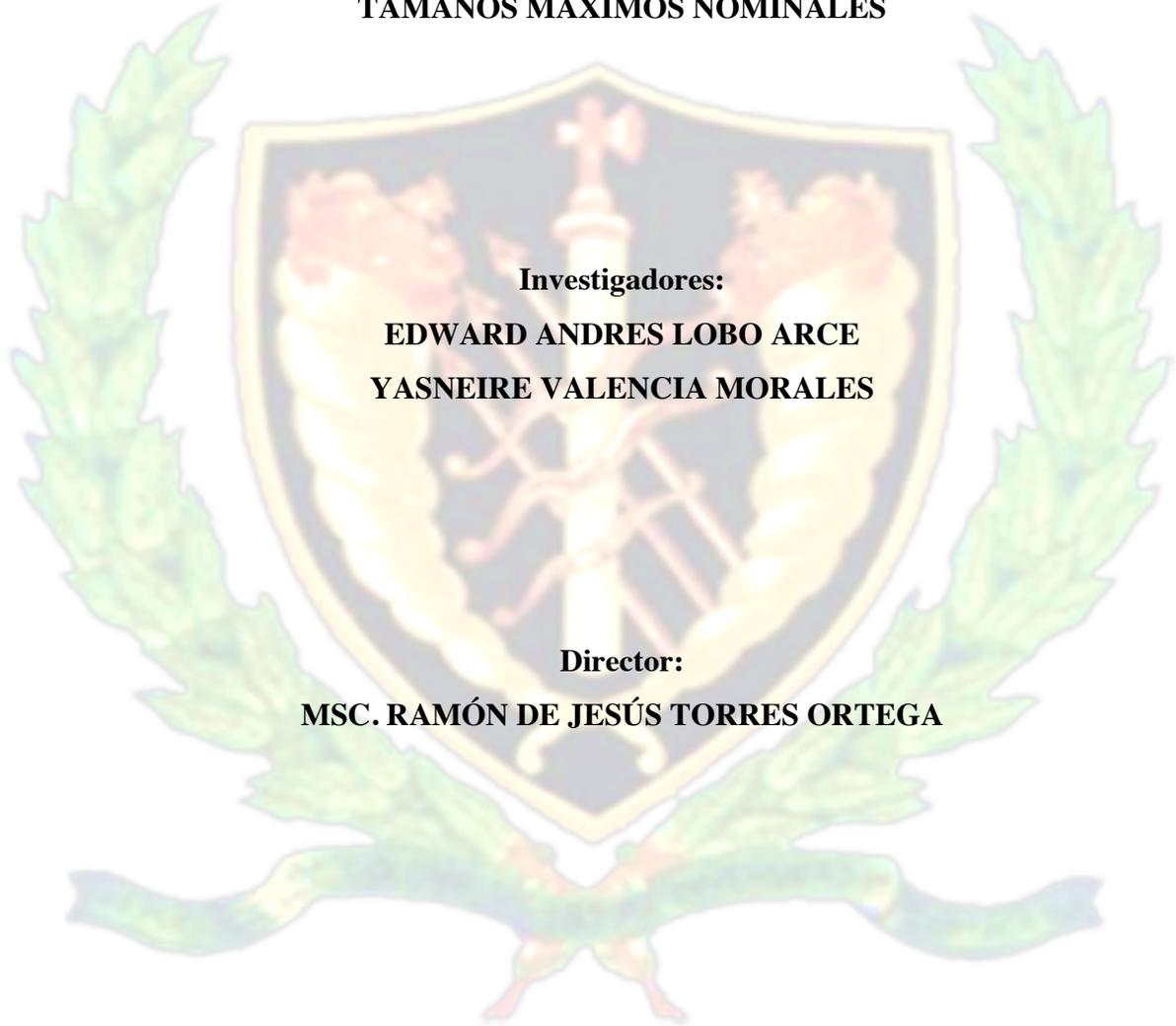


MONOGRAFÍA:
**ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES DE LOS ADITIVOS RETARDANTES EN
CONCRETO HIDRÁULICO CON AGREGADOS SILÍCEOS DE DIFERENTES
TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES**



Investigadores:
EDWARD ANDRES LOBO ARCE
YASNEIRE VALENCIA MORALES

Director:
MSC. RAMÓN DE JESÚS TORRES ORTEGA

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

2020

MONOGRAFÍA:
**ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES DE LOS ADITIVOS RETARDANTES EN
CONCRETO HIDRÁULICO CON AGREGADOS SILÍCEOS DE DIFERENTES
TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES**

Investigadores:
EDWARD ANDRES LOBO ARCE
YASNEIRE VALENCIA MORALES

Monografía para optar por el título de:
INGENIERO CIVIL

Director:
MSC. RAMÓN DE JESÚS 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 INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA D. T. Y C.

2020



NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del Director

Msc. Ramón de Jesús Torres Ortega

Firma del Jurado

PhD. Jorge Luis Álvarez Carrascal

Firma del Jurado

Ing. Modesto Barrios Fontalvo

Cartagena de Indias D. T. y C., 16 de septiembre 2020.



Soñador:

// adjetivo

“Nunca dejes que te digan que soñar es una pérdida de tiempo, porque los sueños son nuestra realidad esperando. En sueños, plantamos las semillas de nuestro futuro”.

- *Autor Desconocido*

“Aún estoy en el proceso de ser lo que Dios quiere que sea, pero gracias Señor porque ya no soy lo que era antes”.

Para todas esas personas que hicieron parte de este proceso de ser Ingenieros Civiles.



AGRADECIMIENTOS

Dios, te agradecemos primordialmente por brindarnos la oportunidad de estar aquí hoy, culminando esta etapa de nuestras vidas, gracias por estar con nosotros en todos los momentos, tanto buenos como malos. Este logro es una demostración de su amor y que su voluntad es perfecta. Hoy estamos felices de compartir esta bendición con nuestros seres queridos. También le agradecemos especialmente a nuestros padres por la paciencia que han tenido en este camino, este gran logro también es para ustedes. Al saber que estamos por finalizar esta etapa nos damos cuenta de todo el amor y esfuerzo que han tenido en apoyarnos en esta carrera y dejarnos saber los grandes profesionales que podremos llegar a ser.

Le agradecemos a nuestro director de trabajo de grado, