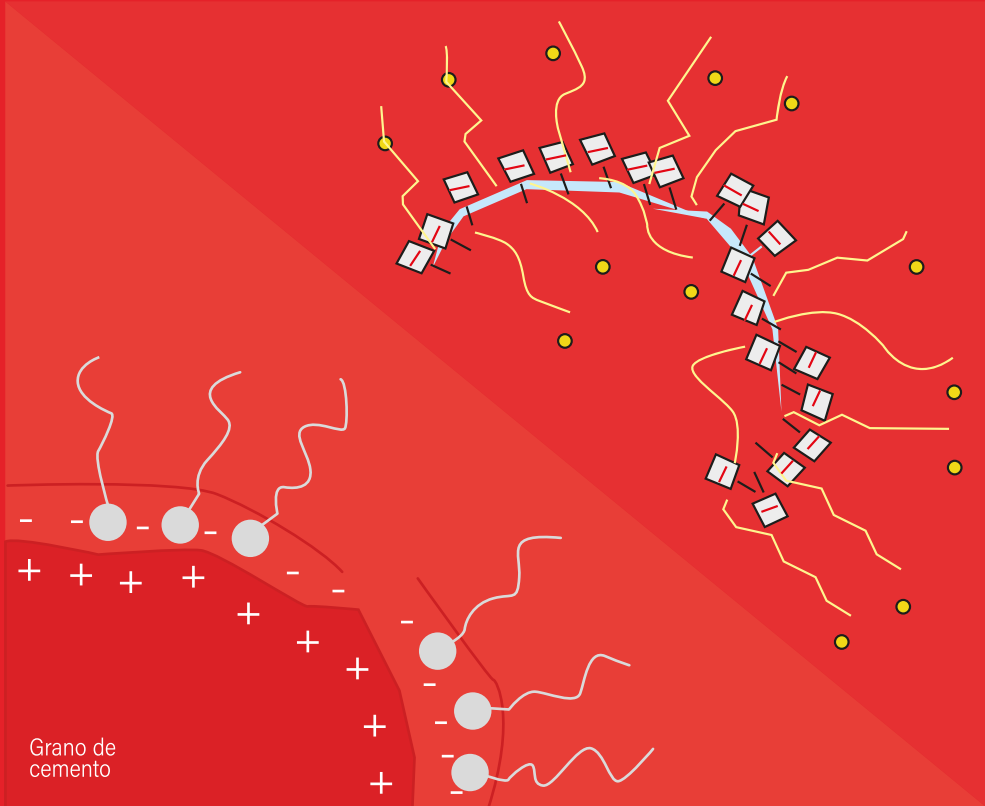


CARLOS MAGNO CHAVARRY VALLEJOS
ENRIQUETA PEREYRA SALARDI
ANDRÉS AVELINO VALENCIA GUTIÉRREZ
LILIANA JANET CHAVARRÍA REYES
JOAQUÍN SAMUEL TÁMARA RODRÍGUEZ
XAVIER ANTONIO LAOS LAURA



POLÍMERO

UN ADITIVO EFICAZ PARA LA MEJORA
DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL



EDITORIAL
NAVEGANTE

**POLÍMERO: UN ADITIVO
EFICAZ PARA LA MEJORA DEL
HORMIGÓN ESTRUCTURAL**

Polímero: un aditivo eficaz para la mejora del hormigón estructural

© Carlos Magno Chavarry Vallejos
© Enriqueta Pereyra Salardi
© Andrés Avelino Valencia Gutiérrez
© Liliana Janet Chavarría Reyes
© Joaquín Samuel Támara Rodríguez
© Xavier Antonio Laos Laura

© Editorial Navegante
Cra 22 N.º 35-40 Oficina 217, Edificio Apolo, Bucaramanga, Colombia
www.editorialnavegante.com

Primera edición

Junio 2022

Tiraje: 100 ejemplares

ISBN: 978-628-7623-15-6

Diseño de Portada: Rodrigo Medrano Serrano

Diseño y diagramación: Patrick Bonifaz Huamaní

Publicación sometida a evaluación de pares académicos en sistema doble ciego
(*Peer review double blinded*).

Impreso en Colombia/ Printed in Colombia

Queda prohibida la reproducción total o parcial de la presente edición, bajo cualquier modalidad, sin la autorización expresa del titular de los derechos.

POLÍMERO: UN ADITIVO EFICAZ PARA LA MEJORA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL

Carlos Magno Chavarry Vallejos
Enriqueta Pereyra Salardi
Andrés Avelino Valencia Gutiérrez
Liliana Janet Chavarría Reyes
Joaquín Samuel Támara Rodríguez
Xavier Antonio Laos Laura



EDITORIAL
NAVEGANTE

PRÓLOGO	11
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I UNA INTRODUCCIÓN AL HORMIGÓN COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	17
1.1. Hormigón: definición	17
1.1.1. Propiedades mecánicas	19
1.1.2. Propiedades físicas	23
1.2. Peculiaridades del hormigón autocompactante	24
1.3. Normativa para el hormigón: norma e-060 y American Concrete Institute	26
1.4. Agua y cemento en la mejora del hormigón de alta resistencia	28
1.5. Métodos de ensayo del hormigón fresco	30
CAPÍTULO II UNA CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN	33
2.1. El hormigón en masa	33
2.2. El hormigón estructural	34
2.3. Hormigón según el tipo de armado	35
2.3.1. Hormigón armado	35
2.3.2. Hormigón pretensado	37
2.4. Hormigón según la densidad	38
2.4.1. Hormigón normal	38
2.4.2. Hormigón ligero	38
2.4.3. Hormigón de alta densidad	39
2.5. Nuevas clases de hormigón	40
CAPÍTULO III PRINCIPALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN	41
3.1. Cemento	41
3.2. Agregados gruesos y agregados finos	45
3.3. Aditivos y su tipología	49

3.4. Aditivos de cadena corta y cadena larga	54
3.5. Microsílice	56
3.6. Materiales cementantes suplementarios	57

CAPÍTULO IV POLÍMERO COMO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	59
---	-----------

4.1. Aditivos superplastificantes: concepto y beneficios	60
4.2. Clasificación de los aditivos superplastificante	64
4.2.1. Condensados de formaldehído (SMF y SNF)	66
4.2.2. Lignosulfonatos modificados (SML)	67
4.2.3. Policarboxilatos	69
4.3. Implicaciones de los polímeros y/o copolímeros como aditivo	70
4.3.1. Polímeros y/o copolímeros de policarboxilatos	71
4.3.2. Compuestos de hormigón con polímeros	72
4.3.3. Monómeros en hormigón	73

CAPÍTULO V APLICACIÓN DE LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES EN LA COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN	75
---	-----------

5.1. Efectos de los policarboxilatos en las propiedades del hormigón	75
5.2. Efectos en las propiedades mecánicas de hormigones fluidos	77
5.3. Efectos en el hormigón autocompactante	80
5.4. Resistencia y asentamiento del hormigón con microsílice	82
5.5. Los aditivos de cadena corta y cadena larga en la resistencia del hormigón	83

CAPÍTULO VI REFLEXIONES FINALES	85
--	-----------

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
-----------------------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del hormigón	18
Tabla 2. Diferencias entre el cemento Portland y el cemento natural	43
Tabla 3. Clasificación del cemento Portland	44
Tabla 4. Clasificación del cemento natural	45
Tabla 5. Clasificación de los agregados según su tamaño	47
Tabla 6. Agregado fino	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>El hormigón en la construcción.....</i>	18
Figura 2. <i>Refuerzo de acero.....</i>	22
Figura 3. <i>Resistencia térmica.....</i>	23
Figura 4. <i>Estructura de hormigón.....</i>	25
Figura 5. <i>Mezcla de cemento y aditivos.....</i>	29
Figura 6. <i>Construcción.....</i>	31
Figura 7. <i>Preparación manual de mezcla de hormigón.....</i>	34
Figura 8. <i>Hormigón armado.....</i>	37
Figura 9. <i>Concreto mezclado.....</i>	39
Figura 10. <i>Cemento.....</i>	42
Figura 11. <i>Agregado grueso.....</i>	46
Figura 12. <i>Agregado fino.....</i>	48
Figura 13. <i>Planos y cálculos de la construcción.....</i>	51
Figura 14. <i>Uso de la química para la elaboración de aditivos.....</i>	54
Figura 15. <i>Fabricación de polímeros para la mejora de la industria cementera.....</i>	60
Figura 16. <i>Mejora del hormigón gracias a los aditivos.....</i>	62
Figura 17. <i>Mejora en la trabajabilidad del hormigón.....</i>	64
Figura 18. <i>Pruebas de laboratorio.....</i>	65
Figura 19. <i>La madera para la fabricación de aditivos.....</i>	68
Figura 20. <i>Mortero.....</i>	71
Figura 21. <i>Aditivos.....</i>	79
Figura 22. <i>Aditivos para hormigón.....</i>	82
Figura 23. <i>Reparaciones hechas en casa.....</i>	86

PRÓLOGO

El presente libro académico tiene como objetivo proponer al polímero como un aditivo eficaz para mejorar el proceso y desarrollo del hormigón estructural en las obras de construcción. En este sentido, se destaca la importancia de este compuesto químico, ya que contribuye a mantener la durabilidad y la manejabilidad, atributos distintivos de este material para que funcione adecuadamente. En este sentido, se debe prestar atención a la mezcla de estos compuestos para que las construcciones se conserven por más tiempo. Este avance se logra gracias al desarrollo de la industria de la construcción, así como de investigaciones en las ramas de la ciencia, tales como la Química, que posibilitan el perfeccionamiento de este material aplicado en el entorno más cotidiano con la finalidad de contribuir con la calidad de vida de la sociedad.

El libro se divide en seis capítulos, además de la bibliografía consultada, así como el índice de las tablas y las figuras. En el capítulo I se realiza una breve introducción, un acercamiento al cemento considerado como material de construcción, así como sus respectivas particularidades y la normativa al que está regido. En el capítulo II se desarrolla su clasificación. En el capítulo III se explican sus principales componentes. En el capítulo IV se introduce al polímero como un aditivo superplastificante y se detalla sobre sus composiciones, así como su relación con el cemento. En el capítulo V se explica la aplicación del polímero en la estructura del hormigón. Asimismo, se resaltan sus efectos y ventajas a largo plazo. Finalmente, en el capítulo VI están las reflexiones obtenidas después de haber emprendido este trabajo científico.

Por último, es preciso señalar que este libro es importante para la industria de la construcción, para conocedores del tema, así como para la sociedad en general, ya que contribuye con informar y difundir un tema que ha pasado desapercibido, pero que es básico para comprender la estructura y funcionamiento de nuestro entorno.

INTRODUCCIÓN

El hormigón, concreto, cemento o su equivalente en inglés, *concrete*, es la mezcla que se obtiene al combinar diferentes elementos que, al unirse, logran formar una pasta lo suficientemente sólida para servir como aglomerante o, dependiendo de sus aditivos, convertirse en una placa sólida, resistente y capaz de soportar diferentes pesos, climas y otras condiciones ambientales. En la actualidad, es algo natural de encontrar, ya que gran parte de las construcciones —por no decir todas— dependen totalmente de la mezcla correcta de los elementos que conforman la pasta o la estructura de los muros de cualquier edificación u obra, incluso el pavimento y todo lo que debe soportar.

Además, como lo indica Sánchez (2001), el hormigón se ha vuelto en el material de construcción más empleado universalmente por su asombrosa mutabilidad en forma (moldeable), funcionalidad (aplicaciones estructurales y no estructurales) y economía. Gracias a la tecnología desarrollada, puede competir no solo con estructuras de piedra y madera, sino con estructuras de acero.

Por lo tanto, este desarrollo es el resultado de investigaciones a nivel químico, físico, mecánico y estético. Sus propiedades ignífugas lo convierten en el material de construcción más seguro ante un accidente. Por ende, comprender sus puntos débiles ayuda a diseñar composiciones seguras y duraderas. Cabe resaltar que la estructura de hormigón construida en la década de 1950 se ha utilizado en su totalidad sin signos de desgaste. En este sentido, se puede imaginar que la nueva información en durabilidad permitirá construir estructuras de hormigón relativamente baratas con una vida útil de más de 150 años. Esta duración supera las necesidades del dinamismo urbano actual debido a los rápidos cambios en la demanda provocados por el desarrollo demográfico.

Los proyectos a gran escala requieren hormigón de alta resistencia con mayor trabajabilidad. Por ello, y para que el concreto alcance ese nivel óptimo de resistencia sin perder esta propiedad, actualmente se utilizan aditivos superplastificantes de policarboxilato, los cuales permiten reducir el contenido de agua hasta en 40 % y mejoran las propiedades reológicas y mecánicas del hormigón. Así, potencian las propiedades de los áridos, la relación agua y cemento, y el porcentaje de aditivos. No obstante, los beneficios de los aditivos superplastificantes en la industria de la construcción son aún pequeños, significativos y esenciales por las barreras comerciales, el desconocimiento, y el control del comportamiento reológico de sus morteros y hormigones que determinan los estándares de producción y su implementación (Gismera, 2019).

Por ello, esta investigación realiza una aproximación a los elementos conformados en el hormigón, cómo actúan por sí mismos, en conjunto y cómo reaccionan a los efectos ambientales a los que están expuestos. Asimismo, y gracias a los avances químicos, se mostrará cómo los aditivos se comportan de distintas maneras según el grado de aplicación, el uso del hormigón y su aplicación en el tiempo.

UNA INTRODUCCIÓN AL HORMIGÓN COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

El mundo de la construcción está rodeado de múltiples componentes que, algunas veces, solo son conocidos por las personas inmersas en este ámbito. Incluso, el uso de materiales varía de manera bastante considerable si lo que se pretende edificar está expuesto a climas fríos, cálidos, o incluso para las dos situaciones. Por ello, no solo es un trabajo de ingeniería al momento de diseñar los modelos, sino químico al saber cómo se debe determinar la mezcla de elementos para producir resultados óptimos y moldeables.

El hormigón, concreto, cemento o como se conozca en diferentes países a nivel mundial, se percibe como la base para cualquier obra. En este sentido, funge como adhesivo, resistencia o el material ideal para efectuar cualquier tipo de arreglo inmediato desde el más pequeño que no requiere de gran conocimiento civil. De esta manera, trabajar de modo constante en la mejora de este material no solo es necesario, sino es una tarea permanente y efectuada por profesionales especializados.

Asimismo, hay que considerar que no en todas las construcciones se utiliza la misma clase de cemento, ya que cada hormigón cuenta con una serie de propiedades que lo hace idóneo para un uso determinado.

1.1. Hormigón: definición

También conocido como cemento en algunos países de América Latina, consiste en la combinación de dos elementos principales: el cemento (polvo grisáceo) y agua. Posteriormente, y según la utilidad, es necesario agregar otro tipo de aditivos, ya sean químicos o de determinadas características específicas, para otorgarle más consistencia o maleabilidad. Por lo tanto, el hormigón puede estar conformado por arena, cemento, agua y grava o gravilla (rocas) que durante el proceso de encofrado —según Martínez et al. (2019)— es un sistema de moldes que se usa para formar al concreto mientras está fraguado. Para Ludwig (1972), indica de una manera aproximada el inicio de la hidrólisis

inicial, la hidratación y el endurecimiento del conglomerante. Además, obtiene nuevas propiedades de acuerdo con las exigencias del constructor y el lugar donde se aplica la mezcla.

Figura 1

El hormigón en la construcción



Nota. Tomado de Jcomp (s. f.-f).

Otra definición es la que indica Segura (2011), quien afirma que este es un material estructural que se produce a través de la combinación homogénea de los agregados inertes finos o arena, gruesos o grava, un ligante que es el cemento y agua, con o sin aditivos. Así, el hormigón se fabrica por una pasta de cemento y agua, en la cual hay partículas pertenecientes de un material conocido como agregado, el cual ocupa el 60 % al 75 % del volumen del hormigón (es decir, el 70 % al 85 % de la masa). Asimismo, se ejecutan las siguientes clasificaciones:

Tabla 1

Clasificación del hormigón

Peso (densidad)	Normal – liviano – pesado
Limpieza	Sucio – limpio
Granulometría	Agregado fino – grueso – integral

De la misma manera, las cantidades usadas para la realización de la mezcla nunca son absolutas, ya que según la dosificación se produce una masa compacta y óptima que alcance el grado solicitado de manejabilidad. De esta manera, al trabajar a la velocidad indicada, se logran los atributos adecuados de resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen y apariencia adecuada.

Asimismo, cuando se refiere a hormigón fresco, se enfatiza en que sus propiedades están conducidas por el tipo de construcción, así como las técnicas de colocación y transporte. En tanto, el hormigón endurecido está especificado por el diseñador de la estructura. Entonces, cada tipo de obra tiene exigencias propias que están condicionados por el clima, el sistema constructivo, el tiempo y los costos de ejecución. Por otra parte, lo que se conoce por mortero solo es la mezcla de cemento, arena y agua (o sea, esta composición no posee ningún tipo de agregado) y se usa para nivelar pisos, estabilizar taludes, pegar ladrillos o recubrir muros.

1.1.1. Propiedades mecánicas

Es la destreza para soportar esfuerzos sin errar. En este sentido, las fallas a veces se identifican por la presentación de grietas. Sin embargo, el concreto, a diferencia de la mayoría de los materiales de construcción, posee grietas finas incluso antes de que se exponga a cargas externas. Por lo tanto, la resistencia del cemento está relacionada con el trabajo solicitado para provocar la falla y es sinónimo cuando la tensión aplicada obtiene su estimación culminante. Además, en las evaluaciones de tensión, la fisura de la pieza examinada, por lo general, equivale a error. En tanto, en la compresión, la pieza probada se estima defectuosa cuando, no apareciendo muestras de fractura externa evidentes, el agrietamiento interior es tan avanzado que el objeto es incapaz de sostener un peso mayor sin quebrarse (Metha y Monteiro, 1998). De esta manera, la mejora de las capacidades mecánicas del hormigón se relaciona con la liberación de humedad entre las partículas de cemento y el incremento de la película de agua que recubre las partículas de la fusión.

Resistencia a la compresión. Según el estudio de Metha y Monteiro (1998), este tipo de resistencia se relaciona con la contestación del concreto al trabajo ejecutado. De la misma manera, no solo necesita del tipo de esfuerzo, sino de una mezcla de diversos elementos que altera la porosidad de las diferentes partes estructurales del hormigón. Estos agentes incluyen los atributos y las medidas de los materiales que conforman la combinación del cemento, el nivel de compactación y la naturaleza del curado. Si se toma a la resistencia como punto de partida, la relación entre el enlace del agua y cemento, y la porosidad es, sin duda, la causa más importante porque —sin estimar otros factores— influye en la porosidad de ambos, la matriz de la pasta de cemento, así como la zona de transición entre la matriz y el incorporado grueso.

En otras palabras, la resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del hormigón y, en una definición más sencilla, es la competencia para aguantar una carga por unidad de espacio expresada en términos de esfuerzo. Solís-Carcaño et al. (2008) aseguran que la resistencia a la compresión fue el factor más valorado en el concreto, ya sea porque es el señalador trascendental de la solidez de la materia o porque es una propiedad que se vincula a la mayoría de los otros atributos del cemento. Por ejemplo, su resistencia al esfuerzo cortante, su módulo de elasticidad o su permeabilidad.

Además de las características innatas del material, los motivos primordiales que modifican los efectos de las evaluaciones a compresión son el curado inicial, el tamaño de la probeta, la velocidad de aplicación de la carga, la esbeltez de la probeta, el estado de humedad y el cabeceo o refrentado. De ahí que el clasificador general de medición sobre la condición del hormigón sea su renuencia a la compresión, la cual se consigue doblegando a fuerzas uniaxiales probetas de dimensiones estandarizadas, modeladas desde una parte de la materia (Delibes, 1993, como se citó en Solís-Carcaño et al. 2008).

Con base en lo explicado, los productos se usan, principalmente, para establecer si la mezcla del cemento aprovisionado cumple con los requerimientos de la resistencia distintiva para una estructura. Por lo tanto, los resultados gracias a la producción de cilindros son empleados para el la inspección de calidad, la aprobación del hormigón o la evaluación de la resistencia del hormigón en una estructura, lo que permite programar actividades de

construcción como la eliminación de encofrados (encofrado) o la evaluación en una estructura, lo que permite programar actividades de construcción como la eliminación de encofrado, o la evaluación de endurecimiento ligero y protección estructural (Cemex, 2019).

Resistencia a la flexión. Es la carga máxima que una viga alcanza a aguantar en flexión antes de agrietarse. Los agentes que afectan son la relación agua y cemento, la edad del hormigón, el contenido de aire, el contenido de cemento, el efecto del agregado, el tamaño máximo, el fraguado, el curado y el uso de aditivos (fibras). Asimismo, Bonilla et al. (2017) explican que es la tensión máxima que resiste la materia antes de la falla. Es decir, cuando se sujeta a carga o la cantidad de tensión que se necesita para difundir mediante un defecto antecedente.

Según la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA, s. f.), se mide aplicando un peso a una viga de concreto de 6 x 6 (150 x 150 mm) de un área transversal que es, al menos, tres veces su espesor. La resistencia a la flexión, entonces, se expresa como módulo de rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa). Asimismo, se determina por medio de los métodos de prueba la American Society of Testing and Materials (ASTM) C78 (carga en el tercer punto) o ASTM C293 (carga en el punto central). Una vez más, el módulo de rotura es aproximadamente del 10 % al 20 % según tipo, tamaño y volumen del agregado grueso. Sin embargo, la mejor correspondencia para un material en particular es la prueba de laboratorio de un material y un material con diseños mixtos. Así, el módulo de rotura dirigido para una viga cargada en el tercer punto es menor que el orientado para una viga cargada en el punto medio, a veces hasta en el 15 %.

Resistencia a la tracción. Es relativamente baja, alrededor del 10 % al 15 % de su resistencia a la compresión, pero puede alcanzar hasta el 20 % y es más difícil de determinar. Los alcances de las pruebas de tracción varían ampliamente y hay tres formas de obtener en el laboratorio. Estos son el ensayo por flexión (flexotracción), hendimiento (ensayo de tracción indirecta o ensayo brasileño) y ensayo de tracción axial (Rodríguez, 2014).

Figura 2
Refuerzo de acero



Nota. Tomado de Jcomp (s. f.-b).

Para profundizar más, se conoce que desde hace varios años se han implementado técnicas que favorecen la tracción del hormigón, entre ellas las fibras de acero, las cuales se consiguen por varios métodos, aunque lo más habitual es hacerlo torneando acero en carbono. El diámetro del alambre es de 0.25 a 0.80 mm; mientras que la extensión de las fibras varía ampliamente de 10 a 75 mm. Para Fernández (1982), las consecuencias primarias que produce la incorporación de fibras de acero a los hormigones se resumen de la siguiente manera:

- a. Perfecciona el comportamiento de tracción a la flexión.
- b. Aumenta la fuerza de rotura.
- c. Reduce la desfiguración en disposiciones de carga a largo plazo.
- d. La resistencia a la tracción se incrementa.
- e. Aumenta significativamente el aguante a golpes e impactos.
- f. Alta resistencia a la fatiga dinámica.
- g. Agrietamiento controlado.
- h. Mayor resistencia.

1.1.2. Propiedades físicas

Impermeabilidad. Capacidad que tiene el concreto para que los gases o el agua del exterior no se conduzcan a través de sus poros internos cuando está duro. Algunos elementos que influyen son la finura del cemento, la cantidad de agua o su compacidad. Sin embargo, no es el agua propiamente lo que daña este material, sino otros compuestos químicos que se combinan en ella. Además, estos elementos ocasionan daños en la estructura de metal, el cemento y la estructura completa.

Durabilidad. Aptitud para resistir la influencia de la intemperie, el ataque químico, la abrasión y cualquier otro proceso que propicie el desperfecto del hormigón. Es decir, es la capacidad para aguantar el transcurso del tiempo. Algunos agentes que influyen son las sales, el calor, el agente contaminante y la humedad. Además, hay que considerar los problemas no solo se refieren a su diseño inicial y construcción, sino que también tienen una mayor influencia en la construcción. En este sentido, originan costos y pérdidas económicas para el propietario o el inversionista, ya sea en la reconstrucción de las zonas deterioradas, la sustitución de los elementos que se han dañado y otros gastos operativos imputables a remodelaciones o mantenimientos temporales.

Resistencia térmica. Característica que tiene el hormigón para soportar los cambios de temperatura. Algunos factores que impactan son las bajas temperaturas (si hay hielo o deshielo), o si la temperatura sobrepasa los 300 °C.

Figura 3

Resistencia térmica



Nota. Tomado de Azerbaijan_stockers (s. f.).

Sobre este último apartado, se asocia con el estudio realizado por Ramos et al. (2021) quienes, al citar a otros autores, mencionan que el fuego es uno de los riesgos más habituales que aguantan las estructuras de hormigón armado a lo largo de su vida. Entonces, hay dos aspectos distintos de la seguridad estructural contra incendios. La primera característica es que el edificio debe ser ignífugo durante un tiempo determinado; mientras que la segunda característica, la reutilización del edificio después de un incendio. Los investigadores complementan la idea al señalar que el fuego es uno de los principales riesgos que reducen la permanencia y soporte de las estructuras de hormigón. Por lo tanto, las estructuras de hormigón armado tienen una mayor resistencia que las estructuras de acero puro porque el primero protege al segundo en el interior.

1.2. Peculiaridades del hormigón autocompactante

Tejaswini y Rao (2020) lo comprenden como una fusión de hormigón fluido que no posee separación y se comprime en su propio peso. Asimismo, exige más cantidad de partículas de calidad en comparación con el hormigón normal. Las cenizas volantes, relativamente en reemplazo del cemento y como relleno, se usan en Self-Compacting Concrete (SSC). En este sentido, Ley-Hernandez et al. (2019) sostienen que el SCC es una combinación de hormigón con una fluidez bastante alta que no requiere de ninguna fuente externa de vibración porque puede fluir a distancias considerables gracias a la gravedad, aunque también es influenciado por la segregación en reposo (estático) y durante el flujo (dinámico).

En otras características, se conoce que generalmente la cantidad de agregado grueso es menor o similar que el agregado fino. Así, la relación árido fino/totalidad de áridos es de gran importancia en el SSC, ya que sus rasgos reológicos se optimizan al aumentarse en esa relación. Por otro lado, si el contenido de árido grueso en este tipo de hormigón sobrepasa cierto límite, la combinación se congelará independientemente de la densidad (Okamura y Ouchi, 2003). Asimismo, este tipo de hormigón es un gran reductor de agua que lo hace indispensable para conseguir una mezcla manejable que permita obtener acabados de primera, así como la durabilidad del material.

Por último, el SCC es un componente que tiene la posibilidad de adquirir su figura final dentro del encofrado. Esto se consigue sin la ayuda de ningún implemento mecánico, manteniendo la naturalidad y la homogeneidad en la distribución. De esta manera, se previene la presencia del sangrado de la lechada o del bloqueo de áridos gruesos. Incluso, aunque posea estas propiedades, aún conserva los atributos de resistencia mecánica y homogeneidad del hormigón normal.

Figura 4

Estructura de hormigón



Nota. Tomado de Rawpixel.com (s. f.-e).

A comparación del hormigón común, el SCC es más utilizado por su maleabilidad, ya que le permite adaptarse a lugares difíciles o complicados, obteniendo resultados más pulidos y pulcros. Además, su composición esquiva el proceso de compactación, lo que significa una reducción considerable de energía y ruido, además que al ser de fácil manejo hay ahorro de tiempo. Asimismo, su estructura es más controlable, lo que conlleva a que las disposiciones ambientales en el ámbito natural o urbano se encuentren menos desfavorecidas por ruidos y maquinaria innecesarias.

En todo caso, no significa que sea una mezcla perfecta, ya que al tener una preparación específica se debe estar atento al momento de realizar las combinaciones, puesto que la administración de los componentes y la cantidad de agua pueden provocar que el resultado final sea bastante líquido y pierda

sus propiedades mecánicas. Además, por esta misma fluidez, la preparación se filtra por cualquier mínimo espacio si no ha sido sellada de forma correcta. Aun así, y siempre que todas estas situaciones sean controladas, el SCC es un componente con muy excelentes condiciones y es una gran opción cuando se necesite de algún resultado más exclusivo para el hormigón, así como para obtener maneras más demandantes.

1.3. Normativa para el hormigón: norma e-060 y American Concrete Institute (ACI)

La Norma e-060 o NTE E.060 se la conoce como la Norma Técnica de Edificación (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009). Como aspectos generales está dividida en 22 capítulos, y en cada uno trata un aspecto diferente de la ejecución de la obra de construcción. El capítulo 1 y 2 son generalidades de las construcciones, como el tipo y sus los objetivos. En el capítulo 3 se mencionan los materiales a usarse mientras que en el capítulo 4 se explica la durabilidad y la proyección en el tiempo. Por otra parte, el capítulo 5 cimenta las bases sobre el tipo de concretos a utilizar y cómo será su manejo. En el capítulo 6 se aclara toda lo pertinente a las tuberías y encofrados. En el capítulo 7, en cambio, se detalla cada uno de los refuerzos, como ganchos y conexiones. El capítulo 8 retoma la parte de diseño, específicamente las cargas y vigas. El capítulo 9 y 10 se enfocan en el soporte, la flexibilidad y la carga axial. El capítulo 11 describe las resistencias al refuerzo cortante; mientras que el capítulo 12, el desarrollo y los empalmes de refuerzo. El capítulo 13, por su parte, complementa el apartado de los materiales, enfocándose en las losas. En el capítulo 14 y 15 se ahondan en la fabricación de los muros y las zapatas. A partir del capítulo 16 hasta el 18 y el 22, la norma entrará más en detalle sobre los hormigones. Finalmente, el capítulo 19 profundiza la utilización de las losas; el capítulo 20, en las estructuras se someten a diferentes pruebas; y el capítulo 21, los componentes sísmicos.

Entonces, la NTE E.060 es una adecuación del código ACI 318-05. Así, las normas de diseño de hormigón armado en la mitad de los países de América Latina son una copia literal de esta normativa. No obstante, se ejecutan algunos cambios asociados con los detalles de refuerzo, las causas de disminución de aguante y los motivos de expansión de carga, como ocurre en la norma peruana.

Con respecto al uso del hormigón, particularmente en la norma se menciona que el árido grueso utilizado en el hormigón armado consiste en grava natural o triturada. Sus partículas deben ser limpias, preferentemente de perfil angular o semiangular, duras, compactas, duraderas, y preferiblemente de trama áspera. En este sentido, no debe haber partículas sueltas, composición orgánica y otras sustancias nocivas. Como agregados se entiende a la concentración de partículas inorgánicas determinadas por la naturaleza y las fuentes artificiales. Asimismo, se incluye en el límite de configuración predeterminada la NTP 400.011. Los agregados, así, son la fase discontinua del hormigón.

En conclusión, este código aclara los requisitos y las condiciones mínimas para el estudio, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad, y la supervisión de estructuras de hormigón armado, pretensado y hormigón en masa. Los planos de la obra y los detalles técnicos deben cumplir con ello, además lo dispuesto prevalece cuando es incompatible con otras normas relacionadas. Para estructuras especiales, por ejemplo, arcos, tanques, depósitos, silos, chimeneas y estructuras antideflagrantes, se aplica lo dispuesto, excepto como se explica en el capítulo 21. Asimismo, esta normativa no controla la organización y la disposición de pilotes de hormigón enterrados, pilotes de excavación y secciones de hundimiento de cimientos.

Cabe resaltar que no aplica al modelo y construcción de losas respaldadas en el suelo a menos que estas transfieran cargas verticales o laterales desde diversos ángulos de la distribución al suelo. Entonces, rige el bosquejo y construcción de las losas de hormigón estructural desembocadas sobre formas de acero fijas y estimadas no compuestas. En contraparte, no se aplica al modelo de losas de hormigón estructural desembocada sobre formas estables de acero que se consideran materiales compuestos. Finalmente, el hormigón utilizado para la construcción de los pisos deberá efectuar con lo acordado en los capítulos del 1 al 7 de la norma.

Por otra parte, la American Concrete Institute (ACI) fue fundada en 1904 como una asociación de educación técnica sin fines de lucro. Ahora, es una de las principales administradoras mundiales en la gestión y práctica del concreto. La ACI también es un foro para discutir todos los temas relacionados con apartados específicos y proponer soluciones a los problemas, los cuales se

ejecutan a través de conferencias y medios como la ACI Structural Journal, la ACI Materials Journal, y publicaciones técnicas. Además, se reúnen dos veces al año para las actividades previstas y los trabajos de los comités técnicos.

La base de las actividades de la ACI son sus reglas, las cuales, por lo general, son aprobadas por los miembros. De acuerdo con sus reglas, los miembros elegirán a uno de los 18 miembros como responsables del Consejo de Directores, responsable de la gestión general del instituto, en el cual se incluye el desarrollo de la política para promover los objetivos de la organización. Además, la junta directiva se agrupa dos veces al año para revisar asuntos como presupuestos, revisiones o adopción de políticas, programas predeterminados, actividades de los capítulos y otros asuntos administrativos. Finalmente, la ACI publica información fidedigna sobre el cemento y sus usos, organiza seminarios educativos, ofrece programas de certificación estándar de la industria, otorga foros de discusión locales y propicia la participación de los usuarios en el manejo del hormigón.

1.4. Agua y cemento en la mejora del hormigón de alta resistencia

En primer lugar, el hormigón de alta resistencia es usado en construcciones y estructuras que necesiten elevadas ayudas e índices de soporte y durabilidad, así como todas aquellas aplicadas en entornos hostiles. De esta manera, este tipo de concreto presenta varias ventajas en contraste del hormigón común. Por ejemplo, poseen una mayor rigidez, es decir, demuestran un mejor comportamiento en estructuras horizontales, tienen un mayor amortiguamiento intrínseco, son más económicos y adquieren una mejor conservación: son más resistentes al fuego (Gómez, 1998).

Entonces, en relación con el agua, hay que esclarecer que el exceso en la mezcla impacta significativamente la calidad del hormigón. Si bien incrementa su factibilidad, también reduce su aguante. Como generalidades de esta relación, en la literatura se halla este mismo concepto como razón agua y cemento, o a y c. En este sentido, otros aspectos a considerar son la calidad del agua, la distribución granulométrica, la consistencia de la mezcla y, finalmente, la resistencia del cemento.

Por lo tanto, el agua actúa para hidratar el cemento y asegurar la trabajabilidad de la mezcla de alto desempeño. Para la producción de hormigón se debe utilizar agua natural que sea potable, insípida e inodora (Alvansaz et al., 2022).

Guevara et al. (2012) aclaran que en la relación agua y cemento resulta de gran importancia, ya que están estrechamente ligadas a una gran cantidad del resultado final que se conseguirá, donde eventualmente según más agua se agregue, se aumentará la fluidez de la mezcla; por ende, su trabajabilidad y adaptabilidad, lo cual genera importantes ventajas para la mano de obra. No obstante, y como se ha explicado, también empieza a reducir el aguante por el gran volumen de espacios originados por el agua libre. Es decir, la resistencia del hormigón se somete altamente a la relación entre el agua y el cemento.

De igual manera, hay que prestar atención al ejecutar las mezclas, ya que un mal procedimiento altera el resultado de toda una edificación (o, aunque sea una parte de esta), lo que no solo significa pérdida de materiales y tiempo, sino de energía. De esta manera, se producen diversos tipos de contaminación no controlables.

Figura 5

Mezcla de cemento y aditivos



Nota. Tomado de Jcomp (s. f.-c).

Para conocer si una mezcla está mal realizada, hay que observar si fugas de agua a través del encofrado a pesar de que conserve todos los mecanismos posibles de sellamiento. De la misma manera, son la formación de manchas blancas en la superficie de la estructura, la debilidad en el encofrado, las losas sueltas, las fisuras, los pavimentos con poca resistencia, y el aumento de la porosidad. Entonces, si se quiere obtener una óptima resistencia específica de hormigón, se recomienda que se siempre se ejecuten los ensayos de los componentes y las regulaciones en el esbozo de la mezcla del concreto.

En cementos permeables, por ejemplo, el vínculo agua y cemento adecuado depende de la dimensión límite del agregado usado, la granulometría, la correlación agregado grueso/ cemento y el uso de aditivos. Por ello, aunque se sugiere que la primera relación esté próxima a 0.30, este dato cambia ante el impacto de los factores mencionados (Fernández y Navas, 2011).

1.5. Métodos de ensayo del hormigón fresco

En la actualidad, es posible referirse no solo a las mezclas de hormigón tradicionales, sino a que la mayoría de las construcciones incluyen un cierto porcentaje de aditivos para cambiar los atributos del hormigón en situación fresca para obtener mejores prestaciones con menos recursos. La relación agua y cemento es mínima en comparación con otros modelos que ofrecen el mismo aguanete.

El hormigón fresco es fácil de identificar porque es hidratado; es decir, es hormigón seco con agua añadida. Aunque suene simple, en realidad requiere un poco de esfuerzo producir este tipo de concreto, pues debe mantenerse en movimiento constante para que no se asiente. Así, consiste en una fusión de agregados, como arena y grava, cemento (generalmente Portland), aditivos y agua que controlan la velocidad de fraguado y las propiedades físicas. Debido a que la producción se realiza en una fábrica, destaca cuando llega a la obra y está listo para su uso.

Según las necesidades constructivas de cada proyecto, hay determinado tipo de hormigón. Si bien el cemento usa cuatro ingredientes principales, la cantidad y las proporciones de los aditivos o agregados cambian de acuerdo con el empleo previsto de la mezcla. Por eso, es normal ver grandes camiones hormigoneros

porque son los encargados de entregar el hormigón premezclado. La razón, por la cual el contenedor gira todo el tiempo, es evitar que el material se endurezca, independientemente de la distancia o el tiempo de viaje.

Sobre el hormigón fresco, sus características principales se relacionan con su homogeneidad y trabajabilidad. Por ende, estos dos elementos son la pieza principal del resultado óptimo de la mezcla. De igual manera, para que el hormigón sea homogéneo, el material debe ser totalmente uniforme, es decir, debe obtener las mismas propiedades en cualquier punto de su masa (Herrera, 2008). En otros estudios, Pekmezci et al. (2007) demuestran que es posible crear una mezcla de hormigón que se refuerce sin vibraciones internas o externas mientras conserva la figura adecuada al final del proceso de recubrimiento deslizante. Ello se logra mediante el uso de aditivos químicos o la adición de pequeñas cantidades de finos para controlar selectivamente el flujo, los atributos de consolidación y el aguante en fresco del hormigón.

Figura 6

Construcción



Nota. Tomado de Rawpixel (s. f.-g).

Sobre los ensayos usados para conocer sus características, en primer lugar, está la toma de muestras, la cual principalmente se realiza de manera aleatoria para determinar si la mezcla es óptima para su trabajo: es decir, si es homogénea. Cabe señalar que estas pruebas deben realizarse bajo condiciones específicas y controladas. En segundo lugar, consiste en usar el Cono de Abrams. Este es un

molde troncocónico de 30 cm de altura, 20 cm de diámetro en la base mayor y 10 cm de diámetro en la base menor que se rellena con el hormigón en tres capas. Cada una debe tapar aproximadamente $\frac{1}{3}$ del molde apisonadas con 25 golpes distribuidos sobre la superficie. El extravío de altura que experimenta la masa fresca del hormigón, una vez desmoldada y convertida en cm, resulta una medida de su consistencia. El Consistómetro Vebe es otro ensayo que consiste en levantar un molde verticalmente limpio de hormigón para, posteriormente, poner un disco transparente en la porción superior de la mezcla y bajarlo con diligencia hasta que entre en relación. Después, se anota la fijación del hormigón, se inicia la mesa vibratoria y se calcula el tiempo que demora la cara inferior del disco transparente en taparse con la pasta; es decir, el tiempo Vebe (González y Alloza, s. f.). Otro método es la comparación con el aire ocluido o la densidad de la mezcla.

UNA CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

Una vez comprendido cómo nace relativamente la industria de la construcción y cómo el hormigón funciona como base, estructura y motor de todo el aspecto civil, es importante señalar que —aunque su inicio de fabricación sea la misma— no todos tienen preparaciones idénticas y, mucho menos, deben emplearse en los mismos espacios. Así, este material se convierte en un objeto de estudio más amplio y complejo, y no solo como aquel que se produce a grandes escalas para su posterior uso.

Entonces, no significa que no haya similitudes, ya que procede desde la mezcla inicial de cemento-agua y aditivos, pero hay reconocer que como cualquier elemento de la tierra posee un lugar y un peso determinado en el espacio; por lo que —gracias a la química, los controles y los ensayos— se empieza a identificar en situaciones, contextos y lugares donde se utilice cada uno de los tipos de concretos que hay y se continúan creando.

2.1. El hormigón en masa

Se usa en proyectos que no requieren un nivel de resistencia muy alto porque no contiene acero de refuerzo en sus componentes. Por lo tanto, no tiene el mismo soporte que otros tipos de hormigón. Es decir, corresponde a estructuras con altos espesores (> 80 cm) y que disponen de un gran tamaño, lo que generalmente significa que deben instalarse grandes volúmenes de hormigón en poco tiempo. Asimismo, exige una planificación muy apropiada y procesos eficientes. En relación con ello, esta clase de hormigón es ideal para usarse en cimentaciones de grandes cargas, cimentaciones del control de flotabilidad. Por ejemplo, la protección contra la radiación (Sika, 2020).

De igual manera, hay que estimar que emplear este tipo de hormigón debido a su composición puede ocasionar problemas en la obra. Entre ellos que, durante el proceso de endurecimiento y curado, la disparidad de temperatura entre las capas interna y externa del concreto es grande, la temperatura máxima será bastante elevada, habrá una gran diferencia de humedad cuando se cure de afuera hacia adentro. Por ello, se encontrará forzado a la retracción, refuerzo secundario (asentamiento) del hormigón, que resulta el agrietamiento del refuerzo superior y el asentamiento debajo de este (Sika, 2020).



Figura 7

Preparación manual de mezcla de hormigón

Nota. Tomado de Jcomp (s. f.-d).

2.2. El hormigón estructural

La principal característica es su alto soporte a la compresión. Además, gracias a que su aguante a la tracción no es tan elevado, resulta imperante incorporar barras de acero (armaduras) para obtener hormigón armado, el cual mejora notoriamente los esfuerzos a tracción, los que suscita un sistema constructivo completo. Además, desarrolla todas sus etapas y es organizado bajo una estimación detallada anteriormente y medida por el diseñador, manteniendo las características de resistencia y durabilidad.

2.3. Hormigón según el tipo de armado

Como característica general, cuando el cemento se refuerza con armaduras pasivas se denomina hormigón armado; mientras que cuando es fortificado por armaduras activas, hormigón pretensado. En este sentido, las armaduras pasivas son las que perciben tensiones cuando se carga el elemento de hormigón al que aseguran; mientras que las activas, tensiones antes de que el elemento sea cargado.

Entonces, las armaduras activas tienen la capacidad de colocarse en presión antes o después del vertido y endurecimiento del hormigón. Así, si lo adoptan antes que el hormigón resultante se le conoce como hormigón pretensado con armaduras postesas; mientras que si lo son después, hormigón pretensado con armaduras pretesas. Este último también se llama hormigón pretensado de armaduras adherentes (Garrido, 2007).

2.3.1. Hormigón armado

A diferencia del hormigón en masa, este tiene barras de acero colocadas de forma especial para proporcionar un alto nivel de resistencia. Esto lo convierte en uno de los favoritos en el área de la construcción por su gran aguante a la compresión y tracción, ya que se encargan del refuerzo. Por ello, es muy utilizado en puentes, edificios y casi cualquier tipo de obra civil, pues aporta importantes garantías en cuanto a resistencia y calidad de acabado.

Según Nadim y Al-Manaseer (2012), el hormigón armado cuenta con diversas ventajas si se compara con otros tipos de concreto:

- a. Tiene alto soporte al aplastamiento.
- b. Posee mejor aguante al fuego que el acero.
- c. Larga vida útil y bajo costo de mantenimiento.
- d. Es el material de construcción más económico en algunos tipos de construcciones como presas, columnas y cimientos.
- e. Puede adoptar cualquier forma y es ampliamente empleado en piezas estructurales prefabricadas.

No obstante, también presenta las siguientes desventajas:

- a. El soporte a la tracción es bajo, alrededor de una décima parte de la resistencia a la compresión.
- b. Requiere mezclado, vaciado y curado, lo que afectará la resistencia final del cemento.
- c. El costo de los moldes de fundición de hormigón es alto. Los materiales y el procesamiento del encofrado pueden ser igual al costo del concreto colocado en el encofrado.
- d. En comparación con el acero, disponen una menor aguante a la compresión (una proporción de aproximadamente 1:10 según el material), lo que conduce a secciones de columna más grandes en la estructura del piso.
- e. Grietas en el hormigón por retracción y carga viva aplicada.

Se logra por la inclusión de armaduras o mallas para volverlo mucho más fuerte. Algunos tipos de fibras plásticas también se incorporan en diferentes proporciones según el diseño específico. Además, es el material más popular. Se crea utilizando moldes, una forma rígida que se convierte en el proceso de trabajo. Se usa comúnmente en construcción e ingeniería para construir puentes, túneles, edificios, puertos, presas, etc. Actualmente, las estructuras de hormigón armado exigen mayor resistencia y eficiencia, por lo que es necesario mejorar las características mecánicas y la durabilidad del concreto.

Su fabricación se realiza mediante la inmersión de barras de acero en el hormigón que se retuercen para formar barras de acero, una verdadera jaula capaz de representar el soporte de hormigón en la estructura. Posteriormente, se suscita la unión entre los dos materiales mientras se mejora su resistencia a la adhesión y compresión. Dependiendo de las condiciones y/o necesidades, este cemento se elabora en dos lugares: en una fábrica con implementos ya prefabricados o directamente en la obra.

2.3.2. Hormigón pretensado

También se incluye el postensado. Tiene un nivel de resistencia bastante alto, por lo que se utiliza para tareas específicas. Se diferencian en que el efecto de pretensado se produce antes que el hormigón, mientras que el efecto de postensado, después de la última fase. Este es el mayor motivo por el que se usan para fines especiales, donde se requiere una alta resistencia del material, por ejemplo, en la construcción de rascacielos y puentes expuestos a alta presión.

Además, contiene acero que soporta una tracción y tensión permanente que, por lo general, es bastante fuerte. La idea del pretensado es comprimir el hormigón antes de cargarlo en todos los puntos, donde la carga produce fuerzas de tracción. En resumen, el uso del pretensado es una herramienta de construcción que supera la debilidad del hormigón convencional sobre el soporte a la tracción. A diferencia de otros hormigones, se produce en una fábrica y luego, se envía al sitio de construcción. También es muy duradero y es ideal para piezas cuya composición estética es de particular importancia.

Figura 8

Hormigón armado



Nota. Tomado de Bearfotos (s. f.).

2.4. Hormigón según la densidad

La densidad está directamente vinculada a los elementos manejados en su composición. En este caso se utiliza arena, piedra, grava o como componente del árido, pero también cualquier otro material que modifique significativamente sus propiedades, tales como textura, forma y resistencia. Asimismo, las variaciones en el concreto dependen de varios factores. Por ejemplo, la cantidad de elementos incorporados y cemento en la mezcla, así como sus dimensiones y la cuantía de agua y aire en la composición. Por ende, cuando se refiere a la densidad del cemento, significa el peso del componente por unidad de volumen, el cual se mide en m^3 .

2.4.1. *Hormigón normal*

Posee una densidad superior a 2000 kg/m^3 y es el tipo más utilizado porque se emplea para construir estructuras armadas, cimientos, columnas, pilares, caminos, pasos peatonales, e incluso elementos decorativos. Asimismo, su objetivo principal es combinar elementos inactivos, así como formar una fuerte resistencia adecuada para la edificación y la construcción.

2.4.2. *Hormigón ligero*

Como menciona Morales et al. (2018), la reducción de la consistencia del hormigón trae como consecuencia la reducción de cargas, cuantía de acero, e incluso costo. Asimismo, con una densidad de 500 a 1800 kg/m^3 , se aplica en la construcción de tabiques no estructurales, relleno o nivelación de cubiertas y tuberías. Además, su baja conductividad térmica lo convierte en un aislante ideal. Este material combina grandes cantidades de agua, aire y aditivos en ingredientes especiales. Entre sus ventajas están su practicidad para la obtención de acabados mucho más finos, el uso de aditivos mejoradores de aire que optimizan su trabajabilidad y durabilidad, y sus costos reducidos y con mayor rendimiento.

Como lo manifiesta Álvarez (2012), las propiedades más importantes son densidad, conductividad y resistencia. Entonces, los hormigones entre 800 y 1200 Kg/m^3 son utilizados como portantes en función de su densidad final y resistencia. Según la mezcla específica, es posible cumplir con las normas para fachadas y cubiertas mencionadas en las especificaciones técnicas. El hormigón,

capaz de alcanzar una resistencia de 7 a 15 MPa, se usa como revestimiento o incluso elemento estructural. Además, proporciona una resistencia a la compresión adecuada a la humedad, el calor y los productos químicos.

2.4.3. Hormigón de alta densidad

Se caracteriza por mostrar un valor de densidad alto (en relación con las mezclas convencionales equivalentes) debido al uso de agregados pesados. Este tipo de hormigón es un material adecuado para estructuras que contienen o evitan diferentes tipos de radiación. Asimismo, para brindar protección (radiación o seguridad física), se necesita un espesor menor en comparación con el hormigón convencional, lo que suscita una mayor superficie útil. Frecuentemente es aplicado en lugares con alta radiación nuclear o en bunkers, así como entidades bancarias (Cemex, s. f.).

Entonces, la razón para usar este tipo particular de concreto no guarda relación con sus propiedades mecánicas y físicas a nivel estructural. Por lo tanto, la mejor manera de usarlo es otorgar protección a lugares bastante expuestos, ya que proveen una armadura segura al ser compacto e impermeable. Otros fines son el contrapeso de grúas y aplicaciones especiales en estructuras para balancear cargas y agregar masa sin afectar el volumen. Asimismo, son útiles en la construcción de elementos de soporte estructural y pilares submarinos por la fuerza y resistencia a la corrosión por agua salada.

Figura 9

Concreto mezclado



Nota. Tomado de Jcomp (s. f.-e).

Su eficacia depende del uso de áridos de baja densidad, generalmente obtenidos desde rocas mineralizadas o, aunque en menor frecuencia, áridos compuestos por gránulos o escamas metálicas. También, se utiliza como escudo contra la radiación nuclear. En este sentido, la potencia de estas radiaciones varía según la emisión que sea, así como se demuestra que las extensiones de onda cortas (rayos X, rayos gamma) deben intercalarse con elementos de la mayor densidad posible.

Para Garrido (2007), el hormigón de alta densidad representa una solución económica al reducir el espesor de la pantalla protectora. Por otro lado, las partículas atómicas, como los neutrones, exigen un alto contenido de átomos de hidrógeno en el escudo. Entonces, el concreto pesado con agregados minerales de hierro hidratado cumple esta condición con un alto contenido de agua, utilizando la mayor cantidad de agua posible. Asimismo, se emplean en la parte inferior de elementos excesivamente alargados, que evitan la flexión y son la base en una colección de materiales pesados.

2.5. Nuevas clases de hormigón

De acuerdo con Romea (2014), en los últimos años se han desarrollado cementos especiales que, además de presentar propiedades ligeras o de isodensidad normal, tienen otras características relacionadas, como alta resistencia, color, propiedades autocompactantes. Así, se influyen cuatro parámetros que componen la familia de calidad del cemento: la consistencia y trabajabilidad, la resistencia, sus propiedades mecánicas y su apariencia. Entonces, se han obtenido hormigones autocompactantes (SCC) y autonivelantes sobre consistencia y trabajabilidad.

Entre ellos está el Powercrete, un hormigón de alta conductividad térmica que se emplea en el relleno de zanjas de cables, lo que suscita diversas alternativas novedosas en la transmisión de energía. Estas parten desde la modificación de la configuración de los cables en la zanja hasta el reemplazo del cable de cobre por el cable de aluminio. Cabe resaltar que fue desarrollado por Heidelbergcement (Cruz et al., 2018).

PRINCIPALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN

Luego de conocer las generalidades del hormigón, sus usos y algunos tipos, resulta importante saber las formas más básicas de la mezcla para entender cómo funciona a nivel molecular. Cada elemento usado tiene sus propios métodos de producción y maneras de compactarse para crear un material óptimo para sí mismo, así como sea usado en otros momentos, ya sea individual o en conjunto. El resultado final que se logra por el trabajo de múltiples personas no solo representa lo que sucede en la obra, sino a todos los profesionales que hay detrás, quienes trabajan constantemente para seguir desarrollando cada uno de los componentes que conforman la mezcla.

De tal manera que al describir cada material visible y tangible en el concreto no solo se resalta su importancia y el trabajo ejecutado, sino que ubica a todos los profesionales de la construcción para que consigan un perfecto reconocimiento de sus implementos de obra.

3.1. Cemento

En el conocimiento popular, es la unión de diversos componentes que al someterse a diversos procesos se convierte en un polvo grisáceo. Este al combinarse con otros implementos forma una pasta usada, principalmente en construcciones. Para su fabricación resulta imprescindible el uso de caliza y arcillas, las cuales son rocas sedimentarias —aquellas creadas gracias a la acumulación de polvo, agua y otros minerales que se movilizan por el viento, agua u otros elementos de la naturaleza— que al parecer no tienen ningún tipo de relación entre sí (Labahn y Kohlhaas, 1984). Las arcillas, como se explica en los estudios de Gomá (1979), fueron el primer recurso que la humanidad empleó como aglomerante a pesar de que, al mezclarse con

agua, se convirtieran en una masa débil y de carácter reversible. Mientras que la caliza, en la actualidad, representa más de la mitad de los componentes solicitados para fabricar el cemento. Otros materiales son el mineral de hierro, la arena y el yeso.

Figura 10

Cemento



Nota. Tomado de Xvect Intern (s. f.-b).

El cemento más conocido, al menos a nivel industrial, es el Portland. Sin embargo, otro tipo de cemento es el natural. La mayor diferencia entre ambos radica en la manera de combinación y la cantidad de los elementos utilizados al momento de su fabricación. Una definición más técnica sobre este sería que es producido por la calcinación de una única caliza natural endurecida, con un contenido de arcilla del 22 % al 35 % a baja temperatura (800 °C a 1200 °C; es decir, por debajo de la temperatura de sinterización) durante 12 horas en un horno de cuba continua. Después, se tritura hasta conseguir un polvo fino (Beissier, s. f.).

