

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

Incidencia de las variaciones en la dosificación del aditivo superplastificante y el tamaño máximo nominal del agregado pétreo tipo calizo en la mezcla de concreto, sobre sus propiedades mecánicas.

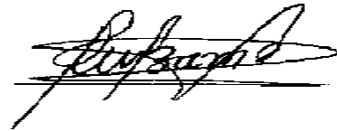
NOTA DE ACEPTACIÓN:



**Firma del director
RAMON TORRES ORTEGA**



**Firma del jurado
GUILLIAM BARBOZA MIRANDA**



**Firma del jurado
MODESTO BARRIOS FONTALVO**

DEDICATORIA

A Dios, a quien dedicamos este triunfo alcanzado...

A nuestra alma mater, que nos acogió como un segundo hogar...

*A nuestros docentes, quienes siempre nos mostraron el norte en este
arduo proceso...*

*A nuestros compañeros de estudio, quienes nos brindaron su apoyo
en todo momento...*

*Finalmente, a nuestros padres, nuestros pilares, nuestra fortaleza...
los verdaderos merecedores de este título.*

**INCIDENCIA DE LAS VARIACIONES EN LA DOSIFICACIÓN DEL ADITIVO
SUPERPLASTIFICANTE Y EL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL
AGREGADO PÉTRICO TIPO CALIZO EN LA MEZCLA DE CONCRETO, SOBRE
SUS PROPIEDADES MECÁNICAS.**

Investigadores:

JAIME ALVAREZ CASTELLAR

KEVIN MERCADO CASTILLO

Director:

MSC. RAMON TORRES ORTEGA



**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2020

**INCIDENCIA DE LAS VARIACIONES EN LA DOSIFICACIÓN DEL ADITIVO
SUPERPLASTIFICANTE Y EL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL
AGREGADO PÉTRICO TIPO CALIZO EN LA MEZCLA DE CONCRETO, SOBRE
SUS PROPIEDADES MECÁNICAS.**

Investigadores:

JAIME ALVAREZ CASTELLAR

KEVIN MERCADO CASTILLO

Monografía para optar por el título de:

INGENIERO CIVIL

Director:

MSC. RAMON TORRES ORTEGA

Grupo de investigación:

GEOTECNIA, MATERIALES, VÍAS Y TRÁNSITO

(GEOMAVIT)

Línea de investigación:

Materiales de Construcción

**UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2020

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
1 CAPITULO I: EL CONCRETO	9
1.1. DEFINICIÓN	9
1.2. COMPONENTES	9
2 CAPITULO II: PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO.....	15
3. CAPITULO III: USO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES EN EL CONCRETO.....	17
4. CAPITULO IV: USO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES EN MATRICES DE CONCRETO CON AGREGADO GRUESO CALIZO.....	28
CONCLUSIONES.....	35
RECOMENDACIONES	37
REFERENCIAS	38

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi.....	20
Ilustración 2. Resistencias obtenidas para los cilindros de concreto.....	22
Ilustración 3. Comparacion de Resistencias Resultantes entre mezcla patron de concreto de 250 kgf/cm ² versus mezcla de concreto con dosificacion maxima recomendada y mezcla con dosificación en exceso.	24
Ilustración 4. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión por dosificicación.....	25
Ilustración 5. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión por dosificicación.....	26
Ilustración 6. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión por mezcla.....	27
Ilustración 7. Comparación de los resultados del ensayo a la compresión usando agregados distintos.....	30
Ilustración 8. Variacion de la resistencia a la compresion para cada tamaño maximo nominal.	34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de concreto.	10
Tabla 2. Requisitos físicos del cemento	10
Tabla 3. tipos de aditivos y sus propiedades en el concreto.	13
Tabla 4. Promedio de resistencia de los diseños en kg/cm ² con ADICEM GR-200 con 30% de reducción de agua y sus respectivos diseños patrón.	18
Tabla 5. Propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, muestra patron (N) y muestras en adición de las nueve dosificaciones diferentes de superplastificante (SSC-SP).	23
Tabla 6. Propiedades mecánicas de concretos con agregados calizos.....	31

RESUMEN

La determinación de calidad de un concreto hidráulico está influenciado en gran medida por las propiedades mecánicas del mismo, y estas dependen principalmente de dos variables, la relación A/C y las propiedades de los agregados áridos utilizados. Al disminuir la relación A/C se obtienen mejoras en dichas propiedades al costo de disminuir la manejabilidad de la mezcla; este problema puede ser solucionado con la incorporación de aditivos reductores de agua en la mezcla. Las propiedades de los áridos dependen de la composición química de los minerales que los componen y esto varía con localización del proyecto. En zonas costeras como nuestra ciudad, abunda el agregado calizo, convirtiéndose en menester el saber cómo se ven afectadas las propiedades mecánicas del concreto si se usa este tipo de agregado en presencia de un aditivo reductor de agua de alto rango (superplastificante) y cuáles son las combinaciones de estas dos variables que arrojarían las mejores propiedades mecánicas en el concreto.

El presente trabajo presenta el análisis por medio una recopilación bibliográfica, de la relación existente entre el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso tipo calizo y la dosificación del aditivo superplastificante, específicamente buscando la combinación de estas dos variables que proporcione las mejores propiedades mecánicas al concreto en estado endurecido (Compresión, flexión y módulo de elasticidad). Primeramente, se definieron los conceptos básicos del concreto y sus componentes principales, pasando por la descripción de las propiedades mecánicas más importantes de este, para finalmente presentar la literatura del uso de aditivos superplastificantes en el concreto de manera general y luego con agregados de composición caliza.

De la información recolectada se concluyó que usando dosificaciones de superplastificante dentro del rango sugerido por el fabricante, aumentaba la resistencia mecánica del concreto y resultaba aún más favorable cuando el TMN del agregado se encontraba entre el rango de 5/16" y 1/2". De igual manera se encontró que el usar roca caliza como agregado grueso en el concreto resultaba beneficioso por la excelente adherencia que este genera con la pasta y su porosidad ayuda con una rehidratación posterior de la matriz, traduciéndose en una mejor resistencia del concreto.

ABSTRACT

The quality determination of a hydraulic concrete is largely influenced by its mechanical properties, and these depend mainly on two variables, the A/C ratio and the properties of the aggregates used. By decreasing the A/C ratio, improvements in these properties are obtained at the cost of decreasing the manageability of the mix; this problem can be solved with the incorporation of water-reducing additives in the mix. The properties of the aggregates depend on the chemical composition of the minerals that compose them and this varies with the location of the project. In coastal areas like our city, limestone aggregate is abundant, making it necessary to know how the mechanical properties of the concrete are affected if this type of aggregate is used in the presence of a high-range water-reducing (super-plasticizing) additive and what are the combinations of these two variables that would yield the best mechanical properties in the concrete.

The present work presents the analysis through a literature review of the relationship between the nominal maximum size (NMS) of thick limestone aggregate and the dosage of superplasticizing admixture, specifically looking for the combination of these two variables that provide the best mechanical properties to concrete in hardened state (compression, bending and modulus of elasticity). First, the basic concepts of concrete and its main components were defined, passing through the description of the most important mechanical properties of the concrete, to finally present the literature of the use of superplasticizing admixtures in concrete in a general manner and then with aggregates of limestone composition.

From the data collected, it was concluded that using superplasticizer dosages within the range suggested by the manufacturer increased the mechanical resistance of the concrete and was even more favorable when the aggregate's TMN was in the range of 5/16" and 1/2". It was also found that using limestone as a coarse aggregate in the concrete was beneficial because of the excellent adhesion it generates with the paste and its porosity helps with subsequent rehydration of the matrix, resulting in improved concrete strength.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación es una Monografía, la cual tiene como objetivo determinar la influencia de la dosificación de aditivos de tipo superplastificante y del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso calizo (triturado calcáreo) en algunas propiedades mecánicas del concreto hidráulico (Compresión, flexión y módulo de elasticidad).

Para poder realizar este análisis es importante contextualizarnos con las propiedades y características de los principales componentes de la matriz del concreto. El concreto hidráulico u hormigón de cemento es la única roca fabricada por el hombre, la cual llega a la obra en forma plástica, permitiendo ser amoldado casi en cualquier forma (Díaza et al., 2010). Hay muchas clases de hormigón según la composición del aglutinante utilizado, pero el cemento Portland (cuyos componentes principales son el yeso y el Clinker), es el más utilizado por su economía y la versatilidad de sus propiedades mecánicas finales, siendo estas últimas las que le han ganado el nombre de roca artificial (ASOCRETO, 2010a).

El hormigón se ha venido utilizando desde hace aproximadamente 500 a. C. por los griegos y los romanos, los cuales lo utilizaban para la construcción de sus viviendas, templos, muelles, coliseos entre otras edificaciones, todo esto lo hacían sin la necesidad de utilizar hierro en sus estructuras, el hormigón era lo suficientemente fuerte para soportar todas las cargas a gravedad (F. Wang, 2013), según estudios arqueológicos realizados por el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, perteneciente al Departamento de energía Estadounidense se dice que el hormigón romano era una mezcla de ceniza volcánica y cal viva, lo cual con el pasar de los años lograba una mayor resistencia e incluso en puertos como el “Puerto antiguo de Cosa (en la Toscana) (Siglo III a.C.)” que a pesar de estar constantemente en contacto con el mar, su estructura de hormigón parece una roca. (Jackson et al., 2017).

Fue a principios del siglo XIX que se dejó atrás el uso de cal viva (sobre todo sobre todo porque ésta última al presentar grandes periodos tiempo para fraguar no es muy practica en las estructuras) a causa del invento del constructor británico Joseph Aspdin “el cemento

Portland”, el cual, a base de piedra caliza y arcillas en determinadas proporciones, las mezcló y mediante molindas obtuvo un material ligante llamado Clinker que junto con el yeso se derivaron en este tan grandioso invento, que hoy en día es el principal material de construcción en las distintas obras civiles. (ASOCRETO, 2010a)

El cemento hidráulico o portland como lo bautizó su creador, no se lo fabrica a grandes escalas hasta 1844 donde Isaac Charles Johnson decidió industrializar el material (F. Wang, 2013). El cemento portland en conjunto con los agregados, el agua y los aditivos conforman el hormigón que conocemos actualmente (Li et al., 2020).

Otra parte importante de los componentes del concreto hidráulico corresponde a los agregados, los cuales conforman todo el material inerte mezclado a la pasta cementante que tiene la suficiente resistencia a la compresión y capacidad de adherirse sin afectar a la mezcla (ASOCRETO, 2010a). Estos materiales a su vez son el mayor constituyente del concreto ya que corresponden hasta el 80% de la mezcla por cada metro cubico de ella (Pradhan et al., 2019). En la elaboración del concreto corriente los agregados a utilizar normalmente pertenecen a depósitos de grava y arenas naturales (Tugrul Tunc & Alyamac, 2020). Debido a que uno de los factores económicos más importantes es la localización de este tipo de depósitos (por el alto costo y la dificultad que representa el transporte de un gran número de toneladas de material), es fundamental tener en cuenta que la fuente del agregado con que se va a trabajar debe estar a una distancia razonable del sitio de construcción y que además las propiedades de los agregados difieren considerablemente de una fuente a otra. Estas propiedades dependerán de la composición petrográfica y mineralógica de la zona de donde son extraídas, y pueden conocerse con anticipación si sabe a qué grupo geológico pertenece la roca (las cuales pueden ser, teniendo en cuenta la clasificación general de los materiales rocosos, de tipo sedimentario, ígneo, o metamórfico) (Carlos et al., 2010). La piedra caliza o el triturado calcáreo, material que usaremos como agregado en la presente Monografía, corresponde a una roca sedimentaria, el cual es el tipo de roca más abundante de la superficie terrestre (ASOCRETO, 2010a). La caliza se encuentra presente en canteras de zonas tropicales o cercanas a mares de poca profundidad.

Pero además del tipo de agregado, también se hace imprescindible el tamaño de este, denominado técnicamente como tamaño máximo nominal (TMN) y es la segunda propiedad de interés de las rocas (la primera es su composición petrográfica y mineralógica)(X. Wang et al., 2020). Es muy evidente que a menor TMN mayor superficie específica tendrá el agregado y esto tendrá sus repercusiones en el diseño de mezcla (S. Wang et al., 2020). Es por esto que en nuestra investigación se compararan los resultados obtenidos con cada tamaño máximo nominal usado.

No obstante, la elaboración de una mezcla de concreto puede requerir propiedades que los agregados y el resto de componentes básicos que la conforman, no poseen normalmente. Estas propiedades pueden conseguirse por medio del uso de aditivos (Sadowski & Golewski, 2018). Los aditivos son sustancias químicas, naturales o artificiales, añadidas al concreto, que son diferentes a los componentes básicos que lo conforman (agua, agregados finos y gruesos, material cementante), pero que no son imprescindibles para la preparación de este. Su uso se presenta cuando las propiedades básicas del concreto, sea en estado fresco o endurecido, deben ser alteradas con el objeto de facilitar las condiciones de trabajo (Sánchez, 2001). Los aditivos son tan antiguos como el concreto mismo. Se sabe que los romanos en sus construcciones adicionaban materiales extra a sus mezclas buscando cambiar las propiedades resultantes de estas, como, por ejemplo, mejorar su durabilidad. En la actualidad, los aditivos se utilizan para modificar las propiedades del concreto en sus tres estados principales (estado fresco, durante el fraguado, y en estado endurecido), con el fin de cumplir con los requisitos y las especificaciones requeridas por el proyecto. Las características conseguidas con los distintos tipos de aditivos varían según el tipo a utilizar. Algunas de las propiedades más comunes de estos son el retardo del fraguado de la mezcla, el aumento de la resistencia en estado endurecido de la mezcla y el incremento de la fluidez de la mezcla con menor adición de agua. Estas dos últimas propiedades mencionadas la proporcionan los aditivos de tipo plastificante y superplastificantes, objeto central de la presente investigación, lo cuales por su relevancia en todo tipo de proyectos, requieren un estudio a profundidad de las propiedades de la mezcla de concreto por la presencia de estos (Fernández, A.; Morales, J.; Soto, 2016).

Los plastificantes son compuestos sintéticos usualmente elaborados a partir de ligninas y ácidos carboxílicos. A nivel físico, estas sustancias aumentan la manejabilidad de la mezcla en estado fresco (sin aumentar la cantidad de agua) manteniendo su resistencia final a la compresión, lo cual puede provocar en algunos casos su aumento. (Fernández, A.; Morales, J.; Soto, 2016). Pero sin duda la evolución tecnológica más radical entre los aditivos para concreto ha tenido lugar en los superplastificantes durante las últimas dos décadas (SIKA Colombia, 2010). Los aditivos superplastificantes cumplen una función similar a los plastificantes, es decir aumentan la manejabilidad del concreto. Este incremento en la manejabilidad hace posible disminuir el contenido de agua y de cemento (son ahorradores de pasta) proporcionando a pesar de este ahorro en material que el concreto mantenga o directamente mejore sus propiedades mecánicas.

Los superplastificantes se emplean una vez la capacidad de los plastificantes ha llegado a su máximo (IBI - Instituto Brasileiro de Impermeabilização, 2010). Son especialmente eficientes en concretos con altos asentamientos, o concretos de altas resistencias que implican en ambos casos, contenidos elevados de pasta (F. Wu et al., 2020).

Ahora bien, habiéndonos contextualizado con la información del concreto y sus componentes, así como la importancia de la inclusión de los aditivos superplastificantes en esta industria, resulta más fácil entender el propósito de esta investigación, la cual se fundamenta en el hecho de que los superplastificantes en su ficha técnica no dan una dosificación óptima sino que dan un rango de dosificaciones (por dosificación óptima nos referimos a aquella cantidad de aditivo que de las mejores propiedades mecánicas y de trabajabilidad), lo cual no permite saber a ciencia cierta las propiedades iniciales ni finales que obtendremos de nuestra matriz de concreto, ni cuales serían los valores máximos de estas.

La importancia de conocer la dosificación óptima del superplastificante a usar toma un papel relevante, si se tiene en cuenta que las propiedades del concreto se pueden ver perjudicadas si no se hace una correcta dosificación, que el costo de los aditivos (especialmente de tipo superplastificantes), resulta muy elevado y que adicionalmente el rango de dosificación sugerida por parte de los fabricantes de este producto varía en un margen muy amplio, debido

a todo esto se presenta la necesidad de optimizar el uso de estos productos en términos de su dosificación.

A nivel local por ser una zona costera, el agregado de tipo calcáreo es aquel que es más factible económicamente, tanto por su disponibilidad como por sus bajos costos de transporte debido a la cercanía de sus fuentes de extracción a las obras a realizar, respecto a agregados de otros tipos. Es por esto que es tan importante encontrar una relación entre el TMN del agregado de composición caliza (el TMN es la característica de cualquier tipo agregado que más afecta las propiedades mecánicas finales de la mezcla de concreto en la que esté presente), y la dosificación del aditivo superplastificante usado en la mezcla de concreto hidráulico, hasta el punto de poder tener la certeza de que se estén adquiriendo las máximas propiedades mecánicas alcanzables de una mezcla particular de concreto, esto permitiendo que en cualquier obra a nivel local en la que se necesite un concreto de alta trabajabilidad y alta resistencia como puede ser el hecho de la necesidad de fundir elementos esbeltos, se tenga la capacidad de conseguir el concreto que cumpla con los requisitos especiales de dicha obra.

El interés por encontrar la dosificación óptima de superplastificante, en función del TMN de los agregados de tipo calizo usados en una matriz particular de concreto, que arroje las máximas propiedades alcanzables por esta, se dio gracias a una investigación que hizo la Universidad de Cartagena, la cual tuvo como fin encontrar la variación en las propiedades de trabajabilidad y resistencia del concreto hidráulico empleando el aditivo superplastificante ADICEM GR-200, donde, a partir de los diseños de mezcla y las cantidades de aditivo a emplear se obtuvieron resultados favorables para algunos casos y para otros no tanto, de esto se llegó a la conclusión de que, aun cuando se obtuvo un excelente resultado en la manejabilidad y el resultado a la compresión aunque menor a la muestra patrón fue superior al esperado, se recomienda tener en cuenta la dosificación del aditivo, la relación peso aditivo/cemento, y sobre todo verificar las variaciones que se pueden dar en relación al tipo y forma de los agregados empleados. (Céspedes & Díaz, 2007).

El presente proyecto de investigación será realizado en la ciudad de Cartagena, D. T. y C, capital del departamento de Bolívar, ubicado en la costa caribe al norte de Colombia y cuenta

con el apoyo del grupo de investigación GEOMAVIT (Geotecnia, Materiales, vías y tránsito), específicamente en la línea de materiales de construcción. Además, las conclusiones a las que se lleguen servirán de soporte y precedentes para futuras investigaciones en esta misma línea de aplicación.

1 CAPITULO I: EL CONCRETO

Este primer capítulo está dedicado a la definición conceptual de lo que es en sí el concreto como material de construcción y la descripción de los principales componentes que integran su matriz. Se enfatiza en la influencia del tamaño máximo nominal del agregado (TMN) y el tipo de aditivo correspondiente al objetivo de la presente investigación.

1.1. DEFINICIÓN

El concreto es la mezcla que se obtiene de unir agregados áridos y en algunos casos adiciones extras, por medio de un aglomerante (cemento portland comúnmente) que reacciona con el agua. Al endurecer, la mezcla gana la capacidad de resistir grandes esfuerzos a la compresión y pequeños esfuerzos a la tracción y flexión como las piedras de origen natural, es por esto que el concreto es conocido como la piedra artificial creada por el hombre.

1.2. COMPONENTES

El concreto como material constructivo está compuesto por la mezcla de cinco componentes; Cemento, Agua, Aire, Agregados gruesos y finos. Además de los cinco componentes, en caso de necesitar cambiar las propiedades generales del concreto, un sexto material adicionado (aditivos), puede ser agregado a la mezcla para obtener los resultados que se necesitan.

1.2.1. CEMENTO

El cemento es un material aglomerante que tiene propiedades de adhesión y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos de minerales entre sí, formando un producto compacto, con resistencia y de durabilidad adecuada (Ramesh et al., 2020).

El cemento a su vez puede ser dividido en cinco tipos cuyas propiedades individuales son expuestas en la **Tabla 1**.

Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Normal, para uso general.	Moderada resistencia a los sulfatos.	Rápida resistencia inicial.	Bajo calor de hidratación.	Alta resistencia a los sulfatos.

Tabla 1. Tipos de concreto.

Fuente: (Sanchez, 2014).

Sin embargo, de los cinco tipos el tipo I es ideal para ser utilizado en grandes obras de construcción puesto ofrece altas resistencias (Arzapalo Leon, 2018) como podemos apreciar en la **Tabla 2** y es el más asequible de todos.

Requisitos Físicos	Tipos		
	I	II	V
Resistencia a la compresión min Kg/cm ²			
3 días	120	100	80
7 días	190	170	150
28 días	280*	280*	210
* Opcionales			

Tabla 2. Requisitos físicos del cemento

Fuente: (Mayta, 2014).

1.2.2. AGREGADOS

Los agregados son materiales inertes de origen natural unidos por un material aglomerante (cemento) en la mezcla de concreto hidráulico. Las propiedades físicas de los agregados son decisivas en las propiedades mecánicas del concreto (resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistencia al cortante) (Ravitheja et al., 2020), debido a que las fallas en el concreto hidráulico son caracterizadas por ocurrir en la zonas en donde la pasta de cemento y el agregado utilizado no tuvieron una completa cohesión (Jebli et al., 2018).

Lo agregados se clasifican en dos grupos, agregados gruesos y agregados finos:

Se conoce como agregado grueso al material granular cuyo diámetro de partícula es más grande que 4,75mm (De la Cruz Damián, 2018). La labor de este material en la mezcla es aportar resistencia mecánica al concreto además de ser un factor importante en su capacidad de tensión y flexión (Akçaoğlu et al., 2004).

El agregado fino comúnmente consiste arena o piedra triturada cuyas partículas en su mayoría deben ser menores a 5mm (Reina et al., 2010).

1.2.2.1. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

En la práctica, lo que indica el tamaño máximo nominal es el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de la masa de agregado (Hernandez, 2010). La mayor utilidad de este factor, el cual provoca que la mayoría de especificaciones granulométricas se den en función de este y no del tamaño máximo (Tamaño de la partícula más grande encontrada en la masa de agregado), es que define de manera más real y generalizada una especificación granulométrica determinada (Alexandra et al., 2018).

El tamaño máximo del agregado es un factor determinante en la optimización de la resistencia desarrollada por el concreto. Para altos niveles de resistencia, se recomienda usar tamaños máximos de 9 a 12 mm (3/8" a 1/2"), aunque muchos afirman que es posible obtener resistencias superiores a los 69 MPa (10000 psi) usando tamaño máximo nominal de 25.4 mm (1.0") cuando la mezcla se proporciona con aditivos químicos y agregados seleccionados (Benavides, 2014).

1.2.3. AGUA

El agua ocupa un papel importante en todas las etapas del concreto. Esto es porque el agua tiene un papel importante durante las reacciones del cemento sobre la manejabilidad, el proceso de fraguado y el estado endurecido (Matsuzawa et al., 2019).

El uso del agua en la mezcla de concreto es variado, esto es debido a que el agua genera reacciones internas y externas, es por esto que para definir el uso del agua constructivamente,

esta debe ser categorizada en los siguientes puntos; Agua de mezclado, cuyo papel es ser agregada en función de la cantidad volumétrica de concreto que necesita el concreto, Agua de hidratación, la cual es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento, Agua de curado, cuyo propósito es permitir las condiciones necesarias a la mezcla de para que la hidratación ocurra sin problemas y la cual es proporcionada externamente a la mezcla de concreto (Guzmán, 2001). Para ser utilizada el agua debe cumplir con las normas que garantizan su calidad y uso en la elaboración del concreto, esta norma es la NTC 3459.

El agua y la proporción que es agregada de esta respecto a la cantidad de cemento en la mezcla (A/C), es una variable importante porque esta relación está directamente conectada a la resistencia final que tendrá el concreto (Y. F. Wu et al., 2020).

1.2.4. ADITIVOS

Los aditivos son productos adicionados durante la mezcla del concreto diferentes a sus componentes fundamentales, cuya labor es la de cambiar las propiedades finales de la mezcla (Yaphary et al., 2020).

Según qué propiedades necesiten ser cambiadas para cumplir las necesidades específicas de una obra civil, en el mercado hay una variedad de aditivos que permiten alcanzar esta meta, es por esto que para clasificar que hace cada aditivo, los aditivos fueron clasificados por tipos representados por letras desde la A hasta la G además de la S (Rodríguez Mendez, 2019), cuya nomenclatura significa la propiedad que cambian en la mezcla. La propiedad que cambia según cada letra se expone en la **Tabla 3**.

Tipo	A	B	C	D	E	F	G
	Reductor de agua	Retardante	Acelerante	Red de agua y retardante	Red de agua y retardante	Red de agua alto rango	Red de agua alto rango y retardante
Reducción de agua para el asentamiento y contenido de aire	Hasta 10% Mínimo 5%			Hasta 10% Mínimo 5%	Hasta 10% Mínimo 5%	Hasta 10% Mínimo 5%	Hasta 10% Mínimo 5%
Manejabilidad manteniendo constante el contenido de agua de la mezcla	Aumenta el asentamiento, mejora manejabilidad y disminuye segregación			Aumenta el asentamiento, mejora manejabilidad y disminuye segregación	Aumenta el asentamiento, mejora manejabilidad y disminuye segregación	Aumenta notablemente el asentamiento, mejora manejabilidad, sin segregación	Aumenta notablemente el asentamiento, mejora manejabilidad, sin segregación
Perdida del asentamiento	Aunque el asentamiento es mayor para las reducciones de agua, la pérdida de asentamiento es igual que sin aditivos, sin embargo, estos permiten mayor tiempo entre mezclado y colocación					Después de 30 a 60 minutos ocurre una rápida pérdida de manejabilidad	
Inclusión de aire	En general algo de aire, especialmente los lignosulfatos, por lo cual al aplicar inclusores de aire se debe reducir la cantidad de inductor de aire					En general, no incluyen aire	
Calor de hidratación y aumento de temperatura	Se obtiene más lentamente		Se obtiene más temprano	Se obtiene más lentamente	Se obtiene más temprano	Se obtiene más lentamente	
Velocidad de fraguado con respecto al concreto de referencia sin aditivo	No es más de 1h. antes o más de 1 1/2 H. después.	De 1 a 3 1/2 horas después.	De 1 a 3 1/2 horas después.	De 1 a 3 1/2 horas después.	De 1 a 3 1/2 horas después.		
Exudación	Solo los ácidos carboxílicos aumentan la exudación. Los demás no causan este efecto en el concreto						
Contracción	Aumenta o disminuye de acuerdo a la composición química del aditivo. Lo único cierto, es que entre menos cemento tenga el concreto, menos						
Resistencia	Aumenta a todas las edades	Igual entre 16 y 48 h. 15% a 25% de aumento a 28 días	Aumenta notablemente a edades tempranas.	Igual entre 16 y 48 h. 15% a 25% de aumento a 28 días	Aumenta notablemente a edades tempranas	Al reducir el agua manteniendo constante el contenido de cemento aumenta notablemente	
Durabilidad	Mejora	Mejora	Puede verse afectada según dosificación y tipo	Mejora	Puede verse afectada según dosificación y tipo	Mejora	
Otras propiedades	Con todas se mejora el módulo de elasticidad y adherencia con varillas de refuerzo						
Para los aditivos minerales, ya se había mencionado la norma ASTM C-618							

Tabla 4. Tipos de aditivos y sus propiedades en el concreto.

Fuente: (ASOCRETO, 2010)

1.2.4.1. ADITIVOS TIPO F O SUPERPLASTIFICANTES

Los aditivos superplastificantes, tipo F o también conocidos por el comité de la ASTM como *Aditivos reductores de agua de alto rango*, son sustancias de origen químico no natural que al ser adicionadas al concreto le proporcionan una gran reducción de agua, que sobrepasa a la reducción obtenida con aditivos reductores de agua normales (Papayianni et al., 2005).

Estos aditivos son químicamente diferentes, normalmente polímeros orgánicos, ya sea a base de policarboxilatos, melanina sulfonatada o condensados de formaldehído de naftalina sulfonatada; o lignosulfonatos modificados (Ma et al., 2020), los cuales, además no contienen cloruros adicionales que generen reacciones oxido-corrosivas en el acero, y por sus propiedades químicas distintas a las de los reductores de agua normales, se pueden dosificar en dosis altas a la mezcla sin causar problemas de retardo de fraguado o exceso de inclusión de aire.

Las aplicaciones más importantes de estos aditivos son: la producción de concretos fluidos con relaciones agua cemento normales de elevado asentamiento (18 cm o más), prácticamente autocompactantes (concretos de alta manejabilidad que requieren un trabajo pequeño para ser consolidados en la formaleta, el cual se da por gravedad sin necesidad de ayudas externas), y de una alta resistencia a la compresión debido a sus relaciones agua cemento más bajas que lo normal (Mardani-Aghabaglou et al., 2013).

2 CAPITULO II: PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO

El concreto comparte dos estados primordiales los cuales tienen sus características propias, el primer estado es cuando se encuentra fresco y el segundo es cuando se encuentra endurecido, sin embargo, aunque diferentes el segundo depende del primero. En estado fresco su propiedad más importante es la “trabajabilidad” y esta define la fluidez de la mezcla, mientras que en estado endurecido las propiedades son la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad entre otras, aunque estas tres son siempre las más estudiadas (Pereira et al., 2012). Se van a definir estas 3 propiedades mencionadas, principalmente por ser las variables dependientes de este estudio.

2.1. RESISTENCIA A LA COMPRESION

En términos generales, la resistencia a la compresión del concreto es su capacidad de soportar cargas axiales. Dicha propiedad se ve afectada en función de la relación agua-cemento de su mezcla, la adecuada disposición de sus agregados, los aditivos y su dosificación (en caso de llevarlos), el tipo de fraguado, y la edad del concreto (CEMEX, 2019). Los factores que inciden en la resistencia a la compresión son la relación agua/cemento, las características de los agregados, el tipo y la dosificación de los aditivos, el fraguado del concreto, la edad del concreto, entre otros. La medida de la resistencia a la compresión se efectúa por medio de ensayos normalizados, los cuales se encuentran con base a las normas NTC 550, NTC 673, ASTM C39 Y ASTM C31. (ASOCRETO, 2010b)

2.2. RESISTENCIA A LA FLEXION

La flexión es la propiedad que es a veces dejada de lado o marcada como sin importancia en el concreto por la razón de que este soporta cargas mínimas de esta al punto de ser un valor despreciable, puesto que consiste en la ejecución de fuerzas axiales en sentido inverso a las de la compresión, por esta razón el concreto pierde casi de inmediato sus capacidades adherentes provocando que ocurran fallas en el concreto que se presentan en forma de fisuras

o roturas. Sin embargo, la flexión cobra un importante valor cuando se habla de concreto reforzado, pues este tipo de mezcla soporta adecuadamente las fuerzas flexionantes (Pereira et al., 2012)

2.3. MODULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad sigue los principios de la ley de Hooke y es la relación que hay entre los esfuerzos y las deformaciones unitarias en la parte lineal del espectro al ser graficado o lo más aproximado a esta. El módulo de elasticidad es entonces la pendiente de la recta tangencial a la primera parte del grafico entre los esfuerzos y las deformaciones unitarias siempre y cuando el material tenga un rango elástico (Villanueva sanchez, 2014).

Conceptualmente el módulo de elasticidad del concreto depende de la resistencia a la compresión de este, es por esto que se puede decir que está en una relación inversa con la relación A/C que tenga la mezcla (Salazar Chavez, 2016).

3. CAPITULO III: USO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES EN EL CONCRETO

Para la realización de esta monografía fue necesario dividir la bibliografía recopilada en dos secciones. El presente capítulo corresponde a la primera, la cual incluye toda la información relacionada al uso de aditivos superplastificantes en el concreto hidráulico y esta a su vez fue subdividida por ámbitos de alcance regional (local, nacional e internacional) para poder comparar el avance global del uso de los aditivos en el concreto con respecto a nuestro entorno más cercano. La segunda parte fue anexada en el CAPITULO IV y corresponde a la selección de las investigaciones que además de usar aditivos superplastificantes en la mezcla de concreto, estudiaron específicamente el agregado grueso de tipo calizo en dicha matriz.

En las últimas dos décadas se han desarrollado muchos estudios a nivel local sobre la resistencia del concreto hidráulico, ya sea al variar el tipo de cemento utilizado, caracterización específica de agregados, adición de materiales que no son típicos en la mezcla, procedencia del agua de mezcla entre otros. Es muy común encontrar este tipo de estudios en nuestro medio puesto que el concreto hidráulico es el material estándar por excelencia en todo tipo de construcciones civiles y siempre se está buscando obtener un mejor rendimiento de este en su aplicación. Pero el tema de los aditivos es un tema prácticamente inexplorado en el entorno local, especialmente del tipo F, a pesar que su uso viene cada vez más en aumento por las bondades que adquiere el concreto al ser utilizados. No se tienen muchos datos de referencia de los aditivos superplastificantes al ser empleados con materiales locales, solo dos investigaciones estudian la incidencia de los aditivos en la resistencia del concreto a nivel local:

(Céspedes & Díaz, 2007) fueron los pioneros del entorno local en la evaluación de los efectos de los aditivos en las propiedades del concreto hidráulico. Su objetivo principal fue determinar el efecto del uso del aditivo ADICEM GR-200 sobre las propiedades de manejabilidad de la mezcla y resistencia del concreto teniendo en cuenta la variación en la proporción de agua y cemento para evaluar la relación costo beneficio en la producción de concretos premezclados. metodológicamente se dividió en dos partes: una recolección de información y otra parte donde se realizan tanto un diseño de mezcla, como ensayos de

laboratorio en base a los dictados por la norma NTC desarrollada por la Icontec. Los diseños de mezcla se realizaron con dosificaciones de 260, 285 y 310 kg de cemento, se tuvo en cuenta como variable la reducción de agua de 20%, 30% y 40% y una dosificación fija de aditivo del 1.1% de ADICEM GR – 200 con respecto al peso del cemento utilizado. La medición de la manejabilidad se hizo de manera indirecta a través del ensayo de asentamiento estipulado por la NTC 396. Para la medición de la resistencia a la compresión se procedió a realizar el ensayo destructivo en cilindros de concreto consignado en la NTC 673. Los resultados fueron comparados con los arrojados por las mezclas patrón, de los cuales se tiene que para la manejabilidad se presentaron resultados favorables donde el porcentaje que mejor comportamiento presenta es el de 30% de ADICEM GR-200, dando una mayor reducción de agua y una manejabilidad optima durante 1.5 horas, cumpliendo con los resultados esperados por los investigadores; por tanto, se concluye que el comportamiento mostrado por las mezclas diseñadas es superior al reflejado por la muestra patrón. Para el análisis del comportamiento de la resistencia a la compresión se tuvo en cuenta solo los diseños con reducción de agua del 30 %, puesto que fueron los únicos que cumplieron con los parámetros establecidos por las especificaciones de calidad. Los resultados obtenidos se encuentran consignados en la siguiente tabla:

Cantidad de cemento (Kg)	Resistencia con aditivo (Kg/cm ²)			Resistencia sin aditivo (Kg/cm ²)		
	3	7	28	3	7	28
260	144	201	296	187	250	340
285	183	223	301	210	246	308
310	212	286	342	229	292	341

Tabla 5. Promedio de resistencia de los diseños en kg/cm² con ADICEM GR-200 con 30% de reducción de agua y sus respectivos diseños patrón.

Fuente: Adaptado de: (Céspedes & Díaz, 2007).

Nótese que los investigadores (Céspedes & Díaz, 2007) encontraron que la única dosificación que a los 28 días presenta una resistencia mayor a la muestra patrón es la de 310 Kg de cemento, pero el diseño más óptimo, teniendo en cuenta su comportamiento de manejabilidad, resistencia a la compresión y economía corresponde a aquel que presentó una

reducción del 30% de agua para una cantidad por m^3 de 285 kg de cemento. Sin embargo, se esperaba que las mezclas que incorporaron el aditivo obtuvieran mejores resultados en la resistencia mecánica, pero cabe recalcar que el estudio no consideró la variación en la dosificación del aditivo, causa probable de la no obtención de los resultados previstos.

Posteriormente (Corrales & De la Ossa, 2013), investigaron la influencia del tipo de cemento usado sobre los efectos de los aditivos en cuanto a la resistencia a la compresión del concreto. Este proyecto de investigación se realizó con el fin de analizar los efectos que tienen los aditivos de tipo acelerante y retardante en las resistencias a la compresión en concretos hidráulicos de 4000 psi elaborados con cemento tipos I y III, utilizando grava de $\frac{1}{2}$ " y arena natural.

Los resultados mostraron que los aditivos tuvieron influencia en el comportamiento de la mezcla y sus propiedades mecánicas finales. En donde el retardante reductor de agua, en cuanto a la resistencia a la compresión del concreto es inversamente proporcional a la relación agua–cemento del mismo. En la mezcla de concreto con cemento Tipo I, sin/con aditivos se presentó una resistencia a la compresión decreciente, quizás debido a una relación A/C que no era adecuada para el diseño de mezcla. En la mezcla de concreto elaborada con cemento Tipo III, con o sin aditivos se presentó una resistencia a la compresión creciente, esto pudo ser debido a que las partículas del cemento Tipo III, retienen mejor el agua al tener mejor superficie de hidratación, lo cual traduce en mayor resistencia a edades tempranas (Corrales & De la Ossa, 2013).

Como era de esperarse los investigadores (Corrales & De la Ossa, 2013) llegaron a la conclusión de que aun cuando el cemento tipo III y el tipo I compartan propiedades físicas similares, su composición química es distinta, sumado a eso la finura que la cual es distinta para cada tipo, y siendo esta mayor en el cemento tipo III, incidió en que se alcanzara una mayor resistencia a edades tempranas.

Como punto importante de estas investigaciones con respecto al desarrollo de la monografía, es destacable la recomendación de usar las dosificaciones estipuladas por el fabricante en los aditivos, puesto que cantidades diferentes producen efectos indeseables en la resistencia del concreto.

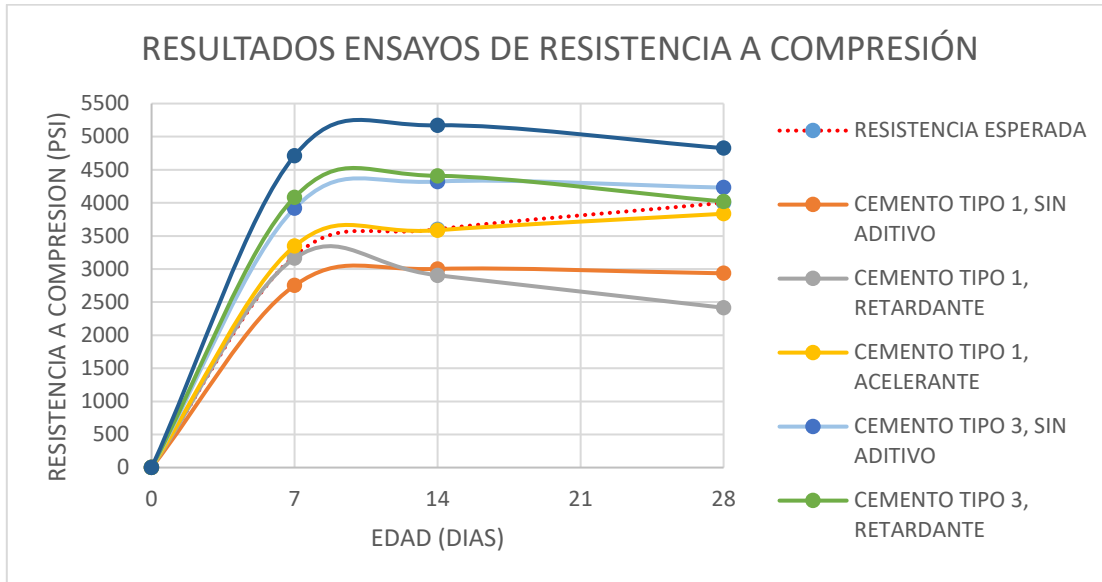


Ilustración 1. Resistencias obtenidas para concreto de 4000 Psi

Fuente: *Adaptado de* (Corrales & De la Ossa, 2013).

A nivel nacional se tomó como referencia el estudio realizado por (Ocampo & Macías, 2015), los cuales determinaron la influencia del aditivo BETTER MIX, el cual es un aditivo tipo F (según ASTM) o Superplastificante como es conocido comúnmente, en 14 Mezclas de concreto de resistencia de 28 MPa en las propiedades del concreto en estado fresco, semi endurecido y endurecido por. El desempeño del aditivo Better Mix se midió con respecto a 3 diferentes cementos Tipo I: Cemex, Argos, Holcim.

Para el desarrollo de la investigación se realizó un diseño de mezcla como muestra patrón siguiendo los lineamientos del método ACI, donde se seleccionó un asentamiento de diseño de 12.7 cm, tamaño máximo nominal de 1", 1.5% de volumen de aire correspondiente para el agregado de 1" y un contenido de agua de 180kg/m³ (para la mezcla patrón se usó un aditivo diferente, plastificante EUCON 37, 1.3% en peso). La parte experimental se ejecutó en 4 bloques, En el primer bloque, se utilizó un solo tipo de cemento (Argos) y tres dosificaciones del aditivo "Better Mix" las cuales fueron: 250 g/m³, 300 g/m³ y 350 g/m³. para cada una se evaluaron propiedades específicas en sus estados: fresco (asentamiento, contenido de aire, masa unitaria, tiempo de fraguado), semi endurecido (contracción plástica, contracción por secado), y endurecido (resistencia a la compresión, sortividad), una vez obtenida la dosis que presento el mejor desempeño en las mezclas con este tipo de cemento

(Argos), se procedió a realizar el segundo, tercero, y cuarto bloque de la investigación, los cuales consistían en repetir las pruebas hechas al cemento Argos en dos marcas de cemento adicionales las cuales eran Cemex y Holcim (Ocampo & Macías, 2015). En el primer bloque, se encontró que el porcentaje óptimo de aditivo correspondía a 350g/m³, el cual arrojó un aumento de 2.54 cm de asentamiento, 0.8% de aire y de 8,29 kg/m³ en masa unitaria, un retraso en el tiempo de fraguado de 1,7 horas con respecto al concreto sin aditivos, sin embargo tales parámetros no fueron decisivos para escoger el porcentaje óptimo puesto que estos presentaron variaciones poco significativas entre sí, sino la contracción plástica que dio un total de 1 fisura,(3 fisuras sin aditivos) y 1.5 mm ancho de fisura(3mm sin aditivos), contracción por secado que fue similar a la patrón (otra dosis aumentaron esta propiedad), resistencia a la compresión de 32.66 MPa (27 Mpa sin aditivo), y nivel de absorción o Sortividad baja respecto a el patrón.

Del trabajo los investigadores (Ocampo & Macías, 2015) concluyeron que la efectividad del aditivo varía con respecto al tipo de cemento, puesto que la composición química de cada cemento puede generar cambios en la interacción del aditivo con la pasta y generando así cierta incertidumbre con respecto a la dosis del aditivo necesaria. De igual manera se comprobó que el tipo de cemento no interfiere con la manejabilidad de la mezcla y por último que la implementación de aditivos de tipo superplastificante en la mezcla, aumenta la resistencia a la compresión del concreto a partir de los 28 días, independientemente del tipo de concreto que se use, pero siendo estos resultados distintos para cada tipo de cemento.

Debido al análisis de este trabajo, surge la necesidad de que las mezclas de concreto a comparar en la presente monografía contengan el mismo tipo de cemento. De igual manera apoya la teoría de que el uso de aditivos superplastificantes en dosificaciones adecuadas incrementa la resistencia mecánica del concreto.

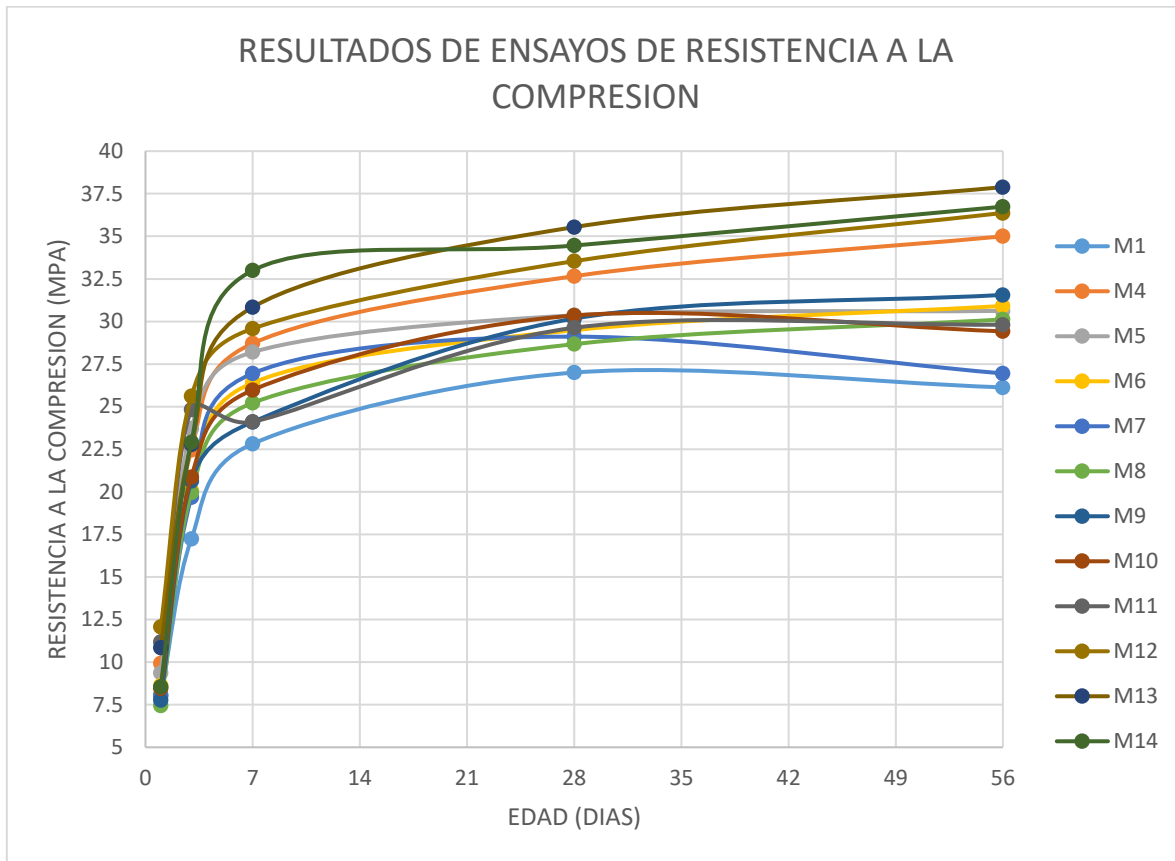


Ilustración 2. Resistencias obtenidas para los cilindros de concreto.

Fuente: Adaptado de (Ocampo & Macías, 2015).

A nivel internacional existen muchas investigaciones que analizaron la influencia de los aditivos superplastificantes en las propiedades del concreto. Es un tema que se ha estudiado a fondo y esto ha contribuido al mejoramiento de la tecnología de los aditivos hoy día. A continuación, se exponen las investigaciones que han tenido más relevancia en el tema, en los últimos 5 años:

(Benaicha et al., 2019) en su trabajo: Dosage effect of superplasticizer on self-compacting concrete: Correlation between rheology and strength, analizaron las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, utilizando aditivo superplastificante en mezclas de concreto con dosificaciones del 0.3% al 1%. De los resultados obtenidos, los investigadores llegaron a la conclusión de que agregar superplastificantes al concreto si aumenta la resistencia a la compresión inicial y final del concreto con respecto a la muestra patrón, pero dosificaciones

excesivas generan el efecto contrario. De igual manera concluyeron que la manejabilidad de la mezcla es directamente proporcional al porcentaje de aditivo superplastificante utilizado. El estudio no es de mayor importancia para la monografía porque no tuvo en cuenta el TMN del agregado ni la procedencia de este, además que la mezcla estaba adicionada con un relleno de material calcáreo, desconociendo su efecto sobre la influencia del aditivo en la mezcla.

Compressive strength on 160 mm diameter x 320 mm high cylindrical specimens.					
Mixtures SCC's	Dosage	Slump (cm)	Compressive strength (Mpa)		
			1 day	7 days	28 days
N	0,0%	25	29.4	33.3	50.8
SCC-SP1	0,3%	64.2	45.2	60.8	73.48
SCC-SP2	0,4%	66.56	40.64	55.48	71.44
SCC-SP3	0,5%	68.76	35.3	46.28	65.2
SCC-SP4	0,6%	73.72	32.24	41.5	59.88
SCC-SP5	0,7%	78.28	29.24	37.84	53.24
SCC-SP6	0,8%	81.18	26.64	33.56	45.24
SCC-SP7	0,9%	83.76	18.88	27.24	38.7
SCC-SP8	1,0%	86.16	15.04	20.76	29.44

Tabla 6. Propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, muestra patron (N) y muestras en adición de las nueve dosificaciones diferentes de superplastificante (SSC-SP).

Fuente: Adaptado de: (Benaicha et al., 2019).

(Fernández, A.; Morales, J.; Soto, 2016) en su investigación titulada: Evaluation of the development of the Compressive Strength of Concrete applying the Admixture superplasticizer PSP NLS, for age older than 28 days, determinaron el efecto del uso en exceso (para una dosificación mayor a la máxima recomendada por el fabricante), del superplastificante PSP NLS en la resistencia final a la compresión del concreto pasados 28 días.

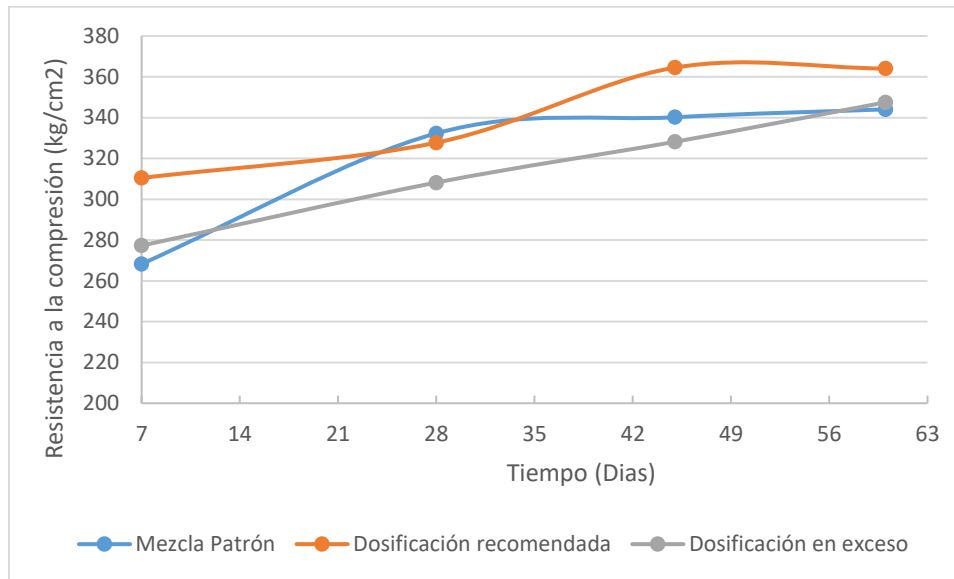


Ilustración 3. Comparación de Resistencias Resultantes entre mezcla patrón de concreto de 250 kgf/cm² versus mezcla de concreto con dosificación máxima recomendada y mezcla con dosificación en exceso.

Fuente: adaptado de: (Fernández, A.; Morales, J.; Soto, 2016).

De acuerdo con los resultados mostrados, se observa que, a los 7 días, la resistencia de la mezcla con dosis máxima de aditivo recomendada, tuvo una resistencia mayor que la mezcla Patrón, pero ambas mezclas a los veintiocho días resultaron con resistencias similares. Para edades mayores a veintiocho días, la resistencia de la mezcla con dosificación de aditivo máximo, fue ligeramente mayor que la de la mezcla patrón. La mezcla con exceso de dosificación tuvo ligeramente mejor resistencia a los 7 días que la mezcla patrón, a edades intermedias presento muchísimo menor rendimiento que la patrón y a los 60 días presentaron iguales valores de resistencia. El estudio recomienda el análisis de todas las dosificaciones dentro del espectro del rango recomendado, porque considera que no necesariamente al usar el valor máximo recomendado se obtendrán mejores resultados en la resistencia a la compresión.

(Machaca Zuñiga, 2019) con su trabajo de grado titulado: Análisis del comportamiento del concreto $f'c=210$ kg/cm² con adición de aditivo superplastificante para modificar las características del diseño, estudiaron la influencia de la dosificación de un aditivo

superplastificante en las propiedades mecánicas de compresión, flexión y tracción. Postularon y comprobaron que usar aditivo superplastificante en la mezcla de concreto, afectaba sus propiedades mecánicas de forma positiva. Con todas las dosificaciones usadas, se obtuvieron mejores resultados en los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y tracción del concreto en comparación con la mezcla patrón, pero los mejores resultados se obtuvieron con la dosificación de 1.4% de aditivo (dosificación máxima utilizada en el estudio) con respecto al peso del cemento.

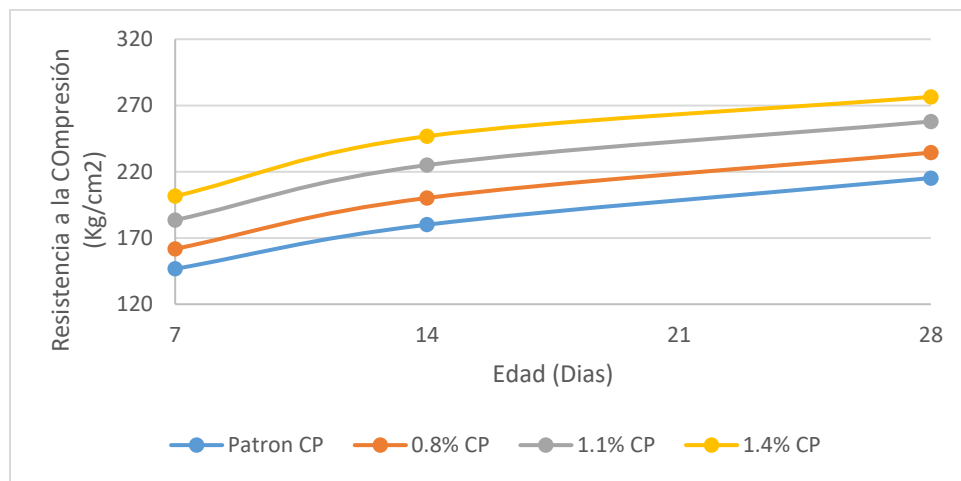


Ilustración 4. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión por dosificación

Fuente: Adaptado de (Machaca Zuñiga, 2019).

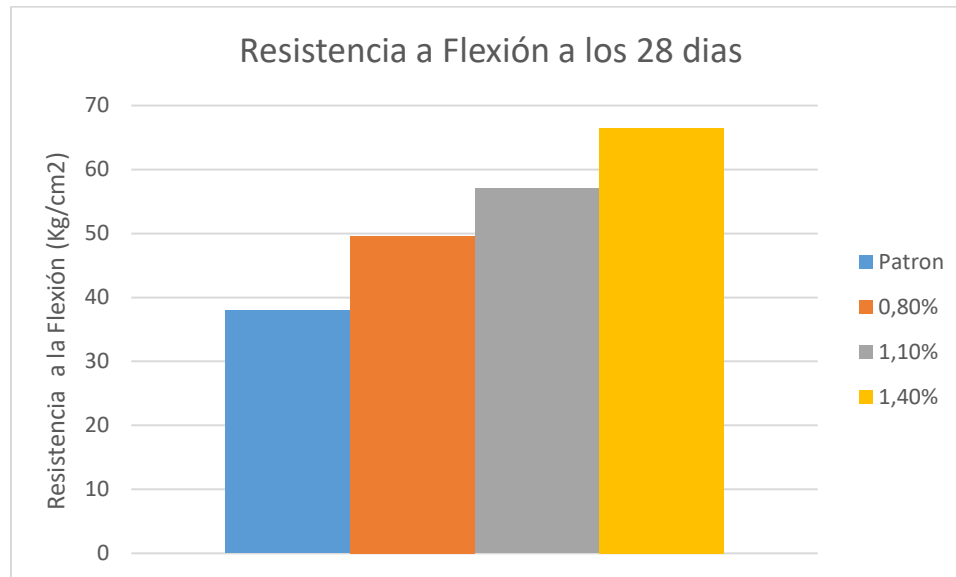


Ilustración 5. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión por dosificación

Fuente: Adaptado de (Machaca Zuñiga, 2019).

Es menester aclarar que el estudio difiere de esta monografía, en el aspecto de incorporar un tipo de agregado grueso diferente al de la investigación, además de usar el mismo TMN para todas las mezclas, sin embargo, los resultados obtenidos en cuanto a la dosificación y al uso del aditivo superplastificante en mezclas de concreto hidráulico son muy contundentes, pues demuestran una clara mejora de las propiedades mecánicas en el concreto causada por la adición de aditivos superplastificantes.

El referente más reciente lo realizaron (Alvarado & Tivanta, 2020), “análisis comparativo de sensibilidad de diferentes aditivos superplastificantes en el hormigón”, los cuales investigaron la incidencia de la composición del aditivo superplastificante sobre las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Se usaron 2 aditivos a base de Naftaleno y 2 más a base de policarboxilatos, cada uno con su dosificación recomendada.

Se concluye que la mezcla con 0.7% del aditivo a base de Nafataleno, presento mejores resultados en el ensayo de resistencia a la compresión, mientras que la mezcla con 0.54% de aditivo a base de policarboxilatos presentó en menor valor en dicho ensayo. Sin embargo, la mezcla con 0.7% de aditivo a base de naftaleno, sorprendentemente no fue la que presentó

mejores resultados en los demás ensayos, a Flexión la mejor resistencia fue obtenida por la mezcla con 0.5% de Naftaleno, el módulo de elasticidad más elevado por la mezcla con 1% de Naftaleno, y la mejor fluidez con la mezcla de 1.4% de Naftaleno. Los investigadores de este estudio (Alvarado & Tivanta, 2020) concluyeron que los aditivos a base de naftaleno presentaron los mejores resultados y que los aditivos a base de policarboxilatos afectaron de forma negativa las propiedades del concreto endurecido .

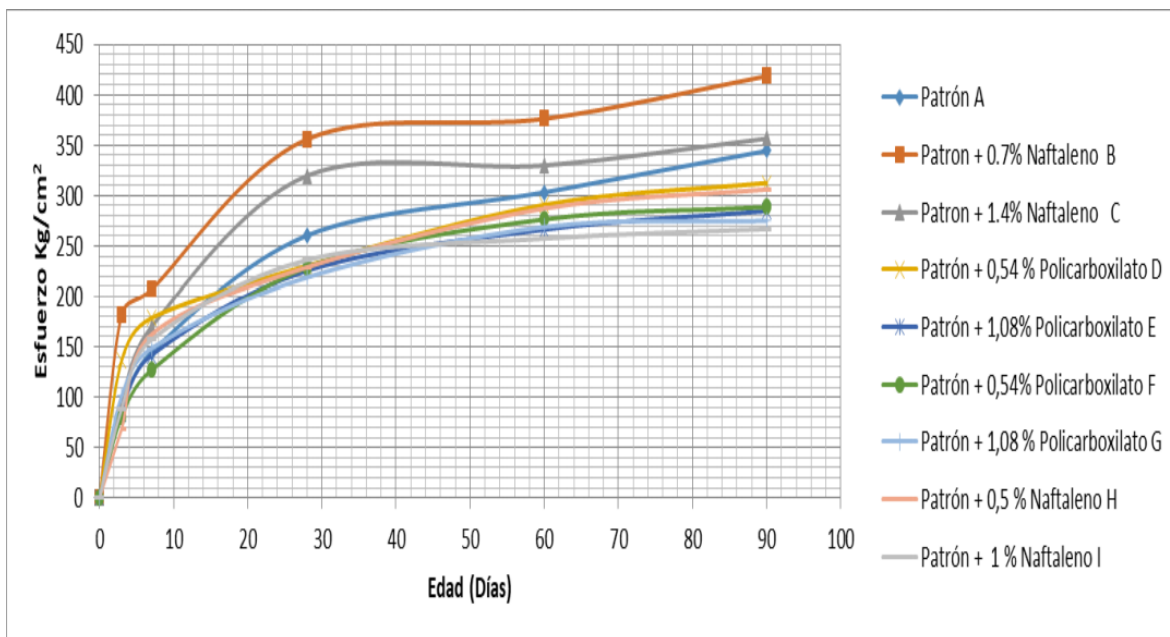


Ilustración 6. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión por mezcla
Fuente: (Alvarado & Tivanta, 2020).

4. CAPITULO IV: USO DE ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES EN MATRICES DE CONCRETO CON AGREGADO GRUESO CALIZO.

Como se anticipó en el prólogo al anterior capítulo, en esta sección se analizan las investigaciones cuya metodología incluyó el estudio de mezclas de concreto hidráulico con incorporación de aditivo superplastificante y al mismo tiempo agregado pétreo de tipo calizo. Este capítulo pretende encontrar la relación entre estas dos variables mencionadas y su influencia en las propiedades mecánicas del concreto.

A pesar de que el uso de aditivos superplastificantes en el concreto ha sido muy estudiado a nivel global, la interacción de este aditivo con los materiales típicos de cada zona y cómo afecta esto sus propiedades mecánicas, finales es un tema que aún necesita avances. El agregado utilizado en una mezcla de concreto depende de la disponibilidad de la zona, puesto que al ocupar hasta un 80% por ciento del volumen total de la mezcla, es necesario en grandes cantidades que se traducen en toneladas y toneladas de peso, cuyo transporte no sería rentable en caso de estar muy alejada la fuente de donde se extrajo el material a utilizar. A nivel local, por encontrarnos en una zona cálida y costera, el agregado más abundante es aquel de tipo calcáreo, el cual tiene propiedades físico mecánicas especiales, cómo lo son su alta tasa de porosidad, su bajo peso específico en comparación con otros tipos de roca y su alta absorción de agua, esta última propiedad siendo la más importante por motivo de que los concretos que utilizan superplastificante tienen diseños cuya relación A/C es baja, es por esto que es necesario el estudiar como interaccionan las calizas con los aditivos superplastificantes.

(Folino et al., 2007) en su estudio “Uso de redes neuronales y ANFIS para predecir la resistencia uniaxial a compresión de hormigones de alta resistencia”, afirman que el tipo de agregado grueso tiene influencia sobre el valor final de resistencia a la compresión uniaxial, especialmente en el caso de los hormigones de alta resistencia. Analizando los agregados utilizados en su investigación comprobaron que el basalto triturado (Crushed Basalt), que es el agregado con las mayores resistencias mecánicas, permite la obtención de las mayores resistencias en el concreto de alta resistencia, seguido del granito triturado (Crushed Granite). El tercero, piedra caliza, si bien es de menor resistencia mecánica, posee mejores propiedades

de adherencia a la pasta de cemento, lo cual permite alcanzar resistencias mecánicas al concreto similares a las del granito triturado. La grava (agregado silíceo) figura en último lugar, debido a que produce el hormigón de alta resistencia de menor resistencia (Folino et al., 2007).

La alta porosidad de la roca caliza fue estudiada por (Solís et al., 2012) en “Resistencia del concreto con agregado de alta absorción y baja relación A/C”, donde a partir de pruebas de resistencia a la compresión y variaciones de la relación A/C, se demostró que la porosidad y alta tasa de adsorción no influye de manera negativa en la resistencia final del concreto, apoyado por (Tasong et al., 1999) el cual concluye que a edades tempranas, la hidratación del cemento produce una gran porosidad que produce una fuerza de adherencia débil; pero a su vez a mayor edad se ha observado que esta porosidad suelen llenarse con productos de hidratación posteriores, incrementándose la fuerza de adherencia. Por otra parte, resultados preliminares apuntan a que este tipo de agregado (Terán, 2012) debido a su alta porosidad absorbe una cantidad de agua durante el mezclado que es liberada cuando el concreto pierde humedad como resultado de su exposición al medio ambiente. Esta liberación de agua permitiría la continuación del proceso de hidratación dando lugar a un curado de tipo interno (López et al., 2005).

Adicionalmente en el estudio de (Solís et al., 2012) se observó que el agregado de menor tamaño produjo la mayor resistencia; obteniendo mejores resultados al ensayo de resistencia a la compresión con agregados de TMN de 9.5 mm.

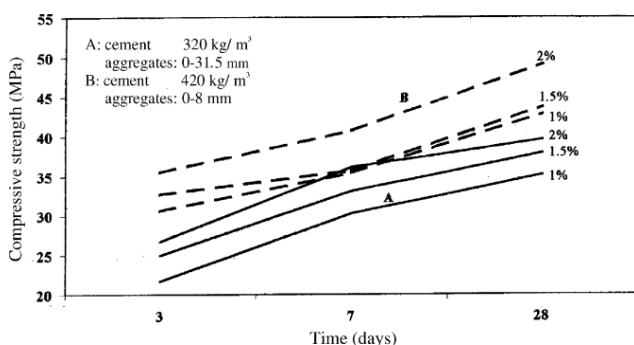


Fig. 1. Increase of compressive strength with S1 and natural (river) aggregates.

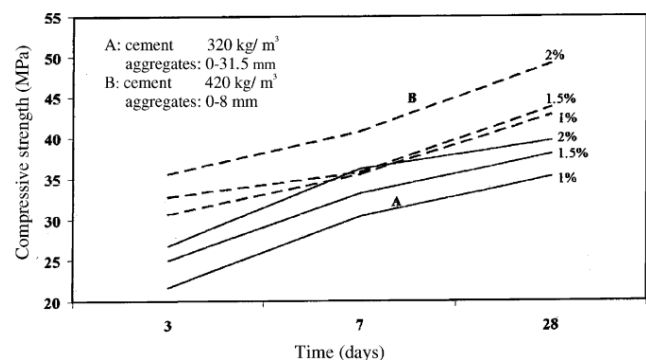


Fig. 2. Increase of compressive strength with S1 and crushed limestone aggregates.

Ilustración 7. Comparación de los resultados del ensayo a la compresión usando agregados distintos.

Fuente: (Solís et al., 2012).

(Papayianni et al., 2005) por su parte, en su investigación “Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures”, estudiaron la influencia de la composición química del aditivo superplastificante y la procedencia del agregado en la resistencia a la compresión del hormigón endurecido y el asentamiento de la mezcla. El análisis se hizo con 3 diferentes tipos de aditivos superplastificantes: uno basado en polímeros de alto pH y alcalinidad, otro compuesto por naftaleno y el último compuesto por policarboxilatos, usando dosificaciones de 1%, 1.5% y 2%, los cuales sugiere el estudio que es el rango de dosificación óptimo de la mayoría de los superplastificantes de última generación. Los agregados incluidos en el estudio fueron uno de composición caliza y otro sedimentario de río (posiblemente silíceo), para ambos agregados se usaron TMN de 8 y 31.5 mm.

Los resultados apuntaron que el superplastificante a base de policarboxilatos tiene mejor rendimiento que los demás, logrando una disminución de la relación A/C hasta un 40%. En cuanto a la dosificación, con un 2% de superplastificante en peso del cemento, se obtuvo una resistencia a la compresión de 58 Mpa con TMN de 8mm (50% mejor que la mezcla patrón). Y en cuanto al tipo de agregado, el rendimiento de todos los superplastificantes fue superior usando agregado de tipo calizo, presentando mejores valores de resistencia a la compresión.

Para cumplir con el objetivo de este trabajo, se hace necesaria la comparación de los resultados entre la bibliografía recopilada, por tal razón aquellos estudios relevantes que basaron su investigación en analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto, al incorporar aditivo superplastificante en la matriz de concreto hidráulico y se usó agregado grueso de tipo calizo, se exponen en la **Tabla 7**.

Autor	VARIABLES						F'C (MPA)			Resistencia a la flexión (MPA)				E (GPA)		
	ADITIVO	Dosificación recomendada	Dosificación con mejores resultados	A/C	TMN	TMN (mm)	Patrón 28 Días	7 días	14 días	28 días	Patrón 28 días	7 días	14 días	28 días	Patrón 28 días	28 días
(González-Ortega et al., 2019)	VISCOCRETE 5940	0,5 - 1,5%	0,83%	0,25 %	2/5"	10				60,7						40,9
(Mardani-Aghabaglou et al., 2013)	POLICARBOXILATOS	0,2%- 1,8%	1,20%	0,40 %	5/16"	8			52	58						42,3
(Mardani-Aghabaglou et al., 2013)	POLICARBOXILATOS	0,2%- 1,8%	1,30%	0,40 %	5/16"	8			51	58						40,4
(Papayianni et al., 2005)	POLICARBOXILATOS	0-1-1,5- 2%	2%	0,47 %	5/16"	8	38,67	45	49	58						
(Mardani-Aghabaglou et al., 2013)	POLICARBOXILATOS	0,2%- 1,8%	1,40%	0,40 %	5/16"	8			50	55						41,1
(Romero et al., 2017)	POLICARBOXILATOS	0,2 - 1,6 %	0,60%	0,41 %	3/4	19		43	47	51						
(Mardani-Aghabaglou et al., 2013)	POLICARBOXILATOS	0,2%- 1,8%	1,60%	0,40 %	5/16"	8			43,5	46						36,7
(Elemam et al., 2020)	POLICARBOXILATOS	0,2%- 1,8%	1,80%	0,49 %	1/2"	12,5				44,3						
(Gadri & Guettala, 2017)	MEDAFLOW 145	0,3 - 2%	1%	0,4%	3/8"	9,5				40				8,2		33
(Dopico et al., 2008)	MAPEFLUID N-200	0,6 - 1,8 %	1,20%	0,40 %	3/8"	9,5		27		40						
(Zeyad & Almalki, 2020)	VISCOCRETE 1050 HE	0,2 - 2 %	1,50%	0,57 %	1/2"	12,5		25,5	28,2	36,1		3,3	4,02	4,65		
(BUSTAMANTE TIRADO, 2018)	GLENIUM C 313	0,5 a 2.0%	1%	0,48 %	1/2"	12,5	30,37	27,6	30,9	35,7	3,42	2,96	3,28	3,79	25	28,04

Tabla 7. Propiedades mecánicas de concretos con agregados calizos.

Fuente: Autores.

Cabe aclarar que en su mayoría los estudios expuestos en la **Tabla 7.**, analizan variables extras como varios tipos de cemento, incluyen adiciones a la mezcla, algunas no presentan información sobre variables analizadas en este estudio, como el tipo de agregado grueso utilizado o simplemente no muestran las propiedades de la muestra patrón, haciendo imposible una tipificación y/o comparación entre estos trabajos. Sin embargo, se encontraron dos estudios perfectamente comparables y encaminados a el mismo objetivo de esta investigación y los cuales son expuestos a continuación.

El primer estudio (Papayianni et al., 2005) del que se encontró registro es de carácter internacional y se realizó con el fin de establecer la influencia de los aditivos superplastificantes, según su base poli-electrolítica de origen natural, en las propiedades del concreto en estado endurecido de sesenta y cuatro mezclas de concreto de resistencia de 38 MPa. El desempeño de los aditivos se midió respecto a dos tipos de agregados, de origen lacustre y calizo, y utilizando cemento portland tipo 1.

Para el desarrollo de la investigación se realizaron dieciséis diseños de mezcla como muestra patrón (ocho para la roca lacustre y ocho para la roca caliza), donde se seleccionaron tamaños máximos nominales de 1 $\frac{1}{4}$ ” hasta 5/16”, se usaron dos porcentajes de cemento y relaciones A/C de 0,316 a 0,847. La parte experimental se ejecutó siguiendo el siguiente orden, se utilizaron tres tipos de superplastificantes (S1, S2, S3), cuyas dosificaciones fueron de 1%, 1,5% y 2% del peso del cemento respectivamente para todos los TMN y agregados disponibles, obteniendo con esto cuarenta y ocho mezclas para hacer un total junto al patrón de sesenta y cuatro mezclas. Para cada una de las mezclas se evaluaron sus propiedades en estado endurecido (resistencia a la compresión), para esto se utilizaron cilindros de 15x30 cm. Una vez ensayadas todas las mezclas se encontró que la dosificación de 2% del peso del cemento del superplastificante S3 con el agregado calizo de 5/16” (8 mm) de TMN, superplastificante el cual es a base policarboxilato, fue quien arrojó la mayor resistencia a la compresión, la cual fue de 58 Mpa dando con esto un 50% aproximadamente de aumento en la resistencia a la compresión con respecto a su muestra patrón.



El segundo estudio (BUSTAMANTE TIRADO, 2018) tomó lugar trece años después del primero, se realizó con el objetivo de averiguar la influencia del aditivo superplastificante Glenium C313, superplastificante tipo F a base de policarboxilato, en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido de cinco mezclas de concreto de resistencia de 30 MPa. El desempeño de los aditivos se midió respecto a un agregado de tipo calizo, y utilizando cemento tipo 1.

Para el desarrollo de la investigación se realizó un diseño de mezcla como muestra patrón, donde se seleccionó un tamaño máximo nominal de 1/2" (12,5 mm), y relaciones A/C de 0,48. Una vez definidas las mezclas la parte experimental se ejecutó de la siguiente manera, se utilizaron cuatro dosificaciones de 0,5%, 1%, 1,5% y 2% del peso del cemento, obteniendo con esto cuatro mezclas para hacer un total junto a la patrón de cinco mezclas. Para cada una de las mezclas se evaluaron sus propiedades en estado fresco y endurecido (asentamiento, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad), para esto se siguieron la norma NTP 339.034 - Revisada el 2013 – ASTM C 39 para los ensayos a la compresión, la norma ASTM C293 para los ensayos de flexión y la gráfica de esfuerzo vs deformación para los ensayos de módulo de elasticidad. Una vez ensayadas todas las mezclas se encontró que la dosificación de 1% del peso del cemento del superplastificante, fue quien arrojó la mayor resistencia a la compresión, la cual fue de 35,7 Mpa dando con esto un 17,5% aproximadamente de aumento en la resistencia a la compresión con respecto a su muestra patrón, la resistencia a la flexión que se encontró fue de 3,79 Mpa, por lo tanto, obtuvo un aumento del 10,8% respecto a su muestra patrón y, por último, el módulo de elasticidad tuvo un valor de 28,04 Gpa lo que significa que aumentó en un 12% aproximadamente respecto a la muestra patrón.

Las variaciones de la resistencia a la flexión a los siete, catorce y veintiocho días cuando se usa el superplastificante Glenium C313 se muestran en la **Tabla 7**.

Si se compararan en una gráfica las resistencias a la compresión obtenida para los tamaños máximos nominales expuestos anteriormente, el comportamiento de las propiedades se ve en la **Ilustración 8**.

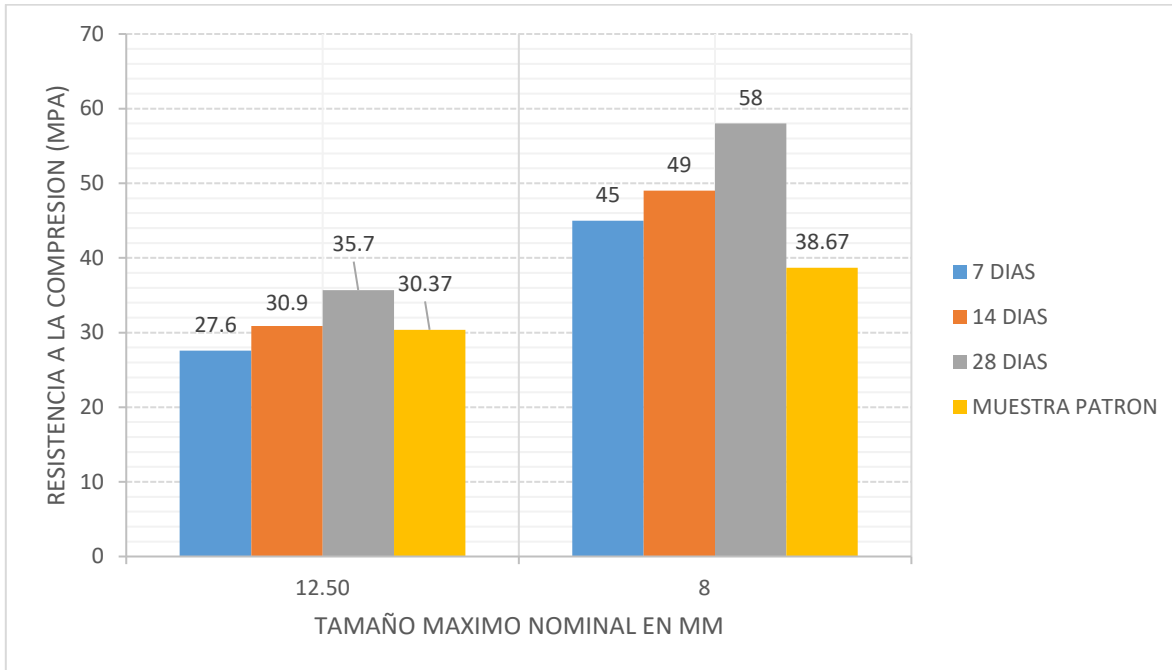


Ilustración 8. Variación de la resistencia a la compresión para cada tamaño máximo nominal.

Fuente: Adaptado de (BUSTAMANTE TIRADO, 2018; Papayianni et al., 2005).

Aunque los tamaños máximos nominales estudiados por las dos investigaciones son los dos extremos de los TMN recomendados para su uso en concretos con aditivos superplastificantes, el número de estudios no es significativo para asegurar que estos valores encontrados son la norma o la excepción, además de tener datos insuficientes para comparar la variación de la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad según el tamaño máximo nominal utilizado.

Es necesario seguir investigando a nivel local, nacional e internacional como responden las propiedades mecánicas a calizas de variado TMN.

CONCLUSIONES

Basándose en el análisis de los resultados obtenidos en la bibliografía recopilada, se puede concluir que:

El TMN tiene incidencia directa en las propiedades mecánicas del concreto, los estudios mostraron que se obtienen mejores resultados cuando el agregado se encuentra entre 5/16" y 1/2", es decir, cuando se usan los TMN de agregado más pequeños, y este comportamiento fue más notable cuando se usó aditivo superplastificante en la mezcla.

Varios autores coincidieron en que el tipo de agregado grueso también afecta las propiedades mecánicas del concreto, puesto que el agregado grueso representa hasta el 80% del material de la matriz de concreto hidráulico y sus propiedades sin duda se reflejan en el concreto endurecido. Ahora bien, analizando el comportamiento específico del agregado grueso de composición caliza encontramos que esta, a pesar de no contar naturalmente con las mejores propiedades mecánicas entre los minerales, obtiene buenos resultados en los ensayos de resistencia cuando es usada en el concreto hidráulico, siendo comparable con otros tipos de roca que presentan mejor resistencia mecánica como el basalto y el granito, esto debido a la muy buena adherencia que produce la roca caliza con la pasta de cemento.

Por otra parte, se evidenció que otras propiedades de la roca caliza como la porosidad y la alta tasa de adsorción del agregado calizo no influyen de manera negativa en la resistencia final del concreto. Esto gracias a que el agua que es adsorbida en la fase de mezclado se libera posteriormente, generando una rehidratación del concreto y dando lugar a un tipo de curado interno.

La conclusión más contundente de esta monografía, debido al número de investigaciones que llegaron al mismo resultado, es que agregar dosificaciones de aditivo superplastificante en el rango de dosificación recomendada por la ficha técnica del fabricante a la matriz del concreto mejora las propiedades mecánicas de este. Excederse en las dosificaciones del aditivo superplastificante, genera una caída de la resistencia mecánica del concreto. Ahora bien, la determinación de la dosificación del aditivo superplastificante que proporciona mejores propiedades mecánicas al concreto endurecido es algo muy relativo, puesto que por un lado



en estudios se obtuvieron mejoras en el rendimiento de hasta el 50% en la resistencia mecánica (con respecto a la mezcla patrón) usando la dosificación máxima recomendada, en otros estudios usando la misma dosificación máxima recomendada se obtuvieron resultados muy similares a los de la muestra patrón. La optimización de la dosificación depende de varios factores como la relación A/C, el TMN del agregado, el tipo de agregado, el tipo de cemento usado, las adiciones realizadas, entre otros. Por lo cual la única manera de determinar la dosificación óptima de cualquier aditivo por mezcla, es haciendo ensayos con un respectivo control de variables, puesto que es muy difícil encontrar investigaciones de este tipo que coincidan exactamente en el mismo análisis de variables.

Los datos recopilados demostraron que las propiedades mecánicas del concreto son mejoradas en mezclas que usen agregados de tipo calizo e incorporen aditivo superplastificante en simultaneo, siendo esto algo de suma importancia puesto que a nivel local y en zonas costeras, este tipo de agregado es el predominante y era necesario saber si las propiedades mecánicas se veían influenciadas de manera positiva o negativa por el uso de superplastificantes. Muy a pesar de que varios autores concluyen que la flexión y el módulo de elasticidad tienen una relación directamente proporcional con el F^c del concreto, se hace necesario una mayor profundización en el estudio de estas dos propiedades mecánicas, puesto que la mayoría de investigaciones solo ejecutaron ensayos de resistencia a la compresión.



RECOMENDACIONES

Se recomienda para futuras investigaciones, el análisis en conjunto de mezclas de concreto hidráulico con agregados gruesos de composición mineral diferentes, con respecto a la variación del TMN y la dosificación de un mismo aditivo superplastificante, con el fin de comparar el comportamiento de las propiedades en estado endurecido y en estado fresco de las mezclas de concreto con estos agregados y determinar si el aporte en resistencia del TMN se ve afectado por el tipo de agregado.

De igual manera se recomienda bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente, comparar la influencia de dosificaciones iguales de aditivos entre las mezclas con respecto a la resistencia final obtenida entre las mismas con los diferentes tipos de agregados.

Se debe estudiar el efecto de la reducción del agua con el uso de superplastificantes en las matrices de concreto hidráulico, evaluando cual es el punto máximo de reducción donde se obtienen los mejores resultados en resistencia mecánica y comparar este punto para cada tipo de agregado y TMN.

Por último, se recomienda que para investigaciones cuyo objetivo sea evaluar la resistencia mecánica del concreto, se realicen además de ensayos a la compresión, los de flexión, tracción, módulo de elasticidad y hasta pruebas petrográficas de ser posible, con el fin de tener un criterio más amplio a la hora de concluir. La necesidad de esta recomendación surge al encontrar que en la mayoría de las investigaciones recopiladas se basaban únicamente en el ensayo de compresión para su estudio.

