDICCIÓN
DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE ENERGÍA DE CONCRETO DE
ALTO DESEMPEÑO SOMETIDO A ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA.

JULIAN SANTIAGO ROJAS GRILLO

Trabajo Dirigido presentado como requisito parcial para la obtención del énfasis
en el área de estructuras.

Director (a):

Ing. Joaquín Abellán García

Codirector (a):

Ing. Nancy Torres Castellanos

Línea de investigación:

Ingeniería de Materiales y Estructuras

Grupo de Investigación:

Semillero de Estructuras

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Facultad en Ingeniería Civil

Bogotá, Colombia

2020

RESUMEN

El siguiente trabajo dirigido investiga la eficiencia de la implementación de redes neuronales artificiales (ANN) para la predicción de la capacidad de absorción de energía (g) del concreto de ultra-altas-prestaciones reforzado con fibras (UHPFRC) en función de su dosificación, sometido a tracción directa. Para el desarrollo del proyecto, se utilizaron 500 dosificaciones de concretos UHPFRC compiladas de la literatura científica con la finalidad de realizar el ajuste del modelo matemático. Para mejorar el modelo, se dividieron los datos recolectados en datos de entrenamiento y testeo. La red se ajustó usando validación *k-fold* con los datos de entrenamiento y se evaluó con los datos de testeo. Para el modelo se consideraron las dosificaciones de UHPFRC reforzados con una fibra o con mezcla híbrida de dos fibras, de entre una amplia gama de fibras, tales como fibras de acero rectas, fibras de acero acabadas en gancho, fibras de acero retorcidas, fibras de PVA, fibras de polietileno y fibras de polipropileno. Adicionalmente se realizó una validación experimental de la red. Los resultados demostraron la eficiencia del modelo de acuerdo con los parámetros estadísticos utilizados, así como su precisión y versatilidad para tratar datos nuevos.

Palabras clave: UHPFRC; ensayo de tracción directa; ANN; modelación; capacidad de absorción de energía.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	12
2.	OBJETIVOS	14
2.1.	OBJETIVO PRINCIPAL	14
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3.	ESTADO DEL ARTE	15
3.1.	INTRODUCCIÓN	15
3.2.	CONCRETO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES REFORZADOS CON FIBRAS	15
3.3.	PROPIEDADES DEL UHPFRC	15
3.4.	COMPOSICIÓN DEL UHPFRC	16
3.5.	DENSIDAD DE EMPAQUETAMIENTO	17
3.6.	REDES NEURONALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL	18
3.6.1.	ARQUITECTURA DE LAS REDES NEURONALES	19
3.6.2.	FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN	21
3.6.3.	MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA RED	22
4.	METODOLOGÍA	24
5.	IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES	26
5.1.	INVESTIGACION EN LA LITERATURA CIENTIFICA, PARA LA RECOLECCION DE DATOS DE DOSIFICACIONES DE LOS UHPFRC	26
5.2.	INTRODUCCION	26
5.3.	PROCESAMIENTO DE DATOS	26
5.4.	PREPARACIÓN DE LA BASE DE DATOS	26
5.4.1.	DIVISIÓN DE DATOS: DATOS DE ENTRENAMIENTO Y DATOS DE TESTEO	28
5.5.	ARQUITECTURA DE LA RED NEURONAL	28
6.	INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	31
6.1.	MATERIALES	31
6.2.	ELABORACION Y DISEÑO DE LA MEZCLA	32
6.3.	CONFIGURACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN DIRECTA	34
6.4.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	35
7.	EVALUACIÓN DEL MODELO	39
8.	CONCLUSIONES	41
9.	RECOMENDACIONES	41
10.	BIBLIOGRAFÍA	42
11.	ANEXOS	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama esfuerzo-alargamiento unitario de un UHPFRC con comportamiento de endurecimiento por deformación (Abellan 2020).....	13
Figura 2 Tipo de fibras normalmente utilizadas para UHPFRC: a) metálica acabada en gancho; b) metálica lisa; c) metálica retorcida; d) monofilamento de polivinilo de alcohol; e) fibra de polipropileno; f) fibra de polietileno.....	17
Figura 3 Esquema de empaquetamiento de partículas en una mezcla de UHPC (Vargas, 2019).....	18
Figura 4 Forma de una red neuronal (Wikipedia, 2020).....	19
Figura 5 Arquitectura de una red perceptrón (chaos, 2019) (Van Veen, 2016).....	20
Figura 6 Arquitectura de una red Feed Forward (chaos, 2019) (Van Veen, 2016).....	20
Figura 7 Componentes de un perceptrón (Wikipedia, 2020).....	21
Figura 8 Grafica de la función sigmoide (Wikipedia, 2020).....	22
Figura 9 Validación cruzada con 3 particiones (Kuhn M, 2013).....	23
Figura 10 Esquema de la validación cruzada tipo k-fold Fuente: Joaquín Abellan García.....	28
Figura 11 Promedio de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) versus el número de neuronas en la capa oculta en los subconjuntos de datos de entrenamiento (E) y validación (V).....	29
Figura 12 Modelo de redes neuronales desarrollado con neuralnet para predecir la capacidad de absorción de energía (g) de los UHPFRC.....	29
Figura 13 Valor de RMSE versus número de veces que se pasan los datos de entrenamiento por la red para los subconjuntos de datos de entrenamiento (E) y validación (V).....	30
Figura 14 Cemento tipo portland (Wikipedia, 2020).....	31
Figura 15 Humo de sílice (Wikipedia, 2020).....	31
Figura 16 Arena de sílice (Wikipedia, 2020).....	32
Figura 17 Fibras consideradas en la campaña experimental: a) metálica acabada en ganchos; b) metálica lisa; c) fibra de polietileno Fuente: Joaquín Abellan García.....	32
Figura 18 Fases de la campaña experimental.....	33
Figura 19 Especímenes de dogbone bajo las recomendaciones de la JSCE-08.....	34
Figura 20 Configuración del ensayo a tracción directa según lo establecido en la JSCE-08.....	35
Figura 21 Grafica esfuerzo vs deformación.....	36
Figura 22 Grafica esfuerzo vs deformación.....	36
Figura 23 Grafica esfuerzo vs deformación.....	36
Figura 24 Grafica esfuerzo vs deformación.....	37
Figura 25 Grafica esfuerzo vs deformación.....	37
Figura 26 Grafica esfuerzo vs deformación.....	37
Figura 27 Grafica Esfuerzo vs Deformación unificada de la campaña experimental.....	38
Figura 28 modo de falla en el comportamiento a tracción directa de los dogsbone.....	38
Figura 29 Gráficos de valores de capacidad de absorción de energía g de los datos de entrenamiento y de testeo versus predichos por el modelo en los subconjuntos de datos de entrenamiento y testeo.....	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Composición típica de los UHPFRC (Duy-Liem Nguyena M. N.-T.-J., 2019).....	16
Tabla 2 Variables independientes junto con su codificación.....	27
Tabla 3 Propiedades de las fibras usadas en la campaña experimental	32
Tabla 4 Dosificación y resistencia a la compresión de UHPC (sin fibras)	32
Tabla 5 Dosificaciones consideradas en la campaña experimental	33
Tabla 6 Datos obtenidos del ensayo a tracción directa para cada uno de los ejemplares	35
Tabla 7 Evaluación de los modelos ANN sobre los conjuntos de entrenamiento y testeo	39
Tabla 8 Valores g reales y predichos.....	40
Tabla 9 Evaluación de los modelos ANN sobre los datos experimentales	40
Tabla 10 Dosificación del cemento	49
Tabla 11 Dosificación del humo de sílice.....	53
Tabla 12 Dosificación de la ceniza volante	59
Tabla 13 Dosificación del agua	64
Tabla 14 Dosificación del superplastificante.....	70
Tabla 15 Dosificación arena tipo 1.....	75
Tabla 16 Dosificación de la arena tipo 2	81
Tabla 17 Dosificación del agregado grueso.....	86
Tabla 18 Dosificación de la fibra 1	92
Tabla 19 Dosificación de la fibra 2	98
Tabla 20 Comportamiento a tracción de las matrices.....	103
Tabla 21 Literatura científica consultada	105

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
V_s	Volumen de Partículas	m ³
V_t	Volumen total	m ³
y	Contenido Volumétrico	1
a	Coefficiente del Efecto de Soltura entre Partículas	1
b	Coefficiente del Efecto Pared entre Partículas	1
d	Tamaño Medio de las Partículas de un Componente	µm
e	Error Residual	
x	Variable Independiente / Predictora	
y	Variable Dependiente / de Respuesta	
w	Peso que relaciona dos neuronas de la Red Neuronal	
b	Parcialidad (Bias)	
v	Resultado de la Función de Suma	
C	Constante de Control en la Función Logística	
\tilde{x}	Variable Escalada	

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI
γ	Densidad de Empaquetamiento	1
β	Densidad de Empaquetamiento Residual	1

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>UHPC</i>	Concreto de Ultra Alto Desempeño
<i>UHPFRC</i>	Concreto de Ultra Alto Desempeño Reforzado con Fibras
<i>VHPC</i>	Concreto de Muy Alto Desempeño
<i>FRC</i>	Concreto Reforzado con Fibras
<i>HSC</i>	Concreto de Alta Resistencia
<i>VHPFRC</i>	Concreto de Muy Alto Desempeño Reforzado con Fibras
<i>SCFRC</i>	Concreto Auto Compactante Reforzado con Fibras
<i>SCC</i>	Concreto Auto Compactante
<i>UHSC</i>	Concreto de Ultra Alta Resistencia
<i>IA</i>	Inteligencia Artificial
<i>ANN</i>	Redes Neuronales Artificiales
<i>RLS</i>	Regresión Lineal Simple
<i>id</i>	Identificador
<i>DEN</i>	Denominación
<i>TP</i>	Tamaño de Partícula
<i>CV</i>	Contenido Volumétrico
<i>CEM, C</i>	Cemento
<i>SF</i>	Humo de Sílice
<i>QP</i>	Polvo de Cuarzo
<i>QF</i>	Harina de Cuarzo
<i>AG</i>	Agregado

<i>FA</i>	Ceniza Volante
<i>GBSF, GSF</i>	Escoria de Alto Horno
<i>XF</i>	Factor Fibra
<i>TMA</i>	Tamaño Máximo de Agregado
<i>WC</i>	Relación Agua - Cemento
<i>WB</i>	Relación Agua - Material Cementante
<i>WP</i>	Relación Agua - Polvos
<i>EV</i>	Densidad de Empaquetamiento Virtual
<i>MSE</i>	Error Cuadrático Medio
<i>RMSE</i>	Raíz del Error Cuadrático Medio

INTRODUCCIÓN

Los concretos de ultra altas prestaciones reforzados con fibras (UHPFRC, por sus siglas en inglés) se caracterizan por tener propiedades de resistencia mecánica y durabilidad muy superior en comparación con los concretos convencionales debido principalmente a la densidad de empaquetamiento de partículas, a la selección exigente de componentes y a los precisos procesos de amasado. Una mezcla típica de UHPFRC está compuesta por cemento tipo Portland, humo de sílice, polvo de cuarzo, arena fina silícea, superplastificante reductor de agua de alto rango (HRWR), y fibras metálicas (Wille, El-Tawil, & Naaman, 2014).

Se han encontrado múltiples estudios con la finalidad de reducir tanto el coste final de la mezcla como su huella de carbono. Por ejemplo, en los últimos tiempos se han realizado grandes esfuerzos en analizar la sustitución parcial del cemento y el humo de sílice utilizando materiales cementantes suplementarios tales como ceniza volante, escoria de alto horno, ceniza de cáscara de arroz, polvo de vidrio y humo de sílice (Antoine & Kay Wille).

Debido a que posee propiedades mecánicas y durabilidad muy superior a otros concretos convencionales, se pueden encontrar numerosas aplicaciones de los UHPFRC en la industria de la construcción. Entre ellas se pueden citar la construcción de puentes peatonales, la rehabilitación de estructuras dañadas, el sistema acelerado de construcción de puentes (ABC por sus siglas en inglés) entre otras, (Moncef, Safeer, & Ahmed, 2015), (Bassam, B H, M A, & Yen, 2013),

El documento ACI239R-18 define al UHPFRC como un concreto con resistencias a la compresión superiores a los 150 MPa y con unas condiciones específicas en cuanto a la ductilidad. Se desprende, por lo tanto, que la finalidad de este concreto no es solo alcanzar una elevada resistencia a la compresión sino desarrollar un comportamiento dúctil. La exigencia de ductilidad conlleva la capacidad de soportar esfuerzos a tracción, pero, sobre todo, que está se mantenga más allá de la fisuración de la matriz, permitiendo a estos tipos de concreto la capacidad de absorción de energía (Serna Ros, López Martínez, & Camacho Torregosa, 2012).

Por otro lado, la combinación de fibras de refuerzo es un método prometedor para mejorar la capacidad de absorción de energía de los UHPFRC, aprovechando la sinergia, que, por ejemplo, consiguen las macro y micro fibras desempeñando un papel en dos niveles diferentes. Las micro-fibras controlan las primeras micro-fisuras, mientras que las macro-fibras garantizan la ductilidad para deformaciones altas (Wu, Shi, He, & Wu, 2016).

El comportamiento a la tracción de los UHPFRC con endurecimiento por deformación se desarrolla en 3 fases diferentes. En la Zona 1 el nivel de tensión se define por σ_{cc} y su alargamiento unitario asociado ε_{cc} . Tras ésta se encuentra la zona 2, o el dominio del endurecimiento por deformación, basada en la deformación plástica con activación de las fibras y la aparición de múltiples fisuras. En esta fase se desarrolla la capacidad de absorción de energía (g) por unidad de volumen, que es el área bajo la curva de la tensión-deformación hasta σ_{pc} y su alargamiento unitario asociado ε_{pc} . Finalmente, en la zona 3, o el dominio del comportamiento de ablandamiento por deformación, se produce el arrancamiento de la fibra. Lo anterior mencionado se puede observar de mejor manera en la **Figura 1** (Yoo & Kim, 2019).

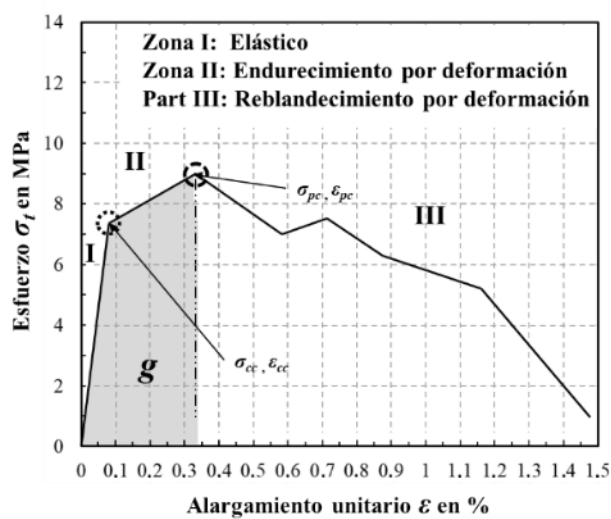


Figura 1 Diagrama esfuerzo-alargamiento unitario de un UHPFRC con comportamiento de endurecimiento por deformación (Abellan 2020)

Por lo tanto, para lograr el comportamiento deseado, se planteó un programa analítico mediante el desarrollo de las arquitecturas de redes neuronales que con el soporte de una base de datos con más de 500 dosificaciones de UHPFRC recolectadas en la literatura científica, permita entrenar redes para predecir la capacidad de absorción de energía (g) en función de las variables de la base de datos.

OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollar, mediante arquitecturas de redes neuronales, sistemas que permitan predecir la capacidad de absorción de energía (g) de los UHPFRC sometidos a tracción directa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación en la literatura científica para la recolección de dosificaciones de UHPFRC.
- Seleccionar el número de neuronas en la capa oculta que produce el menor error (raíz del error cuadrático medio) entre los valores objetivo y las estimaciones del modelo durante la validación cruzada tipo k-fold.
- Llevar a cabo una campaña experimental para comprobar la eficacia de la red neuronal mediante la comparación de los valores g obtenidos.

ESTADO DEL ARTE

INTRODUCCIÓN

Este capítulo se dedicará a resumir avances recientes encontrados en la literatura relacionada con los concretos de ultra altas prestaciones reforzados con fibras (UHPFRC, por sus siglas en inglés). Se describirán las características, componentes y aplicaciones del UHPFRC. También se definen y comparan los modelos de regresión y los basados en arquitecturas de redes neuronales junto con los procesos de entrenamiento, optimización y validación más usados, y se discuten algunas técnicas adicionales de Inteligencia Artificial implementadas en la modelación predictiva.

CONCRETO DE ULTRA ALTAS PRESTACIONES REFORZADOS CON FIBRAS

El concreto de ultra altas prestaciones reforzados con fibras presenta notables propiedades mecánicas y de durabilidad (Amanjean, 2015). Es un material “relativamente” nuevo con ultra alta resistencia. Algunas de las características principales de UHPFRC son, alta resistencia a la compresión (normalmente en el rango de 150 a 200 MPa), alta resistencia a la tracción directa que puede alcanzar valores de más de 15 MPa, dependiendo de los componentes y la combinación de fibras que este posea, además de su comportamiento dúctil (Lampropoulos, 2016). El UHPFRC es un material que requiere componentes exclusivos y procesos de fabricación muy controlados. Aunque el número de aplicaciones va en aumento, su uso todavía está limitado a obras singulares principalmente en Francia, Alemania, Japón y EEUU (Serna Ros, & Camacho Torregrosa, 2012). Debido al auge que se está desarrollando en países suramericanos en torno a este material, se desea profundizar en las características de éste, principalmente en lo relacionado con su capacidad de absorción de energía (g).

PROPIEDADES DEL UHPFRC

El documento ACI239R-18 define al UHPFRC como un concreto con resistencias a la compresión superiores a los 150 MPa y con unas condiciones específicas en cuanto a la ductilidad, capaces de otorgarle capacidades de deformación de hasta el 1.5% junto con resistencia a la tracción de más de 8 MPa (Radhika & Ravi, 2016).

La dosificación de los UHPFRC bajo criterios de su comportamiento a tracción directa y capacidad de absorción de energía (g) requiere de la combinación de fibras, teniendo en cuenta su tipología y cantidad utilizada- Por lo tanto, es necesaria la experimentación para poder analizar los efectos clave de cada una de las combinaciones de fibras usadas con el resto de los materiales utilizados con la finalidad de mejorar el comportamiento a tracción. En la fase experimental de este trabajo se utilizarán matrices ya establecidas, compuestas por cemento tipo Portland, humo de sílice, polvo de cuarzo, arena fina silícea y superplastificante reductor de agua de alto rango (HRWR).

Los UHPFRC presentan resistencias mecánicas muy por encima a los concretos convencionales, y aunque poseen numerosas aplicaciones en el campo de la construcción de la ingeniería civil, no es un material muy usado en países en vías de desarrollo. Esto se debe a que no existe normativa local sumado al elevado costo de producción de este material.

Aun así, en la literatura científica, se pudieron encontrar numerosos artículos que tratan el desempeño de los UHPFRC en pruebas de compresión y tracción directa, así como su capacidad de absorción de energía (g), los cuales sirvieron como base para la recolección de dosificaciones.

COMPOSICIÓN DEL UHPFRC

En esta sección se describen los componentes que suelen incorporarse en la dosificación de concretos de ultra altas prestaciones reforzados con fibras. En la **Tabla 1** se muestran mezclas típicas de la matriz cementante de concretos de ultra altas prestaciones junto con sus respectivas dosificaciones.

Matrix	Cement (Type III)	Silica fume	Silica sand	Fly ash	Superplasticizer	Carbon black	GGBS	Water
M1	0.80	0.07	1.00	0.20	0.04	–	–	0.26
M2	0.792	0.07	1.00	0.20	0.04	0.008	–	0.26
M3	0.640	0.07	1.00	0.20	0.04	–	0.16	0.26

Tabla 1 Composición típica de los UHPFRC (Duy-Liem Nguyena M. N.-T.-J., 2019)

La matriz cementante de los UHPFRC está compuesta normalmente por cemento Portland, humo de sílice, polvo de cuarzo, arena fina silícea, superplastificante reductor de agua de alto rango (HRWR), y fibras metálicas (Wille, El-Tawil, & Naaman, 2014). En algunos casos se añade ceniza volante para mejorar la trabajabilidad de la matriz. Las cantidades de ceniza usadas dependen de las resistencias que se quieran lograr. Por otro lado, los porcentajes de fibras y su tipología incluidos en la matriz elevan el costo de producción de los UHPFRC. En la literatura científica se ha encontrado numerosas investigaciones en cuanto a las cantidades óptimas no sólo de fibras sino de las dosificaciones de cada componente utilizado.

En la **Figura 2** pueden observarse las fibras que normalmente son usadas como refuerzo en los UHPFRC. Las fibras metálicas acabadas en gancho y las fibras metálicas retorcidas proporcionan la mejor adherencia con la matriz cementante, proporcionando mayor resistencia al deslizamiento. Esto se debe al agarre que se genera por la rugosidad y el extremo de la fibra con la matriz cementante (Doo, Han, Borges, Fediuk, & Kim, 2020).

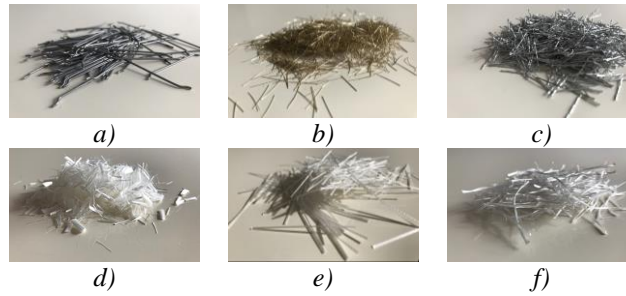


Figura 2 Tipo de fibras normalmente utilizadas para UHPFRC: a) metálica acabada en gancho; b) metálica lisa; c) metálica retorcida; d) monofilamento de polivinilo de alcohol; e) fibra de polipropileno; f) fibra de polietileno

Las numerosas investigaciones han demostrado que el volumen de fibras óptimo en la matriz varía entre 2% y 2.5%. Además de esto, se ha detallado el uso combinado de 2 tipologías de fibras (Duy-Liem Nguyen a, 2019) en el que las micro-fibras serán capaces de controlar las primeras micro-fisuras y las macro-fibras que garantizarían la ductilidad para deformaciones altas (Abellán García, Fernández Gómez, & Torres Castellanos, 2020).

DENSIDAD DE EMPAQUETAMIENTO

La densidad de empaquetamiento se define como el volumen de las partículas sólidas que ocupan un volumen unitario en una mezcla granular; se puede expresar mediante la ecuación:

$$\gamma = \frac{V_s}{V_t} \quad [1]$$

donde V_s es el volumen ocupado por las partículas, V_t es el volumen total y γ es la capacidad de empaquetamiento. Por definición, la densidad de empaquetamiento toma valores entre 0 y 1, su magnitud depende del tamaño de las partículas, su forma del porcentaje de volumen en la mezcla, y de la forma de vibración y amasado del concreto; las densidades de empaquetamiento de mezclas de concreto están por el orden de 0.60 y 0.64; Se define la densidad de empaquetamiento virtual como la máxima densidad de empaquetamiento posible que puede tener una configuración de partícula de tamaño y cantidades determinada (Larrard, 1999).

El comportamiento del concreto se ve influenciado en gran medida por el tipo y grado de empaquetamiento de sus componentes, por lo tanto, se requiere un conocimiento del concepto y su influencia en el rendimiento de concreto (Vargas, 2019).

En la **Figura 3** se presenta un esquema de pasta densamente empacada, en la que se observa los vacíos que las partículas de cemento dejan entre sí, que luego son rellenados por partículas de menos tamaño.

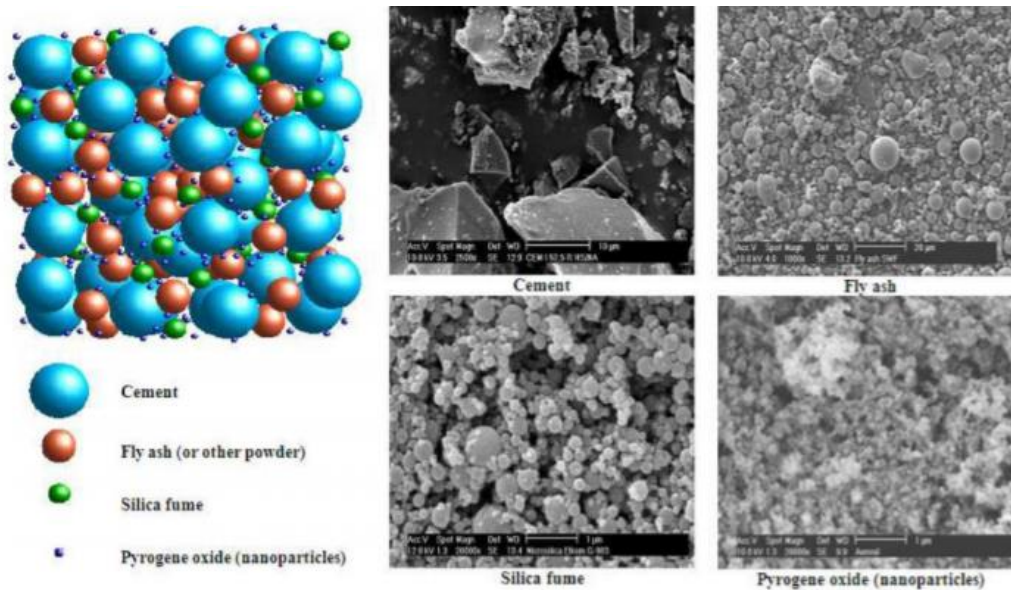


Figura 3 Esquema de empaquetamiento de partículas en una mezcla de UHPC (Vargas, 2019)

En la literatura científica se han encontrado diversos artículos sobre el empaquetamiento de partículas, donde se han verificado datos importantes que se deben conocer, para entender mejor el concepto:

- El empaquetamiento de las partículas de concreto tiene una influencia considerable en sus propiedades (Johansen, 1991).
- En el contexto de la familia UHPC múltiples autores han buscado optimizar las mezclas con el fin de obtener la máxima densidad de empaquetamiento y, con ello, mejorar la durabilidad y resistencia a compresión (Fennis, 2014).
- Se ha usado la densidad de empaquetamiento para calcular las dosis óptimas de componentes que actúan como rellenos de la matriz granular de la mezcla (al, Ghafari , 2012)

REDES NEURONALES E INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial (IA) es la inteligencia llevada a cabo por máquinas. Normalmente un sistema de IA es capaz de analizar datos en grandes cantidades, identificar patrones y tendencias y, por lo tanto, formular predicciones de forma automática, con rapidez y precisión (Salesforce, 2020). Esto último ha convertido a las técnicas de IA en potentes procesadores de información, con un amplio campo de aplicaciones en ingeniería. Uno de estos campos y en el cual se centra este trabajo es la aplicación de IA en la predicción de propiedades mecánicas de concretos a partir de una de una base de datos que previamente fue creada con la recolección de dosificaciones provenientes de la literatura científica.