Tabla 2

Diferencias entre el cemento Portland y el cemento natural

Cemento Portland	Cemento natural
Combinación de caliza y arcilla artificial con una curva granulométrica de 0 a 150 μ y homogeneizada.	Una mezcla homogénea natural o artificial de caliza y arcilla.
La proporción de arcilla es muy cercana al 20 % y está estrictamente regulada para obtener, en cada caso, la fusión prácticamente total del CaO.	La arcilla es abrasada a una temperatura comprendida entre los 1280 °C y 1350 °C para obtener un líquido.
Se abrasa a la temperatura de clinkerización, comprendida entre los 1400 °C y los 1650 °C (73), lo que permite esta adición del CaO específica en cada caso.	Gracias a este líquido se obtiene mayor cantidad de silicatos y aluminatos, lo que posibilita el descenso considerablemente de CaO libre.
Se elabora una cuantía de fase líquida del orden de un tercio del peso de la materia, y se obtiene por enfriamiento del clinker de cemento Portland compuesto de silicatos, aluminatos y una mínima porción de CaO, próxima al 1 %.	Posteriormente, se produce un aglomerado que se conoce como clinker de cemento natural, pues incluye una fase líquida cristalizada por enfriamiento.
	Finalmente, el resultado es molturado a la finura adecuada para su empleo.

Nota. Adaptado de Gomá (1979).

De igual manera, y como el cemento Portland es el más usado, la norma ASTM C150 hace las siguientes clasificaciones:

Tabla 3

Clasificación del cemento Portland

Tipos	Características
Tipo I Uso general	Es adecuado para todas las aplicaciones donde no se necesite de otros atributos del cemento. Sus usos incluyen pisos, tanques, embalses, pavimentos, unidades de mampostería, tuberías, puentes y productos prefabricados de hormigón.
Tipo II y tipo II (MH) Moderada resistencia a sulfatos y al calor de hidratación	Se usan en estructuras y componentes normales que están expuestos al suelo o al agua subterránea, en la cual la concentración de sulfato o el calor de hidratación está por encima de lo normal, pero no lo suficiente para causar daños considerables. Asimismo, posee un soporte moderado a los sulfatos porque no compone más del 8 % de aluminato tricálcico. De igual manera, para controlar la erosión, el cemento tipo II debe usarse junto con materiales en una baja relación agua-aglutinante y permeabilidad.
Tipo III Altas resistencias iniciales	Proporciona alta resistencia en sus primeros días de fabricación. Es similar al cemento tipo I, excepto que tiene una dimensión de partícula más fina y, por lo tanto, se usa cuando es necesario sacar el encofrado en el momento oportuno o la estructura tiene que ponerse en servicio rápidamente.
Tipo IV Para lograr bajo calor de hidratación	Manejado en aquellas áreas donde se debe disminuir la tasa y la cantidad de calor originado por la hidratación. Por ende, la resistencia de este cemento se desarrolla de forma mucho más lenta que los demás. Puede emplearse en estructuras de hormigón a granel donde surgen altas temperaturas debido al calor suscitado por el proceso de curado.
Tipo V Alta resistencia a sulfatos	Se usa en una fuerte exposición a sulfatos, principalmente en áreas con altas concentraciones de sulfatos en el piso y las aguas subterráneas. El alto soporte se debe a la baja composición del aluminato tricálcico, el cual no excede el 5 %. El uso de materiales cementosos de baja proporción y permeabilidad es fundamental para el eficiente comportamiento de cualquier estructura arrojada a sulfatos. No obstante, incluso el cemento no podría soportar una muestra tan rigurosa de estos compuestos.

Nota. Adaptado de ASTM C150 (2007).

Así, el cemento natural posee sus propias clasificaciones como se demuestra en la Tabla 4:

Tabla 4

Clasificación del cemento natural

Tipo	Características			
Lento	Tiene principio, final e intervalo de fraguado análogos al cemento Portland			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="507 566 1138 615">Denominación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="507 615 886 664">NL-30</td> <td data-bbox="886 615 1138 664">NL-80</td> </tr> </tbody> </table>	Denominación		NL-30
Denominación				
NL-30	NL-80			
Rápido	Tiene un principio y, sobre todo, un final de fraguado muy anterior a los correspondientes del Portland. En consecuencia, su intervalo de fraguado es muy corto, del orden de 30 minutos			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="507 811 1138 860">Denominación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" data-bbox="507 860 1138 910">NR-20</td> </tr> </tbody> </table>	Denominación		NR-20
Denominación				
NR-20				

Nota. Adaptado de Gomá (1979).

3.2. Agregados gruesos y agregados finos

En una región, área o ciudad determinada se hallan una gran variedad de agregados, por lo que es necesario estudiarlos detenidamente para comprender sus características. De la misma manera, poseen diferentes características mineralógicas porque la corteza no es homogénea y se ubican diferentes minerales en un mismo lugar. Además, la forma y la textura de las partículas afectan la adquisición de propiedades mecánicas, por lo que es importante comprender su origen, ya sea en plantas trituradas o de canteras naturales.

Asimismo, Gutiérrez (2003) sostiene que los agregados son un factor determinante en la economía, la durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan un volumen muy importante. Por ejemplo, el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es del 65 % al 85 %; en el asfáltico, del 92 % al 96 %; en los pavimentos, del 75 % al 90 %.

Figura 11

Agregado grueso



Nota. Tomado de Rawpixel.com (s. f.-b).

En este sentido, Rivva (2000) aclara que son un continuo de partículas inorgánicas de origen natural o artificial, cuya dimensión se encuentra en los límites especificados en la norma NTP 400.011. El agregado es la etapa intermitente del concreto, pues son materiales embebidos en la y constituyen del 62 % al 78 % de una unidad cúbica de hormigón. La comprensión completa de las características físicas y químicas del hormigón, así como su comportamiento implica necesariamente la investigación de los componentes que conforman la corteza terrestre en términos de geología, especialmente la petrología. Ello significa que la calidad es importante, dado que con proximidad tres cuartas partes del volumen del hormigón está siendo ocupada. Además, por su peso se divide en normal, liviano y pesado, así como su limpieza en seco y limpio. De igual manera, el agregado tiene ciertas funciones:

- a. Proporciona suficiente relleno para la pasta, lo que reduce el contenido por unidad de volumen y, por lo tanto, reduce el precio del cemento por unidad cúbica.
- b. Genera un alto volumen de partículas capaces de resistir los efectos mecánicos, abrasivos o de la intemperie que afectan al hormigón.
- c. Reduce las variaciones de volumen por procesos de fraguado y curado, humectación y secado o calentamiento de la pasta.

En torno a los agregados, Rivva (1992) aclara que la elección de las dimensiones de los agregados fino y grueso en la unidad cúbica del hormigón tiene como premisa conseguir una mezcla en la cual, con un exiguo espacio de pasta se alcancen las características exigidas en el concreto. Para ello, es preferible que la granulometría total de las partículas sea tal que el volumen de espacios vacíos entre las partículas sea mínimo.

Comprendidas las funciones y la importancia de su implementación, se realiza la clasificación sobre los dos tipos de agregados más conocidos: el grueso y el fino.

Tabla 5

Clasificación de los agregados según su tamaño

Tamaño de las partículas en mm (pulg.)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregado concreto
Inferior a 0.002 entre 0.002 a 0.074 (No. 200)	Arcilla Limo	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0.074 a 4.76 (No. 200) - (No. 4)	Arena	Agregado fino	
Entre 4.76 a 19.1 (No. 4) - (3/4)	Gravilla		Material apto para producir cemento.
Entre 19.1 a 50.8 (3/4) - (2)	Grava	Agregado grueso	
Entre 50.8 a 152.4 (92) - (6)	Piedra		
Superior a 152.4	Rajón, piedra bola.		

Nota. Tomado de Sánchez (2001).

El grueso, para Gutiérrez (2003), es aquel material reservado en el tamiz 4 con un tamaño entre 7.6 cm y 4.76 mm. De igual manera, las normas de diseño estructural recomiendan que la dimensión suprema nominal de este agregado sea el mayor económicamente disponible, siempre que esté en concordancia con las dimensiones, las características de la estructura y el acabado deseado.

Figura 12

Agregado fino



Nota. Tomado Onlyyouqj (s. f.).

En complemento, la Norma Técnica de Edificación E. 060 (2009) indica que el agregado grueso no deberá ser mayor de

- a. $1/5$ de la menor dimensión entre las caras de encofrados.
- b. $1/3$ del peralte de la losa.
- c. $3/4$ del espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones o ductos de presfuerzo.

En este sentido, según la E.060, y como se mencionó en el capítulo I, el agregado grueso para utilizar en hormigones armados consiste en grava natural o triturada. Su capa externa tiene que estar limpia, preferiblemente de contorno angular o semiangular, duras, densas, resistentes a la corrosión, de textura rugosa. Asimismo, no debe contener escamas, materia orgánica u otras sustancias nocivas. Se define como un grupo de agregados de partículas inorgánicas de procedencia natural y artificial, cuyo tamaño no supera las fronteras establecidas por la NTP 400.011. El agregado fino tiene la siguiente clasificación:

Tabla 6

Agregado fino

Malla	Diámetros	%
9.52 mm	3/8	100
4.76 mm	4	95 a 100
2.36 mm	8	80 a 100
1.18 mm	16	50 a 85
595 micrones	30	25 a 60
297 micrones	50	10 a 30
149 micrones	100	2 a 10

Por lo general, proviene de la desintegración, ya sea natural o artificial, de piedras u otros elementos naturales que logran asentarse en lugares comunes gracias a las corrientes de aire. Es decir, comprende como la arena natural, la arena manufacturada o una combinación de ambas.

Rivva (2000) menciona un tercer tipo: el integral, el cual es un material compuesto de una mezcla de arena y grava. Combinado en cualquier proporción, se encuentra naturalmente en la corteza terrestre y se utiliza en el proceso de minería.

3.3. Aditivos y su tipología

Como concepto general, son sustancias que se añaden a la combinación de hormigón (concreto) durante la producción; por lo general, se procura que estas cantidades no excedan el 5% de la masa. Su finalidad es cambiar las propiedades de la mezcla de hormigón y/o del hormigón endurecido. En la actualidad, son un ingrediente más del cemento y son manejados para cambiar las propiedades de la mezcla. De esta manera, resultan más adecuados para disposiciones de trabajo particulares. Asimismo, para disminuir la oxidación del hormigón, perfeccionar su tiempo de fraguado, e incluso propiciar nuevos efectos estéticos. Se divide en cuatro clasificaciones: los plastificantes (o superplastificantes), los acelerantes, los aireantes y los retardantes.

Por otra parte, la norma ASTM C-1231 (2016) los refiere como aquellos materiales distintos del agua, los agregados y el cemento que se emplean como ingredientes centrales de la preparación del concreto o mortero. La dosificación de los aditivos está relacionada con la fracción ponderal del cemento, excepto cuando se desea añadirlos en proporción al agua de amasado. Por lo general, los aditivos líquidos se incorporan cuando el cemento se combina con el agua; mientras que los aditivos en polvo, con cemento o los agregados finos.

Entonces, el comité ACI 116 sostiene que los aditivos son materiales que se muelen o mezclan en pequeñas cantidades con un cemento determinado, ya sea como aditivo de procesamiento para facilitar la fabricación o el procesamiento del cemento, o como aditivo funcional para cambiar las propiedades del producto terminado. El comité también menciona el aditivo acelerador como un ingrediente que incrementa la tasa de hidratación del cemento, reduciendo el tiempo de fraguado y aumentando la tasa de soporte. Por otra parte, el aditivo reductor de agua adiciona el fijamiento del mortero u hormigón fresco sin acrecentar la humedad, o lo mantiene al reducir la cantidad de agua, cuya causa se relaciona con factores distintos al arrastre de aire. También se le describe en un nivel más alto, siendo apto para propiciar un decrecimiento significativo de la humedad o fluidez sin causar una demora inadecuada en el fraguado, o la integración de aire en el mortero o el concreto.

Sánchez (2001) sostiene cómo la utilización de puzolanas, como la ceniza volante (fly ash) u otros materiales finamente fragmentados en el cemento, por lo general causan una disminución en la cantidad de aire introducido para una limitada cantidad de aditivo. Por otro lado, cuando se recurre a aditivos reductores de agua o aditivos retardantes de fraguado, la eficacia de los aditivos inclusores de aire sube de un 50 % a un 100 %. Sin embargo, debe estimarse que no todos son compatibles con algunos agentes inclusores de aire.

Rivva (2000) describe que los aditivos se usan con los siguientes fines:

- a. Cambiar una o más de sus características para volverlos más óptimos en su trabajabilidad.
- b. Facilitar su distribución.
- c. Reducir los costos operativos.

En relación con la decisión de usarlos o no, hay que estimar que, en muchos casos, la implementación de un aditivo puede significar conseguir o no el acabado deseado. O, si al cambiar la composición o proporción de la mezcla, es posible lograr los objetivos con mayor economía y óptimos resultados.

Figura 13

Planos y cálculos de la construcción



Nota. Tomado de Rawpixel.com (s. f.-f).

Los ocho tipos de aditivos según la ASTM C 494 (2007) son los siguientes:

- a. Reductores de agua.
- b. Retardador de fraguado.
- c. Acelerador de fraguado.
- d. Reductores de agua y retardador.
- e. Reductores de agua y acelerador.
- f. Reductores de agua de alto rango.
- g. Reductores de agua de alto rango y retardador.
- h. Comportamiento específico.

Los aditivos de los grupos tipo F y G son usualmente conocidos como aditivos superplastificantes. Según la norma ASTM C 1017 (2015) se reconoce:

- a. Tipo I. Superplastificante.
- b. Tipo II. Superplastificante y retardante.

De acuerdo con la Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón y Mortero (Anfah), los fluidificantes —reductores de agua— son capaces de aumentar la fluidez de juntas, morteros y hormigones para que se obtenga un hormigón más flexible y trabajable con la misma cantidad de agua, haciéndolo más ligero y seguro. La constitución de los aditivos reductores de agua varía frecuentemente contienen materias de origen natural como los lignosulfonatos o las sales de ácidos hidroxicarboxílicos. Por otro lado, el uso de aditivos fluidificantes se consigue al agregarlos junto con el agua de amasado final para atraer los aditivos hacia el concreto y asegurar una mezcla uniforme. De esta manera, proporciona un efecto de extensión inmediato e incrementa la manejabilidad del hormigón o mortero. Este producto dura un determinado tiempo hasta que las partículas de cemento comienzan a adherirse.

La Anfah define los aditivos superfluidificantes o reductores de agua de alta actividad como aquellos que, al ser agregados al hormigón, incrementan de forma significativa su manejabilidad en la relación agua y cemento, o producen una considerable disminución de este vínculo si se mantiene esta capacidad. La fabricación tiene como componente principal dos químicos de tipo polimérico: las sales de formaldehído de melamina sulfonado (SMF) y las sales de formaldehído de naftaleno sulfonado (SNF). Estas moléculas actúan sobre el cemento de manera tenso-activa, dirigiendo el agua a través de la lechada de concreto, haciéndola más fluida y neutralizando la carga electrostática de las partículas de cemento, lo que crea un efecto de defloculación que promueve la hidratación. Además, como todo este proceso inicia en el exterior de las partículas de cemento, los cristales crean una película que impide que esta hidratación progrese hacia el interior de las partículas que cuanto más pequeñas son, más cemento se hidrata.

Los acelerantes de fraguado son los encargados de disminuir o apresurar el tiempo de fraguado del cemento. Asimismo, se emplean en aquellos hormigones donde es necesario alcanzar aguante elevado en el menor tiempo

posible. Sobre este tipo de aditivos, resulta importante que su desencofrado sea rápido, que el hormigón esté en relación con el agua y que su uso sea en un tiempo corto, casi inmediato. De igual manera, poseen dos categorías: los que poseen algún tipo de cloruro o los que carecen de este. Si se desea usar el primero, se debe considerar que este ataca las estructuras a la mínima presencia, por lo que solo se emplea cuando se trabaja con cementos en masa.

Los retardadores de fraguado se encargan de retardar el tiempo de fraguado del cemento. Principalmente, se usa en aquellos cementos de gran volumen para evitar un incremento significativo de la temperatura. Asimismo, que requieran ser transportados durante mucho tiempo, ya que extiende el tiempo de la obra del cemento y su adaptabilidad, así como su encofrado tenga formas o un acceso complicado y sea expuesto durante mucho tiempo a temperaturas ambientales bastante cálidas. Además, este tipo de aditivo evita las fisuras causadas por las revibraciones.

Por último, Nayak y Jain (2012) señalan que los aditivos químicos son sustancias que muestran una alta actividad superficial en procesos donde hay contacto entre un fluido (agua) y materiales sólidos (cemento). Son empleados para perfeccionar las propiedades del hormigón en su estado plástico y endurecido. Así, se clasifican de la siguiente manera:

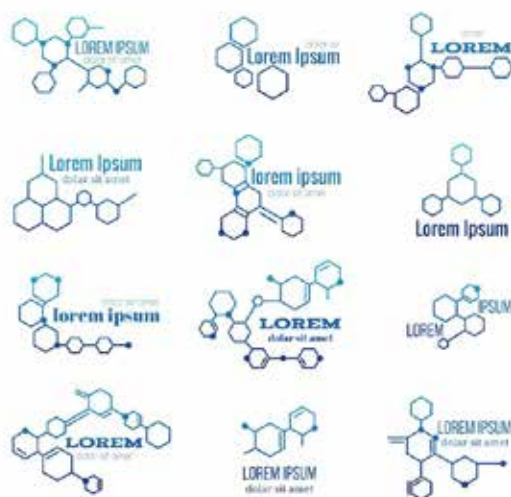
- a. Aditivos minerales.
- b. Cenizas volantes.
- c. Escoria de alto horno.
- d. Microsílice o humo de sílice.
- e. Metacaolín.
- f. Ceniza de cáscara de arroz.
- g. Aditivos químicos.
- h. Con base de lignosulfonato.
- i. SNF
- j. SMF
- k. Policarboxilato éter.

3.4. Aditivos de cadena corta y cadena larga

Los de cadena corta son productos sintéticos que tienen miles de grupos sulfonatos sobre la base de condensados de naftalensulfonato (BNS) y melamina sulfonada (MNS) llamados aditivos superplastificantes tradicionales (Alonso et al., 2017). Por otra parte, la repulsión electrostática propiciada por la adsorción de estos aditivos orgánicos describe los procedimientos de disgregación de las partículas en el cemento (Ghorab et al., 2012). Estos tipos de aditivos se caracterizan por tener una fuerte carga iónica.

Figura 14

Uso de la química para la elaboración de aditivos



Nota. Tomado de Macrovector (s. f.).

En lo que concierne a las cadenas largas, estas se distinguen por una estructura en forma de peine, con cadenas laterales iónicas que consisten en grupos carboxilato y grupos éter de diferentes densidades, así como rectas principales de diferentes longitudes (Alonso et al., 2007). Por ende, la competencia de disminución de agua obtiene valores superiores hasta del 42 %.