REFERENCIAS

- Akçaoğlu, T., Tokyay, M., & Çelik, T. (2004). Effect of coarse aggregate size and matrix quality on ITZ and failure behavior of concrete under uniaxial compression. *Cement and Concrete Composites*, 26(6), 633–638. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(03\)00092-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00092-1)
- Alexandra, J., León, T., Andres, S., & Morales, R. (2018). *CONCRETO NO CONVENCIONAL ADICIONANDO CAUCHO RECICLADO*. UNIVERSIDAD DE IBAGUE.
- Alvarado, I. A., & Tivanta, K. J. (2020). *Análisis comparativo de sensibilidad de diferentes aditivos superplastificantes en el hormigón*. UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD.
- Arzapalo Leon, C. R. (2018). *Las partículas de nanosilice y su influencia en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante en la ciudad de Huancayo*. Universidad Continental.
- ASOCRETO. (2010a). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO- Tomo 1, Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas* (Vol. 25, Issue 36). www.asocreto.org.co
- ASOCRETO. (2010b). *Tecnología del Concreto. Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas* (Vol. 25, Issue 36).
- Benaicha, M., Hafidi Alaoui, A., Jalbaud, O., & Burtschell, Y. (2019). Dosage effect of superplasticizer on self-compacting concrete: Correlation between rheology and strength. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(2), 2063–2069. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.01.015>
- Benavides, R. (2014). *Concreto de alto desempeño* (Issue c) [Escuela Colombiana de ingeniería]. <https://doi.org/10.16526/j.cnki.11-4762/tp.2014.11.051>
- BUSTAMANTE TIRADO, M. (2018). *Análisis De Las Propiedades Mecánicas Del Concreto Autocompactante, Usando El Aditivo Superplastificante Glenium C 313. 1*. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=ventajas+del+concreto+autocompactante&oq=ventajas+del+concreto+aut#d=gs_qabs&u=%23p%3DzfNoCarnrzEJ
- Carlos, A., Masumi, I., Hiroaki, M., Maki, M., & Takahisa, O. (2010). The effects of limestone aggregate on concrete properties. *Construction and Building Materials*, 24(12), 2363–2368. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.05.008>
- CEMEX. (2019). Fábricas Puentes. *NTC 550 (ASTM C31)*, 2.
- Céspedes, C., & Díaz, M. (2007). *Evaluación del efecto de Adicem GR-200 sobre las propiedades de manejabilidad de la mezcla y resistencia del concreto*. Universidad de Cartagena.
- Corrales, H., & De la Ossa, K. (2013). *Estudio Comparativo De La Resistencia a La*

Compresión De Los Concretos Elaborados Con Cementos Tipo I Y Tipo Iii , Modificados Con Aditivos Acelerantes Y Retardantes . Concretos Elaborados Con Cementos Tipo I Y Tipo Iii , Modificados Con. Universidad de Cartagena.

De la Cruz Damián, W. E. (2018). *Análisis Comparativo de Concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$, Aplicando Aditivo Superplastificante Y Reductor De Agua En Pavimento Rígido, Calle Tumbes Sur, Cercado De Chiclayo, Lambayeque 2016.* Universidad Cesar Vallejo.

Díaza, O. R., Vitervo, A., Hernández, B., Rubén, A., & Gutiérrez, R. (2010). Las Tecnologías Del Concreto En Su Ciclo De Vida. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 1(2), 42–47.

Dopico, J. J., Hernandez, F. M., Day, R. L., Middendorf, B., Gehrke, M., & Martinez, L. (2008). Desarrollo de hormigones con aglomerante cal-puzolana fina como material cementicio suplementario. *Revista Ingenieria de Construccion*, 23(3), 171–178. <https://doi.org/10.4067/s0718-50732008000300005>

Elemam, W. E., Abdelraheem, A. H., Mahdy, M. G., & Tahwia, A. M. (2020). Optimizing fresh properties and compressive strength of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 249, 118781. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118781>

Fernández, A.; Morales, J.; Soto, F. (2016). Evaluación del comportamiento de la resistencia a compresión del concreto con la aplicación del aditivo superplastificante PSP NLS, para edades mayores que 28 días. *Revista INGENIERÍA UC*, 23(2), 197–203.

Folino, P., Will, A., Flores, F., Diaz, W., & Etse, G. (2007). Uso de redes neuronales y ANFIS para predecir la resistencia uniaxial a compresión de hormigones de alta resistencia. *Mecanica Computacional*, March, 15.

Gadri, K., & Guettala, A. (2017). Evaluation of bond strength between sand concrete as new repair material and ordinary concrete substrate (The surface roughness effect). *Construction and Building Materials*, 157, 1133–1144. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.183>

González-Ortega, M. A., Cavalero, S. H. P., Rodríguez de Sensale, G., & Aguado, A. (2019). Durability of concrete with electric arc furnace slag aggregate. *Construction and Building Materials*, 217, 543–556. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.082>

Guzmán, D. S. De. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (5th ed.).

Hernandez, J. (2010). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO TOMO 1 Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas* ((3th ed.)). Asocreto.

IBI - Instituto Brasileiro de Impermeabilização. (2010). Aditivos para Concreto - Manual de utilização de aditivos para concreto dosado em central. *Sika*, 1–28.

Jackson, M. D., Mulcahy, S. R., Chen, H., Li, Y., Li, Q., Cappelletti, P., & Wenk, H. R. (2017). Phillipsite and Al-tobermorite mineral cements produced through low-temperature water-rock reactions in Roman marine concrete. *American Mineralogist*. <https://doi.org/10.2138/am-2017-5993CCBY>



- Jebli, M., Jamin, F., Malachanne, E., Garcia-Diaz, E., & El Youssoufi, M. S. (2018). Experimental characterization of mechanical properties of the cement-aggregate interface in concrete. *Construction and Building Materials*, 161, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.100>
- Li, P. P., Brouwers, H. J. H., Chen, W., & Yu, Q. (2020). Optimization and characterization of high-volume limestone powder in sustainable ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118112>
- López, M., Kahn, L. F., & Kurtis, K. E. (2005). Curado interno en hormigones de alto desempeño - un nuevo paradigma Internal curing in high performance concretes - a new paradigm. *Ingeniería de Construcción*.
- Ma, B., Qi, H., Tan, H., Su, Y., Li, X., Liu, X., Li, C., & Zhang, T. (2020). Effect of aliphatic-based superplasticizer on rheological performance of cement paste plasticized by polycarboxylate superplasticizer. *Construction and Building Materials*, 233, 117181. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117181>
- Machaca Zuñiga, L. A. (2019). *Análisis del comportamiento del concreto $f'c=210$ kg/cm² con adición de aditivo superplastificante para modificar las características del diseño*, Lima - 2019 [Universidad Cesar Vallejo]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M., Yilmaz, G., Ariöz, Ö., & Ramyar, K. (2013). Effect of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 1020–1025. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.105>
- Matsuzawa, K., Shimazaki, D., Kawakami, H., & Sakai, E. (2019). Effect of non-adsorbed superplasticizer molecules on fluidity of cement paste at low water-powder ratio. *Cement and Concrete Composites*, 97(January), 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.12.025>
- Mayta, J. (2014). *Influencia del aditivo superplastificante en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y resistencia mecánica del concreto, en la ciudad de Huancayo*. Universidad nacional del centro del Perú.
- Ocampo, L., & Macías, F. (2015). *Estudio a nivel de Colombia de la influencia del aditivo better mix en estado fresco, semi endurecido y endurecido del concreto estructural*. Universidad de la Salle.
- Papayianni, I., Tsohos, G., Oikonomou, N., & Mavria, P. (2005). Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 217–222. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.010>
- Pereira, P., Evangelista, L., & De Brito, J. (2012). The effect of superplasticizers on the mechanical performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 34(9), 1044–1052.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.06.009>

- Pradhan, S., Tiwari, B. R., Kumar, S., & Barai, S. V. (2019). Comparative LCA of recycled and natural aggregate concrete using Particle Packing Method and conventional method of design mix. *Journal of Cleaner Production*, 228, 679–691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.328>
- Ramesh, B., Gokulnath, V., & Ranjith Kumar, M. (2020). Detailed study on flexural strength of polypropylene fiber reinforced self-compacting concrete. *Materials Today: Proceedings*, 22, 1054–1058. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.292>
- Ravitheja, A., Pavan Kumar, G., & Madhu Anjaneyulu, C. (2020). Impact on cementitious materials on high strength concrete—A review. *Materials Today: Proceedings*, xxx, 2–4. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.659>
- Reina, J., Sanchez, M., & Solano, E. (2010). *Influencia De La Tasa De Aditivo Superplastificante, En Las Propiedades Del Concreto De Alta Resistencia En Estado Fresco Y Endurecido*. Universidad de el Salvador.
- Rodriguez Mendez, B. J. (2019). *INFLUENCIA DE LOS SUPERPLASTIFICANTES TIPO F SOBRE SUS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE*. Universidad privada del Norte.
- Romero, N., Dupuy, C., & Quiñones, J. (2017). Revista ALCONPAT. *Alconpat*, 7(Maio-Agosto), 186–199.
- Sadowski, T., & Golewski, G. L. (2018). A failure analysis of concrete composites incorporating fly ash during torsional loading. *Composite Structures*, 183(1), 527–535. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.05.073>
- Salazar Chavez, A. R. (2016). *OBTENCIÓN DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA MEDIANTE EL USO DE SUPERPLASTIFICANTES EN LA MEZCLA, PARA SU APLICACIÓN EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES HASTA ALCANZAR UNA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 50 Mpa* [Universidad Nacional de Chimborazo]. <https://doi.org/10.5151/cidi2017-060>
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. EDITORIAL.
- Sanchez, L. (2014). *Efectos del aditivo superplastificantes sika viscocrete en la resitencia mecanica del concreto autocompactante*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- SIKA Colombia. (2010). Concreto: Aditivos para concreto. *Construyendo Confianza Sika*, 28. http://www.ingenieria.unam.mx/~luisr/licenciatura_ic/1444_pcee/1444_material/aditivospresen.pdf
- Solís, R. G., Moreno, E., & Arjona, E. (2012). Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. *Revista ALCONPAT*, 2(1), 21–28. <https://doi.org/10.21041/ra.v2i1.23>
- Tasong, W. A., Lynsdale, C. J., & Cripps, J. C. (1999). Aggregate-cement paste interface:

- Part I. Influence of aggregate geochemistry. *Cement and Concrete Research*.
[https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(99\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00086-1)
- Terán, L. (2012). Influencia de la absorción de los agregados calizos y de la humedad ambiental en el curado del concreto en clima cálido sub-húmedo. In *Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería*.
- Tugrul Tunc, E., & Alyamac, K. E. (2020). Determination of the relationship between the Los Angeles abrasion values of aggregates and concrete strength using the Response Surface Methodology. *Construction and Building Materials*, 260, 119850. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119850>
- Villanueva sanchez, G. A. (2014). INFLUENCIA DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE REDUCTOR DE AGUA EN LAS CARACTERISTICAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA. In *Universidad Nacional de Cajamarca*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Wang, F. (2013). The Birth and Use of Concrete and Reinforced Concrete. *Advanced Materials Research*. *Advanced Materials Research*, 712–715, 955–960. <https://doi.org/https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.712-715.955>
- Wang, S., Zhang, G., Wang, B., & Wu, M. (2020). Mechanical strengths and durability properties of pervious concretes with blended steel slag and natural aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122590. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122590>
- Wang, X., Dong, S., Ashour, A., Zhang, W., & Han, B. (2020). Effect and mechanisms of nanomaterials on interface between aggregates and cement mortars. *Construction and Building Materials*, 240, 117942. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117942>
- Wu, F., Xu, L., Chi, Y., Zeng, Y., Deng, F., & Chen, Q. (2020). Compressive and flexural properties of ultra-high performance fiber-reinforced cementitious composite: The effect of coarse aggregate. *Composite Structures*, 236(December 2019). <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111810>
- Wu, Y. F., Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Zhou, Y., & Xing, F. (2020). Effect of compression casting method on the compressive strength, elastic modulus and microstructure of rubber concrete. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121746. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121746>
- Yaphary, Y. L., Lam, R. H. W., & Lau, D. (2020). Reduction in cement content of normal strength concrete with used engine oil (UEO) as chemical admixture. *Construction and Building Materials*, 261, 119967. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119967>
- Zeyad, A. M., & Almalki, A. (2020). Influence of mixing time and superplasticizer dosage on self-consolidating concrete properties. *Integrative Medicine Research*, x x. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.013>