A partir del concepto de inteligencia artificial se creó el concepto de redes neuronales artificiales, también conocidas como sistemas conexionistas, las cuales se basan en un modelo computacional. Este modelo consiste en un conjunto de unidades llamadas neuronas artificiales, conectadas entre sí para transmitirse señales. La información de entrada atraviesa la red neuronal, donde se somete a diversas operaciones, produciendo unos valores de salida.

Cada neurona está conectada con otras a través de unos enlaces. En estos enlaces el valor de salida de la neurona anterior es multiplicado, por los llamados “pesos”, variables que conforman la totalidad de la red neuronal (Van Veen, 2016).

Estos sistemas aprenden y se forman a sí mismos, en lugar de ser programados de forma explícita. Para realizar este aprendizaje automático, se lleva a cabo lo que se conoce como “entrenamiento de la red”. Los valores de los pesos de las neuronas se van actualizando cuando se llevan a cabo estos procesos, buscando reducir el valor de la función de pérdida (diferencia entre los valores reales y los predichos por el modelo). Este proceso es realizado mediante la propagación hacia atrás.

En la **Figura 4** se puede detallar cómo funciona el sistema de una red neuronal según lo explicado anteriormente. Se observa un grupo de neuronas interconectado, donde existe una entrada, unas capas ocultas donde ocurren operaciones específicas, y una salida que son los datos finales para los que se entrenó la red.

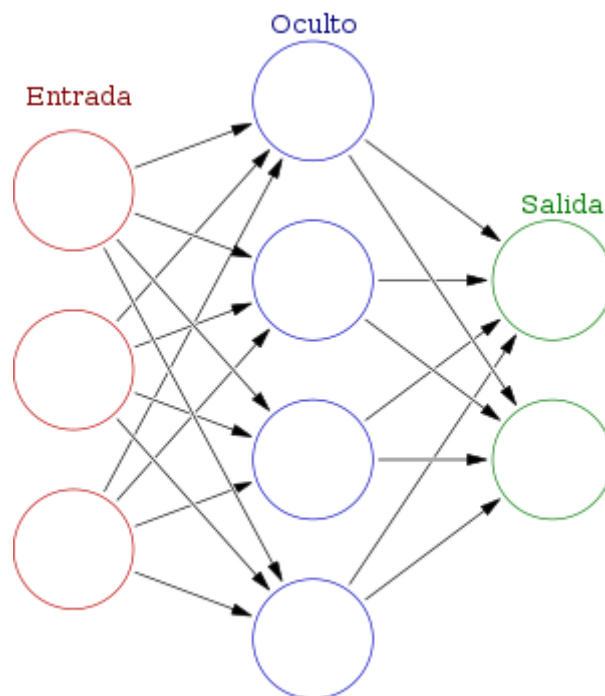


Figura 4 Forma de una red neuronal (Wikipedia, 2020)

ARQUITECTURA DE LAS REDES NEURONALES

El concepto de arquitectura referida a redes neuronales hace mención no solo al número de capas ocultas o al número de neuronas en cada una de ellas, sino a la forma en la que estas se encuentran conectadas, al tipo de enlace entre neuronas o capas, al tipo e incluso la forma en la que se entrena la red neuronal. La arquitectura más simple de las Redes Neuronales Artificiales (ANN, por sus siglas en inglés) llamada perceptrón, consta de dos celdas de entrada y una de salida. En ella los datos de entrada llegan a las celdas de entrada, pasan a la celda de salida, después de haberseles aplicado la media ponderada y

la función de activación de la celda, y se devuelve el valor resultante. Para un mayor ejemplo en la **Figura 5** se puede detallar esta arquitectura.

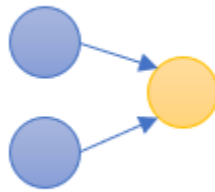


Figura 5 Arquitectura de una red perceptrón (chaos, 2019) (Van Veen, 2016)

La arquitectura más utilizada, y en la que se basó este trabajo, hace referencia a la Feed Forward. Este tipo de redes son una extensión del perceptrón. Pueden tener varias capas de neuronas, que se encuentran conectadas a todas las celdas de la siguiente capa, con al menos una capa oculta. El entrenamiento de la red suele realizarse mediante propagación hacia atrás. En la **Figura 6** se puede detallar la arquitectura de una red Feed Forward.

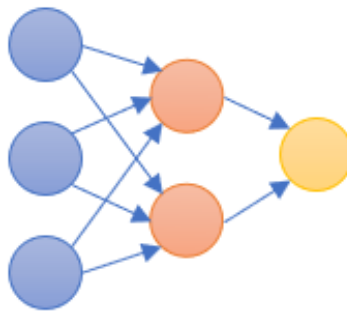


Figura 6 Arquitectura de una red Feed Forward (chaos, 2019) (Van Veen, 2016)

Debido a que este trabajo se basa en la implementación de redes neuronales bajo la arquitectura Feed Forward y esta a su vez consiste en perceptrones colocados de forma multicapa, se procederá a dar una explicación más detallada de los componentes de un perceptrón y de las correspondientes capas. Para eso se mostrará en la **Figura 7** los respectivos componentes.

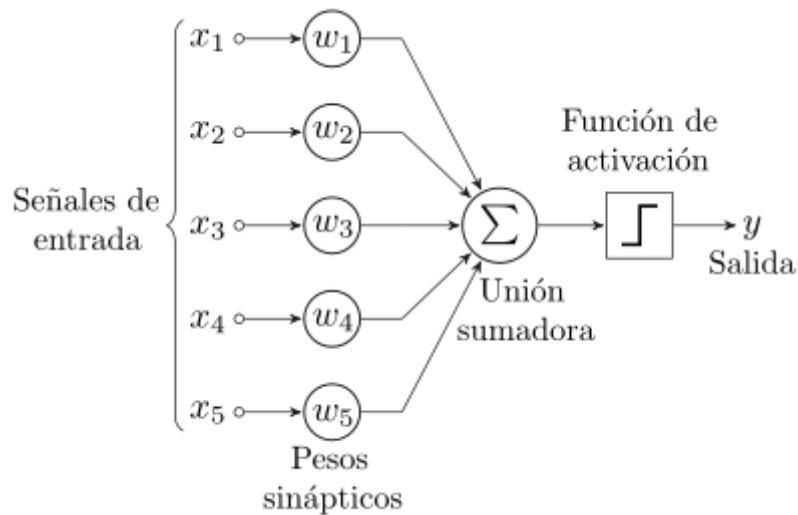


Figura 7 Componentes de un perceptrón (Wikipedia, 2020)

El conjunto $x_i = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ contiene los valores de entrada que van a ser aplicados a cada neurona. El conjunto $w_i = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ corresponden a los pesos que cada neurona le ha asignado a la neurona de la capa que precede. La función de suma calcula la entrada neta que recibe la neurona mediante la siguiente expresión:

$$v_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} * x_i + b \quad [2]$$

Donde v_j es la suma que recibe la j -ésima neurona de la capa precedente, w_{ij} es el peso asignado por la j -ésima neurona al vínculo formado con la i -ésima neurona, x_i es el valor de entrada que la i -ésima neurona transmite (si la capa precedente es la capa de entrada de la red, x_i es una observación de la i -ésima variable explanatoria del problema) , y b es un valor ajustado (Liu, 2002)

FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN

La función de activación de un nodo define la salida de un nodo dada una entrada o un conjunto de entradas., En este caso la función de activación es una expresión que procesa el resultado neto obtenido de la función suma, tal como se puede observar en la **Figura 7**, y determina el valor de salida que la j -ésima neurona entregará a las de la capa siguiente. La función de activación más usada es la sigmoide binaria; otras usadas comúnmente son la función de paso, lineal, rampa y tangente hiperbólica.

La función sigmoide, toma el valor calculado por la función de suma, el cual puede ser cualquier valor real, y lo condensa en un único valor correspondiente al rango entre 0 y 1 (Beale, 2012). La función sigmoide viene definida por la siguiente formula:

$$y_j = \frac{1}{1+e^{-(Cv_j)}} \quad [3]$$

Donde C es una constante usada para controlar la pendiente de la región semi lineal. La **Figura 8** muestra la gráfica de la función logística con $c = 1$

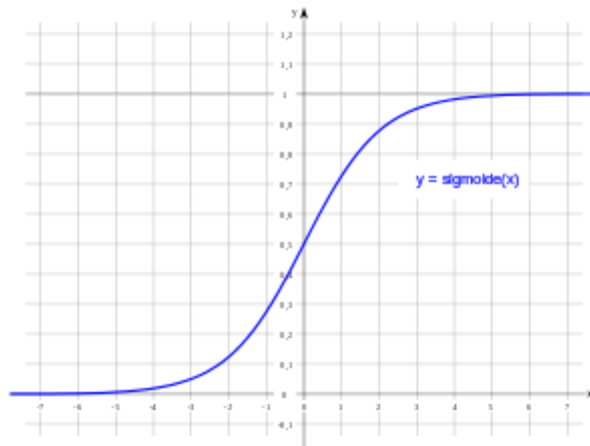


Figura 8 Grafica de la función sigmoide (Wikipedia, 2020)

- Algoritmos de aprendizaje

El proceso por el cual se ajustan los pesos de las conexiones de la red neuronal para producir un determinado resultado es lo que se conoce como entrenar a la red. Este entrenamiento lo realizan los algoritmos de aprendizaje en dos pasos principales: en el primero se asignan pesos aleatorios a todas las conexiones entre las neuronas y se genera un flujo hacia adelante de la señal desde la capa de entrada hasta la de salida. El resultado se compara con los valores reales. En el siguiente paso, los pesos y el bias en las capas ocultas se modifican en un flujo de información en sentido desde la salida hasta la entrada (es decir, de atrás hacia adelante) con el objetivo de minimizar el error (Van Veen, 2016) (Abellán García, Fernández Gómez, & Torres Castellanos, 2020).

Uno de los algoritmos de aprendizaje más común, para el entrenamiento de redes perceptrón multicapa Feed Forward es el algoritmo de propagación hacia atrás (BP por sus siglas en inglés). El BP es un algoritmo de entrenamiento basado en un gradiente descendente iterativo diseñado para minimizar el error cuadrático medio entre la salida real del modelo y los valores reales de respuesta (Díaz Kusztrich, 2018).

Además del BP existen otros algoritmos de aprendizaje como la retropropagación resiliente (Rprop). La Rprop presenta dos ventajas principales sobre el entrenamiento con BP: menor tiempo de convergencia y la no necesidad de una tasa de aprendizaje (learning ratio). En la Rprop, solo se tiene en cuenta el signo de la derivada para indicar la dirección de la actualización de los pesos (Abellán García, Fernández Gómez, & Torres Castellanos, 2020). En este trabajo se utilizó el algoritmo Rprop para entrenar los modelos.

MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA RED

Para medir el desempeño de la red es necesario comparar las estimaciones generadas por el modelo, con datos nuevos, diferentes a aquellos con los que se entrenó. Para ello, se realizan particiones sobre la base de datos en sets de entrenamiento y de prueba. El modelo se ajusta (entrena) con los datos de entrenamiento y después se realizan estimaciones sobre los datos del set de prueba para ser comparadas (Kuhn M, 2013). En la comparación, se calculan diferentes parámetros que indican de varias formas el desempeño de la red. El error cuadrático medio (MSE, por sus siglas en inglés) es uno de ellos, así como también: el error absoluto medio (MAE), la raíz del error cuadrático medio

(RSME), la relación entre el RSME y la desviación estándar de los datos medidos (RSR), el error de sesgo medio normalizado (NMBE), la eficiencia de Nash-Sutcliff (E), y coeficiente de determinación múltiple (R^2). La formulación matemática de estos indicadores estadísticos se puede observar en las siguientes ecuaciones:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{a}_i - a_i)^2}{n} \quad [4]$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |a_i - \hat{a}_i| \quad [5]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \hat{a}_i)^2}{n}} \quad [6]$$

$$RSR = \sqrt{\frac{RMSE}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a}_i)^2}} \quad [7]$$

$$NMBE(\%) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - \hat{a}_i)}{\bar{a}_i} \times 100 \quad [8]$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \hat{a}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{a}_i)^2} \quad [9]$$

donde: a es el valor real de la respuesta; \bar{a} representa el valor promedio de los valores reales, \hat{a} es la respuesta estimada por el modelo y n es el número total de observaciones del conjunto de datos.

- Validación cruzada

Como se mencionó anteriormente para la medición del desempeño de la red neuronal es necesario la partición de los datos en datos de entrenamiento y datos de prueba. A esto se le llama validación cruzada. El procedimiento de validación cruzada con k-particiones es muy usado debido a que resulta de aprovechar la información cuando la base de datos tiende a ser pequeña (Kuhn M, 2013). El procedimiento consiste en realizar k particiones sobre la base de datos, creando k grupos de sets de prueba y de entrenamiento en el i-ésimo grupo, la i-ésima partición es el set de prueba y las particiones restantes son el set de entrenamiento. Finalmente, se tienen predicciones sobre cada grupo de la validación cruzada; el MSE se puede calcular para cada uno y tomar el promedio. Una ilustración de este mecanismo con 3 particiones se muestra en la **Figura 9**. Es recomendado usar al menos 5 particiones (Kuhn M, 2013)

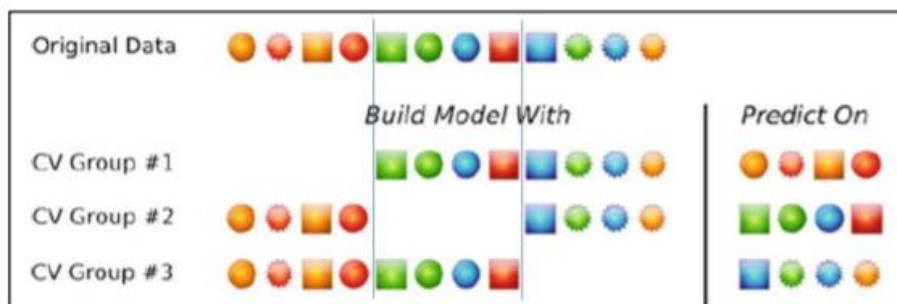


Figura 9 Validación cruzada con 3 particiones (Kuhn M, 2013)

METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan las cinco actividades llevadas a cabo en el curso de este trabajo para lograr los objetivos propuestos.

Como se mencionó al inicio de este documento, y en el título de este trabajo, el objetivo es predecir la capacidad de absorción de energía (g) de los UHPFRC sometidos a ensayo de tracción directa, conocida su dosificación, a partir de la implementación de redes neuronales. Este trabajo está enmarcado en la investigación llevada a cabo por el Ing. Joaquín Abellán sobre el uso de fibras para el mejoramiento de la capacidad de absorción de los UHPFRC

1. Investigación en la literatura científica, para la recolección de datos de dosificaciones de los UHPFRC.

Debido a que este es un trabajo de investigación, e implementación con una pequeña parte de experimentación para la comprobación de los datos, la mayor parte del cronograma consistió en la recolección de datos, dosificaciones, provenientes de la literatura científica. Para lo cual se creó una plantilla en Excel con todas las posibles combinaciones de dosificaciones que la literatura científica pudiera ofrecer dentro del margen de tiempo establecido.

El objetivo de esta primera parte investigativa dio como resultado la creación de una base de datos, en la cual, se aportó 174 datos de dosificaciones de UHPFRC los cuales se unieron a los datos existentes en la investigación del ingeniero Joaquín Abellán García para una recolección total de 500 datos de dosificaciones de UHPFRC con información sobre el comportamiento a tracción directa, extraído directamente de estudios científicos publicados en los últimos 20 años. En la base de datos se contemplan tanto dosificaciones con un solo tipo de fibra (denominada en la base de datos como fibra 1), como dosificaciones con mezclas binarias de fibras (fibra 1 y fibra 2). Debido a la complejidad presentada en cuanto al entrenamiento de la red neuronal no se admitieron dosificaciones que contaran con más de dos tipos de fibras en su matriz.

2. Normalización de los datos

Previo al desarrollo de los modelos predictivos de redes neuronales fue necesario realizar la normalización de los datos. La normalización de los datos elimina la posibilidad de sesgo de la red neuronal debido a la diferente naturaleza y magnitud de las diferentes variables consideradas. La normalización de los datos se hizo mediante la fórmula:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad [10]$$

3. División de datos: datos de entrenamiento y datos prueba.

Como se mencionó anteriormente es necesario la partición de los datos para comprobar la eficacia de la red neuronal, en datos de entrenamiento y datos de prueba.

4. Implementación de redes neuronales de una capa oculta

El alcance de este proyecto está limitado a modelar redes con arquitectura Feed-Forward, caracterizadas por tener sus neuronas estructuradas en series de capas en las cuales las conexiones se realizan entre las neuronas de una capa y la siguiente (es decir, el sentido de la propagación es siempre de atrás hacia adelante).

La medición del rendimiento de las redes se realizó calculando los parámetros estadísticos como el error absoluto medio (MAE), la raíz del error cuadrático medio (RSME), la relación entre el RSME y la desviación estándar de los datos medidos (RSR), el error de sesgo medio normalizado (NMBE), la eficiencia de Nash-Sutcliffe (E), y el coeficiente de determinación múltiple (R^2).

La red se entrenará con un algoritmo de aprendizaje basado en la retropropagación resiliente que, como se había explicado anteriormente, se basa en un gradiente descendente iterativo diseñado para minimizar el error cuadrático medio entre la salida real del modelo y los valores reales de respuesta.

5. Comprobación experimental de la red neuronal

Como último punto se llevó a cabo una comprobación experimental de la red neuronal, llevando a cabo dosificaciones recolectadas de la parte investigativa y de esta manera comprobar de una manera experimental la eficacia de la red neuronal.

IMPLEMENTACIÓN DE REDES NEURONALES

INVESTIGACION EN LA LITERATURA CIENTIFICA, PARA LA RECOLECCION DE DATOS DE DOSIFICACIONES DE LOS UHPFRC.

INTRODUCCION

Como se mencionó en el Capítulo 4 (METODOLOGIA), la mayor parte de este trabajo se basa en la investigación de la literatura científica para la recolección de datos de dosificaciones de los UHPFRC esto con el objetivo de crear una base de datos que alimente la red neuronal. Como resultado de esta investigación se compilaron 174 datos que fueron aportados a los datos ya recolectados en la investigación del Ing. Joaquín Abellan García para un total de 500 datos de dosificaciones. Los datos aportados por esta investigación serán anexados al final de este trabajo junto con una tabla de los artículos consultados en la literatura científica.

PROCESAMIENTO DE DATOS

Como se mencionó en el Capítulo 2 (estado del arte) en la creación de modelos predictivos es necesario llevar a cabo una fase de recolección de datos de la información; tal como se consigna en el primer punto de la metodología. En esta sección se realiza un análisis, de las dosificaciones de los UHPFRC recolectadas; con el objetivo de detectar valores atípicos y tener estimaciones de la capacidad predictiva de los datos.

PREPARACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para la preparación de la base de datos, se llevó a cabo la recolección de las dosificaciones provenientes de la literatura científica. La finalidad de la base de datos como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, es la de poder desarrollar los modelos matemáticos (redes neuronales). Para eso se recolectaron 500 datos de dosificaciones de UHPFRC con información sobre el comportamiento a tracción directa. La base de datos cuenta con las dosificaciones de las matrices cementantes, de materiales típicos en los UHPFRC tal como se mostró en la **Tabla 1** (Cemento, Humo de Sílice, Material Cementante 1, Material Cementante 2, Agua, Superplastificante, entre otros, todos expresados en unidades de kg/m^3), además de esto incluye tanto el tipo de fibra como el volumen utilizado en cada matriz y el comportamiento a tracción directa alcanzado a los 28 días.

La presencia de variables cualitativas en la base de datos, específicamente el tipo de fibra se ha resuelto mediante variables tipo dummy o dicotómicas, cuyo valor es 1 si la fibra es del tipo considerado y 0 en caso contrario. Las variables independientes recogidas en la base de datos, así como su codificación se puede observar en la **Tabla 2** la cual contiene las variables independientes correspondientes a los datos de entrada de la red neuronal los cuales serán usados para la predicción de la absorción de energía g , estas variables independientes están consignadas en la **Tabla 2**. Como se puede observar, las unidades correspondientes a los datos de entrada están expresados en kg/m^3 , las variables

independientes tienen en cuenta materiales típicos usados en las matrices de los UHPFRC, así como las características de las fibras usadas.

Variable	Descripción
X1	Contenido de cemento en kg/m^3
X2	Contenido de humo de sílice en kg/m^3
X3	Contenido de materiales cementantes (a excepción del cemento y la micro sílice) en kg/m^3
X4	Contenido de harina de cuarzo en kg/m^3
X5	Contenido de agua en kg/m^3
X6	Contenido de superplastificante en kg/m^3
X7	Contenido de arena en kg/m^3
X8	Contenido de agregado grueso en kg/m^3
X9	Tamaño máximo del agregado expresado en micras
X10	Relación agua/ <i>binder</i> en peso
X11	Contenido total de fibras en porcentaje sobre el volumen total del concreto
X12	Factor fibra total (χ_T) definido como $\chi_T = \chi_{f1} + \chi_{f2}$
X13	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 1 es metálica recta y 0 en caso contrario
X14	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 1 es metálica acabada en ganchos (<i>hook end</i>) y 0 en caso contrario
X15	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 1 es metálica retorcida (<i>twisted</i>) y 0 en caso contrario
X16	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 1 es de polietileno y 0 en caso contrario
X17	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 1 es de polipropileno y 0 en caso contrario
X18	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 1 es de polivinilo de alcohol y 0 en caso contrario
X19	Resistencia a la tracción del material de la fibra 1 en MPa
X20	Longitud de la fibra 1 en mm (l_{f1})
X21	Diámetro de la fibra 1 en mm (d_{f1})
X22	Contenido de la fibra 1 en porcentaje sobre el volumen total del concreto (V_{f1})
X23	Factor fibra (χ_{f1}) de la fibra 1 definido como $\chi_{f1} = V_{f1} \times l_{f1}/d_{f1}$
X24	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 2 es metálica recta y 0 en caso contrario
X25	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 2 es metálica acabada en ganchos (<i>hook end</i>) y 0 en caso contrario
X26	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 2 es metálica retorcida (<i>twisted</i>) y 0 en caso contrario
X27	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 2 es de polietileno y 0 en caso contrario
X28	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 2 es de polipropileno y 0 en caso contrario
X29	Variable tipo <i>dummy</i> cuyo valor es 1 si la fibra 2 es de polivinilo de alcohol y 0 en caso contrario
X30	Resistencia a la tracción del material de la fibra 2 en MPa
X31	Longitud de la fibra 2 en mm (l_{f2})
X32	Diámetro de la fibra 2 en mm (d_{f2})
X33	Contenido de la fibra 2 en porcentaje sobre el volumen total del concreto
X34	Factor fibra (χ_{f2}) de la fibra 2 definido como $\chi_{f2} = V_{f2} \times l_{f2}/d_{f2}$

Tabla 2 Variables independientes junto con su codificación

DIVISIÓN DE DATOS: DATOS DE ENTRENAMIENTO Y DATOS DE TESTEO

Para facilitar el entrenamiento y el testeo de los modelos de redes neuronales, la base de datos fue dividida al azar en conjuntos de datos de entrenamiento y testeo. Se usaron el 80% de las observaciones para fines de entrenamiento y el 20% restante se empleó para medir la eficiencia de los modelos entrenados. Ambos subconjuntos contenían todos los tipos de fibras considerados en la base de datos total.

Para evaluar la red neuronal se utilizaron los datos de testeo, correspondientes al 20 % de las dosificaciones totales de la base de datos, para llevar a cabo esta tarea se realizó una validación cruzada tipo *k-fold*. Este procedimiento se basa en la división de las observaciones disponibles en *k* particiones, planteando *k* modelos idénticos y entrenando a cada uno usando *k - 1* particiones como datos de entrenamiento mientras se evalúa el modelo en la partición restante.

En este trabajo de investigación se utilizó la validación cruzada tipo *k-fold* con $k = 5$. La evaluación del modelo se midió mediante la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE por sus siglas en inglés), promedio de las *k* modelaciones, conforme se observa en la **Figura 10**.



Figura 10 Esquema de la validación cruzada tipo k-fold Fuente: Joaquín Abellan García

ARQUITECTURA DE LA RED NEURONAL

Para seleccionar la arquitectura de nuestra red neuronal, se determinó el número de neuronas en la capa oculta. Este fue el primer paso importante en el desarrollo del modelo. La **Figura 11** representa el efecto del número de neuronas de la capa oculta en el valor del RMSE obtenido durante el entrenamiento con validación cruzada tipo *k-fold*. De acuerdo con esto el mejor valor RMSE se obtuvo cuando se cuenta con 3 neuronas en la capa oculta, por lo que se selecciona el modelo presentado en la **Figura 12**.

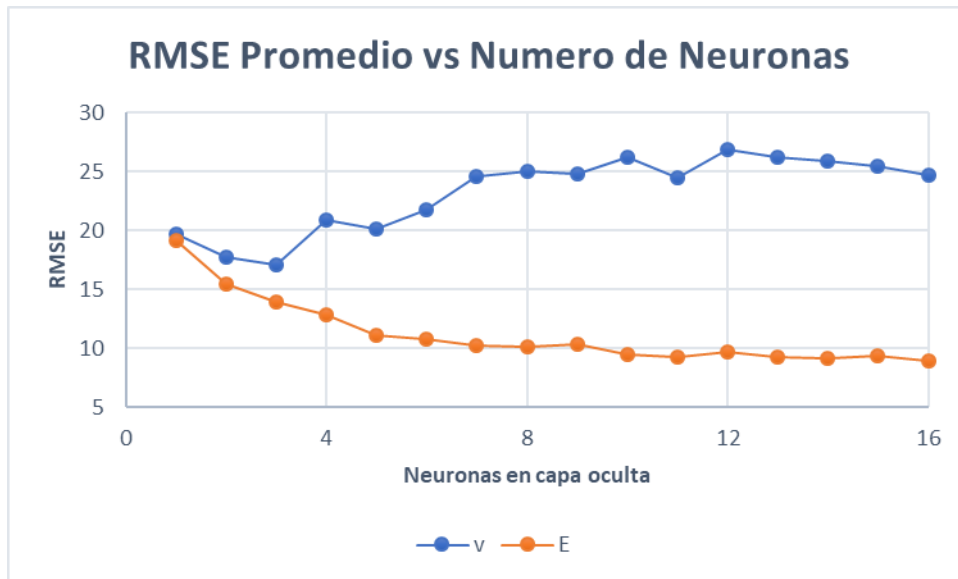


Figura 11 Promedio de la raíz del error cuadrático medio (RMSE) versus el número de neuronas en la capa oculta en los subconjuntos de datos de entrenamiento (E) y validación (V)

El mejor valor RMSE fue obtenido con 3 neuronas en la capa oculta lo cual corresponde a un valor de 17.05 kJ/m^3 , Tal como se puede observar en la **Figura 11**, un aumento de las neuronas después de la tercera neurona en la capa oculta aumenta el valor de RMSE, por lo que se decide implementar 3 neuronas en la capa oculta

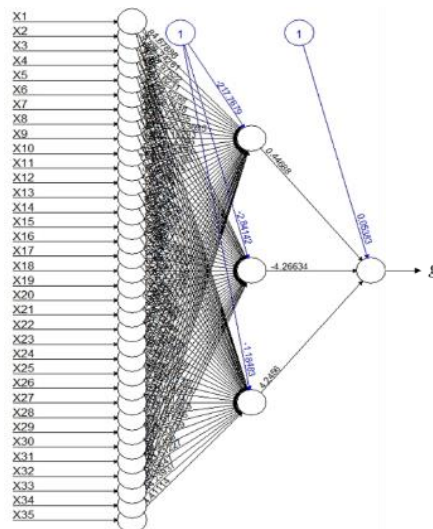


Figura 12 Modelo de redes neuronales desarrollado con neuralnet para predecir la capacidad de absorción de energía (g) de los UHPFRC

Para esta configuración se obtiene un valor de RMSE de 17.05 kJ/m^3 , el cual parece un error todavía muy alto teniendo en cuenta que el valor promedio de la base de datos es de 50.63 kJ/m^3 . Una forma habitual de mejorar el rendimiento de la red neuronal consiste en pasar los datos de entrenamiento a través de la red varias veces (Chollet, 2018). Para determinar las veces necesarias (epochs), se vuelve a utilizar la validación cruzada tipo *k-fold*. La **Figura 13** representa el valor promedio de RSME en la validación *k-fold* versus el número de epochs. Después de este análisis se decidió adoptar el modelo representado en la **Figura 12** entrenado 41 veces con los datos de entrenamiento, esto debido a que después del epoch 41 no se aprecian mejoras significativas en el rendimiento del modelo tal como se observa en la **Figura 13**.

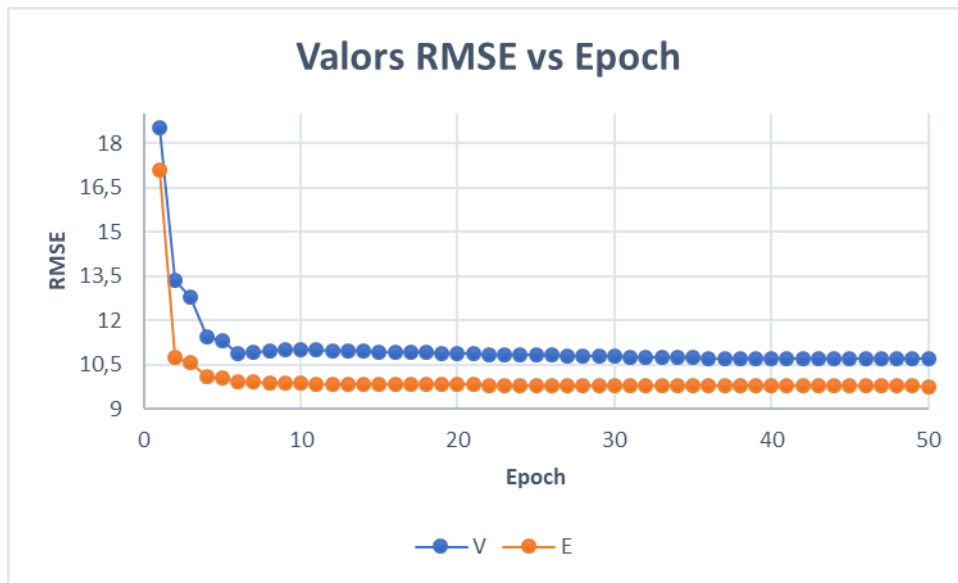


Figura 13 Valor de RMSE versus número de veces que se pasan los datos de entrenamiento por la red para los subconjuntos de datos de entrenamiento (E) y validación (V)

INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Con el fin de comprobar de manera experimental la eficacia de la red neuronal y no solo con los datos de testeo, en el presente trabajo se llevó a cabo una campaña experimental la cual fue comparada y analizada con datos predichos por la red, y analizados bajo los parámetros estadísticos acá ya mencionados.

MATERIALES

Para el desarrollo del programa experimental se utilizaron los siguientes materiales.

Cemento tipo portland el cual es un cemento hidráulico que cuando se mezcla con otros materiales cementantes tiene la propiedad de conformar una masa pétreo resistente y duradera denominada concreto, el cemento tipo portland se puede observar en la **Figura 14** (Wikipedia, 2020).



Figura 14 Cemento tipo portland (Wikipedia, 2020)

Humo de sílice es un subproducto que se origina en la reducción del cuarzo, de elevada pureza, con carbón en hornos eléctricos de arco para la producción del silicio y ferrosilicio (Wikipedia, 2020).



Figura 15 Humo de sílice (Wikipedia, 2020)

Arena de sílice es un compuesto resultante de la combinación de sílice con el oxígeno, su composición química está formada por un átomo de sílice y dos átomos de oxígeno, formando una molécula muy estable (Wikipedia, 2020).



Figura 16 Arena de sílice (Wikipedia, 2020)

Superplastificante reductor de agua de alto rango (HRWR, por sus siglas en inglés). Se trata de un aditivo que reduce en gran medida la demanda de agua para tener una relación AGUA/BINDER más baja, dando como resultados concretos de ultra altas prestaciones (Sosa, Villagrán Zaccardi, Peralta, & Zega, 2018).

El agua usada para la mezcla fue agua normal obtenida del grifo.

Además de estos materiales, se tiene el uso de fibras, las propiedades y geometría de las diferentes fibras se especifican en la **Tabla 3** y la **Figura 17** respectivamente, las fibras que se tuvieron en cuenta en esta campaña experimental son la metálica recta, metálica terminada en gancho y fibras de polietileno/polipropileno.

Fibra	Tipo	l_f (mm)	d_f (mm)	Res. Tracción (MPa)
OL	Metálica recta	0.20	13	2600
MB	Metálica Hook end	0.75	60	1600
PPPE	Polietileno/polipropileno	0.67	50	650

Tabla 3 Propiedades de las fibras usadas en la campaña experimental

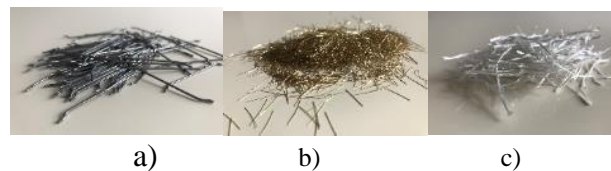


Figura 17 Fibras consideradas en la campaña experimental: a) metálica acabada en ganchos; b) metálica lisa; c) fibra de polietileno Fuente: Joaquín Abellán García

ELABORACION Y DISEÑO DE LA MEZCLA

Para el diseño de la mezcla se siguieron los pasos establecidos por el ingeniero Joaquín Abellán García y fue llevada a cabo en los laboratorios del H de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. la dosificación de la mezcla usada en función del peso del cemento, así como la cantidad de fibras incorporadas en función del porcentaje de su volumen se pueden observar en las **Tablas 4 y 5** respectivamente.

UHPC	C	SF	SCM1	SCM2	W	HRWR	SS	f_{28} (MPa)
D1	1	0.167	0.537	0.349	0.343	0.035	1.393	156

Tabla 4 Dosificación y resistencia a la compresión de UHPC (sin fibras)

Denominación	UHPC	OL	MB	PPPE
OL 2%	D1	2%	-	-
PPPE 2%+OL1%	D1	1%	-	2%
PPPE 2%+MB1%	D1	-	1%	2%

Tabla 5 Dosificaciones consideradas en la campaña experimental

Los pasos para la elaboración de la mezcla fueron los siguientes:

- Los componentes de polvo seco (cemento tipo portland, humo de sílice, materiales cementantes y arena) se mezclan durante 10 minutos aproximadamente.
- El agua y el superplastificante son mezclados por aparte, luego se agregan gradualmente y se mezclan durante 5 a 10 minutos aproximadamente.
- Se agregan las fibras cuando la matriz de mortero presenta la capacidad de flujo adecuada para una buena trabajabilidad y viscosidad, que permita la distribución uniforme de las fibras.
- En el caso de incorporación de fibras híbridas con diferentes tamaños, las microfibras se agregan primero en la mezcla de mortero y luego se dispersan las macrofibras en la mezcla
- La mezcla es llevada a una mesa vibratoria junto con el molde de dogbone que se observa en la **Figura 18** para verter la mezcla correctamente.
- Por último, se empaqueta el molde con la mezcla para conservar la humedad y se lleva al cuarto de curado durante 28 días.

La **Figura 18** muestra diferentes fases del desarrollo de la campaña experimental.

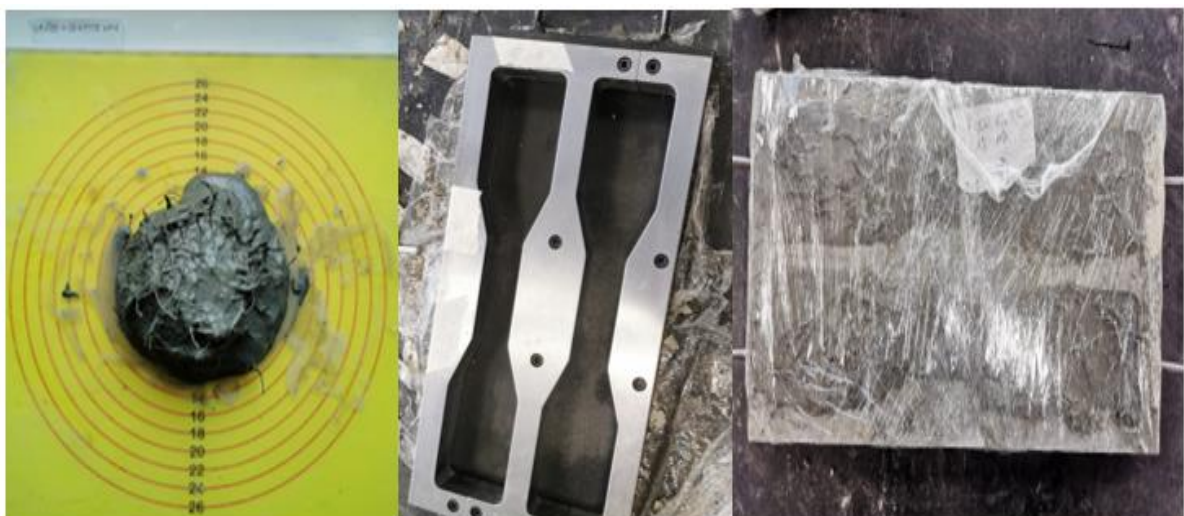


Figura 18 Fases de la campaña experimental

Luego de realizar los pasos consignados para la elaboración de la mezcla, se obtienen 6 especímenes de dogbones (2 especímenes por cada distribución de fibras usada en la **Tabla 5**) los cuales se muestran en la **Figura 19**. Los dogbones fueron curados en un cuarto húmedo y el ensayo fue realizado a los 28 días de edad.



Figura 19 Especímenes de dogbone bajo las recomendaciones de la JSCE-08

CONFIGURACIÓN DEL ENSAYO A TRACCIÓN DIRECTA

La geometría del cuerpo de prueba - hueso de perro o *dogbone* - junto con el ensayo a tracción directa, se estableció de acuerdo con la norma JSCE-08, conforme se puede observar en la **Figura 20**. La sección del vástago de los cuerpos de prueba $30 \times 30 \text{ mm}^2$ siendo su longitud de 80 mm. La alineación de la configuración de tracción se verificó cuidadosamente antes de probar usando un nivel as muestras se instalaron con cuidado para evitar cualquier influencia de excentricidad. Se usó una máquina de prueba universal que realiza el control de desplazamiento a una velocidad fija de 0.5 mm/min de acuerdo con lo especificado en la JSCE-08. Las condiciones de contorno en ambos extremos de la configuración del ensayo de tracción fueron fijas. Se instalaron los LVDT (transformadores diferenciales variable lineales) en ambos lados de la muestra del dogbone, para medir su alargamiento. El valor promedio de los LVDT se usó para el cálculo del alargamiento unitario (ϵ_{pc}) y la capacidad de absorción de energía g .



Figura 20 Configuración del ensayo a tracción directa según lo establecido en la JSCE-08

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Una vez realizado el ensayo se obtiene la siguiente tabla con los datos de comportamiento a tracción directa para cada uno de los dogbones.

Mezcla	σ_{cc} (Mpa)	ϵ_{cc} (%)	σ_{pc} (Mpa)	ϵ_{pc} (%)	σ_{pc}/σ_{cc}	g (kJ/m ³)
PPPE 2% OL 1% 1	8.498	0.011	8.695	0.313	1.023	26.386
PPPE 2% OL 1% 2	7.154	0.013	7.496	0.288	1.048	20.547
PPPE 2% MB 1% 1	6.447	0.011	7.174	0.526	1.113	35.416
PPPE 2% MB 1% 2	5.657	0.013	6.322	0.398	1.117	23.428
OL 2% 1	11.217	0.012	11.401	0.303	1.016	33.544
OL 2% 2	10.888	0.014	11.188	0.227	1.027	24.260

Tabla 6 Datos obtenidos del ensayo a tracción directa para cada uno de los ejemplares

Los datos obtenidos de resistencia fueron usados para hallar la absorción de energía (g) el cual luego fue comparado con los obtenidos en la red neuronal.

En las **Figuras 21-26** se puede observar el comportamiento de los dogbones en la prueba de tracción directa.

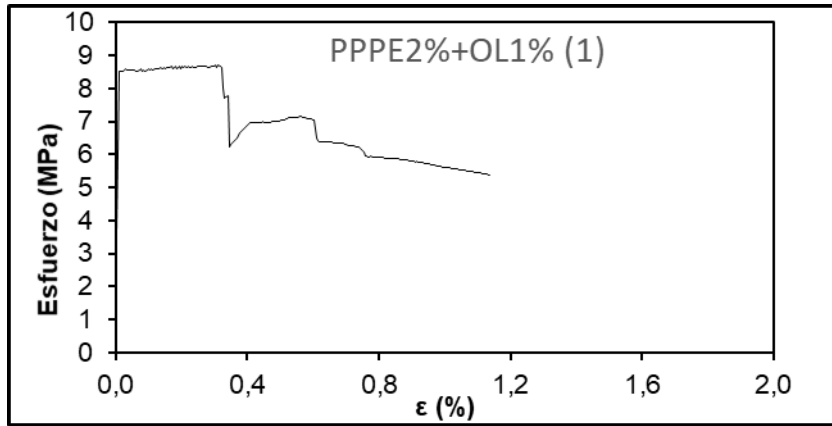


Figura 21 Grafica esfuerzo vs deformación

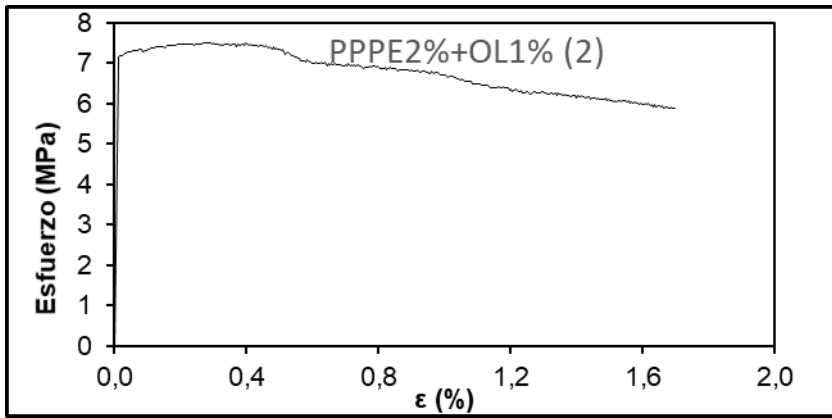


Figura 22 Grafica esfuerzo vs deformación

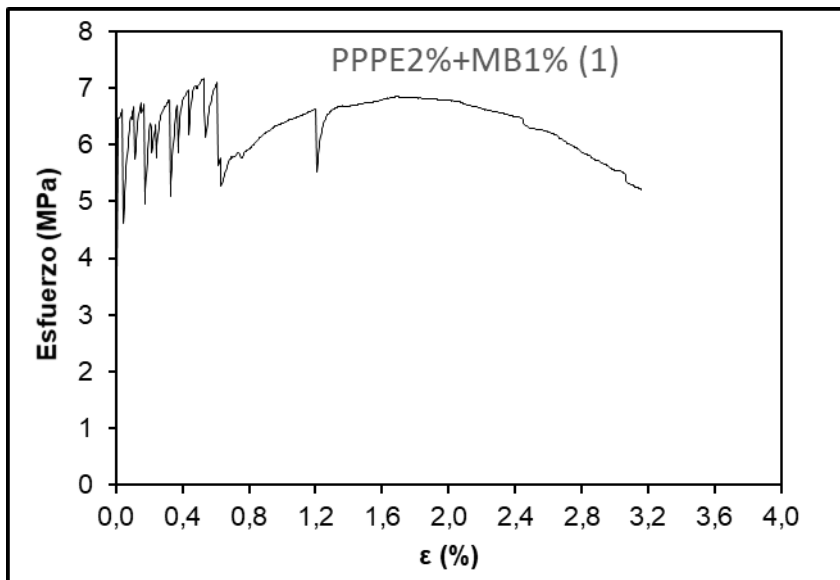


Figura 23 Grafica esfuerzo vs deformación

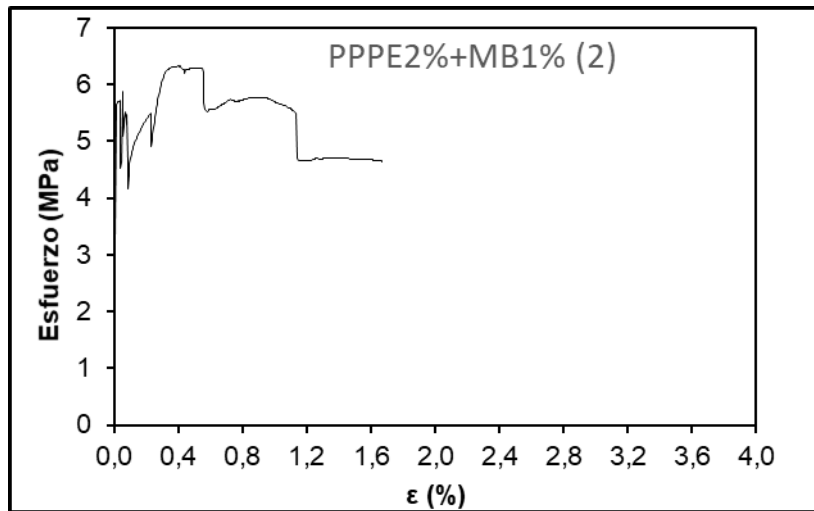


Figura 24 Grafica esfuerzo vs deformación

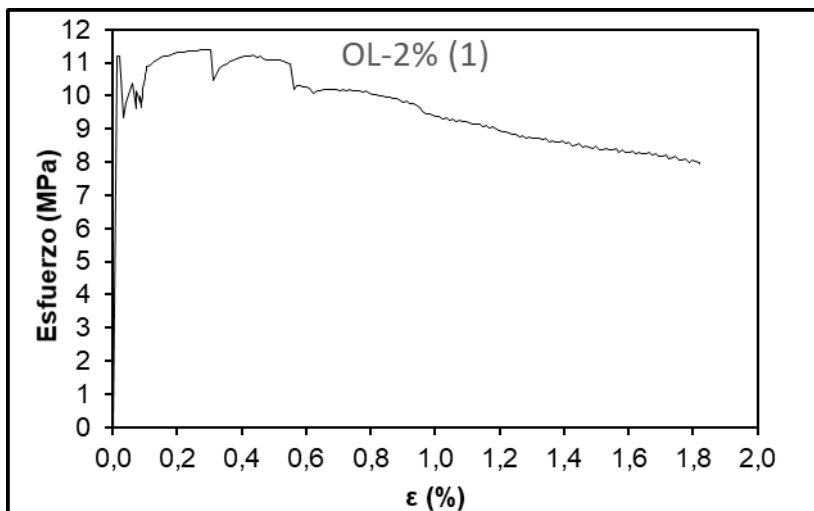


Figura 25 Grafica esfuerzo vs deformación

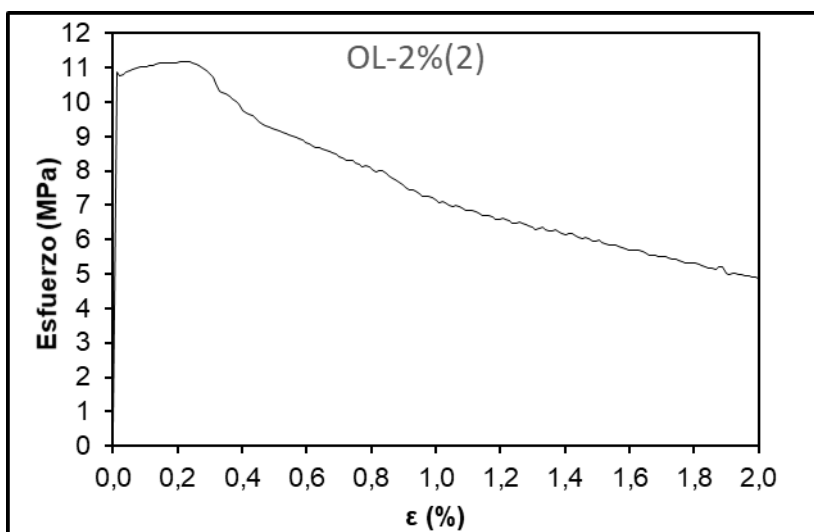


Figura 26 Grafica esfuerzo vs deformación

Además de esto se muestra una gráfica unificada de todos los especímenes de dogbones en la **Figura 27** para poder identificar las diferencias entre el uso de fibras, así como la relación que existe entre la cantidad de fibras usadas con la ductilidad y resistencia a tracción obtenidas.

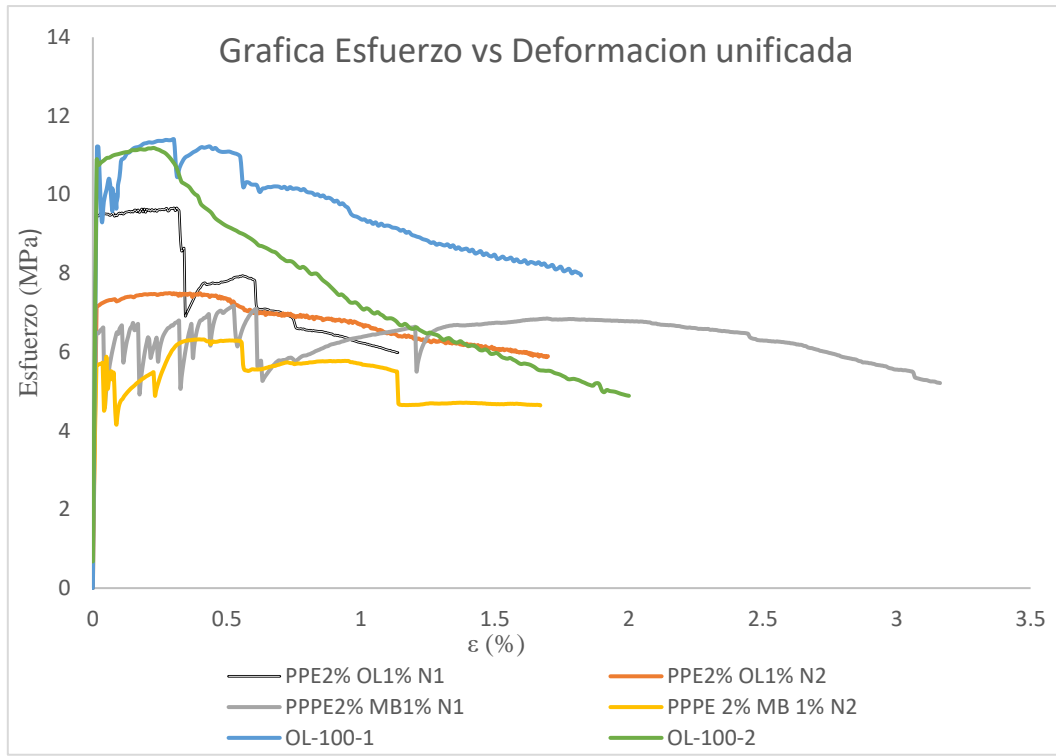


Figura 27 Gráfica Esfuerzo vs Deformación unificada de la campaña experimental

Adicional se ilustra en la **Figura 28** el modo de la falla en el comportamiento a tracción directa de los dogbones.



Figura 28 modo de falla en el comportamiento a tracción directa de los dogbone

EVALUACIÓN DEL MODELO

Los valores obtenidos de los parámetros estadísticos utilizados para la evaluación de los modelos de redes neuronales se presentan en la **Tabla 7**.

Datos	MAE	RMSE	RSR	NMBE	R ²
Entrenamiento	7.345	9.788	0.362	0.000%	0.868
Testeo	7.640	9.842	0.423	-2.725%	0.823

Tabla 7 Evaluación de los modelos ANN sobre los conjuntos de entrenamiento y testeo

Los valores de los índices de evaluación sobre los subconjuntos de entrenamiento mediante validación cruzada tipo *k-fold* y testeo fueron similares. Esto demuestra el correcto desempeño de la validación cruzada *k-fold* durante el entrenamiento de la red.

La **Figura 29** muestran la comparativa entre los valores reales, obtenidos de la base de datos y los predichos por el modelo de redes neuronales.

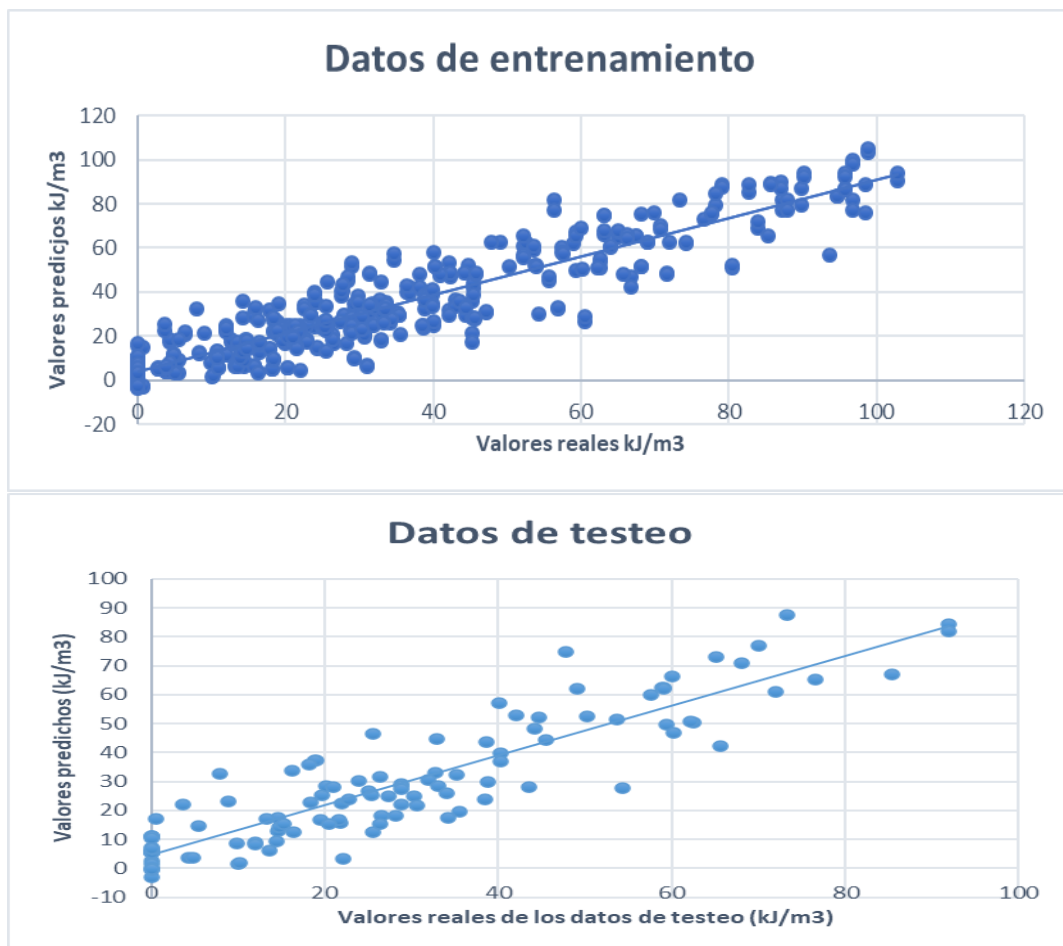


Figura 29 Gráficos de valores de capacidad de absorción de energía *g* de los datos de entrenamiento y de testeo versus predichos por el modelo en los subconjuntos de datos de entrenamiento y testeo.

Mediante el uso de las ecuaciones [4-9] se realizó un análisis estadístico de la **Tabla 8** donde se tienen los resultados de la absorción de energía g real de los dogbones y la absorción de energía g predicha por la red neuronal, para determinar la eficacia de la ANN al predecir valores g de datos nuevos (datos hallados en la campaña experimental) los parámetros estadísticos fueron consignados en la **Tabla 9**.

g real	g predicho
23.46668	24.84431652
27.98167	29.56978345
29.42206	35.52735728

Tabla 8 Valores g reales y predichos

Datos	MAE	RMSE	RSR	NMBE	R ²
Experimentales	3.023	3.728	1.469	-11.217%	0.878

Tabla 9 Evaluación de los modelos ANN sobre los datos experimentales

Como se puede observar los valores de la absorción de energía reales no distan mucho con los predichos por la red neuronal. El valor negativo de NMBE indica que el modelo tiende a sobre estimar los datos. El valor de los parámetros estadísticos nos indica la confiabilidad y eficacia de la ANN.

Dados los resultados obtenidos en este capítulo, y el análisis estadístico realizado mediante las ecuaciones [4-9] se aceptan los parámetros usados para el entrenamiento de la red neuronal y su función de activación. Los parámetros se describen a continuación.

- 3 neuronas en la capa oculta
- Algoritmo de Aprendizaje: Retropropagación Resiliente (Rprop).
- Función de activación: Logística (Sigmoide)

Los modelos de redes neuronales aquí propuestos constituyen una herramienta matemática precisa para la predicción de la capacidad de absorción de energía de los UHPFRC reforzados con hasta dos tipos distintos de fibra.

CONCLUSIONES

El presente trabajo analizó la viabilidad del empleo de modelos de redes neuronales en la predicción de la capacidad de absorción de energía de los UHPFC con hasta dos tipos de fibras diferentes. Con base en los resultados plasmados en este trabajo pueden generarse las siguientes conclusiones.

- La arquitectura de la red neuronal seleccionada en este trabajo mediante la validación cruzada *k-fold* conto con 3 neuronas en la capa oculta, esto debido a que la implementación de más de 3 neuronas en la capa oculta generaba un aumento en el valor RMSE tal como se observa en la **Figura 11**.
- El algoritmo de aprendizaje adoptado (Rprop) demostró buenos resultados de aprendizaje, ya que, gracias a esto, el modelo propuesto tuvo una alta precisión en la predicción de la capacidad de absorción de energía de los UHPFRC sometidos a ensayos de tracción directa. Tal como nos indican los parámetros estadísticos (MAE, RMSE, RSR, NMBE, R^2).
- Los resultados de validación del modelo en los datos experimentales demuestran su capacidad y versatilidad para ser empleado en nuevos datos.
- Tal como se puede observar en la **Tabla 8** el valor de correlación R^2 obtenido es cercano a 1 lo que nos indica la confiabilidad de la red neuronal. Sin embargo, el valor de NMBE indica que en los datos experimentales el modelo tiende a sobre estimar los datos.

RECOMENDACIONES

- La división de los datos, en datos de entrenamiento y datos de testeo resulto provechoso para probar la eficacia del entrenamiento de la red neuronal, aun así, es recomendable validar este mismo entrenamiento con datos experimentales.
- Para la alineación del ensayo a tracción se recomienda el uso de un nivel por su facilidad de uso y versatilidad.
- Para el fácil desmolde de los dogbones de sus respectivos moldes se debe engrasar de forma correcta el molde y cubrir los pernos que lo aseguran de cinta para enmarcar, evitando de esta manera que el cemento no se endurezca encima de los mismos y genere problemas al retirar los pernos de seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

- a, S. A., & b, M. M. (2008). "Tensile strain hardening behaviour of hybrid steel-polyethylene. *EL SEVIER CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*.
- a, S. A., & b, M. M. (2008). Tensile strain hardening behaviour of hybrid steel-polyethylene. *EL SEVIER CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*.
- Abellán García, J., Fernández Gómez, J., & Torres Castellanos, N. (2020). Properties prediction of environmentally friendly ultra-high-performance concrete using artificial neural networks. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*.
- al, Ghafari, e. (2012). Metakaolin as an Additive in Composite Cement.
- Antoine, E. N., & Kay Wille. (s.f.). The path to Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHP-FRC): Five Decades of Progress. *ELSEVIER*.
- Bassam, A. T., B H, A. B., M A, M. J., & Yen, L. V. (2013). Utilization of Ultra-high performance fibre concrete (UHPFC) for rehabilitation. *ELSEVIER*.
- Beale, H. (2012). Neural Network Toolbox User's Guide. *The MathWorks*.
- chaos, I. (2019). *Interactive chaos*. Obtenido de <https://www.interactivechaos.com/manual/tutorial-de-machine-learning/arquitectura-de-redes-neuronales>
- Chollet, F. A. (2018). Deep Learning with R. *Manning Publications Co*.
- Díaz Kusztrich, M. (2 de Diciembre de 2018). *Software Técnico Libre*. Obtenido de <http://software-tecnico-libre.es/es/articulo-por-tema/todas-las-secciones/todos-los-temas/todos-los-articulos/algorithm-de-retro-propagacion>
- Doo, Y. Y., Han, K. S., Borges, P., Fediuk, R., & Kim, S. (2020). Enhancing the tensile performance of ultra-high-performance concrete through strategic use of novel half-hooked steel fibers. *ELSEVIER*.
- Duy-Liem Nguyen a, M. N.-T. (2019). Direct tensile self-sensing and fracture energy of. *ELSEVIER*.
- Duy-Liem Nguyena, *. M.-T.-J. (s.f.). Direct tensile self-sensing and fracture energy of steel-fiber-reinforced concretes.
- Duy-Liem Nguyena, M. N.-T.-J. (2019). Direct tensile self-sensing and fracture energy of steel-fiber-reinforced concretes. *ELSEVIER*.
- Fennis. (2014).
- García, J., Guzmán, J., Sanchez, J., & Rojas, J. (2020). Validación experimental de un modelo de Inteligencia Artificial para la capacidad de absorción de energía del UHPFRC. *DYNA*.
- Johansen, A. (1991). Aggregates in Concrete.
- Kuhn M, & J. (2013). Applied Predictive Modeling.
- Larrard, D. (1999). Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach. *Science and Education*.
- Liu, C. (2002). An Introduction to Artificial Neural Networks and Computational. *Comput Meth Appl Mech Eng*, 31-45.
- Moncef, L. N., Safeer, A., & Ahmed, M. S. (2015). Exploratory study of ultra-high performance fiber reinforced concrete tunnel lining segments with varying steel fiber lengths and dosages. *Eng. Struct*, 733-742.
- Radhika, S., & Ravi, P. (2016). STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF HYBRID FIBER REINFORCED ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES. *Romanian Journal of Materials*.
- Salesforce. (2020). *salesforce*. Obtenido de <https://www.salesforce.com/mx/blog/2017/6/Que-es-la-inteligencia-artificial.html>
- Sánchez, M. A. (2018). Implementación de Redes Neuronales Artificiales.
- Serna Ros, P., López Martínez, J. A., & Camacho Torregosa, E. (2012). UHPFRC : De los componentes a la estructura. 1-21.
- Sosa, M. E., Villagrán Zaccardi, Y. A., Peralta, J. P., & Zega, C. J. (2018). Efficiency of cement-admixture systems in mortars with binary and ternary Portland cements. *DYNA*.
- Van Veen, F. (14 de September de 2016). *The Neural Network Zoo*. Obtenido de <https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>
- Vargas, M. A. (2019). ESTUDIO DEL EFECTO DE LA SUSTITUCIÓN PARCIAL DE CEMENTO POR METACAOLÍN.
- Wikipedia. (2020). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Red_neuronal_artificial
- Wille, k., Sherif, E.-T., & Antoine, E. N. (2014). Properties of strain hardening ultra high performance fiber reinforced concrete (UHP-FRC) under direct tensile loading. *ELSEVIER*.
- Wu, Z., Shi, C., He, W., & Wu, L. (2016). Effects of steel fiber conted and shape on mechanical properties of ultra hihg performance concrete. *Constr. Buil. Mater*, 8-14.

Yoo, D. Y., & Kim, M. J. (2019). High energy absorbent ultra-high-performance concrete with hybrid steel and polyethylene fibers. *Constr. Build. Mater*, 354-363.

ANEXOS

En el siguiente apartado se mostrará en tablas los datos recolectados de dosificaciones de los UHPFRC provenientes de la literatura científica.

las dosificaciones se presentarán una a una por cada material usado, cabe aclarar que habrá espacios en blanco en las diferentes tablas, porque no todas las matrices cuentan con los mismos materiales.

La primera tabla (**Tabla 10**) mostrara la dosificación de las matrices en cuanto al cemento utilizado en cada una de ellas.

<i>Denominación</i>	<i>Contenido (kg/m³)</i>	<i>Contenido %Volumen</i>	<i>Cemento</i>			<i>Densidad Específica (kg/m³)</i>
			<i>%Cemento sobre peso de binder</i>	<i>% Cemento en volumen sobre binder</i>	<i>%Volumen sobre PVF</i>	
<i>PE1</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.356</i>	<i>3150</i>
<i>PE2</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.355</i>	<i>3150</i>
<i>PE3</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.354</i>	<i>3150</i>
<i>PE4</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.353</i>	<i>3150</i>
<i>PE5</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.352</i>	<i>3150</i>
<i>PE6</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.352</i>	<i>3150</i>
<i>PE7</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.351</i>	<i>3150</i>
<i>PE8</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.350</i>	<i>3150</i>
<i>HPFRCC-A</i>	<i>833.576</i>	<i>0.265</i>	<i>0.909</i>	<i>0.875</i>	<i>0.404</i>	<i>3150</i>
<i>HPFRCC-B</i>	<i>824.982</i>	<i>0.262</i>	<i>0.909</i>	<i>0.875</i>	<i>0.404</i>	<i>3150</i>
<i>CEMENT FIBER</i>	<i>452.994</i>	<i>0.144</i>	<i>0.662</i>	<i>0.576</i>	<i>0.275</i>	<i>3150</i>
<i>C1</i>	<i>472.300</i>	<i>0.150</i>	<i>0.676</i>	<i>0.593</i>	<i>0.314</i>	<i>3150</i>
<i>C2</i>	<i>465.800</i>	<i>0.148</i>	<i>0.661</i>	<i>0.574</i>	<i>0.272</i>	<i>3150</i>
<i>C3</i>	<i>474.000</i>	<i>0.150</i>	<i>0.662</i>	<i>0.576</i>	<i>0.273</i>	<i>3150</i>
<i>C4</i>	<i>350.600</i>	<i>0.111</i>	<i>0.515</i>	<i>0.417</i>	<i>0.198</i>	<i>3150</i>
<i>C5</i>	<i>409.900</i>	<i>0.130</i>	<i>0.594</i>	<i>0.503</i>	<i>0.242</i>	<i>3150</i>
<i>C6</i>	<i>373.100</i>	<i>0.118</i>	<i>0.523</i>	<i>0.428</i>	<i>0.205</i>	<i>3150</i>
<i>MATRIZ 0%</i>	<i>857.418</i>	<i>0.272</i>	<i>0.870</i>	<i>0.748</i>	<i>0.355</i>	<i>3150</i>
<i>MATRIZ 0.3%</i>	<i>857.418</i>	<i>0.272</i>	<i>0.870</i>	<i>0.748</i>	<i>0.355</i>	<i>3150</i>
<i>MATRIZ 0.5%</i>	<i>857.418</i>	<i>0.272</i>	<i>0.870</i>	<i>0.748</i>	<i>0.355</i>	<i>3150</i>
<i>MATRIZ 0.8%</i>	<i>857.418</i>	<i>0.272</i>	<i>0.870</i>	<i>0.748</i>	<i>0.355</i>	<i>3150</i>
<i>MATRIZ 1.2 %</i>	<i>857.418</i>	<i>0.272</i>	<i>0.870</i>	<i>0.748</i>	<i>0.355</i>	<i>3150</i>

SHUHPC	1289.000	0.409	0.900	0.863	0.526	3150
CNF-SHUHPC	1289.000	0.409	0.900	0.863	0.526	3150
SM2G0	414.355	0.132	0.400	0.341	0.223	3150
SM2G1	351.407	0.112	0.400	0.341	0.221	3150
SM2G2	310.224	0.098	0.400	0.341	0.221	3150
SM2G3	268.082	0.085	0.400	0.341	0.219	3150
SM1G2	310.224	0.098	0.400	0.341	0.221	3150
SM3G2	310.224	0.098	0.400	0.341	0.221	3150
SP2G2	310.224	0.098	0.400	0.341	0.221	3150
HA2G2	310.224	0.098	0.400	0.341	0.221	3150
HB2G2	310.224	0.098	0.400	0.341	0.221	3150
A	386.000	0.123	0.313	0.250	0.136	3150
B	386.000	0.123	0.312	0.250	0.136	3150
C	386.000	0.123	0.312	0.250	0.136	3150
D	1233.000	0.391	1.000	1.000	0.490	3150
E	1233.000	0.391	0.999	1.000	0.490	3150
F	1233.000	0.391	0.999	1.000	0.490	3150
G	1113.000	0.353	1.000	1.000	0.490	3150
H	1113.000	0.353	0.999	1.000	0.490	3150
I	1113.000	0.353	0.999	1.000	0.490	3150
S0.5P0.5	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
S0.5P1.0	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
S0.5P1.5	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
S1.0P0.5	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
S1.0P1.0	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
S1.0P1.5	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
S1.5P0.5	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
S1.5P1.0	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
S1.5P1.5	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
S1.0	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
P1.0	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
c	225.000	0.071	0.500	0.677	0.261	3150
ECC-CONTROL	1059.071	0.336	0.991	1.000	0.514	3150
ECC0-2	1059.071	0.336	0.991	1.000	0.514	3150
ECC2-0	1059.071	0.336	0.991	1.000	0.514	3150

<i>ECC1-1</i>	<i>1059.071</i>	<i>0.336</i>	<i>0.991</i>	<i>1.000</i>	<i>0.514</i>	<i>3150</i>
<i>ECC1.5-0.5</i>	<i>1059.071</i>	<i>0.336</i>	<i>0.991</i>	<i>1.000</i>	<i>0.514</i>	<i>3150</i>
<i>ECC0.5-1.5</i>	<i>1059.071</i>	<i>0.336</i>	<i>0.991</i>	<i>1.000</i>	<i>0.514</i>	<i>3150</i>
<i>S1.50</i>	<i>869.976</i>	<i>0.276</i>	<i>0.754</i>	<i>0.736</i>	<i>0.457</i>	<i>3150</i>
<i>P1.25</i>	<i>871.498</i>	<i>0.277</i>	<i>0.754</i>	<i>0.736</i>	<i>0.457</i>	<i>3150</i>
<i>P1.50</i>	<i>868.518</i>	<i>0.276</i>	<i>0.754</i>	<i>0.736</i>	<i>0.456</i>	<i>3150</i>
<i>P175</i>	<i>864.818</i>	<i>0.275</i>	<i>0.754</i>	<i>0.736</i>	<i>0.455</i>	<i>3150</i>
<i>Mix 0 (Control)</i>	<i>574.300</i>	<i>0.182</i>	<i>0.455</i>	<i>0.381</i>	<i>0.226</i>	<i>3150</i>
<i>Mix 1</i>	<i>574.300</i>	<i>0.182</i>	<i>0.455</i>	<i>0.381</i>	<i>0.226</i>	<i>3150</i>
<i>Mix 2</i>	<i>574.300</i>	<i>0.182</i>	<i>0.455</i>	<i>0.381</i>	<i>0.226</i>	<i>3150</i>
<i>Mix 3</i>	<i>574.300</i>	<i>0.182</i>	<i>0.455</i>	<i>0.381</i>	<i>0.226</i>	<i>3150</i>
<i>Mix 4</i>	<i>574.300</i>	<i>0.182</i>	<i>0.455</i>	<i>0.381</i>	<i>0.226</i>	<i>3150</i>
<i>Control Specimen</i>	<i>1025.000</i>	<i>0.325</i>	<i>1.000</i>	<i>1.000</i>	<i>0.460</i>	<i>3150</i>
<i>ECC 1</i>	<i>1025.000</i>	<i>0.325</i>	<i>1.000</i>	<i>1.000</i>	<i>0.460</i>	<i>3150</i>
<i>ECC 2</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.356</i>	<i>3150</i>
<i>ECC 3</i>	<i>683.330</i>	<i>0.217</i>	<i>0.685</i>	<i>0.616</i>	<i>0.295</i>	<i>3150</i>
<i>ECC 4</i>	<i>585.710</i>	<i>0.186</i>	<i>0.571</i>	<i>0.496</i>	<i>0.245</i>	<i>3150</i>
<i>ECC 5</i>	<i>512.500</i>	<i>0.163</i>	<i>0.500</i>	<i>0.425</i>	<i>0.212</i>	<i>3150</i>
<i>ECC 6</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.356</i>	<i>3150</i>
<i>ECC 7</i>	<i>820.000</i>	<i>0.260</i>	<i>0.800</i>	<i>0.747</i>	<i>0.356</i>	<i>3150</i>
<i>1</i>	<i>739.208</i>	<i>0.235</i>	<i>0.799</i>	<i>0.800</i>	<i>0.318</i>	<i>3150</i>
<i>2</i>	<i>801.799</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.800</i>	<i>0.355</i>	<i>3150</i>
<i>3</i>	<i>891.680</i>	<i>0.283</i>	<i>0.800</i>	<i>0.800</i>	<i>0.410</i>	<i>3150</i>
<i>4</i>	<i>787.307</i>	<i>0.250</i>	<i>0.999</i>	<i>1.000</i>	<i>0.346</i>	<i>3150</i>
<i>5</i>	<i>858.700</i>	<i>0.273</i>	<i>1.000</i>	<i>1.000</i>	<i>0.389</i>	<i>3150</i>
<i>6</i>	<i>962.618</i>	<i>0.306</i>	<i>1.000</i>	<i>1.000</i>	<i>0.457</i>	<i>3150</i>
<i>LT15</i>	<i>802.387</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.736</i>	<i>0.458</i>	<i>3150</i>
<i>LH15</i>	<i>802.387</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.736</i>	<i>0.458</i>	<i>3150</i>
<i>LS15</i>	<i>802.387</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.736</i>	<i>0.458</i>	<i>3150</i>
<i>MS15</i>	<i>802.387</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.736</i>	<i>0.458</i>	<i>3150</i>
<i>SS15</i>	<i>802.387</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.736</i>	<i>0.458</i>	<i>3150</i>
<i>LT10SS05</i>	<i>802.387</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.736</i>	<i>0.458</i>	<i>3150</i>
<i>LH10SS05</i>	<i>802.387</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.736</i>	<i>0.458</i>	<i>3150</i>
<i>LS10SS05</i>	<i>802.387</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.736</i>	<i>0.458</i>	<i>3150</i>
<i>LS10MS05</i>	<i>802.387</i>	<i>0.255</i>	<i>0.800</i>	<i>0.736</i>	<i>0.458</i>	<i>3150</i>

PE 12-24 1.5 %	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 12-24 1.75 %	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 12-24 2 %	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 12-24 2.25 %	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 12-24 2.5 %	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 12-24 3 %	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 18-24 1.5%	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 18-24 1.75%	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 18-24 2%	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 18-24 2.25%	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 18-20 1.25%	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 18-20 1.5%	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 18-20 1.75%	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
PE 18-20 2%	700.000	0.224	0.412	0.395	0.273	3130
MIX 2	434.557	0.138	0.661	0.571	0.271	3150
MIX 3	437.951	0.139	0.662	0.574	0.273	3150
MIX 4	315.313	0.100	0.515	0.409	0.196	3150
MIX 5	378.682	0.120	0.594	0.501	0.241	3150
MIX 6	336.700	0.107	0.523	0.423	0.204	3150
M1 - 0,5	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M1 - 1,0	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M1 - 1,5	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M1 - 2,0	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M1 - T30/0.3	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M1 - S30/0.3	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M1- H30/0.375	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M1 - T20/0.2	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M1 - S19/0.2	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M1 - S13/0.2	745.745	0.237	0.748	0.684	0.380	3150
M2- H30/0.375	752.119	0.239	0.742	0.677	0.382	3150
M3 - H30/0.375	716.799	0.228	0.650	0.595	0.355	3150
4-3% <i>SHORT TWISTED</i>	844.219	0.268	0.741	0.670	0.432	3150
4-5% <i>SHORT TWISTED</i>	844.219	0.268	0.741	0.670	0.432	3150

4 3% MICRO STRAIGHT	844.219	0.268	0.741	0.670	0.432	3150
Mezcla UHPC SS 2% HE 0,5	788.500	0.250	0.800	0.736	0.456	3150
Mezcla UHPC SS 1% HE 1%	788.500	0.250	0.800	0.736	0.456	3150
Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%	788.500	0.250	0.800	0.736	0.456	3150
Mezcla UHPC SS 1% HH 1%	788.500	0.250	0.800	0.736	0.456	3150
Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%	788.500	0.250	0.800	0.736	0.456	3150
Mezcla UHPC SS 1% SH 1%	788.500	0.250	0.800	0.736	0.456	3150
Mix 1	793.861	0.252	0.588	0.514	0.343	3150
Mix 2	442.272	0.140	0.364	0.315	0.219	3150
Mix 3	435.502	0.138	0.364	0.315	0.219	3150
Mix 4	447.817	0.142	0.364	0.323	0.224	3150
M01	848.000	0.269	1.000	1.000	0.404	3150
M02	908.000	0.288	1.000	1.000	0.405	3150
M03	976.000	0.310	1.000	1.000	0.404	3150
M04	852.000	0.270	0.869	0.823	0.366	3150
M05	505.000	0.160	0.455	0.368	0.186	3150
M06	507.000	0.161	0.455	0.368	0.190	3150
A 1.5%	770.785	0.245	0.667	0.602	0.427	3150
A 2.0%	770.785	0.245	0.667	0.602	0.427	3150
A 2.5%	770.785	0.245	0.667	0.602	0.427	3150
Sif Con	945.386	0.300	0.667	0.602	0.427	3150
1A	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
1B	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
1C	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
1D	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
2A	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
2B	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
2C	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
2D	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
2E	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
2F	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
3A	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150
3B	1423.061	0.452	0.900	0.863	0.461	3150

C3

C4

C5

C6

MATRIZ 0%

MATRIZ 0.3%

MATRIZ 0.5%

MATRIZ 0.8%

MATRIZ 1.2 %

SHUHPC	crystallin e silica	143.000	0.065	0.100	0.137	0.083	2200
CNF-SHUHPC	crystallin e silica	143.000	0.065	0.100	0.137	0.083	2200
SM2G0		103.589	0.055	0.100	0.144	0.094	1870
SM2G1		87.852	0.047	0.100	0.144	0.093	1870
SM2G2		77.556	0.041	0.100	0.144	0.093	1870
SM2G3		67.021	0.036	0.100	0.144	0.092	1870
SM1G2		77.556	0.041	0.100	0.144	0.093	1870
SM3G2		77.556	0.041	0.100	0.144	0.093	1870
SP2G2		77.556	0.041	0.100	0.144	0.093	1870
HA2G2		77.556	0.041	0.100	0.144	0.093	1870
HB2G2		77.556	0.041	0.100	0.144	0.093	1870

A

B

C

D

E

F

G

H

I

S0.5P0.5

S0.5P1.0

S0.5P1.5

S1.0P0.5

S1.0P1.0

S1.0P1.5

S1.5P0.5

S1.5P1.0

S1.5P1.5

S1.0

P1.0

c

ECC-
CONTROL

ECC0-2

ECC2-0

ECC1-1

ECC1.5-0.5

ECC0.5-1.5

S1.50	zirconia silica fume	217.494	0.099	0.189	0.264	0.164	0.3	2200
P1.25	zirconia silica fume	217.874	0.099	0.189	0.264	0.163	0.3	2200
P1.50	zirconia silica fume	217.130	0.099	0.189	0.264	0.163	0.3	2200
P175	zirconia silica fume	216.205	0.098	0.189	0.264	0.163	0.3	2200
Mix 0 (Control)								
Mix 1								
Mix 2								
Mix 3								
Mix 4								
Control								
Specimen								
ECC 1								
ECC 2								
ECC 3								
ECC 4								
ECC 5								
ECC 6								
ECC 7								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
LT15		200.597	0.091	0.200	0.264	0.164		2200
LH15		200.597	0.091	0.200	0.264	0.164		2200
LS15		200.597	0.091	0.200	0.264	0.164		2200
MS15		200.597	0.091	0.200	0.264	0.164		2200
SS15		200.597	0.091	0.200	0.264	0.164		2200
LT10SS05		200.597	0.091	0.200	0.264	0.164		2200
LH10SS05		200.597	0.091	0.200	0.264	0.164		2200
LS10SS05		200.597	0.091	0.200	0.264	0.164		2200
LS10MS05		200.597	0.091	0.200	0.264	0.164		2200
PE 12-24 1.5 %		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 12-24 1.75 %		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 12-24 2 %		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 12-24 2.25 %		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 12-24 2.5 %		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 12-24 3 %		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 18-24 1.5%		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 18-24 1.75%		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 18-24 2%		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 18-24 2.25%		150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200

PE 18-20 1.25%	150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 18-20 1.5%	150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 18-20 1.75%	150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
PE 18-20 2%	150.000	0.068	0.088	0.120	0.083		2200
MIX 2							
MIX 3							
MIX 4							
MIX 5							
MIX 6							
M1 - 0,5	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M1 - 1,0	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M1 - 1,5	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M1 - 2,0	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M1 - T30/0.3	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M1 - S30/0.3	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M1- H30/0.375	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M1 - T20/0.2	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M1 - S19/0.2	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M1 - S13/0.2	65.253	0.029	0.065	0.084	0.047		2240
M2- H30/0.375	65.810	0.029	0.065	0.083	0.047		2240
M3 - H30/0.375	62.720	0.028	0.057	0.073	0.044		2240
4-3% <i>SHORT TWISTED</i>	211.055	0.096	0.185	0.240	0.155	0.3	2200
4-5% <i>SHORT TWISTED</i>	211.055	0.096	0.185	0.240	0.155	0.3	2200
4 3% <i>MICRO STRAIGHT</i>	211.055	0.096	0.185	0.240	0.155	0.3	2200
<i>Mezcla UHPC SS 2%</i>	197.100	0.090	0.200	0.264	0.163	0.3	2200
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HE 0,5</i>	197.100	0.090	0.200	0.264	0.163	0.3	2200
<i>Mezcla UHPC SS 1% HE 1%</i>	197.100	0.090	0.200	0.264	0.163	0.3	2200
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%</i>	197.100	0.090	0.200	0.264	0.163	0.3	2200
<i>Mezcla UHPC SS 1% HH 1%</i>	197.100	0.090	0.200	0.264	0.163	0.3	2200
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%</i>	197.100	0.090	0.200	0.264	0.163	0.3	2200
<i>Mezcla UHPC SS 1% SH 1%</i>	197.100	0.090	0.200	0.264	0.163	0.3	2200
Mix 1	198.465	0.090	0.147	0.184	0.123	0.5	2200
Mix 2	110.568	0.050	0.091	0.113	0.079	0.5	2200
Mix 3	108.876	0.049	0.091	0.113	0.079	0.5	2200
Mix 4	111.954	0.051	0.091	0.116	0.080	0.5	2200
M01							
M02							

M03							
M04							
M05							
M06							
A 1.5%	192.696	0.088	0.167	0.216	0.153		2200
A 2.0%	192.696	0.088	0.167	0.216	0.153		2200
A 2.5%	192.696	0.088	0.167	0.216	0.153		2200
Sif Con	236.346	0.107	0.167	0.216	0.153		2200
1A	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
1B	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
1C	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
1D	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
2A	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
2B	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
2C	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
2D	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
2E	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
2F	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
3A	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
3B	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
3C	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
3D	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
3E	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
4A	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
4B	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
4C	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
4D	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
4E	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
5A	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
5B	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
5C	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
5D	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
5E	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
5F	158.118	0.072	0.100	0.137	0.073		2200
Serie 1 part 2	106.119	0.048	0.100	0.137	0.062		2200
Serie 2 part 2	106.119	0.048	0.100	0.137	0.062		2200
Serie 3 part 2	106.119	0.048	0.100	0.137	0.062		2200

Tabla 11 Dosificación del humo de sílice

La siguiente tabla (**Tabla 12**) mostrara la dosificación de las matrices en cuanto a la ceniza volante usada en cada una de ellas.