De igual manera, las largas cadenas laterales se extienden más allá de los resultados de hidratación del cemento formado, lo que permite una mayor disgregación. Estas cadenas son responsables de los efectos estéricos e interactúan con el agua. A medida que transcurría el tiempo, la segunda molécula se convirtió activamente en el mismo efecto sombrío, por lo que logró una actividad más larga.

Ghorab et al. (2012) aclaran que los principales parámetros que rigen la adsorción son la densidad de carga, la densidad de la cadena lateral, y el grado de estabilización electrostática y estérica que brindan. Por lo tanto, disponen de una gran flexibilidad para modificar estructuras y —además de obtener ciertas propiedades en términos de dispersabilidad, cambio de configuración y mantenimiento de la procesabilidad— desempeñan un rol importante en este proceso.

Cuanto más corta sea la cadena principal, así como más largas y numerosas sean las cadenas laterales de éteres, más duradera será la fluidez incitada por el aditivo. Sin embargo, Winnefeld et al. (2006) indican que el efecto de fluidización inducido por aditivos constituidos de cadenas laterales cortas de poliéster no se sujeta de la densidad de dichas cadenas.

Al contrario, para longitudes de cadena lateral medianas a largas, cuanto menor sea la consistencia de la cadena lateral, mayor será el incremento de la fluidez de la pasta de cemento aditivo. El peso molecular de los polímeros también afecta significativamente el procedimiento de los aditivos. Por eso, a mayor peso molecular, ocurre una mayor adsorción y fluidez (Magarotto et al., 2003). De igual manera, se debe estimar no solo el peso molecular de los aditivos, sino el reparto de pesos moleculares. Entonces, se observó que cuanto menor es este valor, mayor es el resultado del aditivo sobre la fluidez (Schober y Mader, 2003).

Finalmente, a diferencia de los aditivos procedentes del naftaleno, en los aditivos compuestos en policarboxilato la condición no altera su resultado fluidificante (Flatt y Houst, 2001). Con base en lo explicado, las probables formaciones y estructuras moleculares son tan numerosas que no se ha establecido un vínculo claro entre la cantidad de sus grupos carboxilato y poliéter, así como las propiedades reológicas y dispersivas que instigan en los lodos y los aditivos.

3.5. Microsílice

También conocido como microsilica, humo de sílice o silica fume de acuerdo con la ASTM y la ACI para asociar al humo de sílice condensado. Este es un subproducto de la industria de las aleaciones de hierro como el ferrosilicio. En otras palabras, es el hollín que permanece adherido a las mangas del filtro cuando los gases se conducen a través de este (Euclid Group Toxement, s. f.). Asimismo, el principal campo de aplicación son los elementos puzolánicos para la fabricación del hormigón de alto rendimiento.

Se añade microsíllice al concreto para perfeccionar sus propiedades, específicamente su soporte a la compresión, la fuerza adhesiva y la resistencia al desgaste. Estas resultan en mejoras mecánicas resultantes de la adición de polvos muy finos a la mezcla de cemento, así como la reacción puzolánica entre el humo de sílice y el hidróxido de calcio libre en la combinación. Asimismo, reduce la durabilidad del cemento a los iones de cloruro, protegiéndolo de la corrosión, especialmente en ambientes ricos en cloro, como áreas costeras y carreteras y pistas continentales donde hay mucha humedad. Además, disminuye de manera significativa la lixiviación de la mezcla, ya que se consume agua libre al humedecer la gran superficie del humo de sílice. De esta manera, se simplifica la dosis de líquido que sobra en la combinación por la exudación. Por último, bloquea los poros en el hormigón fresco para que el agua no suba a la superficie.

Entre las ventajas están el aumento de la resistencia mecánica y química; la impermeabilidad; la adherencia al acero; la resistencia a la abrasión; y la cohesión. También disminuye la exudación. Respecto a su uso, habitualmente se emplea para reforzar estructuras de concreto que están expuestas a sales para el deshielo, sales marinas, o el viento.

En relación con ello, Nili et al. (2018) sostienen que se ha demostrado que el reemplazo de humo de sílice propicia la reducción en la relación entre el grado de la segregación y el espesor de la banda de lechada. Asimismo, hay una alta correspondencia entre el grado de segregación y el espesor de la banda de lechada en todas las combinaciones. De igual manera, Bastos et al. (2016) esclarecen que la elevada superficie específica de la microsíllice y la mayor dureza del mortero obligan a incorporar superplastificantes a la mezcla,

perfeccionar el aguate a la compresión y al desgaste, así como aminorar la durabilidad mediante la compactación, la reducción de agua y las reacciones puzolánicas (con formación química C-S-H). Por último, brinda una mejor orientación de los cristales de CH a través del espesamiento y la formación de puentes inducidos por la reducción de las fases de transición entre los agregados cementosos.

3.6. Materiales cementantes suplementarios

Pillai et al. (2020) señalan que, desde la década de 1990, muchos investigadores líderes empezaron a sugerir el uso de componentes cementicios suplementarios (SCM), como cenizas volantes (PFA) y escoria granulada de alto horno (GGBS), por su propiedad para reemplazar parcialmente el cemento, e incluso volverlo más efectivo como aglutinante en concreto.

Asimismo, los investigadores mencionan los siguientes beneficios de usar este tipo de materiales:

- a. Disminución de la huella de carbono por el uso de los SCM, ya que son productos de desecho.
- b. Mejora del soporte de las interfaces de pasta de agregado y hormigón.
- c. Incremento de la impermeabilidad.
- d. Acrecienta la resistencia eléctrica.
- e. Reducción del peligro del estado álcali-sílice.
- f. Acortamiento de la evolución del calor durante la hidratación.
- g. Perfecciona el soporte a cloruros y sulfatos.
- h. Rebaja en el precio del hormigón.

Un material suplementario es un elemento inorgánico que ayuda a las propiedades compactantes de la combinación por la actividad hidráulica, puzolánica o ambas. Algunos ejemplos son las cenizas volantes, el humo de sílice, las cenizas de cáscara de arroz y las puzolanas naturales, tales como metacaolín y similares. En la práctica, se usan junto con el cemento Portland.

POLÍMERO COMO ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Considerando las investigaciones de Billmeyer (1975), se sabe que la ciencia de los polímeros se clasifica en materiales biológicos y materiales no biológicos que resultan importantes. En este sentido, los biopolímeros conforman el cimiento de la existencia y la inteligencia, pues proporcionan la mayor parte de los alimentos que consumen los seres humanos. Sin embargo, la investigación tiene como eje central la química, la física y la tecnología de los polímeros no biológicos. Estos principalmente son recursos sintéticos para plásticos, fibras y elastómeros, aunque se adjuntan algunos polímeros naturales como el caucho, la lana y la celulosa. En la actualidad, estas sustancias son indispensables; esenciales para su vestimenta, vivienda, traslado y sociabilidad, así como para el bienestar de la vida actual.

Por lo tanto, los polímeros son macromoléculas compuestas de pequeñas unidades químicas simples que se repiten. En algunos casos, la repetición es lineal al igual que una cadena se construye a partir de sus eslabones. En otros casos, estas se encuentran ramificadas o interconectadas para formar una red tridimensional. Las unidades repetitivas de un polímero suelen ser equivalentes o casi al material de partida desde el cual se crea el polímero.

Sobre el área de la construcción, los polímeros son aditivos superplastificantes que no solo brindan mayor manejabilidad, sino soporte y, por ende, durabilidad al elemento que se esté creando con dicha mezcla de hormigón. Por su parte, los superplastificantes contribuyen en la diseminación de partículas en la pasta de cemento e incrementan la factibilidad para la construcción. En contraste, los químicos empleados en la elaboración de hormigón a veces causan resultados negativos no deseados. Por ejemplo, un fraguado retrasado, una apresurado quebranto del hundimiento y un mayor peligro de reducción.

Figura 15

Fabricación de polímeros para la mejora de la industria cementera



Nota. Tomado de Rawpixel.com (s. f.-a).

4.1. Aditivos superplastificantes: concepto y beneficios

El uso de fluidificantes puede presentar resultados secundarios sobre el hormigón, como la demora en su fraguado y el primer endurecimiento. Por otra parte, la disminución de agua no supera el 15 %.

Los aditivos conocidos como superplastificantes o aditivos reductores de agua de alto rango son estructuralmente opuestos de los agentes reductores de agua convencionales. En este sentido, se emplean para aminorar representativamente la capacidad de humedad del hormigón en aproximadamente 30 %, manteniendo una cierta consistencia y sin afectar negativamente el fraguado. También se emplean para adicionar proporcionalmente la caída sin agregar agua a la mezcla original. La importancia justifica su extenso estudio. Desde su introducción en Japón en la década de 1960, como el SNF y el SMF, se han aplicado para perfeccionar los atributos del concreto.

Este aditivo, entonces, tiene el potencial de perfeccionar la manejabilidad del cemento de manera impresionante sin reducir su resistencia, lo que incluso reduce su costo, incluso si está bien diseñado y correctamente optimizado entre

mezclas/aditivos. En otros estudios se constata que gracias a una comparación de precios hay múltiples beneficios que se consiguen con superplastificantes.

Además, produce SCC, autonivelante y fluido. En estas aplicaciones no pretende disminuir el vínculo entre agua y cemento o el espacio del cemento. La finalidad es mejorar el desempeño sin suscitar fragmentación, posibilitando poner al hormigón en tramos con alto volumen de acero reforzado.

Respecto a sus usos, se utilizan en componentes con aglomeración de refuerzos o en zonas a las cuales no sea fácil acceder. Asimismo, ayuda en la calidad del hormigón al eliminar problemas de roturas o las adaptaciones en el encofrado. En este sentido, se aplica de manera sencilla en espacios de paneles, pisos, cimentación de placas, puentes, pavimentos, cubiertas de techos, losas u otros sitios similares. De igual manera, en lugares con frecuente rocío o riego, revestimiento de túneles, y molduras arquitectónicas especiales. Por otra parte, produce bombeo eficiente del concreto y soporta resistencias que sobrepasan los 1000 kg/cm². Cabe destacar que también se ejecuta en la industria de prefabricados con soporte de 400 kg/cm² de 8 a 18 horas, produciendo un ahorro de cemento.

Sin embargo, se debe esclarecer que cualquiera que sea la composición de los aditivos orgánicos (resinas) o inorgánicos, estos están trazados para colaborar con las partículas de cemento y, de acuerdo con la aplicación, aprovecha de manera óptima el material, reduce la cantidad de cemento o agua y consigue su mecánica para un viaje más rápido, así como ofrece una mayor durabilidad en el trabajo (Fernández et al., 2016).

Entonces, se están usando los superplastificantes, a veces súperfluidificantes, los cuales son productos que no muestran los efectos secundarios sostenidos para el concreto, y permiten disminuciones de agua hasta el 30 %. Con el empleo de estos se perfecciona significativamente la trabajabilidad de la mezcla sin modificar la relación agua y cemento, resultando incrementos del asiento en Cono de Abrams de 5 a 20 cm. Así, conserva su atracción sin revelar exudación, segregación o merma de sus soportes. Estas peculiaridades son bastante ventajosas para el hormigonado de piezas de geometría complicada o con gran aglutinado de estructuras, así como para el bombeo y la prefabricación.

Además, este compuesto permite una instalación veloz y económica porque tiene un buen flujo y, por lo general, no requiere bloques de cemento vibrados. Por otra parte, el uso de superplastificantes puede, como consecuencia indirecta, aminorar la relación agua y cemento sin afectar la flexibilidad. De esta manera, aumenta el aguante del hormigón. De hecho, la cantidad de agua de amasado disminuye entre el 20 % y el 30 % a los 28 días y en las primeras etapas, utilizando los Conos de Abrams de 10 cm y una alta resistencia para conseguir una baja relación agua y cemento.

Cabe resaltar que los superplastificantes dejan rápidamente su eficacia, por lo que la masa debe situarse entre 30 y 60 minutos después de la adición del aditivo según el tipo de cemento, relleno y dosificación. Esta pérdida de eficacia es mayor para hormigones con bajo contenido de cemento y temperatura superior a 30 °C. En este sentido, el uso de aditivos para aumentar la resistencia tiene múltiples aplicaciones en el concreto de alta resistencia, los elementos prefabricados, la reparación de pavimentos, los puentes, la ingeniería naval, etc. Por otro lado, disminuye la cantidad de cemento, lo cual es muy útil cuando es necesario aminorar el calor de endurecimiento y la retracción del material (García et al., 2009).

Figura 16

Mejora del hormigón gracias a los aditivos



Nota. Tomado de Jcomp (s. f.-g).

Además, la calidad del hormigón se mejora mediante el uso de aditivos superplastificantes que reduce la relación agua y cemento, proporcionando una mejor adherencia entre las partículas, así como una mayor resistencia. Cuanto mayor sea habrá menos permeabilidad, lo que también contribuye a extender la vida útil de la estructura del pavimento.

Alonso (2011) menciona que estos se han convertido en un componente esencial en la fabricación de concretos con atributos mejorados, de tal manera que el progreso de los hormigones autocompactantes y de altas prestaciones no hubiera sido posible. Por lo tanto, el alcance de los aditivos superplastificantes no se reduce a la posibilidad de desarrollar estructuras cementicias con propiedades perfeccionadas, sino a la posible disminución de agua y/o cemento, vibraciones durante la puesta en servicio y la posibilidad de incorporar materiales reciclados al hormigón. También pueden brindar beneficios económicos y ambientales.

En otras definiciones, Sika Perú (s. f.) aclara que quizá el desarrollo tecnológico más radical en las mezclas de concreto en las últimas dos décadas haya sido en los superplastificantes. Como su nombre señala, la función de este aditivo es similar a la de un plastificante; es decir, ayuda a la manejabilidad de la pasta de cemento. Esta característica posibilita una disminución en la capacidad de agua y cemento mientras mantiene la fluidez y la resistencia del material. Entonces, estos compuestos se utilizan cuando se maximiza la capacidad del plastificante. Por otra parte, son particularmente efectivos para el hormigón de alto deslizamiento o resistencia, el cual significa un alto contenido de lechada.

En este sentido, Puertas y Vásquez (2001) sostienen que este es un conjunto de aditivos relativamente nuevo, pero las preparaciones dispersantes se conocen desde la década de los 30. Son conocidos como reductores de agua altamente activos y se utilizan en proporciones superiores a los plastificantes tradicionales. Así como ellos, los superplastificantes son tensioactivos caracterizados por su diligencia superficial, pues su constitución interna incorpora conjuntos tanto hidrofílicos como hidrofóbicos. Así, son polímeros de gran peso molecular solubles en agua. La solubilidad la proporcionan los grupos hidroxilo y los grupos sulfónicos o carboxilo unidos a la cadena orgánica que suelen ser aniónicas.

Figura 17

Mejora en la trabajabilidad del hormigón



Nota. Tomado de Wirestock (s. f.-b).

En suma, su uso permite lograr una alta fluidez en hormigones secos sin asentamientos, así como evitar segregaciones y fugas. La eficiente trabajabilidad puede utilizarse para reducir significativamente la relación agua y cemento, permitiendo conseguir una alta resistencia eléctrica.

4.2. Clasificación de los aditivos superplastificante

Los aditivos comercialmente disponibles de este grupo consisten en los que contienen las siguientes materias primas químicas: los SMF, los SNF, los MLS y otros que incorporan sulfonatos policíclicos compuestos aromáticos o ésteres carbohidratos.

Las moléculas de lignosulfonato consisten en grupos hidroxilo, grupos metoxi, grupos carbonilo y grupos de ácido sulfónico sustituidos con unidades de metilpropano. En este sentido, el peso molecular oscila entre 100 y 100 000. Los SMF pueden presentar un peso molecular aproximado de 30 000, mientras que los SNF, a 2. En este sentido, esta estructura reduce la tensión interfacial del agua en la combinación y atrae el aire. Sin embargo, ello se evita al utilizar polímeros de alto peso molecular, normalmente $N = 10$. En todo caso, para García et al. (2009) hay dos grupos de superplastificantes: los condensados de formaldehído (el SMF y el SNF) y los lignosulfonatos modificados (SML). El

segundo grupo es más económico, ya que es subproducto de la manufactura del papel, aunque los más utilizados son los primeros.

Los productos del primer grupo de materiales se vendieron en 1964 en Alemania, por lo que diez años después se alcanzaron a utilizar unos 2 millones de m³ de hormigón al año. En 1964, Japón desarrolló productos basados en el segundo tipo de material e ingresó al mercado. Se estima que a principio de los 14 años se utilizaron unos 25 millones de m³.

En Estados Unidos, algunas agencias gubernamentales acreditadas, como la Oficina de Recuperación, adoptaron inicialmente una posición conservadora con respecto a la regulación de dichos aditivos. Sin embargo, actualmente se calcula que el uso de este aditivo representa el 2 % de la producción total de concreto, principalmente aplicado en productos del SNF.

Figura 18

Pruebas de laboratorio



Nota. Tomado de Freepik (s. f.).

En un breve recorrido sobre la historia de los aditivos, se sabe que la primera generación de superplastificantes funcionó debido a su naturaleza aniónica, permitiendo que las partículas de cemento se cargaran contrariamente. Es decir, rechazándose y reduciendo el roce. Luego, la segunda también se comporta recubriendo el espacio de las partículas y afectando el proceso de hidratación, lo que permite su uso en temperaturas límites del hormigón. Así, aumenta la reducción del agua mezclada y alarga el tiempo de retención plástica del

concreto fresco. El aditivo de tercera generación, en cambio, aumenta el nivel de plasticidad y permite conservar propiedades de endurecimiento similares a las del hormigón normal en diferentes temperaturas.

Otro factor importante son las pruebas de laboratorio y aplicaciones de campo, los cuales muestran que el empleo de aditivos reductores de agua en exceso puede resultar en una segregación severa, depositando sólidos en compactación masiva y manera sólida, mientras que el agua se eleva al ras del concreto.

4.2.1. Condensados de formaldehído (SMF y SNF)

Los SMF fueron desarrollados en Alemania durante la década de 1970. Su grado de condensación está frecuentemente en el nivel de 50-60, de ahí que los pesos moleculares pertenecen a la clasificación de 12 000-15 000. Por otra parte, los SNF fueron fabricados en Japón hacia 1963. Su nivel de condensación es de 5-10, y el peso molecular, en la condición de 1000 a 2000 (Puertas y Vásquez, 2001).

Los SNF y SMF son productos sintéticos elaborados para un determinado fin; por lo tanto, sus características están regidas por los factores del desarrollo de producción. Además, los SNF y SMF contienen muchos grupos de ácido sulfónico que imparten propiedades electrostáticas negativas a la superficie de las partículas de cemento que absorben. Si el grado de polimerización es bajo, el producto opta por reducir la presión superficial de la etapa acuosa del hormigón, lo que provoca el atrapamiento de burbujas de aire. Cabe resaltar que los naftalenos son productos obtenidos del desarrollo depurado del carbón; mientras que los condensados de melaminas, de polímeros sintéticos.

A partir de técnicas de resinificación de la melamina se obtiene el SMF. Según el procedimiento de polimerización, se consiguen diversos pesos moleculares, de tal manera que 30 000 es el peso más efectivo. Entonces, este superplastificante se puede aplicar solo o en combinación con los polímeros. Cuando se usa solo, tiene un efecto mínimo de entrada de aire o anticurado. Esta mezcla disminuye el aguante a la flexión de 4.2 a 2.9 MPa, y el soporte a la compresión, de 16.5 a 14.3 MPa. No obstante, desarrolla morteros con variables ampliamente adecuadas para igualar la ayuda de los convencionales.

En los estudios examinados, la adherencia superficial fue admisible con una interfaz de fractura adhesiva para el mortero de yeso. El ensayo de capilaridad de los morteros de cal predice una permeabilidad al vapor de agua suficiente para ser válido para el uso de estos compuestos (Rodríguez et al., 2013).

Por otra parte, y en términos generales, los aditivos SNF y SNM presentan sus formulaciones en torno a 5-6 elementos, así como su parte principal dispersante (SNF, SNM o mezclas). Los componentes secundarios que se unen a un SNF frecuentemente tienen sales inorgánicas u orgánicas para cambiar los tiempos de fraguado o agentes antiespumantes, cuya finalidad es reducir los macroporos según el nivel de polimerización del condensado. De igual manera, se agregan ácidos hidroxicarboxados o lignosulfonatos reformados para perfeccionar la suspensión de manejabilidad y los soportes últimos.

Como características más generales se sabe que las moléculas de superplastificante se adsorben en las partículas de cemento y permiten que se dispersen bajo la influencia de fuerzas repulsivas, evitando la formación de floculos. Esta particularidad, conocida como adsorción, ocurre en la interfase sólido/líquido. Por otra parte, la propiedad más importante es que su concentración es mayor en superficies sólidas que en líquidos. Es decir, a medida que aumenta la acumulación de surfactante, sus partículas se orientan sobre el área sólida hasta formar una capa que la cubre completamente. Así, las moléculas de agente reductor de agua se adsorben mejor en aluminato de cemento.

4.2.2. Lignosulfonatos modificados (SML)

Se utilizan como aditivos suavizantes que mejoran la trabajabilidad del concreto y reducen significativamente la porción de agua en la fusión, propiciando un producto endurecido con mayor y rápida resistencia mecánica. Asimismo, menos permeable, más estable y estético. El SML sodio y calcio se usan comúnmente para esta aplicación.

Al ser estimado como aditivo suavizante de primera generación, el lignosulfonato fue el único dispersante utilizado en la industria durante muchos años, ya que redujo el agua de mezcla entre 5 % a 8 % en costos significativamente más bajos. La materia prima se deriva de la fabricación de

papel en la producción de pulpa de celulosa y presenta dos tipos de problemas: la producción de compuestos tensioactivos que causan atrapamiento de aire durante la mezcla y el alto contenido de azúcar que produce un curado retrasado.

Por ello, su contenido debió reducirse a una dosis aproximada de 1 a 1.5 litros por m³ de hormigón. Si se utiliza el SNF, se dispone de 10 a 15 litros. Cuando los lignosulfonatos tienen un contenido reducido de tensioactivos y azúcares, se consideran superplastificantes. Por lo tanto, para mejorar su rendimiento se incorporan los SNF y SMF a algunos para mejorar su eficiencia, así como cierta parte del peine de éter policarboxilatos (PCE) para convertirlo plástico y retardar, lo que se denomina grupo multifuncional. Sin embargo, tales complementos pueden aumentar sus costos.

En otra definición, los SML son aquellos compuestos purificados en los cuales se han quitado todos los residuos de los carbohidratos. Además, poseen un alto peso molecular. Cabe señalar que los producidos durante la refinación son similares a los condensados, aunque tienden a retener más aire (Puertas y Vásquez, 2001)

Entonces, son polímeros naturales derivados de la fabricación de la madera. La lignina de la pulpa de madera se separa por resistencia al sulfito y, luego, se elabora como aditivo. Los SML utilizados como reductores de agua son mayoritariamente de calcio y sodio.

Figura 19

La madera para la fabricación de aditivos



Nota. Tomado de Rawpixel.com (s. f.-d).

Si se utilizan plastificantes con base de lignosulfonato, se debe agregar menos aditivo incluso de aire de lo que normalmente se requiere, ya que estos productos poseen propiedades de incorporación de aire moderadas. Su capacidad para mejorar la resistencia al hielo y deshielo es particularmente importante para el hormigón que contiene puzolanas, ya que la sustitución del cemento por estas generalmente reduce la resistencia al hielo y deshielo. Su uso, entonces, permite incorporar puzolanas a otros productos beneficiosos, como disminuir la exposición a sulfatos o aumentar la resistencia al medio marino (Rixom, 1978).

4.2.3. Policarboxilatos

Los nuevos aditivos con base de policarboxilatos (PC) y poliéteres (PE) suponen una revolución en la tecnología del hormigón, así como sus efectos varían en función de la estructura molecular. A diferencia de lo que sucede con los aditivos superplastificantes convencionales, los cambios composicionales son mínimos, y los aditivos PC y PE se sintetizan en una gama muy amplia de formulaciones y estructuras. Hasta la fecha no se han determinado las consecuencias de estas estructuras sobre las propiedades que inducen en los sistemas de cemento. En particular, el efecto de estos aditivos sobre el comportamiento reológico de lechadas, morteros y hormigones (Alonso et al., 2009). El uso de aditivos sobre la base de policarboxilato, además de ayudar con la manejabilidad y vertibilidad del hormigón, también reduce su porosidad. De esta manera, mejora sus propiedades mecánicas y su resistencia.

Ghorab et al. (2012) sostienen que los superplastificantes más utilizados son grupos de sulfonados y PC. Este último se desarrolló en Japón alrededor de la década de 1980. Al cambiar la estructura química, es posible manejar varios atributos del cemento, como la diseminación aplicada a las moléculas y el tiempo de fraguado.

De esta manera, son agentes reductores de agua avanzados, así como macromoléculas con cadenas laterales. En particular, dependiendo de la aplicación específica, estas cadenas laterales cambian la adaptabilidad del hormigón. Una de sus características importantes es que disminuye la cantidad de agua en un 40 %. El efecto retardador sobre la hidratación del cemento aumenta con la longitud de la cadena principal, mientras que los de cadenas laterales largas tienen una superior reserva de la deposición.

Wang et al. (2018) indican que los PC con cadenas laterales más largas y una densidad de cadena lateral más baja tienen una superior capacidad de adsorción y, por lo tanto, una gran accesibilidad para una proporción de masa de grupos adsorbidos a cadenas laterales.

Por otra parte, en el estudio de Alonso (2011) demostró que los aditivos de PC cambiaron las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido, reduciendo la capacidad de agua, ayudando en la fluidez, permitiendo la incorporación de aditivos de mayor nivel, y mejorando los atributos de soporte y perdurabilidad. Por ende, comprender las variaciones en los atributos del cemento al usar aditivos sobre la base del PC permitirá tomar decisiones más fáciles sobre la trabajabilidad correcta o el uso final de los aditivos fluidos. Por ejemplo, en el hormigón autocompactante se utiliza para aumentar la calidad de la construcción de edificios más altos y puentes con tramos más largos, los cuales requieren mayores soportes para sismos y carga por el desarrollo urbano.

4.3. Implicaciones de los polímeros y/o copolímeros como aditivo

Los copolímeros consisten en dos o más subunidades monoméricas diferentes unidas entre sí para formar una cadena polimérica; es decir, son macromoléculas creadas desde varias unidades repetitivas. En este sentido, por dos o más monómeros.

Ezzat et al. (2019) señalan que los copolímeros de PCE se usan como intermediarios reductores de agua en la industria, manteniendo una alta adaptabilidad mediante la adsorción del polímero a las partículas de cemento. Por otra parte, Gökhan et al. (2020) manifiestan que si la longitud de la cadena lateral es mayor o más corta que una determinada cuantía, la condición de la combinación se incrementa para brindar el valor de establecimiento-movimiento en combinaciones de SCC. Este efecto negativo se debe a la debilidad del estérico.

En otros estudios se encuentra que el copolímero sintetizado cambia la conducta reológica de la lechada de concreto hasta el espesamiento por cizallamiento, y el PC con baja densidad de cadenas laterales aumenta la fluidez y la resistencia.

El hormigón polímero de cemento obtiene propiedades únicas gracias a la presencia de dos ingredientes activos: aglutinantes orgánicos y minerales. El primero ayuda a crear una piedra de cemento que se adhiere a las partículas de agregado suelto. Cuando se elimina la humedad del cemento de polímero en la superficie, se origina una película que tiene una excelente adherencia a las partículas en la solución. Así, contribuye a la integridad del hormigón polímero de cemento, convirtiéndose más resistente a cargas pesadas. Además, tiene otras propiedades como soporte a la tracción, alto aguante a las heladas y el desgaste, así como una mayor impermeabilidad.

En otras investigaciones se encuentra que los polímeros lineales son muy aptos en la dispersión de pastas de cemento fresco, así como en la hidratación temprana de este (Valencia et al., 2021).

4.3.1. Polímeros y/o copolímeros de policarboxilatos

Zahia y Karim (2018) indican que el producto de la finura del cemento manipulado es bastante importante cuando se adiciona el mineral y el superplastificante. El incremento de refinamiento ayuda al soporte mecánico de los morteros. Asimismo, la adición del PC posee una causa ventajosa en relación con el desenvolvimiento del soporte mecánico, especialmente para dosis menores o iguales al 0.8 %.

Figura 20

Mortero



Nota. Tomado de Rawpixel (s. f.-c).

Los PC se componen de copolímeros de ácido acrílico y grupos éter de ácido acrílico, los cuales producen una cubierta de adsorción de gran volumen que envuelve a las moléculas de cemento y retrasan de forma momentánea la creación de la etringita en el área de estas partículas. Asimismo, por sus largas cadenas laterales obstruyen la circulación, lo que facilita la gran fluidez de la pasta de cemento y mortero (Checmarew, 2010).

Por lo general, este tipo de polímeros es apto para varios tipos de cemento y actúa como un buen dispersante, específicamente para resistencia temprana. A partir de la cantidad entremezclada recomendada, la tasa de reducción de agua alcanzar al 30 %, mejora la durabilidad e impermeabilidad del concreto, así como su contractibilidad para disminuir de manera efectiva los resultados negativos de la resquebrajadura del hormigón.

4.3.2. Compuestos de hormigón con polímeros

Es un tipo de hormigón en que, dependiendo de su objetivo, se le agrega o sustituye un componente, ya sea de manera parcial o total. Ello se logra por la modificación de sus elementos habituales, lo mismo ocurre con el mortero. Por ejemplo, el cemento adhesivo es un mortero polimérico.

Los polímeros se forman al combinar otros elementos más simples llamados monómeros. De hecho, este término se ha utilizado como término general porque hay hormigones y morteros con monómeros añadidos. Por ejemplo, un monómero común es el propileno. Al agregar moléculas de propileno, se obtiene un polímero de polipropileno. En otro caso, al combinar los monómeros moleculares del cloruro de vinilo, se consigue el polímero cloruro de polivinilo. Entonces, al incorporar polímeros al mortero y al concreto se convierten en más flexibles, duraderos, resistentes, menos deformables y más resistentes al calor.

Otra definición es la que proponen Aguado y Salla (1987), quienes explican que el hormigón polímero como material tiene las propiedades de un material compuesto o material composite. Esta es una mezcla de diferentes materiales utilizados para aprovechar sus propiedades combinadas. No se trata de aleaciones o compuestos, sino de que cada uno conserve sus propiedades originales; pero que se propicie un efecto sinérgico, o la amplificación de cada propiedad desarrollada individualmente en la mezcla.

Durante la producción o el curado, el concreto polimérico, especialmente PC, proporciona un valor significativo de contracción y un importante coeficiente de expansión térmica, lo que significa una fuerte dependencia térmica de estos materiales. Este suceso también lo demuestra el valor de la temperatura final de trabajo, la cual está limitada por el fenómeno de vitrificación o el proceso de destrucción de la red, el cual está afectado por el calor y la temperatura (Fontana y Reaws, 1985).

4.3.3. Monómeros en hormigón

Son moléculas orgánicas que crean polímeros sintéticos como el cloruro de vinilo. Un prepolímero es un monómero o sistema monomérico que ha reaccionado hasta una condición de peso molecular medio. Las fábricas que usan o elaboran monómeros o prepolímeros como productos base deben tener que comprobar que cumplan con los requerimientos del consumidor y las normas de calidad. Además de preservar la calidad del producto, es importante garantizar la confiabilidad, la sustentabilidad y la seguridad de la cadena de abastecimiento.

APLICACIÓN DE LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES EN LA COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN

Antoni et al. (2017) evaluaron el resultado de los aditivos superplastificantes en la fluidificación, el tiempo de fraguado y el aguante a la compresión. Para ello, se utilizaron cinco marcas de superplastificantes con base de PC diferentes y dos tipos de cemento, cemento Portland ordinario y cemento puzolana Portland. De esta manera, demostraron que la incorporación de superplastificante ayuda a la fluidez de la combinación del mortero.

Sobre la base de los diferentes estudios y en cómo la industria de la construcción fue mejorando paulatinamente por los esfuerzos de miles de individuos es que el hormigón se ha convertido en el material más usado (e importante) en todo el mundo.

5.1. Efectos de los policarboxilatos en las propiedades del hormigón

Ban et al. (2020) exploraron las consecuencias del modelo y mezcla del superplastificante con base de PCE en relación con las propiedades del concreto autocompactante de alto desempeño (HPSCC), usando elementos cementantes suplementarios (SCM) que muestran características que se pueden usar como material de sustitución parcial del cemento.

Por otra parte, Erzengin et al. (2018) señalan cómo los PC retrasan la hidratación del cemento y, por eso, se optan por dosis bajas de trietanolamina como acelerador para atribuciones en climas fríos o los primeros aguantes mecánicos. Asimismo, Young y Hong (2018) enfatizan que los aditivos de PC provocan el esparcimiento de moléculas en objetos de cemento, así como mejoran su adaptabilidad. Entonces, logran la disminución de los líquidos y el sostenimiento de la firmeza.

En otros estudios, se toma en cuenta que las propiedades mecánicas analizadas fueron aguante a la compresión y a la tracción, las cuales habían sido evaluadas a los 28 días. Se observó que, con los aditivos reductores de agua, no hubo mucha diferencia en el soporte a la compresión y a la tracción, pero en la mayoría hubo una alza en el aguante a la compresión. Esto se debe a que el uso de aditivos aumenta la relación de compresión.

Los éteres de PC y los aditivos de SMF funcionan mejor con el 35 % de ceniza. Sobre la alta condición de agua de la mezcla, los aditivos más efectivos son éter de PC. Por otro lado, la resistencia eléctrica de los aditivos con base de lignosulfonato y SNF disminuyó con el aumento del área de cenizas volantes.

En este sentido, es importante destacar que en un estudio de Eleman et al. (2020) se concluyó que cuando se utilizan superplastificantes con base de PC y micromateriales, un incremento en el contenido de humo de sílice aumentará la demanda de superplastificantes y, por lo tanto, es práctico trabajar a un nivel más bajo en el área en presencia de estos aditivos. Además, se observó que, a pesar de la creciente demanda, la investigación a nivel local fue exitosa.

Las propiedades mecánicas son mejores que las propiedades base y la relación de reemplazo es similar al estudio, donde las propiedades son más bajas que las propiedades base, siendo la principal diferencia la dosis fija y el origen químico del superplastificante utilizado. Asimismo, de todos los superplastificantes estudiados, los PC derivados químicamente tenían mejores proporciones y excedieron la tolerancia estándar con un alto contenido de sílice, mientras que los superplastificantes de naftaleno sulfonado mostraron una tendencia hacia peores proporciones.

En resumen, se han desarrollado superplastificantes con base de PC que reducen el agua más que los superplastificantes convencionales, así como brindan una mejor cohesión y un tiempo de procesamiento más prolongado en mezclas frescas. En este sentido, disminuyen el agua de mezclado hasta en el 40 %, lo que resulta en un concreto altamente duradero, resistente al agua y duradero.

Esta capacidad también permite un hormigón muy fluido, lo que arroja uno autocompactante que se coloca sin vibraciones. Entonces, estos aditivos actúan en el hormigón de la siguiente manera:

- a. Acción mecánica y física que asegura un cierto grado de retención de humedad.
- b. Actúa fisicoquímicamente, permitiendo reducir en cierta medida la cantidad de agua.

No obstante, la adición excesiva provoca una minoración del soporte mecánico del hormigón y un aumento desfavorable de la retracción por exceso de humedad. Así, cuando están en dosis altas, tienden a demorar el tiempo de fraguado, por lo que se tiene que tomar precauciones y apartar el mocho, especialmente en climas fríos.

5.2. Efectos en las propiedades mecánicas de hormigones fluidos

Cuando se trata de la construcción, la elección correcta de los materiales es crucial. Dado que la realización de la obra suele ser una tarea bastante compleja y en algunos casos difícil, el empleo de elementos que faciliten su ejecución ayudará a que el proceso sea más duradero. Entre los materiales más recomendados está el concreto líquido por su corto tiempo de procesamiento, construcción liviana y alta resistencia.

Este es un material muy usado en la edificación por su gran fluidez. Su aplicación es principalmente para la construcción de elementos alargados con grandes superficies que son difíciles de rellenar, y/o requieren mínimas vibraciones durante su colocación y refuerzo. De esta manera, el hormigón fluido no solo se caracteriza por su fácil colocación durante la construcción, sino que su alta resistencia a la compresión, después del fraguado, lo convierte en el material de elección cuando se buscan resultados eficientes y de alta durabilidad.

Según la visión del diseñador, arquitecto o ingeniero a cargo, la fluidez del concreto permite que el material se adapte a diferentes formas, propiciando una extensa variedad de usos en diferentes áreas. También se aplica fácilmente sobre una superficie, lo que reduce el tiempo de descarga e implementación. De esta manera, una mayor eficiencia en el proceso de construcción conduce a mejores resultados, ya que el tiempo restante se usa para finalizar los detalles y garantizar la finalización exitosa del producto.

Su fácil propagación se debe principalmente a la gravedad. Por lo tanto, el uso del hormigón líquido disminuye el tiempo de vibración. Entonces, no solo contribuye al aumento de la productividad laboral, sino que también aminora la cantidad de obreros, lo que se equivale a menores costos de producción.

Cuando se utiliza el hormigón líquido, un aumento de la eficiencia no significa una disminución de la calidad. En realidad, el acabado final no poroso se consigue cuando se endurece con un buen acabado y una superficie bastante lisa. En este sentido, tiene una tasa de contracción más baja que otros tipos de hormigón, lo que permite que el producto obtenido sea más duradero. Su mayor consistencia fluida también significa que es aplicado por una variedad de máquinas, principalmente para la construcción de edificios grandes y grandes.

Sus principales características son su soporte a la compresión superior y su durabilidad superior en contraste con otros tipos de materiales. En muchos casos, el refuerzo se utiliza para aumentar su resistencia a la tracción y al corte.

De esta manera, lo convierten en un material maleable y versátil, cada vez más utilizado en varios tipos de construcción. En este sentido, posee una mayor consistencia de flujo, lo cual lo hace ideal para rellenar superficies grandes de difícil acceso, como paredes muy estrechas, columnas o tiras de soporte. Asimismo, en la construcción de estructuras blindadas y de alta densidad que requieran una mayor vibración posterior, así como el relleno de encofrados modulares de grandes dimensiones y espesores reducidos.

En resumen, es un hormigón muy especial que se aplica en situaciones de colocación muy difíciles. Es un hormigón cuya manejabilidad se calcula mediante la mesa, con un desparramamiento mayor a 51 cm. En este sentido, su medida en el Cono de Abrams sobrepasa los 18 cm, lo cual consigue que la medición a través del establecimiento del cono sea poco perceptible. La trabajabilidad se logra por medio de los aditivos superplastificantes. Sus características son una resistencia similar a la de un concreto convencional con trabajabilidad media, retracción similar y una diseminación baja por el resultado cohesivo que le otorga el aditivo superplastificante (Covarrubias, 1990).

Figura 21

Aditivos



Nota. Tomado de Wirestock (s. f.-a).

Su aplicación abarca una amplia gama de estructuras, incluidos los soportes estructurales, ya que proporcionan una gran robustez y capacidad portante. Asimismo, incluyen la construcción de vigas, muros de carga, pilares, columnas, perchas y pilotes. También en la fabricación de áticos y edificios de varios pisos. Ello porque su fluidez y alta relación líquida lo convierten en un material fácil de bombear al alcanzar grandes alturas sin obstruir el proceso ni atascarse. De esa manera, facilita la colocación del techo con menos esfuerzo. Por lo tanto, el tiempo de colocación y descarga se reduce.

Asimismo, para proyectos que requieren un resultado prolijo con un acabado detallado e impecable. Ello se aplica a las superficies externas de edificios como casas, edificios, centros comerciales y terrazas. Además, su practicidad, fácil distribución y aplicación lo convierten en un componente preferido para los grandes proyectos que necesitan ser concluidos en poco tiempo. Por ejemplo, zonas residenciales, hospitales, estacionamientos y azoteas. También es bastante común en muros exteriores de concreto pertenecientes a obras de construcción industrial pesada que necesitan un acabado de superficie dura, ya que ofrece un acabado limpio sin alteraciones adicionales.

Cabe destacar que cuando se diseña el hormigón es necesario conocer el efecto del material y la dosificación de la mezcla para actuar como material líquido. Hace más de cinco años, la última generación de superplastificantes

con base de PC mejoró notablemente las capacidades de reducción de agua o plastificación. Sin embargo, el mayor beneficio no es cuantitativo (hasta un 40 % de reducción de agua), sino cualitativo: se logran propiedades reológicas del hormigón más duraderas. Ello aumenta el tiempo que el hormigón permanece manejable según los estándares de elaboración de la combinación, la relación agua y cemento, las condiciones ambientales, entre otros. Así, al usar estos aditivos, se convierte más rentable introducir una nueva tecnología de hormigón llamada autocompactante.

5.3. Efectos en el hormigón autocompactante

Dufka y Melichar (2018) estudiaron el impacto de los aditivos de cristalización en este, la cual está propensa en espacios químicamente agresivos. No solo se enfoca en el resultado del aditivo de cristalización en relación con los atributos de la organización de los poros capilares del hormigón, sino en la durabilidad de este tipo. Por otra parte, Sainz-Aja et al. (2020) indican que este varía su manejabilidad con mínimas diferenciaciones en la cuantía de aditivo superplastificante. Por ello, se necesitan una mayor cantidad de evaluaciones para examinar su viabilidad.

Su elaboración tiene diversos componentes o materiales que son similares a los convencionales. La gran diferencia es que al hormigón autocompactante se le agregan compuestos nuevos como el filler, el superplastificante y el modificador de viscosidad. Este último no es tan importante, solo se agrega cuando se solicite.

También hay fluctuaciones en las medidas de la dosificación a seguirse, especialmente en el contenido fino frente al grueso. Entonces, es fundamental que al desarrollar la matriz se incorporen de manera precisa la mezcla de lo que es el agua, el cemento, adiciones y áridos para conseguir la autocompactabilidad requerida.

Por otra parte, hay situaciones que es menester agregar aditivos como los agentes modificadores de la viscosidad o aditivos cohesionantes, cuya función es incrementar la cohesión de la mezcla para eludir la segregación y/o exudación, principalmente cuando la combinación no tiene finos. Los agentes

modificadores, en este sentido, otorgan un adecuado espacio al hormigón autocompactante, pues es un concreto muy sensible a plausibles cambios en la capacidad de humedad que poseen los áridos o granulométricos, el cual se nivela mediante la unión de este tipo de aditivo.

Estos aditivos frecuentemente presentan una conformación química muy amplia, pero principalmente son productos compuestos por polisacáridos o celulosa, los cuales son solubles en agua. Cabe resaltar que puede haber una plausible disconformidad entre los superplastificantes procedentes del naftaleno y el modificador de viscosidad proveniente de la celulosa. Un posible motivo es que ambos no provengan del mismo fabricante, lo que suscita que al nivel químico no se relacionen sus enlaces. Otro factor posible son las diferentes densidades de soluciones. Estas pueden ocasionar un resultado adverso a las propiedades del hormigón como disminuir la fluidez.

Los aditivos más utilizados son los superplastificantes, los agentes reductores de agua altamente activos y los aglutinantes o sustancias que modifican la viscosidad. Además, se pueden utilizar otros de los expuestos en la norma UNE-EN 934-2:2002, según los requisitos de cada aplicación. Por supuesto que existen otros aditivos que se pueden usar en el hormigón autocompactante que no están incluidos en la norma. Por ejemplo, los aditivos reductores de retracción, cuyo objetivo es reducir la deformación por retracción. En resumen, se puede emplear más de un tipo de aditivo cuyo caso, al igual que el hormigón ordinario, conviene comprobar la compatibilidad entre ellos y el cemento (Bermejo, 2009).

Figura 22

Aditivos para hormigón



Nota. Tomado de Xvect intern (s. f.-a).

Para concluir, Silva (s. f.) manifiesta que el uso de una mezcla con un alto contenido de finos, más materiales cementosos y una mayor proporción de arena que las mezclas convencionales, aumenta la cuantía de agua requerida para asegurar la estabilidad de la combinación autocompactante, lo que significa una mayor retracción durante el secado y la fluencia del hormigón en estado endurecido. Por lo que, se recomienda utilizar modificadores de viscosidad para asegurar la necesaria estabilidad de este tipo de hormigón, ya que no se afecta la retracción por secado ni la fluidez. En resumen, los modificadores de viscosidad evitan la separación de mezclas líquidas, y son particularmente útiles para mezclas graduadas que requieren la adición de cemento, así como otros finos donde se usa arena artificial.

5.4. Resistencia y asentamiento del hormigón con microsílíce

Strzalkowski y Garbalinska (2019) afirman que el microsílíce ha contribuido con las medidas de aguante del hormigón curado a los 28 días cuando se usó el agregado convencional de cantos rodados, mientras que en el agregado de basal triturado ha agravado de modo relevante los factores de soporte del concreto. En este sentido, Vinayagam (2012) sostiene que su empleo disminuye la manejabilidad.

En el estudio de Giménez et al. (2018), se explica que el humo de microsilíce es un aditivo que reacciona con el hidróxido de calcio producido por la hidratación del cemento en un entorno húmedo, así como es responsable de rellenar los huecos entre los agregados gruesos y las partículas de cemento. Este fenómeno se denomina microllenado o microrrelleno. También realiza un aporte químico por su alto contenido en sílice, un compuesto puzolánico altamente sensible en el hormigón. Según la ACI, este residuo de color gris claro a oscuro, o en a veces gris azulado-verdoso, desciende por la disminución de un cuarzo muy puro con carbón mineral en un horno de arco eléctrico a lo largo de la fabricación del silicio o aleaciones de hierro.

En contraste, hay otros estudios que demuestran que la nanosilíce favorece los rasgos del área de transición, así como refuerza el vínculo entre el agregado y la pasta de cemento. Por lo tanto, su incorporación entorpece —de alguna manera— el flujo del agua en el cemento. Por otra parte, la añadidura de este componente en porciones más mínimas suscita hormigones ligeros con una microestructura más fuerte, así como grandes atributos mecánicos y de transporte. Entonces, afecta en el favorecimiento de los atributos de transporte de los hormigones al sutilizar la configuración de poros en el rango capilar, propiciando una matriz de cemento más consistente (como se citó en Caballero et al., 2021).

Como han sostenido varios autores, los materiales cementantes suplementarios tienen una influencia beneficiosa en la sostenibilidad del hormigón armado. Los ensayos de laboratorio de hormigones con humo de sílice han demostrado una disminución de la porosidad al agua y los coeficientes de difusión de cloruros del concreto (Lizarazo y López, 2011).

5.5. Los aditivos de cadena corta y cadena larga en la resistencia del hormigón

Altun et al. (2020) indican que una combinación que conforma un aditivo con cadena lateral más corta impacta proporcionalmente el soporte en los primeros días, pero no en edades posteriores. Entonces, a medida que se incrementa la extensión de la cadena lateral del aditivo en una combinación, los atributos en manera fresca dependen del tiempo de las fusiones de hormigón autocompactante.

En este sentido, la unidad de repetición de la cadena lateral se puede modificar estructuralmente. Para ello, se han creado aditivos compuestos en PC con una estructura modificada que contiene cadenas primarias más reducidas y laterales de poliéster más extensas. Varios expertos han llegado a la conclusión que las diversas organizaciones, los pesos moleculares y las distribuciones de pesos moleculares afectan directamente la fluidez, la fuerza de separación y la conducta reológica de las pastas de cemento, morteros y hormigones.

Además, los aditivos de cadena corta y larga mejoran la resistencia mecánica del hormigón que contiene microsílíce, especialmente los de cadena larga poseen mayores ventajas de resistencia a la tracción y a la presión que los de cadena corta.

REFLEXIONES FINALES

Es bastante ingenuo reducir al concreto como la mezcla precisa entre diversos componentes para lograr un objetivo claro. Sin embargo, si bien en su sentido más básico es lo que es, se ha demostrado que la ciencia que hay detrás de su fabricación no es un fenómeno que sea reciente ni poco estudiado. En este sentido, se comprueba una vez más que la ciencia y su uso marcan un precedente para contribuir con la calidad de vida de la sociedad.

Aunque a lo largo del libro se refirió al hormigón como un tema asociado a lo industrial y grandes escalas —por ejemplo, mega construcciones, pavimentos, puentes y otras grandes estructuras que requieren un diseño preestablecido con sus respectivas pruebas, ensayos y aprobaciones— no debe olvidarse que este material es un implemento básico para cualquier tipo de reparación inmediata.

El cemento no requiere ningún tipo de prescripción para ser vendido libremente, en grandes almacenes o negocios más pequeños, lo que debería demostrar lo básico que es para la población que constantemente necesita reparar o cambiar algo de su casa o algún lugar cercano. La mezcla del aglomerante con el agua se convierte, entonces, en un producto diario y de acompañamiento.

Resulta cierto que para los no conocedores siempre habrá problemas en hallar el punto exacto de la mezcla. Sin embargo, para los expertos le resulta más sencillo identificar cuando el concreto empieza a fallar en su elaboración. De esta manera, sabrán cambiar la mezcla a tiempo. Por supuesto que estas preparaciones más inmediatas y válidas, en menor medida, para ambientes más pequeños y que se mantienen bajo control. Es decir, reparaciones caseras, construcciones mínimas dónde el hormigón no establecerá un gran contacto con agentes corrosivos, agua o una gran exposición al sol porque la preparación no solo debe cumplir con su función inmediata, sino que es necesaria que se conserve en el tiempo.

Figura 23

Reparaciones hechas en casa



Nota. Tomado de Jcomp (s. f.-a).

De esta manera, se comprende la importancia del hormigón. En proyectos de infraestructura, por ejemplo, consiste en el proceso de diversas tecnologías que elevan sus propiedades a la máxima calidad, garantizando que estas aplicaciones y usos sean resistentes a múltiples condiciones extremas de exposición. Entre sus atributos se cuentan su excelente durabilidad, ser un material local, disponer de una variedad de componentes con alta disponibilidad y fabricarse en cualquier parte, lo que contribuye a mantener los precios bajos. Por otra parte, sus propiedades estéticas posibilitan cambios e innovaciones en el diseño arquitectónico por su flexibilidad para implementar el diseño deseado (Jaimes et al., 2020).

Por otra parte, que la Química —o los estudios especializados— haya empezado a intervenir en la fabricación de los materiales marca la pauta para conocer de manera más cercana del funcionamiento de cada uno de los elementos, desde las moléculas actuando en cadena hasta la grava que conforma la sección más gruesa de la mezcla. Todos y cada uno desempeña su rol gracias a que surge la posibilidad de calcular, medir y —sobre todo— ensayar los resultados antes de que su uso se convierta en industrial y global.

Entonces, como lo menciona Vélez (2010), la tecnología del concreto tiene propiedades sustentables que permite que el material ingrese a nuevos mercados, mejore las situaciones ambientales y ahorre recursos. Esta visión incluye energía, agua y materiales, así como sistemas o estrategias que incurren en la noción calidad global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, A. y Salla, J. (1987). Los hormigones con polímeros en la construcción: propiedades y aplicaciones. *Informes de la Construcción*, 39(389), 61-72. <https://doi.org/10.3989/ic.1987.v39.i389.1665>
- Alonso, M., Palacios, M., Puertas, F., De La Torre, A. y Aranda, M. (2007). Effect of Polycarboxylate Admixture Structure on Cement Paste Rheology. *Materiales de Construcción*, 57(286), 65-81. <https://doi.org/10.3989/mc.2007.v57.i286.48>
- Alonso, M., Puertas, F. y Palacios, M. (2009). *Aditivos para el hormigón: compatibilidad cemento-aditivos basados en polycarboxilatos*. Sociedad Anónima de Fotocomposición.
- Alonso, M. (2011). *Comportamiento y compatibilidad de cementos y aditivos superplastificantes basados en polycarboxilatos. Efecto de la naturaleza de los cementos y estructura de los aditivos* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Madrid]. <http://hdl.handle.net/10486/6698>
- Alonso, M., Martínez-Gaitero, R., Gismera-Diez, S. y Puertas, F. (2017). PCE and BNS Admixture Adsorption in Sands with Different Composition and Particle Size Distribution. *Materiales de Construcción*, 67(326), e121. <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2017.08116>
- Altun, M., Özen, S. y Mardani-Aghabaglou, A. (2020). Effect of Side Chain Length Change of Polycarboxylate-Ether based High Range Water reducing Admixture on Properties of Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118427>
- Álvarez, G. (2012). Hormigón Ligero. *Palimpsesto*, (6), 10. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/13260/Palimpsesto_06_5_Gorka_A%CC%81lvarez.pdf
- Alvansaz, M., Bombon, C. y Rosero, B. (2022). Estudio de la incorporación de nanosílice en concreto de alto desempeño (HPC). *Revista Ingenio*, 5(1), 12-21. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v5i1.3786>

- American Concrete Institute. (s. f.). *Terminología del cemento y el hormigón*. American Concrete Institute.
- American Concrete Institute. (s. f.). *Guide for the Use of Silica Fume in Concrete*. American Concrete Institute.
- American Society for Testing and Materials. (2007). *ASTM C150*. ASTM. https://www.academia.edu/30877688/ASTM_C150
- American Society for Testing and Materials. (2015). *ASTM C1017*. ASTM. https://www.astm.org/c1017_c1017m-13.html
- American Society for Testing and Materials. (2016). *ASTM C1231*. ASTM. https://www.astm.org/c1231_c1231m-15.html
- American Society for Testing and Materials. (2017). *ASTM C494*. ASTM. <https://es.scribd.com/document/339929492/ASTM-C494-pdf-pdf>
- Antoni., Halim, J., Chandra, O. y Hardjito, D. (2017). Optimizing Polycarboxylate Based Superplasticizer Dosage with Different Cement Type. *Procedia Engineering*, 171, 752-759. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.442>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón y Mortero. (s. f.). *Reductores de agua*. <https://anfah.org/aditivos/reductores-de-agua/>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón y Mortero. (s. f.). *Superfluidificantes*. <https://anfah.org/aditivos/superfluidificantes/>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón y Mortero. (s. f.). *Acelerantes de fraguado*. <https://anfah.org/aditivos/acelerantes-de-fraguado/>
- Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón y Mortero. (s. f.). *Retardadores de fraguado*. <https://anfah.org/aditivos/retardadores-de-fraguado/>
- Azerbaijan_stockers. (s. f.). *Quema de centro comercial o centro comercial con humo* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3W23kvG>