<i>Denominación</i>	<i>Tipo</i>	<i>Contenido (kg/m³)</i>	<i>Contenido %Volumen</i>	<i>FA</i>			<i>Tamaño partícula µm</i>	<i>Densidad Específica (kg/m³)</i>
				<i>%FA sobre peso de binder</i>	<i>% FA en volumen sobre binder</i>	<i>%Volumen sobre PVF</i>		

<i>PE1</i>	<i>TIPO F</i>	<i>205.000</i>	<i>0.088</i>	<i>0.200</i>	<i>0.253</i>	<i>0.121</i>	<i>30</i>	<i>2326</i>
<i>PE2</i>	<i>TIPO F</i>	<i>205.000</i>	<i>0.088</i>	<i>0.200</i>	<i>0.253</i>	<i>0.120</i>	<i>30</i>	<i>2326</i>
<i>PE3</i>	<i>TIPO F</i>	<i>205.000</i>	<i>0.088</i>	<i>0.200</i>	<i>0.253</i>	<i>0.120</i>	<i>30</i>	<i>2326</i>
<i>PE4</i>	<i>TIPO F</i>	<i>205.000</i>	<i>0.088</i>	<i>0.200</i>	<i>0.253</i>	<i>0.120</i>	<i>30</i>	<i>2326</i>
<i>PE5</i>	<i>TIPO F</i>	<i>205.000</i>	<i>0.088</i>	<i>0.200</i>	<i>0.253</i>	<i>0.119</i>	<i>30</i>	<i>2326</i>
<i>PE6</i>	<i>TIPO F</i>	<i>205.000</i>	<i>0.088</i>	<i>0.200</i>	<i>0.253</i>	<i>0.119</i>	<i>30</i>	<i>2326</i>
<i>PE7</i>	<i>TIPO F</i>	<i>205.000</i>	<i>0.088</i>	<i>0.200</i>	<i>0.253</i>	<i>0.119</i>	<i>30</i>	<i>2326</i>
<i>PE8</i>	<i>TIPO F</i>	<i>205.000</i>	<i>0.088</i>	<i>0.200</i>	<i>0.253</i>	<i>0.118</i>	<i>30</i>	<i>2326</i>

HPFRCC-A

HPFRCC-B

<i>CEMENT FIBER C1</i>	<i>TIPO C</i>	<i>226.497</i>	<i>0.103</i>	<i>0.331</i>	<i>0.412</i>	<i>0.197</i>		<i>2200</i>
		<i>226.700</i>	<i>0.103</i>	<i>0.324</i>	<i>0.407</i>	<i>0.216</i>		<i>2200</i>
<i>C2</i>		<i>232.900</i>	<i>0.106</i>	<i>0.331</i>	<i>0.411</i>	<i>0.195</i>		<i>2200</i>
<i>C3</i>		<i>237.000</i>	<i>0.108</i>	<i>0.331</i>	<i>0.412</i>	<i>0.196</i>		<i>2200</i>
<i>C4</i>		<i>306.800</i>	<i>0.139</i>	<i>0.451</i>	<i>0.522</i>	<i>0.248</i>		<i>2200</i>
<i>C5</i>		<i>274.600</i>	<i>0.125</i>	<i>0.398</i>	<i>0.482</i>	<i>0.232</i>		<i>2200</i>
<i>C6</i>		<i>326.400</i>	<i>0.148</i>	<i>0.457</i>	<i>0.536</i>	<i>0.257</i>		<i>2200</i>

MATRIZ 0%

MATRIZ 0.3%

MATRIZ 0.5%

MATRIZ 0.8%

MATRIZ 1.2 %

SHUHPC

CNF-SHUHPC

<i>SM2G0</i>		<i>207.177</i>	<i>0.089</i>	<i>0.200</i>	<i>0.231</i>	<i>0.151</i>		<i>2330</i>
<i>SM2G1</i>		<i>175.704</i>	<i>0.075</i>	<i>0.200</i>	<i>0.231</i>	<i>0.149</i>		<i>2330</i>
<i>SM2G2</i>		<i>155.112</i>	<i>0.067</i>	<i>0.200</i>	<i>0.231</i>	<i>0.149</i>		<i>2330</i>
<i>SM2G3</i>		<i>134.041</i>	<i>0.058</i>	<i>0.200</i>	<i>0.231</i>	<i>0.148</i>		<i>2330</i>
<i>SM1G2</i>		<i>155.112</i>	<i>0.067</i>	<i>0.200</i>	<i>0.231</i>	<i>0.149</i>		<i>2330</i>
<i>SM3G2</i>		<i>155.112</i>	<i>0.067</i>	<i>0.200</i>	<i>0.231</i>	<i>0.149</i>		<i>2330</i>
<i>SP2G2</i>		<i>155.112</i>	<i>0.067</i>	<i>0.200</i>	<i>0.231</i>	<i>0.149</i>		<i>2330</i>
<i>HA2G2</i>		<i>155.112</i>	<i>0.067</i>	<i>0.200</i>	<i>0.231</i>	<i>0.149</i>		<i>2330</i>
<i>HB2G2</i>		<i>155.112</i>	<i>0.067</i>	<i>0.200</i>	<i>0.231</i>	<i>0.149</i>		<i>2330</i>
<i>A</i>		<i>849.200</i>	<i>0.368</i>	<i>0.688</i>	<i>0.750</i>	<i>0.409</i>		<i>2310</i>
<i>B</i>		<i>849.200</i>	<i>0.368</i>	<i>0.687</i>	<i>0.750</i>	<i>0.409</i>		<i>2310</i>

<i>ECC 1</i>						
<i>ECC 2</i>	205.000	0.088	0.200	0.253	0.121	2326
<i>ECC 3</i>	314.670	0.135	0.315	0.384	0.184	2326
<i>ECC 4</i>	439.290	0.189	0.429	0.504	0.249	2326
<i>ECC 5</i>	512.500	0.220	0.500	0.575	0.288	2326
<i>ECC 6</i>	205.000	0.088	0.200	0.253	0.121	2326
<i>ECC 7</i>	205.000	0.088	0.200	0.253	0.121	2326

1

2

3

4

5

6

LT15

LH15

LS15

MS15

SS15

LT10SS05

LH10SS05

LS10SS05

LS10MS05

PE 12-24 1.5 %

PE 12-24 1.75
%

PE 12-24 2 %

PE 12-24 2.25
%

PE 12-24 2.5 %

PE 12-24 3 %

PE 18-24 1.5%

PE 18-24
1.75%

PE 18-24 2%

PE 18-24
2.25%

PE 18-20

1.25%

PE 18-20 1.5%

PE 18-20

1.75%

PE 18-20 2%

MIX 2	TIPO C	217.278	0.099	0.331	0.409	0.194		2200
MIX 3	TIPO C	218.975	0.100	0.331	0.411	0.195		2200
MIX 4	TIPO C	275.899	0.125	0.451	0.513	0.245		2200
MIX 5	TIPO C	253.717	0.115	0.398	0.480	0.231		2200
MIX 6	TIPO C	294.613	0.134	0.457	0.530	0.256		2200
M1 - 0,5		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M1 - 1,0		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M1 - 1,5		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M1 - 2,0		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M1 - T30/0.3		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M1 - S30/0.3		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M1- H30/0.375		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M1 - T20/0.2		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M1 - S19/0.2		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M1 - S13/0.2		186.436	0.080	0.187	0.232	0.129		2320
M2- H30/0.375		188.030	0.081	0.186	0.230	0.130		2320
M3 - H30/0.375		179.200	0.077	0.163	0.202	0.120		2320
4-3% SHORT TWISTED		84.422	0.036	0.074	0.091	0.059	10	2326
4-5% SHORT TWISTED		84.422	0.036	0.074	0.091	0.059	10	2326
4 3% MICRO STRAIGHT		84.422	0.036	0.074	0.091	0.059	10	2326
<i>Mezcla UHPC</i>								
<i>SS 2%</i>								
<i>Mezcla UHPC</i>								
<i>SS 1,5% HE 0,5</i>								
<i>Mezcla UHPC</i>								
<i>SS 1% HE 1%</i>								
<i>Mezcla UHPC</i>								
<i>SS 1,5% HH</i>								
<i>0,5%</i>								
<i>Mezcla UHPC</i>								
<i>SS 1% HH 1%</i>								
<i>Mezcla UHPC</i>								
<i>SS 1,5% SH</i>								
<i>0,5%</i>								
<i>Mezcla UHPC</i>								
<i>SS 1% SH 1%</i>								
Mix 1		158.772	0.072	0.118	0.147	0.098		2200
Mix 2		221.136	0.101	0.182	0.225	0.157		2200

Mix 3	217.751	0.099	0.182	0.225	0.157	2200
Mix 4	134.345	0.061	0.109	0.139	0.096	2200
M01						
M02						
M03						
M04	128.000	0.058	0.131	0.177	0.079	2200
M05	605.000	0.275	0.545	0.632	0.320	2200
M06	608.000	0.276	0.545	0.632	0.326	2200
A 1.5%						
A 2.0%						
A 2.5%						
Sif Con						
1A						
1B						
1C						
1D						
2A						
2B						
2C						
2D						
2E						
2F						
3A						
3B						
3C						
3D						
3E						
4A						
4B						
4C						
4D						
4E						
5A						
5B						
5C						

5D

5E

5F

Serie 1 part 2

Serie 2 part 2

Serie 3 part 2

Tabla 12 Dosificación de la ceniza volante

La siguiente tabla (**Tabla 13**) corresponde a la dosificación del agua usada en cada una de las matrices.

<i>Denominación</i>	<i>Água</i>		
	<i>Contenido (kg/m³)</i>	<i>Contenido %Volumen</i>	<i>%Volumen sobre PVF</i>
<i>PE1</i>	<i>379.250</i>	<i>0.379</i>	<i>0.519</i>
<i>PE2</i>	<i>380.250</i>	<i>0.380</i>	<i>0.519</i>
<i>PE3</i>	<i>381.250</i>	<i>0.381</i>	<i>0.519</i>
<i>PE4</i>	<i>382.250</i>	<i>0.382</i>	<i>0.519</i>
<i>PE5</i>	<i>383.250</i>	<i>0.383</i>	<i>0.519</i>
<i>PE6</i>	<i>384.250</i>	<i>0.384</i>	<i>0.519</i>
<i>PE7</i>	<i>385.250</i>	<i>0.385</i>	<i>0.519</i>
<i>PE8</i>	<i>386.250</i>	<i>0.386</i>	<i>0.519</i>
<i>HPFRCC-A</i>	<i>233.401</i>	<i>0.233</i>	<i>0.356</i>
<i>HPFRCC-B</i>	<i>230.995</i>	<i>0.231</i>	<i>0.356</i>
<i>CEMENT FIBER</i>	<i>271.797</i>	<i>0.272</i>	<i>0.520</i>
<i>C1</i>	<i>212.500</i>	<i>0.213</i>	<i>0.445</i>
<i>C2</i>	<i>279.500</i>	<i>0.280</i>	<i>0.514</i>
<i>C3</i>	<i>284.400</i>	<i>0.284</i>	<i>0.517</i>
<i>C4</i>	<i>294.500</i>	<i>0.295</i>	<i>0.523</i>
<i>C5</i>	<i>274.600</i>	<i>0.275</i>	<i>0.510</i>
<i>C6</i>	<i>298.500</i>	<i>0.299</i>	<i>0.517</i>
<i>MATRIZ 0%</i>	<i>385.838</i>	<i>0.386</i>	<i>0.504</i>
<i>MATRIZ 0.3%</i>	<i>385.838</i>	<i>0.386</i>	<i>0.504</i>
<i>MATRIZ 0.5%</i>	<i>385.838</i>	<i>0.386</i>	<i>0.504</i>
<i>MATRIZ 0.8%</i>	<i>385.838</i>	<i>0.386</i>	<i>0.504</i>
<i>MATRIZ 1.2 %</i>	<i>385.838</i>	<i>0.386</i>	<i>0.504</i>
<i>SHUHPC</i>	<i>284.000</i>	<i>0.284</i>	<i>0.365</i>

CNF-SHUHPC	284.000	0.284	0.365
SM2G0	186.460	0.186	0.317
SM2G1	158.133	0.158	0.313
SM2G2	139.601	0.140	0.313
SM2G3	120.637	0.121	0.310
SM1G2	139.601	0.140	0.313
SM3G2	139.601	0.140	0.313
SP2G2	139.601	0.140	0.313
HA2G2	139.601	0.140	0.313
HB2G2	139.601	0.140	0.313
A	407.616	0.408	0.454
B	407.616	0.408	0.454
C	407.616	0.408	0.454
D	406.890	0.407	0.510
E	406.890	0.407	0.510
F	406.890	0.407	0.510
G	367.290	0.367	0.510
H	367.290	0.367	0.510
I	367.290	0.367	0.510
S0.5P0.5	165.000	0.165	0.603
S0.5P1.0	165.000	0.165	0.603
S0.5P1.5	165.000	0.165	0.603
S1.0P0.5	165.000	0.165	0.603
S1.0P1.0	165.000	0.165	0.603
S1.0P1.5	165.000	0.165	0.603
S1.5P0.5	165.000	0.165	0.603
S1.5P1.0	165.000	0.165	0.603
S1.5P1.5	165.000	0.165	0.603
S1.0	165.000	0.165	0.603
P1.0	165.000	0.165	0.603
c	165.000	0.165	0.603
ECC-CONTROL	317.721	0.318	0.485
ECC0-2	317.721	0.318	0.485
ECC2-0	317.721	0.318	0.485

<i>ECC1-1</i>	<i>317.721</i>	<i>0.318</i>	<i>0.485</i>
<i>ECC1.5-0.5</i>	<i>317.721</i>	<i>0.318</i>	<i>0.485</i>
<i>ECC0.5-1.5</i>	<i>317.721</i>	<i>0.318</i>	<i>0.485</i>
<i>S1.50</i>	<i>217.494</i>	<i>0.217</i>	<i>0.360</i>
<i>P1.25</i>	<i>217.874</i>	<i>0.218</i>	<i>0.360</i>
<i>P1.50</i>	<i>217.130</i>	<i>0.217</i>	<i>0.359</i>
<i>P175</i>	<i>216.205</i>	<i>0.216</i>	<i>0.358</i>
Mix 0 (Control)	<i>321.608</i>	<i>0.322</i>	<i>0.399</i>
Mix 1	<i>321.608</i>	<i>0.322</i>	<i>0.399</i>
Mix 2	<i>321.608</i>	<i>0.322</i>	<i>0.399</i>
Mix 3	<i>321.608</i>	<i>0.322</i>	<i>0.399</i>
Mix 4	<i>321.608</i>	<i>0.322</i>	<i>0.399</i>
<i>Control Specimen</i>	<i>379.250</i>	<i>0.379</i>	<i>0.536</i>
<i>ECC 1</i>	<i>379.250</i>	<i>0.379</i>	<i>0.536</i>
<i>ECC 2</i>	<i>379.250</i>	<i>0.379</i>	<i>0.519</i>
<i>ECC 3</i>	<i>379.250</i>	<i>0.379</i>	<i>0.516</i>
<i>ECC 4</i>	<i>379.250</i>	<i>0.379</i>	<i>0.500</i>
<i>ECC 5</i>	<i>379.250</i>	<i>0.379</i>	<i>0.495</i>
<i>ECC 6</i>	<i>379.250</i>	<i>0.379</i>	<i>0.519</i>
<i>ECC 7</i>	<i>379.250</i>	<i>0.379</i>	<i>0.519</i>
<i>1</i>	<i>443.525</i>	<i>0.444</i>	<i>0.602</i>
<i>2</i>	<i>384.863</i>	<i>0.385</i>	<i>0.536</i>
<i>3</i>	<i>312.088</i>	<i>0.312</i>	<i>0.452</i>
<i>4</i>	<i>472.384</i>	<i>0.472</i>	<i>0.654</i>
<i>5</i>	<i>412.176</i>	<i>0.412</i>	<i>0.588</i>
<i>6</i>	<i>336.916</i>	<i>0.337</i>	<i>0.503</i>
LT15	<i>160.477</i>	<i>0.160</i>	<i>0.288</i>
LH15	<i>160.477</i>	<i>0.160</i>	<i>0.288</i>
LS15	<i>160.477</i>	<i>0.160</i>	<i>0.288</i>
MS15	<i>160.477</i>	<i>0.160</i>	<i>0.288</i>
SS15	<i>160.477</i>	<i>0.160</i>	<i>0.288</i>
LT10SS05	<i>160.477</i>	<i>0.160</i>	<i>0.288</i>
LH10SS05	<i>160.477</i>	<i>0.160</i>	<i>0.288</i>
LS10SS05	<i>160.477</i>	<i>0.160</i>	<i>0.288</i>

LS10MS05	160.477	0.160	0.288
PE 12-24 1.5 %	230.000	0.230	0.281
PE 12-24 1.75 %	230.000	0.230	0.281
PE 12-24 2 %	230.000	0.230	0.281
PE 12-24 2.25 %	230.000	0.230	0.281
PE 12-24 2.5 %	230.000	0.230	0.281
PE 12-24 3 %	230.000	0.230	0.281
PE 18-24 1.5%	230.000	0.230	0.281
PE 18-24 1.75%	230.000	0.230	0.281
PE 18-24 2%	230.000	0.230	0.281
PE 18-24 2.25%	230.000	0.230	0.281
PE 18-20 1.25%	230.000	0.230	0.281
PE 18-20 1.5%	230.000	0.230	0.281
PE 18-20 1.75%	230.000	0.230	0.281
PE 18-20 2%	230.000	0.230	0.281
MIX 2	260.734	0.261	0.513
MIX 3	262.770	0.263	0.516
MIX 4	264.863	0.265	0.518
MIX 5	253.717	0.254	0.509
MIX 6	269.360	0.269	0.514
M1 - 0,5	242.367	0.242	0.389
M1 - 1,0	242.367	0.242	0.389
M1 - 1,5	242.367	0.242	0.389
M1 - 2,0	242.367	0.242	0.389
M1 - T30/0.3	242.367	0.242	0.389
M1 - S30/0.3	242.367	0.242	0.389
M1- H30/0.375	242.367	0.242	0.389
M1 - T20/0.2	242.367	0.242	0.389
M1 - S19/0.2	242.367	0.242	0.389
M1 - S13/0.2	242.367	0.242	0.389
M2- H30/0.375	244.439	0.244	0.391
M3 - H30/0.375	232.960	0.233	0.363
4-3% <i>SHORT TWISTED</i>	211.055	0.211	0.340

<i>4-5% SHORT TWISTED</i>	<i>211.055</i>	<i>0.211</i>	<i>0.340</i>
<i>4 3% MICRO STRAIGHT</i>	<i>211.055</i>	<i>0.211</i>	<i>0.340</i>
<i>Mezcla UHPC SS 2%</i>	<i>160.300</i>	<i>0.160</i>	<i>0.292</i>
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HE 0,5</i>	<i>160.300</i>	<i>0.160</i>	<i>0.292</i>
<i>Mezcla UHPC SS 1% HE 1%</i>	<i>160.300</i>	<i>0.160</i>	<i>0.292</i>
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%</i>	<i>160.300</i>	<i>0.160</i>	<i>0.292</i>
<i>Mezcla UHPC SS 1% HH 1%</i>	<i>160.300</i>	<i>0.160</i>	<i>0.292</i>
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%</i>	<i>160.300</i>	<i>0.160</i>	<i>0.292</i>
<i>Mezcla UHPC SS 1% SH 1%</i>	<i>160.300</i>	<i>0.160</i>	<i>0.292</i>
Mix 1	230.220	0.230	0.313
Mix 2	176.909	0.177	0.277
Mix 3	174.201	0.174	0.277
Mix 4	179.127	0.179	0.282
M01	382.000	0.382	0.574
M02	408.000	0.408	0.573
M03	440.000	0.440	0.574
M04	387.000	0.387	0.524
M05	404.000	0.404	0.470
M06	406.000	0.406	0.480
A 1.5%	163.406	0.163	0.285
A 2.0%	163.406	0.163	0.285
A 2.5%	163.406	0.163	0.285
Sif Con	195.695	0.196	0.278
1A	426.918	0.427	0.436
1B	426.918	0.427	0.436
1C	426.918	0.427	0.436
1D	426.918	0.427	0.436
2A	426.918	0.427	0.436
2B	426.918	0.427	0.436
2C	426.918	0.427	0.436
2D	426.918	0.427	0.436
2E	426.918	0.427	0.436

2F	426.918	0.427	0.436
3A	426.918	0.427	0.436
3B	426.918	0.427	0.436
3C	426.918	0.427	0.436
3D	426.918	0.427	0.436
3E	426.918	0.427	0.436
4A	426.918	0.427	0.436
4B	426.918	0.427	0.436
4C	426.918	0.427	0.436
4D	426.918	0.427	0.436
4E	426.918	0.427	0.436
5A	426.918	0.427	0.436
5B	426.918	0.427	0.436
5C	426.918	0.427	0.436
5D	426.918	0.427	0.436
5E	426.918	0.427	0.436
5F	426.918	0.427	0.436
Serie 1 part 2	424.475	0.424	0.547
Serie 2 part 2	424.475	0.424	0.547
Serie 3 part 2	424.475	0.424	0.547

Tabla 13 Dosificación del agua

La siguiente tabla (**Tabla 14**) muestra la dosificación del super plastificante usado en cada una de las matrices.

<i>Denominación</i>	<i>HRWR</i>						
	<i>Tipo</i>	<i>% spc</i>	<i>% spb</i>	<i>Contenido (kg/m³)</i>	<i>Contenido %Volumen</i>	<i>%Volumen sobre PVF</i>	<i>Densidad Específica (kg/m³)</i>
<i>PE1</i>	Sika®ViscoCrete®1600	0.004	0.003	3.500	0.003	0.004	1090
<i>PE2</i>	Sika®ViscoCrete®1601	0.005	0.004	4.500	0.004	0.006	1090
<i>PE3</i>	Sika®ViscoCrete®1602	0.007	0.005	5.500	0.005	0.007	1090
<i>PE4</i>	Sika®ViscoCrete®1603	0.008	0.006	6.500	0.006	0.008	1090
<i>PE5</i>	Sika®ViscoCrete®1604	0.009	0.007	7.500	0.007	0.009	1090
<i>PE6</i>	Sika®ViscoCrete®1605	0.010	0.008	8.500	0.008	0.011	1090
<i>PE7</i>	Sika®ViscoCrete®1606	0.012	0.009	9.500	0.009	0.012	1090

<i>PE8</i>	Sika®ViscoCrete®16 07	<i>0.013</i>	<i>0.010</i>	<i>10.500</i>	<i>0.010</i>	<i>0.013</i>	<i>1090</i>
<i>HPFRCC-A</i>		<i>0.154</i>	<i>0.140</i>	<i>128.371</i>	<i>0.120</i>	<i>0.182</i>	<i>1074</i>
<i>HPFRCC-B</i>		<i>0.154</i>	<i>0.140</i>	<i>127.047</i>	<i>0.118</i>	<i>0.182</i>	<i>1074</i>
<i>CEMENT FIBER</i>		<i>0.003</i>	<i>0.002</i>	<i>1.359</i>	<i>0.001</i>	<i>0.002</i>	<i>1074</i>
<i>C1</i>	<i>SP1</i>	<i>0.027</i>	<i>0.018</i>	<i>12.800</i>	<i>0.012</i>	<i>0.025</i>	<i>1074</i>
<i>C2</i>	<i>SP1</i>	<i>0.015</i>	<i>0.010</i>	<i>7.000</i>	<i>0.007</i>	<i>0.012</i>	<i>1074</i>
<i>C3</i>	<i>SP1</i>	<i>0.010</i>	<i>0.007</i>	<i>4.700</i>	<i>0.004</i>	<i>0.008</i>	<i>1074</i>
<i>C4</i>	<i>SP2</i>	<i>0.005</i>	<i>0.003</i>	<i>1.900</i>	<i>0.002</i>	<i>0.003</i>	<i>1074</i>
<i>C5</i>	<i>SP1</i>	<i>0.013</i>	<i>0.008</i>	<i>5.300</i>	<i>0.005</i>	<i>0.009</i>	<i>1074</i>
<i>C6</i>	<i>SP2</i>	<i>0.005</i>	<i>0.003</i>	<i>1.900</i>	<i>0.002</i>	<i>0.003</i>	<i>1074</i>
<i>MATRIZ 0%</i>	water-reducing	<i>0.020</i>	<i>0.017</i>	<i>17.148</i>	<i>0.016</i>	<i>0.021</i>	<i>1074</i>
<i>MATRIZ 0.3%</i>	water-reducing	<i>0.020</i>	<i>0.017</i>	<i>17.148</i>	<i>0.016</i>	<i>0.021</i>	<i>1074</i>
<i>MATRIZ 0.5%</i>	water-reducing	<i>0.020</i>	<i>0.017</i>	<i>17.148</i>	<i>0.016</i>	<i>0.021</i>	<i>1074</i>
<i>MATRIZ 0.8%</i>	water-reducing	<i>0.020</i>	<i>0.017</i>	<i>17.148</i>	<i>0.016</i>	<i>0.021</i>	<i>1074</i>
<i>MATRIZ 1.2 %</i>	water-reducing	<i>0.020</i>	<i>0.017</i>	<i>17.148</i>	<i>0.016</i>	<i>0.021</i>	<i>1074</i>
<i>SHUHPC</i>	<i>SP</i>	<i>0.017</i>	<i>0.015</i>	<i>22.000</i>	<i>0.020</i>	<i>0.026</i>	<i>1074</i>
<i>CNF-SHUHPC</i>	<i>SP</i>	<i>0.017</i>	<i>0.015</i>	<i>22.000</i>	<i>0.020</i>	<i>0.026</i>	<i>1074</i>
<i>SM2G0</i>		<i>0.045</i>	<i>0.018</i>	<i>18.646</i>	<i>0.017</i>	<i>0.029</i>	<i>1074</i>
<i>SM2G1</i>		<i>0.060</i>	<i>0.024</i>	<i>21.084</i>	<i>0.020</i>	<i>0.039</i>	<i>1074</i>
<i>SM2G2</i>		<i>0.063</i>	<i>0.025</i>	<i>19.389</i>	<i>0.018</i>	<i>0.040</i>	<i>1074</i>
<i>SM2G3</i>		<i>0.075</i>	<i>0.030</i>	<i>20.106</i>	<i>0.019</i>	<i>0.048</i>	<i>1074</i>
<i>SM1G2</i>		<i>0.063</i>	<i>0.025</i>	<i>19.389</i>	<i>0.018</i>	<i>0.040</i>	<i>1074</i>
<i>SM3G2</i>		<i>0.063</i>	<i>0.025</i>	<i>19.389</i>	<i>0.018</i>	<i>0.040</i>	<i>1074</i>
<i>SP2G2</i>		<i>0.063</i>	<i>0.025</i>	<i>19.389</i>	<i>0.018</i>	<i>0.040</i>	<i>1074</i>
<i>HA2G2</i>		<i>0.063</i>	<i>0.025</i>	<i>19.389</i>	<i>0.018</i>	<i>0.040</i>	<i>1074</i>
<i>HB2G2</i>		<i>0.063</i>	<i>0.025</i>	<i>19.389</i>	<i>0.018</i>	<i>0.040</i>	<i>1074</i>
<i>A</i>							
<i>B</i>							
<i>C</i>							
<i>D</i>							
<i>E</i>							
<i>F</i>							
<i>G</i>							
<i>H</i>							

<i>I</i>							
S0.5P0.5		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
S0.5P1.0		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
S0.5P1.5		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
S1.0P0.5		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
S1.0P1.0		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
S1.0P1.5		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
S1.5P0.5		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
S1.5P1.0		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
S1.5P1.5		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
S1.0		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
P1.0		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
<i>c</i>		0.014	0.007	3.200	0.003	0.011	1074
<i>ECC-CONTROL</i>	(HRWRA-High)	0.001	0.001	0.700	0.001	0.001	1074
<i>ECC0-2</i>	(HRWRA-High)	0.001	0.001	0.700	0.001	0.001	1074
<i>ECC2-0</i>	(HRWRA-High)	0.001	0.001	0.700	0.001	0.001	1074
<i>ECC1-1</i>	(HRWRA-High)	0.001	0.001	0.700	0.001	0.001	1074
<i>ECC1.5-0.5</i>	(HRWRA-High)	0.001	0.001	0.700	0.001	0.001	1074
<i>ECC0.5-1.5</i>	(HRWRA-High)	0.001	0.001	0.700	0.001	0.001	1074
S1.50		0.014	0.011	12.180	0.011	0.019	1074
P1.25		0.015	0.011	13.072	0.012	0.020	1074
P1.50		0.016	0.012	13.896	0.013	0.021	1074
P175		0.018	0.014	15.567	0.014	0.024	1074
Mix 0 (Control)		0.012	0.005	6.892	0.006	0.008	1074
Mix 1		0.012	0.005	6.892	0.006	0.008	1074
Mix 2		0.012	0.005	6.892	0.006	0.008	1074
Mix 3		0.012	0.005	6.892	0.006	0.008	1074
Mix 4		0.012	0.005	6.892	0.006	0.008	1074
<i>Control Specimen</i>		0.003	0.003	2.870	0.003	0.004	1074
<i>ECC 1</i>		0.003	0.003	2.870	0.003	0.004	1074
<i>ECC 2</i>		0.004	0.003	3.075	0.003	0.004	1074
<i>ECC 3</i>		0.005	0.003	3.180	0.003	0.004	1074
<i>ECC 4</i>		0.007	0.004	4.000	0.004	0.005	1074
<i>ECC 5</i>		0.009	0.004	4.400	0.004	0.005	1074

ECC 6		0.004	0.003	3.075	0.003	0.004	1074
ECC 7		0.004	0.003	3.075	0.003	0.004	1074
1							
2	HRW	0.020	0.016	16.036	0.015	0.021	1074
3	HRW	0.030	0.024	26.750	0.025	0.036	1074
4							
5	HRW	0.020	0.020	17.174	0.016	0.023	1074
6	HRW	0.030	0.030	28.879	0.027	0.040	1074
LT15		0.067	0.054	53.760	0.050	0.090	1074
LH15		0.067	0.054	53.760	0.050	0.090	1074
LS15		0.067	0.054	53.760	0.050	0.090	1074
MS15		0.067	0.054	53.760	0.050	0.090	1074
SS15		0.067	0.054	53.760	0.050	0.090	1074
LT10SS05		0.067	0.054	53.760	0.050	0.090	1074
LH10SS05		0.067	0.054	53.760	0.050	0.090	1074
LS10SS05		0.067	0.054	53.760	0.050	0.090	1074
LS10MS05		0.067	0.054	53.760	0.050	0.090	1074
PE 12-24 1.5 %		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 12-24 1.75 %		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 12-24 2 %		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 12-24 2.25 %		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 12-24 2.5 %		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 12-24 3 %		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 18-24 1.5%		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 18-24 1.75%		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 18-24 2%		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 18-24 2.25%		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 18-20 1.25%		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 18-20 1.5%		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 18-20 1.75%		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
PE 18-20 2%		0.036	0.015	25.000	0.023	0.028	1074
MIX 2	SP 1	0.015	0.010	6.518	0.006	0.012	1100
MIX 3	SP1	0.010	0.007	4.380	0.004	0.008	1100
MIX 4	SP2	0.006	0.003	1.734	0.002	0.003	1002

MIX 5	SP1	0.013	0.008	4.923	0.004	0.009	1100
MIX 6	SP2	0.006	0.003	1.852	0.002	0.004	1002
M1 - 0,5		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M1 - 1,0		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M1 - 1,5		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M1 - 2,0		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M1 - T30/0.3		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M1 - S30/0.3		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M1- H30/0.375		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M1 - T20/0.2		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M1 - S19/0.2		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M1 - S13/0.2		0.050	0.037	37.287	0.035	0.056	1074
M2- H30/0.375		0.040	0.030	30.085	0.028	0.045	1074
M3 - H30/0.375		0.040	0.026	28.672	0.027	0.042	1074
4-3% <i>SHORT TWISTED</i>		0.011	0.008	9.286	0.009	0.014	1074
4-5% <i>SHORT TWISTED</i>		0.011	0.008	9.286	0.009	0.014	1074
4 3% <i>MICRO STRAIGHT</i>		0.011	0.008	9.286	0.009	0.014	1074
<i>Mezcla UHPC SS 2%</i>		0.067	0.053	52.600	0.049	0.089	1074
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HE 0,5</i>		0.067	0.053	52.600	0.049	0.089	1074
<i>Mezcla UHPC SS 1% HE 1%</i>		0.067	0.053	52.600	0.049	0.089	1074
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%</i>		0.067	0.053	52.600	0.049	0.089	1074
<i>Mezcla UHPC SS 1% HH 1%</i>		0.067	0.053	52.600	0.049	0.089	1074
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%</i>		0.067	0.053	52.600	0.049	0.089	1074
<i>Mezcla UHPC SS 1% SH 1%</i>		0.067	0.053	52.600	0.049	0.089	1074
Mix 1		0.020	0.012	15.877	0.015	0.020	1074
Mix 2		0.040	0.015	17.691	0.016	0.026	1074
Mix 3		0.040	0.015	17.420	0.016	0.026	1074
Mix 4		0.040	0.015	17.913	0.017	0.026	1074
M01	CRX300	0.020	0.020	17.000	0.015	0.022	1150
M02	CRX300	0.020	0.020	18.000	0.016	0.022	1150

M03	CRX300	0.019	0.019	19.000	0.017	0.022	1150
M04	CC583	0.020	0.017	17.000	0.023	0.032	730
M05	CC583	0.030	0.014	15.000	0.021	0.024	730
M06	GLENIUM51	0.007	0.003	3.800	0.003	0.004	1200
A 1.5%		0.005	0.004	4.162	0.004	0.007	1074
A 2.0%		0.005	0.004	4.162	0.004	0.007	1074
A 2.5%		0.005	0.004	4.162	0.004	0.007	1074
Sif Con		0.011	0.007	10.210	0.010	0.014	1074
1A		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
1B		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
1C		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
1D		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
2A		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
2B		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
2C		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
2D		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
2E		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
2F		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
3A		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
3B		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
3C		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
3D		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
3E		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
4A		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
4B		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
4C		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
4D		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
4E		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
5A		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
5B		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
5C		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
5D		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
5E		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074
5F		0.022	0.020	31.624	0.029	0.030	1074

Serie 1 part 2		0.016	0.014	15.200	0.014	0.018	1074
Serie 2 part 2		0.016	0.014	15.200	0.014	0.018	1074
Serie 3 part 2		0.016	0.014	15.200	0.014	0.018	1074

Tabla 14 Dosificación del superplastificante

La siguiente tabla (**Tabla 15**) muestra la dosificación de la arena tipo 1 usada en cada una de las matrices.

Denominación	Arena 1						
	Tipo	Naturaleza	Tamaño máximo μm	D50 μm	Contenido (kg/m ³)	Contenido %Volumen	Densidad Específica (kg/m ³)
PE1		Silica sand		200.000	656.000	0.248	2650
PE2		Silica sand		200.000	657.000	0.248	2650
PE3		Silica sand		200.000	658.000	0.248	2650
PE4		Silica sand		200.000	659.000	0.249	2650
PE5		Silica sand		200.000	660.000	0.249	2650
PE6		Silica sand		200.000	661.000	0.249	2650
PE7		Silica sand		200.000	662.000	0.250	2650
PE8		Silica sand		200.000	663.000	0.250	2650
HPFRCC-A		Sand		475.000	833.576	0.315	2650
HPFRCC-B		Sand		475.000	824.982	0.311	2650
CEMENT FIBER		Flint Sand		200.000	770.090	0.291	2650
C1		Silica sand		200.000	802.800	0.303	2650
C2		Silica sand		200.000	791.900	0.299	2650
C3		Silica sand		200.000	805.800	0.304	2650
C4		Silica sand		200.000	876.500	0.331	2650
C5		Silica sand		200.000	860.800	0.325	2650
C6		Silica sand		200.000	820.800	0.310	2650
MATRIZ 0%	F110	fine sand		150.000	514.451	0.194	2650
MATRIZ 0.3%	F110	fine sand		150.000	514.451	0.194	2650
MATRIZ 0.5%	F110	fine sand		150.000	514.451	0.194	2650
MATRIZ 0.8%	F110	fine sand		150.000	514.451	0.194	2650
MATRIZ 1.2 %	F110	fine sand		150.000	514.451	0.194	2650
SHUHPC		Silica Sand		150.000	143.000	0.054	2650
CNF-SHUHPC		Silica Sand		150.000	143.000	0.054	2650
SM2G0		Silica Sand		100.000	1035.887	0.391	2650

<i>SM2G1</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>100.000</i>	<i>878.519</i>	<i>0.332</i>	<i>2650</i>
<i>SM2G2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>100.000</i>	<i>775.561</i>	<i>0.293</i>	<i>2650</i>
<i>SM2G3</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>100.000</i>	<i>670.206</i>	<i>0.253</i>	<i>2650</i>
<i>SM1G2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>100.000</i>	<i>775.561</i>	<i>0.293</i>	<i>2650</i>
<i>SM3G2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>100.000</i>	<i>775.561</i>	<i>0.293</i>	<i>2650</i>
<i>SP2G2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>100.000</i>	<i>775.561</i>	<i>0.293</i>	<i>2650</i>
<i>HA2G2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>100.000</i>	<i>775.561</i>	<i>0.293</i>	<i>2650</i>
<i>HB2G2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>100.000</i>	<i>775.561</i>	<i>0.293</i>	<i>2650</i>
<i>A</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>150.000</i>	<i>444.672</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>B</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>150.000</i>	<i>444.672</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>C</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>150.000</i>	<i>444.672</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>D</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>150.000</i>	<i>443.880</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>E</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>150.000</i>	<i>443.880</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>F</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>150.000</i>	<i>443.880</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>G</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>150.000</i>	<i>567.630</i>	<i>0.214</i>	<i>2650</i>
<i>H</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>150.000</i>	<i>567.630</i>	<i>0.214</i>	<i>2650</i>
<i>I</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>150.000</i>	<i>567.630</i>	<i>0.214</i>	<i>2650</i>
<i>S0.5P0.5</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>S0.5P1.0</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>S0.5P1.5</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>S1.0P0.5</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>S1.0P1.0</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>S1.0P1.5</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>S1.5P0.5</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>S1.5P1.0</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>S1.5P1.5</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>S1.0</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>P1.0</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>c</i>		<i>Fine aggregate</i>	<i>5</i>		<i>785.000</i>	<i>0.296</i>	<i>2650</i>
<i>ECC-CONTROL</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>200.000</i>	<i>296.540</i>	<i>0.112</i>	<i>2650</i>
<i>ECC0-2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>200.000</i>	<i>296.540</i>	<i>0.112</i>	<i>2650</i>
<i>ECC2-0</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>200.000</i>	<i>296.540</i>	<i>0.112</i>	<i>2650</i>
<i>ECC1-1</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>200.000</i>	<i>296.540</i>	<i>0.112</i>	<i>2650</i>

<i>ECC1.5-0.5</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>200.000</i>	<i>296.540</i>	<i>0.112</i>	<i>2650</i>
<i>ECC0.5-1.5</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>200.000</i>	<i>296.540</i>	<i>0.112</i>	<i>2650</i>
<i>S1.50</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>956.973</i>	<i>0.361</i>	<i>2650</i>
<i>P1.25</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>958.648</i>	<i>0.362</i>	<i>2650</i>
<i>P1.50</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>955.370</i>	<i>0.361</i>	<i>2650</i>
<i>P175</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>951.300</i>	<i>0.359</i>	<i>2650</i>
<i>Mix 0 (Control)</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>110.000</i>	<i>459.440</i>	<i>0.173</i>	<i>2650</i>
<i>Mix 1</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>110.000</i>	<i>459.440</i>	<i>0.173</i>	<i>2650</i>
<i>Mix 2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>110.000</i>	<i>459.440</i>	<i>0.173</i>	<i>2650</i>
<i>Mix 3</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>110.000</i>	<i>459.440</i>	<i>0.173</i>	<i>2650</i>
<i>Mix 4</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>110.000</i>	<i>459.440</i>	<i>0.173</i>	<i>2650</i>
<i>Control Specimen</i>		<i>Sand</i>			<i>656.000</i>	<i>0.248</i>	<i>2650</i>
<i>ECC 1</i>		<i>Sand</i>			<i>656.000</i>	<i>0.248</i>	<i>2650</i>
<i>ECC 2</i>		<i>Sand</i>			<i>656.000</i>	<i>0.248</i>	<i>2650</i>
<i>ECC 3</i>		<i>Sand</i>			<i>656.000</i>	<i>0.248</i>	<i>2650</i>
<i>ECC 4</i>		<i>Sand</i>			<i>656.000</i>	<i>0.248</i>	<i>2650</i>
<i>ECC 5</i>		<i>Sand</i>			<i>656.000</i>	<i>0.248</i>	<i>2650</i>
<i>ECC 6</i>		<i>Sand</i>			<i>656.000</i>	<i>0.248</i>	<i>2650</i>
<i>ECC 7</i>		<i>Sand</i>			<i>656.000</i>	<i>0.248</i>	<i>2650</i>
<i>1</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>130.000</i>	<i>591.367</i>	<i>0.223</i>	<i>2650</i>
<i>2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>130.000</i>	<i>641.439</i>	<i>0.242</i>	<i>2650</i>
<i>3</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>130.000</i>	<i>713.344</i>	<i>0.269</i>	<i>2650</i>
<i>4</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>130.000</i>	<i>629.845</i>	<i>0.238</i>	<i>2650</i>
<i>5</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>130.000</i>	<i>686.960</i>	<i>0.259</i>	<i>2650</i>
<i>6</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>130.000</i>	<i>770.095</i>	<i>0.291</i>	<i>2650</i>
<i>LT15</i>		<i>Silica Sand</i>			<i>882.626</i>	<i>0.333</i>	<i>2650</i>
<i>LH15</i>		<i>Silica Sand</i>			<i>882.626</i>	<i>0.333</i>	<i>2650</i>
<i>LS15</i>		<i>Silica Sand</i>			<i>882.626</i>	<i>0.333</i>	<i>2650</i>
<i>MS15</i>		<i>Silica Sand</i>			<i>882.626</i>	<i>0.333</i>	<i>2650</i>
<i>SS15</i>		<i>Silica Sand</i>			<i>882.626</i>	<i>0.333</i>	<i>2650</i>
<i>LT10SS05</i>		<i>Silica Sand</i>			<i>882.626</i>	<i>0.333</i>	<i>2650</i>
<i>LH10SS05</i>		<i>Silica Sand</i>			<i>882.626</i>	<i>0.333</i>	<i>2650</i>
<i>LS10SS05</i>		<i>Silica Sand</i>			<i>882.626</i>	<i>0.333</i>	<i>2650</i>
<i>LS10MS05</i>		<i>Silica Sand</i>			<i>882.626</i>	<i>0.333</i>	<i>2650</i>

PE 12-24 1.5 %		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 12-24 1.75 %		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 12-24 2 %		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 12-24 2.25 %		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 12-24 2.5 %		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 12-24 3 %		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 18-24 1.5%		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 18-24 1.75%		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 18-24 2%		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 18-24 2.25%		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 18-20 1.25%		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 18-20 1.5%		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 18-20 1.75%		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
PE 18-20 2%		Silica Sand		100.000	500.000	0.189	2650
MIX 2		Silica sand		120.000	738.747	0.279	2650
MIX 3		Silica sand		120.000	744.516	0.281	2650
MIX 4		Silica sand		120.000	788.282	0.297	2650
MIX 5		Silica sand		120.000	795.232	0.300	2650
MIX 6		Silica sand		120.000	740.741	0.280	2650
M1 - 0,5		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M1 - 1,0		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M1 - 1,5		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M1 - 2,0		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M1 - T30/0.3		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M1 - S30/0.3		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M1- H30/0.375		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M1 - T20/0.2		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M1 - S19/0.2		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M1 - S13/0.2		Silica Sand			932.181	0.352	2650
M2- H30/0.375		Silica Sand			940.149	0.355	2650
M3 - H30/0.375		Silica Sand			895.999	0.338	2650
4-3% <i>SHORT TWISTED</i>		<i>Silica sand</i>		<i>120.000</i>	<i>312.361</i>	<i>0.118</i>	<i>2650</i>
		<i>Silica sand</i>		<i>120.000</i>	<i>312.361</i>	<i>0.118</i>	<i>2650</i>

4-5% <i>SHORT TWISTED</i>							
4 3% <i>MICRO STRAIGHT</i>		<i>Silica sand</i>		120.000	312.361	0.118	2650
<i>Mezcla UHPC SS 2%</i>		<i>Silica sand</i>		337.000	867.400	0.327	2650
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HE 0,5</i>		<i>Silica sand</i>		337.000	867.400	0.327	2650
<i>Mezcla UHPC SS 1% HE 1%</i>		<i>Silica sand</i>		337.000	867.400	0.327	2650
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%</i>		<i>Silica sand</i>		337.000	867.400	0.327	2650
<i>Mezcla UHPC SS 1% HH 1%</i>		<i>Silica sand</i>		337.000	867.400	0.327	2650
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%</i>		<i>Silica sand</i>		337.000	867.400	0.327	2650
<i>Mezcla UHPC SS 1% SH 1%</i>		<i>Silica sand</i>		337.000	867.400	0.327	2650
Mix 1		Silica Sand		120.000	238.158	0.092	2600
Mix 2		Silica Sand		120.000	265.363	0.102	2600
Mix 3		Silica Sand		120.000	261.301	0.101	2600
Mix 4		Silica Sand		120.000	268.690	0.103	2600
M01		Silica Sand		212.000	848.000	0.326	2600
M02		Silica Sand		212.000	726.000	0.279	2600
M03		Silica Sand		212.000	586.000	0.225	2600
M04		Silica Sand		212.000	680.000	0.262	2600
M05		Silica Sand		212.000	404.000	0.155	2600
M06							
A 1.5%		Silica Sand	200		208.112	0.080	2600
A 2.0%		Silica Sand	200		208.112	0.080	2600
A 2.5%		Silica Sand	200		208.112	0.080	2600
Sif Con		Silica Sand	200		718.493	0.276	2600
1A							
1B							
1C							
1D							
2A							
2B							
2C							
2D							
2E							

2F							
3A							
3B							
3C							
3D							
3E							
4A							
4B							
4C							
4D							
4E							
5A							
5B							
5C							
5D							
5E							
5F							
Serie 1 part 2		Silica Sand		425.000	530.594	0.204	2600
Serie 2 part 2		Silica Sand		425.000	530.594	0.204	2600
Serie 3 part 2		Silica Sand		425.000	530.594	0.204	2600

Tabla 15 Dosificación arena tipo 1

La siguiente tabla (**Tabla 16**) muestra la dosificación de la arena tipo 2 usada en cada una de las matrices.

	<i>Arena 2</i>						
<i>Denominación</i>	<i>Tipo</i>	<i>Naturaleza</i>	<i>Tamaño máximo</i> <i>µm</i>	<i>D50</i> <i>µm</i>	<i>Contenido</i> <i>(kg/m³)</i>	<i>Contenido</i> <i>%Volumen</i>	<i>Densidad</i> <i>Específica</i> <i>(kg/m³)</i>
PE1							
PE2							
PE3							
PE4							
PE5							
PE6							
PE7							
PE8							

HPFRCC-A							
HPFRCC-B							
<i>CEMENT FIBER</i>							
<i>C1</i>							
<i>C2</i>							
<i>C3</i>							
<i>C4</i>							
<i>C5</i>							
<i>C6</i>							
<i>MATRIZ 0%</i>							
<i>MATRIZ 0.3%</i>							
<i>MATRIZ 0.5%</i>							
<i>MATRIZ 0.8%</i>							
<i>MATRIZ 1.2 %</i>							
SHUHPC							
CNF-SHUHPC							
<i>SM2G0</i>							
<i>SM2G1</i>							
<i>SM2G2</i>							
<i>SM2G3</i>							
<i>SM1G2</i>							
<i>SM3G2</i>							
<i>SP2G2</i>							
<i>HA2G2</i>							
<i>HB2G2</i>							
<i>A</i>							
<i>B</i>							
<i>C</i>							
<i>D</i>							
<i>E</i>							
<i>F</i>							
<i>G</i>							
<i>H</i>							
<i>I</i>							

S0.5P0.5							
S0.5P1.0							
S0.5P1.5							
S1.0P0.5							
S1.0P1.0							
S1.0P1.5							
S1.5P0.5							
S1.5P1.0							
S1.5P1.5							
S1.0							
P1.0							
<i>c</i>							
<i>ECC-CONTROL</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>444.810</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>ECC0-2</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>444.810</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>ECC2-0</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>444.810</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>ECC1-1</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>444.810</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>ECC1.5-0.5</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>444.810</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
<i>ECC0.5-1.5</i>		<i>Silica Sand</i>		<i>500.000</i>	<i>444.810</i>	<i>0.168</i>	<i>2650</i>
S1.50							
<i>P1.25</i>							
<i>P1.50</i>							
<i>P175</i>							
Mix 0 (Control)							
Mix 1							
<i>Mix 2</i>							
<i>Mix 3</i>							
<i>Mix 4</i>							
<i>Control Specimen</i>							
<i>ECC 1</i>							
<i>ECC 2</i>							
<i>ECC 3</i>							
<i>ECC 4</i>							
<i>ECC 5</i>							
<i>ECC 6</i>							

ECC 7							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
LT15							
LH15							
LS15							
MS15							
SS15							
LT10SS05							
LH10SS05							
LS10SS05							
LS10MS05							
PE 12-24 1.5 %							
PE 12-24 1.75 %							
PE 12-24 2 %							
PE 12-24 2.25 %							
PE 12-24 2.5 %							
PE 12-24 3 %							
PE 18-24 1.5%							
PE 18-24 1.75%							
PE 18-24 2%							
PE 18-24 2.25%							
PE 18-20 1.25%							
PE 18-20 1.5%							
PE 18-20 1.75%							
PE 18-20 2%							
MIX 2							
MIX 3							
MIX 4							
MIX 5							

MIX 6							
M1 - 0,5							
M1 - 1,0							
M1 - 1,5							
M1 - 2,0							
M1 - T30/0.3							
M1 - S30/0.3							
M1- H30/0.375							
M1 - T20/0.2							
M1 - S19/0.2							
M1 - S13/0.2							
M2- H30/0.375							
M3 - H30/0.375							
4-3% SHORT TWISTED		Silica sand		460.000	447.436	0.169	2650
4-5% SHORT TWISTED		Silica sand		460.000	447.436	0.169	2650
4 3% MICRO STRAIGHT		Silica sand		460.000	447.436	0.169	2650
Mezcla UHPC SS 2%							
Mezcla UHPC SS 1,5% HE 0,5							
Mezcla UHPC SS 1% HE 1%							
Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%							
Mezcla UHPC SS 1% HH 1%							
Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%							
Mezcla UHPC SS 1% SH 1%							
Mix 1		Silica Sand		460.000	396.931	0.153	2600
Mix 2		Silica Sand		460.000	619.181	0.238	2600
Mix 3		Silica Sand		460.000	609.703	0.235	2600
Mix 4		Silica Sand		460.000	626.944	0.241	2600
M01							
M02							
M03							

M04							
M05							
M06							
A 1.5%		Silica Sand	800.000		809.324	<i>0.311</i>	2600
A 2.0%		Silica Sand	800.000		809.324	<i>0.311</i>	2600
A 2.5%		Silica Sand	800.000		809.324	<i>0.311</i>	2600
Sif Con							
1A							
1B							
1C							
1D							
2A							
2B							
2C							
2D							
2E							
2F							
3A							
3B							
3C							
3D							
3E							
4A							
4B							
4C							
4D							
4E							
5A							
5B							
5C							
5D							
5E							
5F							
Serie 1 part 2							

CNF-SHUHPC								
SM2G0								
SM2G1		Coarse Aggregate	430.4741662	0.1440	12.7000	12700.0000		2990
SM2G2		Coarse Aggregate	721.2712798	0.2412	12.7000	12700.0000		2990
SM2G3		Coarse Aggregate	1012.010732	0.3385	12.7000	12700.0000		2990
SM1G2		Coarse Aggregate	721.2712798	0.2412	12.7000	12700.0000		2990
SM3G2		Coarse Aggregate	721.2712798	0.2412	12.7000	12700.0000		2990
SP2G2		Coarse Aggregate	721.2712798	0.2412	12.7000	12700.0000		2990
HA2G2		Coarse Aggregate	721.2712798	0.2412	12.7000	12700.0000		2990
HB2G2		Coarse Aggregate	721.2712798	0.2412	12.7000	12700.0000		2990
A								
B								
C								
D								
E								
F								
G								
H								
I								
S0.5P0.5			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500
S0.5P1.0			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500
S0.5P1.5			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500
S1.0P0.5			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500
S1.0P1.0			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500
S1.0P1.5			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500
S1.5P0.5			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500
S1.5P1.0			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500
S1.5P1.5			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500
S1.0			1024	0.410	20.000	20000.0000		2500

P1.0			1024	0.410	20.000	20000.00 0		2500
c			1024	0.410	20.000	20000.00 0		2500
ECC- CONTROL								
ECC0-2								
ECC2-0								
ECC1-1								
ECC1.5-0.5								
ECC0.5-1.5								
S1.50								
P1.25								
P1.50								
P175								
Mix 0 (Control)								
Mix 1								
Mix 2								
Mix 3								
Mix 4								
Control Specimen								
ECC 1								
ECC 2								
ECC 3								
ECC 4								
ECC 5								
ECC 6								
ECC 7								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
LT15								
LH15								
LS15								

MS15								
SS15								
LT10SS05								
LH10SS05								
LS10SS05								
LS10MS05								
PE 12-24 1.5 %								
PE 12-24 1.75 %								
PE 12-24 2 %								
PE 12-24 2.25 %								
PE 12-24 2.5 %								
PE 12-24 3 %								
PE 18-24 1.5%								
PE 18-24 1.75%								
PE 18-24 2%								
PE 18-24 2.25%								
PE 18-20 1.25%								
PE 18-20 1.5%								
PE 18-20 1.75%								
PE 18-20 2%								
MIX 2	<8mm	Crushed Limestone	434.557	0.174				2500
MIX 3	<8mm	Crushed Limestone	437.951	0.175				2500
MIX 4	<8mm	Crushed Limestone	394.141	0.158				2500
MIX 5	<8mm	Pea gravel	416.550	0.167				2500
MIX 6	<8mm	Crushed Limestone	404.040	0.162				2500
M1 - 0,5								
M1 - 1,0								
M1 - 1,5								
M1 - 2,0								
M1 - T30/0.3								
M1 - S30/0.3								

M1- H30/0.375								
M1 - T20/0.2								
M1 - S19/0.2								
M1 - S13/0.2								
M2- H30/0.375								
M3 - H30/0.375								
4-3% <i>SHORT TWISTED</i>								
4-5% <i>SHORT TWISTED</i>								
4 3% <i>MICRO STRAIGHT</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 2%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HE 0,5</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1% HE 1%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1% HH 1%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1% SH 1%</i>								
Mix 1								
Mix 2								
Mix 3								
Mix 4								
M01								
M02								
M03								
M04								
M05								
M06		COARSE SAND	406.000	0.152	1180.00 0		450	2670

A 1.5%								
A 2.0%								
A 2.5%								
Sif Con								
1A								
1B								
1C								
1D								
2A								
2B								
2C								
2D								
2E								
2F								
3A								
3B								
3C								
3D								
3E								
4A								
4B								
4C								
4D								
4E								
5A								
5B								
5C								
5D								
5E								
5F								
Serie 1 part 2								
Serie 2 part 2								
Serie 3 part 2								

Tabla 17 Dosificación del agregado grueso

La siguiente tabla (**Tabla 18**) muestra la dosificación de la fibra 1 utilizada en cada una de las matrices.

Fibra 1								
Denominación	Tipología	Tensile Strength (Mpa)	l_f(mm)	d_f(mm)	l_f/d_f	Kg	V_f (%)	X_f
PE1		1950	12	0.038	315.789	9.200	0.010	0.092
PE2		1950	12	0.038	315.789	13.800	0.015	0.207
PE3		1950	12	0.038	315.789	18.400	0.020	0.368
PE4		1950	12	0.038	315.789	23.000	0.025	0.575
PE5		2700	12	0.024	500.000	9.200	0.010	0.092
PE6		2700	12	0.024	500.000	13.800	0.015	0.207
PE7		2700	12	0.024	500.000	18.400	0.020	0.368
PE8		2700	12	0.024	500.000	23.000	0.025	0.575
HPFRCC-A	Hooked end steel fiber	1100	35	0.8	43.750	78.500	0.010	0.785
HPFRCC-B	Hooked end steel fiber	1100	35	0.8	43.750	157.000	0.020	3.140
CEMENT FIBER	Hooked end steel fiber	2300	30	0.38	78.947	117.750	0.015	1.766
C1	Hooked end steel fiber	1100	30	0.55	54.545	153.860	0.020	3.016
C2	Hooked end steel fiber	2300	30	0.38	78.947	150.720	0.019	2.894
C3	Hooked end steel fiber	2300	30	0.38	78.947	117.750	0.015	1.766
C4	Hooked end steel fiber	2300	30	0.38	78.947	117.750	0.015	1.766
C5	Hooked end steel fiber	2300	30	0.38	78.947	117.750	0.015	1.766
C6	Hooked end steel fiber	2300	30	0.38	78.947	117.750	0.015	1.766
MATRIZ 0%	PVA FIBER	1620	12	0.039	307.692	18.400	0.020	0.368
MATRIZ 0.3%	PVA FIBER	1620	12	0.039	307.692	18.400	0.020	0.368
MATRIZ 0.5%	PVA FIBER	1620	12	0.039	307.692	18.400	0.020	0.368
MATRIZ 0.8%	PVA FIBER	1620	12	0.039	307.692	18.400	0.020	0.368
MATRIZ 1.2 %	PVA FIBER	1620	12	0.039	307.692	18.400	0.020	0.368
SHUHPC	polyethylene	3250	19	0.023	826.087	15.000	0.015	0.225
CNF-SHUHPC	polyethylene	3250	19	0.023	826.087	15.000	0.015	0.225
SM2G0	Micro Smooth	2940	13	0.2	65.000	137.375	0.018	2.404
SM2G1	Micro Smooth	2940	13	0.2	65.000	137.375	0.018	2.404
SM2G2	Micro Smooth	2940	13	0.2	65.000	137.375	0.018	2.404
SM2G3	Micro Smooth	2940	13	0.2	65.000	137.375	0.018	2.404

SM1G2	Micro Smooth	2940	13	0.2	65.000	137.37 5	0.018	2.404
SM3G2	Micro Smooth	2940	13	0.2	65.000	137.37 5	0.018	2.404
SP2G2	Micro Spiral	2860	13	0.2	65.000	137.37 5	0.018	2.404
HA2G2	Macro Hooked	2940	13	0.2	65.000	137.37 5	0.018	2.404
HB2G2	Macro Hooked	1890	30	0.6	50.000	137.37 5	0.018	2.404
A	PVA Fiber	1600	12	0.039	307.69 2	19.500	0.015	0.293
B	PVA Fiber	1600	12	0.039	307.69 2	19.500	0.015	0.293
C	PVA Fiber	1600	12	0.039	307.69 2	19.500	0.015	0.293
D	PVA Fiber	1600	12	0.039	307.69 2	19.500	0.015	0.293
E	PVA Fiber	1600	12	0.039	307.69 2	19.500	0.015	0.293
F	PVA Fiber	1600	12	0.039	307.69 2	19.500	0.015	0.293
G	PVA Fiber	1600	12	0.039	307.69 2	19.500	0.015	0.293
H	PVA Fiber	1600	12	0.039	307.69 2	19.500	0.015	0.293
I	PVA Fiber	1600	12	0.039	307.69 2	19.500	0.015	0.293
S0.5P0.5	steel fiber	800	38	0.677	56.130	39.250	0.005	0.196
S0.5P1.0	steel fiber	800	38	0.677	56.130	39.250	0.005	0.196
S0.5P1.5	steel fiber	800	38	0.677	56.130	39.250	0.005	0.196
S1.0P0.5	steel fiber	800	38	0.677	56.130	78.500	0.010	0.785
S1.0P1.0	steel fiber	800	38	0.677	56.130	78.500	0.010	0.785
S1.0P1.5	steel fiber	800	38	0.677	56.130	78.500	0.010	0.785
S1.5P0.5	steel fiber	800	38	0.677	56.130	117.75 0	0.015	1.766
S1.5P1.0	steel fiber	800	38	0.677	56.130	117.75 0	0.015	1.766
S1.5P1.5	steel fiber	800	38	0.677	56.130	117.75 0	0.015	1.766
S1.0	steel fiber	800	38	0.677	56.130	78.500	0.010	0.785
P1.0	pva fiber	1600	12	0.039	307.69 2	13.000	0.010	0.130
c								
ECC-CONTROL								
ECC0-2	Steel Hooked-end	1100	35	0.5	70.000	157.00 0	0.020	3.140
ECC2-0	PVA Fiber	1600	12	0.04	300.00 0	25.800	0.020	0.516
ECC1-1	Steel Hooked-end	1100	35	0.5	70.000	78.500	0.010	0.785
ECC1.5-0.5	Steel Hooked-end	1100	35	0.5	70.000	39.250	0.005	0.196
ECC0.5-1.5	Steel Hooked-end	1100	35	0.5	70.000	117.75 0	0.015	1.766
S1.50	Steel	2500	19.5	0.2	97.500	117.75 0	0.015	1.766

<i>PI.25</i>	<i>PE</i>	<i>2950</i>	<i>12</i>	<i>0.032</i>	<i>375.00</i> <i>0</i>	<i>12.125</i>	<i>0.013</i>	<i>0.152</i>
<i>PI.50</i>	<i>PE</i>	<i>2950</i>	<i>12</i>	<i>0.032</i>	<i>375.00</i> <i>0</i>	<i>14.550</i>	<i>0.015</i>	<i>0.218</i>
<i>P175</i>	<i>PE</i>	<i>2950</i>	<i>12</i>	<i>0.032</i>	<i>375.00</i> <i>0</i>	<i>16.975</i>	<i>0.018</i>	<i>0.297</i>
<i>Mix 0 (Control)</i>	<i>PVA-TI High modulus</i>	<i>1600</i>	<i>8</i>	<i>0.038</i>	<i>210.52</i> <i>6</i>	<i>19.400</i>	<i>0.020</i>	<i>0.388</i>
<i>Mix 1</i>	<i>PVA-TI High modulus</i>	<i>1600</i>	<i>8</i>	<i>0.038</i>	<i>210.52</i> <i>6</i>	<i>16.975</i>	<i>0.018</i>	<i>0.297</i>
<i>Mix 2</i>	<i>PVA-TI High modulus</i>	<i>1600</i>	<i>8</i>	<i>0.038</i>	<i>210.52</i> <i>6</i>	<i>16.975</i>	<i>0.018</i>	<i>0.297</i>
<i>Mix 3</i>	<i>PVA-TI High modulus</i>	<i>1600</i>	<i>8</i>	<i>0.038</i>	<i>210.52</i> <i>6</i>	<i>16.975</i>	<i>0.018</i>	<i>0.297</i>
<i>Mix 4</i>	<i>PVA-TI High modulus</i>	<i>1600</i>	<i>8</i>	<i>0.038</i>	<i>210.52</i> <i>6</i>	<i>16.975</i>	<i>0.018</i>	<i>0.297</i>
<i>Control Specimen</i>								
<i>ECC 1</i>	<i>PVA Fiber</i>	<i>1317</i>	<i>6</i>	<i>0.038</i>	<i>157.89</i> <i>5</i>	<i>13.000</i>	<i>0.010</i>	<i>0.130</i>
<i>ECC 2</i>	<i>PVA Fiber</i>	<i>1317</i>	<i>6</i>	<i>0.038</i>	<i>157.89</i> <i>5</i>	<i>13.000</i>	<i>0.010</i>	<i>0.130</i>
<i>ECC 3</i>	<i>PVA Fiber</i>	<i>1317</i>	<i>6</i>	<i>0.038</i>	<i>157.89</i> <i>5</i>	<i>13.000</i>	<i>0.010</i>	<i>0.130</i>
<i>ECC 4</i>	<i>PVA Fiber</i>	<i>1317</i>	<i>6</i>	<i>0.038</i>	<i>157.89</i> <i>5</i>	<i>13.000</i>	<i>0.010</i>	<i>0.130</i>
<i>ECC 5</i>	<i>PVA Fiber</i>	<i>1317</i>	<i>6</i>	<i>0.038</i>	<i>157.89</i> <i>5</i>	<i>13.000</i>	<i>0.010</i>	<i>0.130</i>
<i>ECC 6</i>	<i>PVA Fiber</i>	<i>1317</i>	<i>6</i>	<i>0.038</i>	<i>157.89</i> <i>5</i>	<i>19.500</i>	<i>0.015</i>	<i>0.293</i>
<i>ECC 7</i>	<i>PVA Fiber</i>	<i>1317</i>	<i>6</i>	<i>0.038</i>	<i>157.89</i> <i>5</i>	<i>26.000</i>	<i>0.020</i>	<i>0.520</i>
<i>1</i>	polyvinylalcohol	<i>800</i>	<i>12</i>	<i>0.31</i>	<i>38.710</i>	<i>26.000</i>	<i>0.020</i>	<i>0.520</i>
<i>2</i>	polyvinylalcohol	<i>800</i>	<i>12</i>	<i>0.31</i>	<i>38.710</i>	<i>26.000</i>	<i>0.020</i>	<i>0.520</i>
<i>3</i>	polyvinylalcohol	<i>800</i>	<i>12</i>	<i>0.31</i>	<i>38.710</i>	<i>26.000</i>	<i>0.020</i>	<i>0.520</i>
<i>4</i>	polyvinylalcohol	<i>800</i>	<i>12</i>	<i>0.31</i>	<i>38.710</i>	<i>26.000</i>	<i>0.020</i>	<i>0.520</i>
<i>5</i>	polyvinylalcohol	<i>800</i>	<i>12</i>	<i>0.31</i>	<i>38.710</i>	<i>26.000</i>	<i>0.020</i>	<i>0.520</i>
<i>6</i>	polyvinylalcohol	<i>800</i>	<i>12</i>	<i>0.31</i>	<i>38.710</i>	<i>26.000</i>	<i>0.020</i>	<i>0.520</i>
<i>LT15</i>	Long twisted	<i>2428</i>	<i>30</i>	<i>0.3</i>	<i>100.00</i> <i>0</i>	<i>118.50</i> <i>0</i>	<i>0.015</i>	<i>1.778</i>
<i>LH15</i>	Long hooked	<i>2311</i>	<i>30</i>	<i>0.375</i>	<i>80.000</i>	<i>118.50</i> <i>0</i>	<i>0.015</i>	<i>1.778</i>
<i>LS15</i>	Long smooth	<i>2580</i>	<i>30</i>	<i>0.3</i>	<i>100.00</i> <i>0</i>	<i>118.50</i> <i>0</i>	<i>0.015</i>	<i>1.778</i>
<i>MS15</i>	Medium smooth	<i>2580</i>	<i>19</i>	<i>0.2</i>	<i>95.000</i>	<i>118.50</i> <i>0</i>	<i>0.015</i>	<i>1.778</i>
<i>SS15</i>	Short smooth	<i>2580</i>	<i>13</i>	<i>0.2</i>	<i>65.000</i>	<i>118.50</i> <i>0</i>	<i>0.015</i>	<i>1.778</i>
<i>LT10SS05</i>	Long twisted	<i>2428</i>	<i>30</i>	<i>0.3</i>	<i>100.00</i> <i>0</i>	<i>79.000</i>	<i>0.010</i>	<i>0.790</i>
<i>LH10SS05</i>	Long hooked	<i>2311</i>	<i>30</i>	<i>0.375</i>	<i>80.000</i>	<i>79.000</i>	<i>0.010</i>	<i>0.790</i>
<i>LS10SS05</i>	Long smooth	<i>2580</i>	<i>30</i>	<i>0.3</i>	<i>100.00</i> <i>0</i>	<i>79.000</i>	<i>0.010</i>	<i>0.790</i>
<i>LS10MS05</i>	Long smooth	<i>2580</i>	<i>30</i>	<i>0.3</i>	<i>100.00</i> <i>0</i>	<i>79.000</i>	<i>0.010</i>	<i>0.790</i>
<i>PE 12-24 1.5 %</i>	<i>PE Fiber</i>	<i>2400</i>	<i>12</i>	<i>0.024</i>	<i>500.00</i> <i>0</i>	<i>14.550</i>	<i>0.015</i>	<i>0.218</i>
<i>PE 12-24 1.75 %</i>	<i>PE Fiber</i>	<i>2400</i>	<i>12</i>	<i>0.024</i>	<i>500.00</i> <i>0</i>	<i>16.975</i>	<i>0.018</i>	<i>0.297</i>

PE 12-24 2 %	PE Fiber	2400	12	0.024	500.00 0	19.400	0.020	0.388
PE 12-24 2.25 %	PE Fiber	2400	12	0.024	500.00 0	21.825	0.023	0.491
PE 12-24 2.5 %	PE Fiber	2400	12	0.024	500.00 0	24.250	0.025	0.606
PE 12-24 3 %	PE Fiber	2400	12	0.024	500.00 0	24.250	0.025	0.606
PE 18-24 1.5%	PE Fiber	2400	18	0.024	750.00 0	14.550	0.015	0.218
PE 18-24 1.75%	PE Fiber	2400	18	0.024	750.00 0	16.975	0.018	0.297
PE 18-24 2%	PE Fiber	2400	18	0.024	750.00 0	19.400	0.020	0.388
PE 18-24 2.25%	PE Fiber	2400	18	0.024	750.00 0	21.825	0.023	0.491
PE 18-20 1.25%	PE Fiber	2800	18	0.02	900.00 0	12.125	0.013	0.152
PE 18-20 1.5%	PE Fiber	2800	18	0.02	900.00 0	14.550	0.015	0.218
PE 18-20 1.75%	PE Fiber	2800	18	0.02	900.00 0	16.975	0.018	0.297
PE 18-20 2%	PE Fiber	2800	18	0.02	900.00 0	19.400	0.020	0.388
MIX 2	HOOCKED	2300	30	0.38	78.947	150.72 0	0.019	2.894
MIX 3	HOOCKED	2300	30	0.38	78.947	115.39 5	0.015	1.696
MIX 4	HOOCKED	2300	30	0.38	78.947	108.33 0	0.014	1.495
MIX 5	HOOCKED	2300	30	0.38	78.947	117.75 0	0.015	1.766
MIX 6	HOOCKED	2300	30	0.38	78.947	117.75 0	0.015	1.766
M1 - 0,5	Steel Macro Twisted	2428	30	0.3	100.00 0	39.250	0.005	0.196
M1 - 1,0	Steel Macro Twisted	2428	30	0.3	100.00 0	78.500	0.010	0.785
M1 - 1,5	Steel Macro Twisted	2428	30	0.3	100.00 0	117.75 0	0.015	1.766
M1 - 2,0	Steel Macro Twisted	2428	30	0.3	100.00 0	157.00 0	0.020	3.140
M1 - T30/0.3	Steel Macro Twisted	2428	30	0.3	100.00 0	117.75 0	0.015	1.766
M1 - S30/0.3	Steel Macro Smooth	2580	30	0.3	100.00 0	117.75 0	0.015	1.766
M1- H30/0.375	Steel Macro Hooked	2311	30	0.375	80.000	117.75 0	0.015	1.766
M1 - T20/0.2	Steel Meso Twisted	2676	20	0.2	100.00 0	117.75 0	0.015	1.766
M1 - S19/0.2	Steel Meso Smooth	2788	19	0.2	95.000	117.75 0	0.015	1.766
M1 - S13/0.2	Steel Micro Smooth	2788	13	0.2	65.000	117.75 0	0.015	1.766
M2- H30/0.375	Steel Macro Hooked	2311	30	0.375	80.000	117.75 0	0.015	1.766
M3 - H30/0.375	Steel Macro Hooked	2311	30	0.375	80.000	117.75 0	0.015	1.766
4-3% SHORT TWISTED	Short twisted	2450	14	0.5	28.000	235.50 0	0.030	7.065
4-5% SHORT TWISTED	Short twisted	2450	14	0.5	28.000	392.50 0	0.050	19.625

4 3% MICRO STRAIGHT	Micro straight	2200	12.5	0.175	71.429	235.500	0.030	7.065
Mezcla UHPC SS 2%	Liso recta		13	0.2	65.000	157.000	0.020	3.140
Mezcla UHPC SS 1,5% HE 0,5	Liso recta		13	0.2	65.000	157.000	0.020	3.140
Mezcla UHPC SS 1% HE 1%	Liso recta		13	0.2	65.000	157.000	0.020	3.140
Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%	Liso recta		13	0.2	65.000	157.000	0.020	3.140
Mezcla UHPC SS 1% HH 1%	Liso recta		13	0.2	65.000	157.000	0.020	3.140
Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%	Liso recta		13	0.2	65.000	157.000	0.020	3.140
Mezcla UHPC SS 1% SH 1%	Liso recta		13	0.2	65.000	157.000	0.020	3.140
Mix 1								
Mix 2								
Mix 3	Hooked-End Steel	3070	30	0.55	54.545	117.750	0.015	1.766
Mix 4								
M01	PVA	1600	12	0.04	300.000	26.000	0.027	0.697
M02	PVA	1600	12	0.04	300.000	26.000	0.027	0.697
M03	PVA	1600	12	0.04	300.000	26.000	0.027	0.697
M04	PVA	1600	12	0.04	300.000	26.000	0.027	0.697
M05	PVA	1600	12	0.04	300.000	26.000	0.027	0.697
M06	PVA	1600	12	0.04	300.000	26.000	0.027	0.697
A 1.5%	Straight	2600	13	0.2	65.000	117.750	0.015	1.766
A 2.0%	Straight	2600	13	0.2	65.000	157.000	0.020	3.140
A 2.5%	Straight	2600	13	0.2	65.000	196.250	0.025	4.906
Sif Con	Twisted	3100	30	0.3	100.000	392.500	0.050	19.625
1A	Steel	2500	13	0.16	81.250	141.300	0.018	2.543
1B	Steel	2500	13	0.16	81.250	157.000	0.020	3.140
1C	PE	2610	12	0.039	307.692	17.460	0.018	0.314
1D	PE	2610	12	0.039	307.692	19.400	0.020	0.388
2A	Steel	2500	13	0.16	81.250	39.250	0.005	0.196
2B	Steel	2500	13	0.16	81.250	39.250	0.005	0.196
2C	Steel	2500	13	0.16	81.250	39.250	0.005	0.196
2D	Steel	2500	13	0.16	81.250	39.250	0.005	0.196
2E	Steel	2500	13	0.16	81.250	39.250	0.005	0.196

<i>PE8</i>								
HPFRCC-A	Polypropylene (Twist and mesh Fiber)	600	54	0.09	600.000	4.550	0.005	0.023
HPFRCC-B								
<i>CEMENT FIBER</i>								
<i>C1</i>								
<i>C2</i>								
<i>C3</i>								
<i>C4</i>								
<i>C5</i>								
<i>C6</i>								
<i>MATRIZ 0%</i>								
<i>MATRIZ 0.3%</i>								
<i>MATRIZ 0.5%</i>								
<i>MATRIZ 0.8%</i>								
<i>MATRIZ 1.2 %</i>								
SHUHPC								
CNF-SHUHPC								
<i>SM2G0</i>								
<i>SM2G1</i>								
<i>SM2G2</i>								
<i>SM2G3</i>								
<i>SM1G2</i>								
<i>SM3G2</i>								
<i>SP2G2</i>								
<i>HA2G2</i>								
<i>HB2G2</i>								
<i>A</i>								
<i>B</i>								
<i>C</i>								
<i>D</i>								
<i>E</i>								
<i>F</i>								
<i>G</i>								