- Ban, C., Kang, W., Wei., C. y Heng, K. (2020). The Influence of Type and Combination of PolyCarboxylate Ether Superplasticizer on the Mechanical Properties and Microstructure of Slag-silica Fume Ternary Blended Self-Consolidating Concrete. *Journal of Building Engineering*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101412>
- Bastos, G., Patiño-Barbeito, F., Patiño-Cambeiro, F. y Armesto, J. (2016). Nano-Inclusions Applied in Cement-Matrix Composites: A Review. *Materials*, 9(12), 1015. <https://doi.org/10.3390/ma9121015>
- Bearfotos. (s. f.). *Construyendo nuevas casas de concreto* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3Ty4LAA>
- Beissier. (s. f.). *Morteros basados en cemento natural*. Beissier S.A.U.
- Bermejo, E. (2009). *Dosificación, propiedades y durabilidad en hormigón autocompactante para edificación* [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/1733/>
- Billmeyer, F. (1975). *Ciencia de los polímeros*. Reverté, S. A.
- Bonilla, E., Aguilar, A., Flores, P., Sandoval Z., Cavazos, E. y Torres, P. (2017). Evaluación de la resistencia a la flexión de tres resinas compuestas. *Revista de Operatoria Dental y Biomateriales*, 1(3), 33-36. <https://www.rodyb.com/resistencia-a-la-flexion-resinas-compuestas/>
- Caballero, P., Damiani, C. y Ruiz, A. (2021). Optimización del concreto mediante la adición de nanosílice, empleando agregados de la cantera de Añashuayco de Arequipa. *Revista Ingeniería de Construcción*, 36(1), 71-87. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732021000100071>
- Cemex. (5 de abril de 2019). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?* <https://bit.ly/3geFWL6>
- Cemex. (s. f.). *Concreto de alta densidad*. <https://www.cemexcolombia.com/concretos/alta-densidad>
- Checmarew, L. (2010). *Hormigones con aditivos hiperfluidificantes para uso vial*. <https://hormigonelaborado.com/hormigones-con-aditivos-hiperfluidificantes-para-uso-vial/>

- Covarrubias, J. (1990). Hormigón premezclado. *Revista Ingeniería de Construcción*, (8), 46-68. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/10042>
- Cruz, D. y Lozano, J. (5 y 6 de marzo de 2018). Hormigón de alta densidad: una excelente solución para obras marítimas [Presentación principal]. V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales, Valencia, España.
- Cruz, D., Navarro, A. y Vargas, E. (5 y 6 de marzo de 2018). Hormigón de alta conductividad térmica POWERCRETE [Presentación principal]. V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales, Valencia, España.
- Dufka, Á. y Melichar, T. (2018). The Evaluation of the Effect of Crystallization Additives on Long Term Durability of Cement Composites. *Solid State Phenomena*, 276, 265-270. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP276.265>
- Elemam, W., Abdelraheem, A., Mahdy, M. y Tahwia, A. (2020). Optimizing Fresh Properties and Compressive Strength of Self-Consolidating Concrete. *Construction and Building Materials*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118781>
- Erzengin, S., Kaya, K., Perçin, S., Özdemir, V. y Yildirim, G. (2018). The Properties of Cement Systems Superplasticized with Methacrylic Ester-Based Polycarboxylates. *Construction and Building Materials*, 166, 96-109. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.088>
- Euclid Group Toxement. (s. f.). *Microsilice. Versión 2016*. <https://www.toxement.com.co/>
- Ezzat, M., Xu, X., El Cheikh, K., Lesage, K., Hoogenboom, R. y De Schutter, G. (2019). Structure-Property Relationships for Polycarboxylate Ether Superplasticizers by Means of RAFT Polymerization. *Journal of Colloid and Interface Science*, 553, 788-797. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.06.088>
- Fernández, A., Morales, J. y Soto, F. (2016). Evaluation of the Development of the Compressive Strength of Concrete applying the Admixture Superplasticizer PSP NLS, for Age Older than 28 Days. *Revista Ingeniería UC*, 23(2), 197-203. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70746634010>

- Fernández, M. (1982). Hormigones reforzados con fibras de acero. *Informes de la Construcción*, 34(342), 5-17. <https://doi.org/10.3989/ic.1982.v34.i342.2079>
- Fernández, R. y Navas, A. (2011). Concreto permeable. Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. *Infraestructura Vial*, (24), 40-49. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5051943>
- Flatt, R. y Houst, Y. (2001). A Simplified View on Chemical Effects Perturbing the Action of Superplasticizers. *Cement and Concrete Research*, 31(8), 1169-1176. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(01\)00534-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00534-8)
- Fontana, J. y Reams, W. (1985). The Effect of Moisture on the Physical and Durability Properties of Methyl Methacrylate Polymer Concrete. *American Concrete Institute*, 89, 91-104.
- Freepik. (s. f.). *Cristalería de laboratorio con surtido de líquidos de colores* [Imagen]. Freepik.es. <https://bit.ly/3TX7pQe>
- García, A., Jiménez, P., Morán, F. y Arroyo, J. (2009). *Hormigón armado*. Gustavo Gili.
- Garrido, A. (2007). *Tipos de hormigón y sus propiedades*. Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica.
- Ghorab, H., Kenawi, I., y Abdell, Z. (2012). Interaction Between Cements with Different Composition and Superplasticizers. *Materiales de Construcción*, 62(307), 359-380. <https://doi.org/10.3989/mc.2012.63610>
- Giménez, A., Olavarrieta, M., Escalona, L. y Gallegos, H. (2018). Estudio físico mecánico de concretos sustituidos con polvo de sílice expuestos en ambiente agresivo simulado. *Gaceta Técnica*, 19(2), 37-50. <https://www.redalyc.org/journal/5703/570360789005/html/>
- Gismera, S (2019). *Comportamiento reológico de cementos y morteros activados alcalinamente: influencia de las variables del proceso* [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. <https://eprints.ucm.es/56785/>

- Gökhan, M., Özen, S. y Mardani-Aghabaglou, A. (2020). Effect of Side Chain Length change of Polycarboxylate-Ether based High Range Water Reducing Admixture on Properties of Self-Compacting Concrete. *Construction and Building Materials*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118427>
- Gomá, F. (1979). *El cemento Portland y otros aglomerantes*. Editores Técnicos Asociados.
- Gómez, J. (1998). El hormigón de alta resistencia en la edificación. Tipología estructural. *Informes de la Construcción*, 50(455), 5-26. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2314687>
- González, J. (2020). *Desarrollo de nuevos morteros de restauración de cal con aditivos* [Tesis de doctorado, Universidad de Navarra]. <https://hdl.handle.net/10171/60878>
- González, E. y Alloza, A. (s. f.). Ensayos de hormigón fresco: ensayo Vebe. *Materiales de Construcción*, 63-68. https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/2087/mod_page/content/1/FichasTemas/tema10-asetamiento.pdf
- Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L. y Segura, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*, 25(2), 80-86. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-de-huancavelica/tecnologia-del-concreto/dialnet-efecto-de-la-variacion-aguacemento-en-el-concreto-4835626/16221372>
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia.
- Herrera, Y. (2008). Antecedentes hormigón de alta densidad. En Universitat Politècnica de Catalunya (Ed.), *Hormigón de muy alta densidad* (pp. 55-72). Universitat Politècnica de Catalunya.
- Jaimes, D., García, J. y Rondón, J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Revista Formación Estratégica*, 2(1), 1-13. <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/18>

- Jcomp. (s. f.-a). *Albañilería trabajador de la construcción construyendo una pared de ladrillos* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3gwTce8>
- Jcomp. (s. f.-b). *Barra de acero en el sitio de construcción* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3SxVffw>
- Jcomp. (s. f.-c). *Los técnicos de construcción están mezclando cemento, piedra, arena para la construcción* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3W3Zjam>
- Jcomp. (s. f.-d). *Los técnicos de construcción están mezclando cemento, piedra, arena para la construcción* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3f7BbCL>
- Jcomp. (s. f.-e). *Los técnicos de construcción están mezclando cemento, piedra, arena para la construcción* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3D0udrg>
- Jcomp. (s. f.-f). *Silueta de construcción* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3sqTKF5>
- Jcomp. (s. f.-g). *Yesero renovando paredes interiores* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3FiZYhZ>
- Labahn, O. y Kohlhaas, B. (1984). *Prontuario del cemento*. Editores Técnicos Asociados.
- Ley-Hernandez, A., Feys, D. y Hartell, J. (2019). Effect of Dynamic Segregation of Self-consolidating Concrete on Homogeneity of Long pre-cast Beams. *Mater Struct*, 52(4). <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1303-z>
- Lizarazo, J. y López, L. (2011). Efecto de la adición de microsilice sobre los cloruros relacionada con las propiedades de transporte en el concreto de alto desempeño. *Dyna*, 79(171), 105-110. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532012000100013
- Ludwig, U. (1972). Sobre el fraguado y endurecimiento de cementos. *Materiales de Construcción*, 22(148), 85-92. <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/1411>
- Macrovector. (s. f.). *Conjunto de logotipos de estructura de moléculas* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3zfAcau>

- Magarotto, R., Torresan, I. y Zeminian, N. (2003). Influence of the Molecular Weight of PolyCarboxilate Ether Superplasticizers on the Rheological Properties of Fresh Cement Pastes, Mortar and Concrete [Presentación en papel]. 11th International Congress on the Chemistry of Cement, Durban, South Africa.
- Martínez, C., Díaz, J. y Duque, R. (2019). Diseño del encofrado para muros usando encofrados modulares. *TecnoLógicas*, 22, 1-18. <https://doi.org/10.22430/22565337.1509>
- Metha, K. y Monteiro, P. (1998). *Concreto. Estructura, propiedades y materiales*. IMYC.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma técnica de edificación E-060 concreto armado*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Morales, L., Santamaría, J., Caicedo, W. y Tipán, F. (2018). Hormigón estructural de baja densidad para edificaciones. *Revista Ingenio*, 2(2), 58-70. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v2i2.1704>
- Nadim, M. y Al-Manaseer, A. (2012). *Structural Concrete. Theory and Design*. John Wiley & Sons, Inc.
- Nayak, N. y Jain, A. (2012). *Handbook on Advanced Concrete Technology*. Alpha Science.
- National Ready Mixed Concrete Association. (s. f.). CIP 16. Resistencia a flexión del concreto. El Hormigón. *El concreto en la práctica. ¿Qué, por qué y cómo?* <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP16es.pdf>
- Nili, M., Razmara, M., Sadeghi, M. y Razmara, M. (2018). Automatic Image Analysis Process to Appraise Segregation Resistance of Self-consolidating Concrete. *Magazine of Concrete Research*, 70(8), 390-399. <https://doi.org/10.1680/jmacr.16.00417>
- Okamura, H. y Ouchi, M. (2003). *Self-compacting Concrete*. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5-15. <http://dx.doi.org/10.3151/jact.1.5>

- Onlyyouqj. (s. f.). *Primer plano, construcción, sitio, excavador* [Fotografía]. Freepik.es <https://bit.ly/3gGW9c4>
- Pavex. (s. f.). *Hormigón fluido: aplicaciones, composición, usos, ventajas*. <https://pavex.es/hormigon-fluido/>
- Pekmezci, B., Voigt, T., Wang, K. y Shah, S. (2007). Low Compaction Energy Concrete for Improved Slipform Casting of Concrete Pavements. *ACI Materials Journal*, 104(3), 251-258.
- Pillai, R., Gettu, R. y Santhanam, M. (2020). Use of Supplementary Cementitious Materials (SCMs) in Reinforced Concrete Systems. Benefits and Limitations. *Revista ALCONPAT*, 10(2), 147-164. <https://doi.org/10.21041/ra.v10i2.477>
- Puertas, F. y Vásquez, T. (2001). Hidratación inicial del cemento. Efecto de aditivos superplastificantes. *Materiales de Construcción*, 51(262), 53-61. <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/371/416>
- Ramos, E., Marquina, L., Muñoz, S., Jiménez, K., Quispe, A. y Hurtado, L. (2021). Efectos del fuego sobre la resistencia de elementos estructurales de hormigón armado: una revisión de literatura. *PAIDEIA XXI*, 11(1), 203-216. doi: 10.31381/paideia.v11i1.3801
- Rawpixel.com. (s. f.-a). *Concepto de experimento de ciencia química de estructura molecular* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3Dskn2T>
- Rawpixel.com. (s. f.-b). *Fondo de pantalla de patrón de textura de piedras de guijarros* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3TRDjgP>
- Rawpixel.com. (s. f.-c). *Manitas con cemento cesta para la construcción* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3zi7SnZ>
- Rawpixel.com. (s. f.-d). *Pilas de madera* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3N7YYPS>
- Rawpixel.com. (s. f.-e). *Sitio de construcción* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3TxRCaL>

- Rawpixel.com. (s. f.-f). *Sitio de construcción* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3gFmoQm>
- Rawpixel.com. (s. f.-g). *Trabajadores de la construcción al atardecer* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3DwzUyz>
- Rivva, E. (1992). *Diseño de mezclas*. HOZIO S.CR.L.
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. ACI Perú.
- Rixom, M. (1978). *Aditivos para los hormigones. Composición, propiedades y empleo*. Editores Técnicos y Asociados.
- Rodríguez, A., Calderón, V., Gutiérrez, S., Junco, C. y Garabito, J. (2013). Manufacture of Masonry Mortars with Melamine Powder Waste and Melamine Paper from the Manufacture of Agglomerated Particle Boards. *Advanced Materials Research*, 687, 538-543. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.687.538>
- Rodríguez, C. (2014). *Cálculo de la resistencia a tracción del hormigón a partir de los valores de resistencia a compresión* [Monografía, Universidad de Matanzas]. <https://studylib.es/doc/6984981/c%C3%A1lculo-de-la-resistencia-a-tracci%C3%B3n-del-hormig%C3%B3n-a-parti...>
- Romea, C. (2014). El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario. *Journal of Mass Spectrometry*. <https://doi.org/10.3926/OMS.199>
- Sainz-Aja, J., Carrascal, I., Polanco, J., Sosa, I., Thomas, C., Casado, J. y Diego, S. (2020). Determination of the Optimum Amount of Superplasticizer Additive for Self-Compacting Concrete. *Applied Sciences*, 10(9), 3096. <https://doi.org/10.3390/app10093096>
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bhandar Editores LTDA.
- Schober, I. y Mader, U. (2003). Compatibility of Polycarboxylate Superplasticizers with Cements and Cementitious Blends. *Special Publication*, 217, 453-468.
- Segura, J. (2011). Estructura de concreto I. Vol. 7. Ayala Avila & Cia Ltda.

- Sika Perú. (s. f.). *Superplastificantes para concreto*. <https://per.sika.com/es/construccion/aditivos-concreto/aditivos-concreto-premezclado/superplastificantes-concreto.html>
- Sika. (2020). *Hormigón. Manual del hormigón SIKA*. Sika AG.
- Silva, O. (s. f.). Concreto autocompactante: origen, ventajas y aplicaciones. 360 En concreto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-autocompactante-origen-ventajas-y-aplicaciones/>
- Solís-Carcaño, R., Moreno, E. y Arcudia-Abad, C. (2008). Estudio de la resistencia del concreto por el efecto combinado de la relación agua-cemento, la relación grava-arena y el origen de los agregados. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 31(3), 213-224. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000300002&lng=es&tlng=es
- Strzalkowski, J. y Garbalinska, H. (2019). The Influence of Silica Fume on the Mechanical and Thermal Parameters of Portland Cement Concretes. *Journal of Ecological Engineering*, 20(9), 95-102. <https://doi.org/10.12911/22998993/112503>
- Tejaswini, G. y Rao, A. (2020). A Detailed Report on Various Behavioral Aspects of Self-Compacting Concrete. *Materials Today: Proceedings*, 33(1), 839-844. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.273>
- Valencia, A., Chávarry, C., Chavarría, L., Támara, J., Barrantes, L., Roncal, D. y Narrea, J. (2021). Aditivo fluidificante con copolímero para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón. *Revista Campus*, 26(32), 223-238. <https://doi.org/10.24265/campus.2021.v26n32.06>
- Vélez, L. (2010). Permeabilidad y porosidad en concreto. *Revista TecnoLógicas*, (25), 169-187. <http://dx.doi.org/10.22430/22565337.131>
- Vinayagam, P. (2012). Experimental Investigation on High Performance Concrete Using Silica Fume and Superplasticizer. *International Journal of Computer and Communication Engineering*, 6(2), 13-16. Ext_08972.pdf (technoarete.org)

- Wang, X., Zhang, J., Yang, Y., Shu, X. y Ran, Q. (2018). Effect of Side Chains in Block Polycarboxylate Superplasticizers on Early-age Properties of Cement Paste. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133, 1439-1446. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7231-x>
- Winnefeld, F., Becker, S., Pakusch, J. y Götz, T. (2006). Polymer Structure/Concrete Property Relations of HRWRA [Presentación en papel]. Eighth CANMET/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology.
- Wirestock. (s. f.-a). *Persona sosteniendo papel triturado utilizado como combustible alternativo* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3zfaK4S>
- Wirestock. (s. f. -b). *Trabajadores en el sitio de construcción* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3f2mXTJ>
- Xvect Intern. (s. f.-a). *Maqueta de bidón de plástico grande* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3SvuTKY>
- Xvect Intern. (s. f.-b). *Maqueta de bolsa de cemento de papel* [Fotografía]. Freepik.es. <https://bit.ly/3Ty0sFt>
- Young, J. y Hong, J. (2018). Evaluation on the Consumption and Performance of Polycarboxylates in Cement-based Materials. *Construction and Building Materials*, 158, 423-431. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.004>
- Zahia, D. y Karim, E. (2018). Effect of Cement Fineness and Polycarboxylate Dosage on the Rheological and Mechanical Behavior of a Mortar. *MATEC Web of Conferences*, 149, 1-4. <http://dx.doi.org/10.1051/mateconf/201814901037>



EDITORIAL
NAVEGANTE

El presente libro tiene como objetivo proponer al polímero como un aditivo eficaz para mejorar el proceso y desarrollo del hormigón estructural en las obras de construcción. Por ello, se destaca la importancia de este compuesto químico, ya que contribuye a mantener la durabilidad y la manejabilidad, atributos distintivos de este material para que funcione adecuadamente. En este sentido, se debe prestar atención a la mezcla de estos compuestos para que las construcciones se conserven por más tiempo.

El libro se divide en seis capítulos, además de la bibliografía consultada. En el capítulo I se realiza una breve introducción, un acercamiento al cemento considerado como material de construcción, así como sus respectivas particularidades y la normativa al que está regido. En el capítulo II se desarrolla su clasificación. En el capítulo III se explican sus principales componentes. En el capítulo IV se introduce al polímero como un aditivo superplastificante y se detalla sobre sus composiciones, así como su relación con el cemento. En el capítulo V se explica la aplicación del polímero en la estructura del hormigón. Asimismo, se resaltan sus efectos y ventajas a largo plazo. Finalmente, en el capítulo VI están las reflexiones obtenidas después de haber emprendido este trabajo científico.

Es preciso señalar que este libro es importante para la industria de la construcción, para conocedores del tema, así como para la sociedad en general, ya que contribuye con informar y difundir un tema que ha pasado desapercibido, pero que es básico para comprender la estructura y funcionamiento de nuestro entorno.



EDITORIAL
NAVEGANTE