<i>H</i>								
<i>I</i>								
S0.5P0.5	<i>pva fiber</i>	1600	12	0.039	307.692	6.500	0.005	0.033
S0.5P1.0	<i>pva fiber</i>	1600	12	0.039	307.692	13.000	0.010	0.130
S0.5P1.5	<i>pva fiber</i>	1600	12	0.039	307.692	19.500	0.015	0.293
S1.0P0.5	<i>pva fiber</i>	1600	12	0.039	307.692	6.500	0.005	0.033
S1.0P1.0	<i>pva fiber</i>	1600	12	0.039	307.692	13.000	0.010	0.130
S1.0P1.5	<i>pva fiber</i>	1600	12	0.039	307.692	19.500	0.015	0.293
S1.5P0.5	<i>pva fiber</i>	1600	12	0.039	307.692	6.500	0.005	0.033
S1.5P1.0	<i>pva fiber</i>	1600	12	0.039	307.692	13.000	0.010	0.130
S1.5P1.5	<i>pva fiber</i>	1600	12	0.039	307.692	19.500	0.015	0.293
S1.0								
P1.0								
<i>c</i>								
<i>ECC-CONTROL</i>								
<i>ECC0-2</i>								
<i>ECC2-0</i>								
<i>ECC1-1</i>	<i>PVA Fiber</i>	1600	12	0.04	300.000	12.900	0.010	0.129
<i>ECC1.5-0.5</i>	<i>PVA Fiber</i>	1600	12	0.04	300.000	19.350	0.015	0.290
<i>ECC0.5-1.5</i>	<i>PVA Fiber</i>	1600	12	0.04	300.000	6.450	0.005	0.032
S1.50								
<i>P1.25</i>								
<i>P1.50</i>								
<i>P175</i>								
Mix 0 (Control)								
Mix 1	<i>PVA-T2</i>	1600	4	0.0075	533.333	22.750	0.025	0.569
Mix 2	<i>PVA-T3</i>	1400	6	0.014	428.571	22.750	0.025	0.569
Mix 3	<i>PP-Triangular</i>	300	6	0.028	214.286	22.750	0.025	0.569
Mix 4	<i>PP-C</i>	320	6	0.025	240.000	22.750	0.025	0.569
<i>Control Specimen</i>								
<i>ECC 1</i>								
<i>ECC 2</i>								
<i>ECC 3</i>								
<i>ECC 4</i>								

ECC 5								
ECC 6								
ECC 7								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
LT15								
LH15								
LS15								
MS15								
SS15								
LT10SS05	Short smooth	2580	13	0.2	65.000	39.500	0.005	0.198
LH10SS05	Short smooth	2580	13	0.2	65.000	39.500	0.005	0.198
LS10SS05	Short smooth	2580	13	0.2	65.000	39.500	0.005	0.198
LS10MS05	Medium smooth	2580	19	0.2	95.000	39.500	0.005	0.198
PE 12-24 1.5 %								
PE 12-24 1.75 %								
PE 12-24 2 %								
PE 12-24 2.25 %								
PE 12-24 2.5 %								
PE 12-24 3 %								
PE 18-24 1.5%								
PE 18-24 1.75%								
PE 18-24 2%								
PE 18-24 2.25%								
PE 18-20 1.25%								
PE 18-20 1.5%								
PE 18-20 1.75%								
PE 18-20 2%								
MIX 2								
MIX 3								

MIX 4								
MIX 5								
MIX 6								
M1 - 0,5								
M1 - 1,0								
M1 - 1,5								
M1 - 2,0								
M1 - T30/0.3								
M1 - S30/0.3								
M1- H30/0.375								
M1 - T20/0.2								
M1 - S19/0.2								
M1 - S13/0.2								
M2- H30/0.375								
M3 - H30/0.375								
<i>4-3% SHORT TWISTED</i>								
<i>4-5% SHORT TWISTED</i>								
<i>4 3% MICRO STRAIGHT</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 2%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HE 0,5</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1% HE 1%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1% HH 1%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%</i>								
<i>Mezcla UHPC SS 1% SH 1%</i>								
Mix 1								
Mix 2								
Mix 3	Long Micro Steel	2200	19	0.15	126.667	39.250	0.005	0.196
Mix 4								

M01								
M02								
M03								
M04								
M05								
M06								
A 1.5%								
A 2.0%								
A 2.5%								
Sif Con								
1A								
1B								
1C								
1D								
2A	PE	2610	12	0.039	307.692	1.940	0.002	0.004
2B	PE	2610	12	0.039	307.692	5.820	0.006	0.035
2C	PE	2610	12	0.039	307.692	7.760	0.008	0.062
2D	PE	2610	12	0.039	307.692	12.610	0.013	0.164
2E	PE	2610	12	0.039	307.692	14.550	0.015	0.218
2F	PE	2610	12	0.039	307.692	17.460	0.018	0.314
3A	PE	2610	12	0.039	307.692	1.940	0.002	0.004
3B	PE	2610	12	0.039	307.692	3.880	0.004	0.016
3C	PE	2610	12	0.039	307.692	7.760	0.008	0.062
3D	PE	2610	12	0.039	307.692	9.700	0.010	0.097
3E	PE	2610	12	0.039	307.692	12.610	0.013	0.164
4A	PE	2610	12	0.039	307.692	0.970	0.001	0.001
4B	PE	2610	12	0.039	307.692	1.940	0.002	0.004
4C	PE	2610	12	0.039	307.692	4.850	0.005	0.024
4D	PE	2610	12	0.039	307.692	7.760	0.008	0.062
4E	PE	2610	12	0.039	307.692	9.700	0.010	0.097
5A	PE	2610	18	0.039	461.538	4.850	0.005	0.024
5B	PE	2610	18	0.039	461.538	4.850	0.005	0.024
5C	PE	2610	18	0.039	461.538	4.850	0.005	0.024
5D	PE	2610	18	0.039	461.538	4.850	0.005	0.024

5E	PE	2610	18	0.039	461.538	4.850	0.005	0.024
5F	PE	2610	18	0.039	461.538	4.850	0.005	0.024
Serie 1 part 2	PE	2610	12	0.039	307.692	12.610	0.013	0.164
Serie 2 part 2	PE	2610	12	0.039	307.692	7.760	0.008	0.062
Serie 3 part 2	PE	2610	12	0.039	307.692	4.850	0.005	0.024

Tabla 19 Dosificación de la fibra 2

Por último, en la **Tabla 20** se tienen los datos obtenidos del ensayo a tracción directa de cada una de las matrices.

Comportamiento a tracción directa										
Denominación	b(m)	h(m)	L(m)	σ_{cc} (Mpa)	σ_{pc} (Mpa)	$\epsilon_{cc}(\%)$	$\epsilon_{pc}(\%)$	σ_{pc}/σ_{cc}	Vel. De ensayo (mm/min)	Norma o recomendación
PE1				3.2	3.8	0.05%	0.10%	1.188	0.005	
PE2				3.4	3.9	0.02%	0.20%	1.147	0.005	
PE3				3.3	4.58	0.01%	0.80%	1.388	0.005	
PE4				3.4	5.2	0.01%		1.529	0.005	
PE5				3.5	4.2	0.01%		1.200	0.005	
PE6				3.4	4.6	0.02%		1.353	0.005	
PE7				3.2	5.3	0.01%		1.656	0.005	
PE8				2.9	4.8	0.01%		1.655	0.005	
HPFRCC-A	30	30	330	3.6	6.2	0.10%	0.07%	1.722	0.1	JSCE
HPFRCC-B	30	30	330	2.8	6.7	0.01%	0.06%	2.393	0.1	JSCE
CEMENT FIBER	25	50	560	1.8	4.2	0.02%	0.70%	2.333		
C1	25	50	560							
C2	25	50	560	5.6	6.57	0.08%	0.30%	1.173		
C3	25	50	560	4.2	5.41	0.07%	0.40%	1.288		
C4	25	50	560	3.1	3.59	0.08%	0.25%	1.158		
C5	25	50	560	3.6	4.64	0.05%	0.20%	1.289		
C6	25	50	560	2.8	3.61	0.04%	0.50%	1.289		
MATRIZ 0%				3.11	4.89	0.01%	0.99%	1.572		
MATRIZ 0.3%				2.63	4.72	0.04%	1.55%	1.795		
MATRIZ 0.5%				2.35	4.09	0.02%	2.73%	1.740		

MATRIZ 0.8%				2.9	4.62	0.01%	3.81%	1.593		
MATRIZ 1.2 %				2.92	4.41	0.02%	4.88%	1.510		
SHUHPC	15	35	150	7.6	13.1	0.10%	1.27%	1.724		
CNF- SHUHPC	15	35	150	8.8	15	0.05%	1.60%	1.705		
SM2G0	10 0	10 0	500	5.2	7.6	0.020 %	0.120%	1.462	0.05	
SM2G1	10 0	10 0	500	4.8	7.4	0.010 %	0.110%	1.542	0.05	
SM2G2	10 0	10 0	500	5.8	7.4	0.010 %	0.110%	1.276	0.05	
SM2G3	10 0	10 0	500	4.9	7.2	0.005 %	0.100%	1.469	0.05	
SM1G2	10 0	10 0	500	5.2	7.26	0.010 %	0.080%	1.396	0.05	
SM3G2	10 0	10 0	500	5.6	8.28	0.010 %	0.090%	1.479	0.05	
SP2G2	10 0	10 0	500	4.4	7.95	0.010 %	0.050%	1.807	0.05	
HA2G2	10 0	10 0	500	4.7	8.53	0.010 %	0.080%	1.815	0.05	
HB2G2	10 0	10 0	500	3.6	6.7	0.005 %	0.070%	1.861	0.05	
A				3.2	4.9	0.10%	4.00%	1.531	0.1	
B				2.7	3.8	0.10%	4.50%	1.407	0.1	
C				3.1	3.4	0.10%	2.60%	1.097	0.1	
D				3.9	4.7	0.10%	0.30%	1.205	0.1	
E				4.6	5	0.10%	1.90%	1.087	0.1	
F				4.1	4.8	0.10%	2.20%	1.171	0.1	
G				3.9	4.6	0.10%	0.78%	1.179	0.1	
H				2.8	4.5	0.005 %	0.41%	1.607	0.1	
I				1.9	4.3	0.01%	3.60%	2.263	0.1	
S0.5P0.5				2.4	4.06	0.005 %	0.011%	1.692	0.1	
S0.5P1.0				3.1	3.99	0.006 %	0.014%	1.287	0.1	
S0.5P1.5				2.8	3.94	0.003 %	0.016%	1.407	0.1	
S1.0P0.5				2.6	4.23	0.004 %	0.015%	1.627	0.1	
S1.0P1.0				3.5	4.19	0.004 %	0.018%	1.197	0.1	
S1.0P1.5				2.7	4.09	0.005 %	0.019%	1.515	0.1	
S1.5P0.5				2.8	4.41	0.007 %	0.020%	1.575	0.1	
S1.5P1.0				3.2	4.31	0.007 %	0.023%	1.347	0.1	
S1.5P1.5				3.1	4.27	0.005 %	0.026%	1.377	0.1	
S1.0					4.06		0.016%		0.1	
P1.0					3.8		0.010%		0.1	

c					3.2		0.007%		0.1	
ECC-CONTROL	30	60	330	5.02	6.65	0.42%	0.73%	1.325		
ECC0-2	30	60	330	5.96	7.88	0.59%	1.24%	1.322		
ECC2-0	30	60	330	6.94	8.2	0.62%	1.21%	1.182		
ECC1-1	30	60	330	7.46	8.45	0.73%	1.31%	1.133		
ECC1.5-0.5	30	60	330	7.84	9.45	0.68%	1.41%	1.205		
ECC0.5-1.5	30	60	330	6.32	8.55	0.55%	1.43%	1.353		
S1.50	30	60	350	13.24	19.46	0.04%	0.90%	1.470	0.1	JSCE
P1.25	30	60	350	7.65	11.42	0.05%	1.24%	1.493	0.1	JSCE
P1.50	30	60	350	8.35	12.9	0.05%	3.70%	1.545	0.1	JSCE
P175	30	60	350	7.83	14.6	0.04%	4.05%	1.865	0.1	JSCE
Mix 0 (Control)	30	60	320	0.4	4.26	0.08%	0.77%	10.650	0.5	
Mix 1	30	60	320	1.3	3.59	0.10%	0.27%	2.762	0.5	
Mix 2	30	60	320	0.4	4.31	0.11%	0.73%	10.775	0.5	
Mix 3	30	60	320	0.8	4.05	0.09%	1.33%	5.063	0.5	
Mix 4	30	60	320	0.7	4.12	0.01%	1.17%	5.886	0.5	
Control Specimen	13	19	165	1.1	2.03	0.10%	0.11%	1.845	0.1	
ECC 1	13	19	165	0.6	2.55	0.13%	1.02%	4.250	0.1	
ECC 2	13	19	165	0.3	3.48	0.20%	1.25%	11.600	0.1	
ECC 3	13	19	165	0.24	2.75	0.10%	1.20%	11.458	0.1	
ECC 4	13	19	165	0.6	2.17	0.22%	0.83%	3.617	0.1	
ECC 5	13	19	165	0.4	1.07	0.30%	0.74%	2.675	0.1	
ECC 6	13	19	165	0.9	3.57	0.40%	1.12%	3.967	0.1	
ECC 7	13	19	165	0.84	3.94	0.30%	1.25%	4.690	0.1	
1									0.2	
2									0.2	
3									0.2	
4									0.2	
5									0.2	
6									0.2	
LT15	50	12 5	530	6.34	11.5	0.08%	0.64%	1.814	1	
LH15	50	12 5	530	6.8	9.6	0.07%	0.54%	1.412	1	
LS15	50	12 5	530	6.5	11.1	0.08%	0.66%	1.708	1	
MS15	50	12 5	530		12.1		0.40%		1	

SS15	50	12 5	530		10.9		0.23%		1	
LT10SS05	50	12 5	530	8.26	12.2	0.09%	0.64%	1.477	1	
LH10SS05	50	12 5	530	7.9	10.9	0.10%	0.72%	1.380	1	
LS10SS05	50	12 5	530	8.2	10.8	0.08%	0.72%	1.317	1	
LS10MS05	50	12 5	530	8.8	12.4	0.10%	0.71%	1.409	1	
PE 12-24 1.5 %	30	60	330	8.15	10.29		0.67%	1.263	0.5	JSCE (2008)
PE 12-24 1.75 %	30	60	330	8.15	10.68		1.04%	1.310	0.5	JSCE (2008)
PE 12-24 2 %	30	60	330	9.54	12.06		1.30%	1.264	0.5	JSCE (2008)
PE 12-24 2.25 %	30	60	330	11.02	13.56		0.28%	1.230	0.5	JSCE (2008)
PE 12-24 2.5 %	30	60	330	11.16	13.73		1.41%	1.230	0.5	JSCE (2008)
PE 12-24 3 %	30	60	330	11.3	14.42		0.67%	1.276	0.5	JSCE (2008)
PE 18-24 1.5%	30	60	330	11.6	13.79		0.02%	1.189	0.5	JSCE (2008)
PE 18-24 1.75%	30	60	330	9.64	14.55		0.48%	1.509	0.5	JSCE (2008)
PE 18-24 2%	30	60	330	9.19	16.46		1.22%	1.791	0.5	JSCE (2008)
PE 18-24 2.25%	30	60	330	12.09	17.75		0.28%	1.468	0.5	JSCE (2008)
PE 18-20 1.25%	30	60	330	9.41	12.23		0.93%	1.300	0.5	JSCE (2008)
PE 18-20 1.5%	30	60	330	11.66	14.61		0.94%	1.253	0.5	JSCE (2008)
PE 18-20 1.75%	30	60	330	9.88	14.33		0.61%	1.450	0.5	JSCE (2008)
PE 18-20 2%	30	60	330	10.04	17.86		0.85%	1.779	0.5	JSCE (2008)
MIX 2	25	12 7	560	4.6	6.57	0.11	0.25	1.428		
MIX 3	25	12 7	560	4.2	5.41	0.12	0.34	1.288		
MIX 4	25	12 7	560	2.8	3.59	0.1	0.25	1.282		
MIX 5	25	12 7	560	3.4	4.64	0.1	0.39	1.365		
MIX 6	25	12 7	560	2.6	3.61	0.12	0.45	1.388		
M1 - 0,5				2.54	4.86	0.013 %	0.280%	1.913	1	
M1 - 1,0				2.56	7.48	0.016 %	0.520%	2.922	1	
M1 - 1,5				3.41	9.99	0.020 %	0.490%	2.930	1	
M1 - 2,0				3.41	12.53	0.025 %	0.550%	3.674	1	
M1 - T30/0.3				4.86	10	0.016 %	0.550%	2.058	1	
M1 - S30/0.3				4.32	7.64	0.027 %	0.530%	1.769	1	
M1- H30/0.375				3.94	6.72	0.020 %	0.420%	1.706	1	
M1 - T20/0.2				6.06	10.99	0.016 %	0.410%	1.814	1	
M1 - S19/0.2				4.15	8.05	0.018 %	0.380%	1.940	1	

M1 - S13/0.2				3.25	5.69	0.019 %	0.330%	1.751	1	
M2- H30/0.375				3.97	7.18	0.027 %	0.291%	1.809	1	
M3 - H30/0.375				4.52	6.92	0.017 %	0.220%	1.531	1	
4-3% SHORT TWISTED				6.3	6.8		0.17	1.079		JSCE
4-5% SHORT TWISTED				6.3	6.8		0.17	1.079		JSCE
4 3% MICRO STRAIGHT				7.4	8.3		0.04	1.122		JSCE
Mezcla UHPC SS 2%				5.64	15.11	0.050 %	0.25%	2.679	0.4	JSCE
Mezcla UHPC SS 1,5% HE 0,5				7.1	16.1	0.040 %	0.36%	2.268	0.4	JSCE
Mezcla UHPC SS 1% HE 1%				6.4	14	0.034 %	0.14%	2.188	0.4	JSCE
Mezcla UHPC SS 1,5% HH 0,5%				8.4	15.37	0.012 %	0.20%	1.830	0.4	JSCE
Mezcla UHPC SS 1% HH 1%				6.1	15.2	0.008 %	0.24%	2.492	0.4	JSCE
Mezcla UHPC SS 1,5% SH 0,5%				4.23	15.4	0.008 %	0.40%	3.641	0.4	JSCE
Mezcla UHPC SS 1% SH 1%				7.4	15.6	0.007 %	0.19%	2.108	0.4	JSCE
Mix 1										
Mix 2										
Mix 3					9.58		0.33		0.508	
Mix 4										
M01				2.39	2.67	0.04%	1.04%	1.117	0.1	JSCE
M02				2.27	3.06	0.01%	1.00%	1.348	0.1	JSCE
M03				2.28	3.42	0.02%	1.50%	1.500	0.1	JSCE
M04				2.83	4.17	0.02%	2.00%	1.473	0.1	JSCE
M05				2.12	2.9	0.04%	2.98%	1.368	0.1	JSCE
M06				1.92	2.83	0.05%	2.10%	1.474	0.1	JSCE
A 1.5%				6.2	8.3	0.01%	0.17%	1.339		
A 2.0%				6.7	11.3	0.01%	0.20%	1.687		

A 2.5%				8.4	14.2	0.02%	0.24%	1.690		
Sif Con				7.2	37.2	0.02%	1.10%	5.167		
1A				2.9	4.6	0.09%	0.85%	1.586	0.25	
1B				3.1	4.9	0.04%	0.90%	1.581	0.25	
1C				1.3	3.4	0.03%	2.80%	2.615	0.25	
1D				1.3	2.9	0.06%	3.80%	2.231	0.25	
2A				2.1	2.4	0.04%	0.14%	1.143	0.25	
2B				2.2	2.6	0.07%	0.40%	1.182	0.25	
2C				2.4	3.56	0.04%	0.51%	1.483	0.25	
2D				2.4	3.2	0.10%	3.90%	1.333	0.25	
2E				2.5	4	0.08%	4.90%	1.600	0.25	
2F				2.7	4.4	0.09%	1.50%	1.630	0.25	
3A				2.8	4.2	0.02%	0.06%	1.500	0.25	
3B				2.54	3.75	0.03%	0.18%	1.476	0.25	
3C				2.3	4.2	0.06%	2.64%	1.826	0.25	
3D				2.6	4.16	0.06%	1.92%	1.600	0.25	
3E				2.4	3.85	0.07%	1.36%	1.604	0.25	
4A				2.72	4.1	0.04%	0.23%	1.507	0.25	
4B				2.1	3.8	0.02%	2.00%	1.810	0.25	
4C				1.5	4.1	0.02%	1.12%	2.733	0.25	
4D				2.3	3.75	0.03%	1.30%	1.630	0.25	
4E				1.6	4.84	0.02%	1.80%	3.025	0.25	
5A				2.1	4	0.02%	1.70%	1.905	0.25	
5B				2.04	3.9	0.04%	3.90%	1.912	0.25	
5C				2.3	3.8	0.03%	2.54%	1.652	0.25	
5D				2.4	4.1	0.04%	0.86%	1.708	0.25	
5E				2.7	4.2	0.03%	1.92%	1.556	0.25	
5F				2.1	5.1	0.05%	1.00%	2.429	0.25	
Serie 1 part 2				1.9	3.7	0.01%	0.20%	1.947	0.25	
Serie 2 part 2				2.4	4.8	0.01%	0.62%	2.000	0.25	
Serie 3 part 2				3.1	5.3	0.02%	0.40%	1.710	0.25	

Tabla 20 Comportamiento a tracción de las matrices

A continuación, se muestra una tabla con cada uno de los artículos consultados en la literatura científica para la recolección de los datos presentados en las **Tablas 10-20**.

<i>Referencia</i>	<i>Autores</i>	<i>Publicación</i>
<i>The effect of synthetic polyethylene fiber on the strain hardening behavior of engineered cementitious composite (ECC)</i>	<i>Shwan H. Said a,b , Hashim Abdul Razak</i>	<i>science direct</i>
<i>Seismic Behavior of High-Performance Fiber-Reinforced Cement Composites Beam-Column Connection with High Damage Tolerance</i>	<i>Mohammad Hossein Saghafi , Hashem Shariatmadar1* and Ali Kheyroddin</i>	<i>International Journal of Concrete Structures and Materials</i>
LARGE SCALE TENSILE TESTS OF HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CEMENT COMPOSITES	Shih-Ho Chao, Antoine Naaman, Wen-Cheng Liao	https://www.researchgate.net/publication/265625148
<i>Tensile behaviors of highly flowable strain hardening fiber reinforced concrete</i>	<i>W. C. Liao Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taiwan</i>	<i>High Performance Structure and Materials VI 319</i>
<i>Interface Tailoring for Strain-Hardening Polyvinyl Alcohol Engineered Cementitious Composite (PVA-ECC)</i>	<i>Victor C. Li, Cynthia Wu, Shuxin Wang, Atsuhisa Ogawa, and Tadashi Sait</i>	<i>ACI MATERIALS JOURNAL</i>
<i>Strain hardening ultra-high performance concrete (SHUHPC) incorporating CNF-coated polyethylene fibers</i>	<i>Shan He, Jishen Qiu, Junxia Li, En-Hua Yang</i>	<i>Cement and Concrete Research</i>
<i>Combined effect of coarse aggregate and fiber on tensile behavior of ultra-high performance concrete</i>	<i>Jianzhong Liu 1 , Fangyu Han, Gong Cui, Qianqian Zhang, Jin Lv, Lihui Zhang, Zhiqian Yang</i>	<i>El SEVIER Contruction and building materials</i>
<i>Effect of Air Entraining Agent on Uniaxial Tensile Properties of PVA-ECC</i>	<i>Jincai Zhu1,a, Zigeng Wang2,b*, Yue Li3,c, Zhanguo Li4,d</i>	<i>IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering</i>
<i>Experimental investigation on the tensile behavior of hybrid steel-PVA fiber reinforced concrete containing fly ash and slag powder</i>	<i>Fangyu Liu a,b , Wenqi Ding a,c , Yafei Qiao</i>	<i>El SEIVER Construction and Building Materials</i>
STUDY ON MECHANICAL PROPERTIES OF HYBRID FIBER REINFORCED ENGINEERED CEMENTITIOUS COMPOSITES	RADHIKA SRIDHAR , RAVI PRASAD	<i>Revista Română de Materiale / Romanian Journal of Materials</i>
<i>Tensile Behavior and Cracking Pattern of an Ultra-High Performance Mortar Reinforced by Polyethylene Fiber</i>	<i>Jeong-Il Choi,1 Seung Yup Jang,2 Seung-Jun Kwon,3 and Bang Yeon Lee</i>	<i>Hindawi</i>
<i>Tensile properties of strain-hardening cementitious composites containing polyvinyl-alcohol fibers hybridized with polypropylene fibers</i>	<i>H. R. Pakravan , M. Jamshidi</i>	<i>Springer</i>
PVA FIBER - FLY ASH CEMENTITIOUS COMPOSITE: ASSESSMENT OF	K.V. Wishwesh, K.B. Anand	<i>Scopus Indexed</i>

MECHANICAL PROPERTIES		
<i>Tensile and fiber dispersion performance of ECC (engineered cementitious composites) produced with ground granulated blast furnace slag</i>	<i>Jin-Keun Kim a , Jeong-Su Kim a , Gee Joo Ha b , Yun Yong Kim</i>	<i>El SEIVER Cement and Concrete Research</i>
Synergistic response of blending fibers in ultra-high-performance concrete under high rate tensile loads	Ngoc Thanh Tran a, b , Dong Joo Kim	El SEIVER Cement and Concrete Composites
Direct Tensile Properties and Stress–Strain Model of UHP-ECC	Ke-Quan Yu1 ; Zhou-Dao Lu2 ; Jian-Guo Dai3 ; and Surendra P. Shah, M.ASCE	ASCE
SELF-CONSOLIDATING HIGH PERFORMANCE FIBER REINFORCED CONCRETE: SCHPFRC	Wen-Cheng Liao (1), Shih-Ho Chao (2), Sang-Yeol Park (3), and Antoine E. Naaman	
Direct tensile self-sensing and fracture energy of steel-fiber-reinforced concretes	Duy-Liem Nguyen a, My Ngoc-Tra Lam b, , Dong-Joo Kim c, Jiandong Song c	El SEIVIER COMPOSITES
<i>Developing Ultra-High-Performance Fiber-Reinforced Concrete for Large-Scale Structural Applications</i>	<i>Parham Aghdasi, Ashley E. Heid, and Shih-Ho Chao</i>	<i>ACI Materials Journal</i>
<i>Enhancing the tensile performance of ultra-high-performance concrete through strategic use of novel half-hooked steel fibers</i>	<i>Doo-YeolYooHan-KyuSohnPauloH.R.Borges RomanFediukSoonhoKim</i>	
Green ultra-high performance fiber-reinforced concrete (G-UHP-FRC)	Parham Aghdasi † , Claudia P. Ostertag	EL SEIVIER Construction and Building Materials
Influence of Local Raw Materials on The Mechanical Behaviour and Fracture Process of PVA-SHCC	Margareth da Silva Magalhães* , Romildo Dias Toledo Filhob , Eduardo de Moraes Rego Fairbairnb	Research gate Materials
Ultra-high performance concrete and fiber reinforced concrete: achieving strength and ductility without heat curing	Kay Wille • Antoine E. Naaman • Sherif El-Tawil • Gustavo J. Parra-Montesinos	Materials and Structure
Tensile strain hardening behaviour of hybrid steel-polyethylene fibre reinforced cementitious composites	S.F.U. Ahmed a,*, M. Maalej b	El SEVIER CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS

Tabla 21 Literatura científica consultada

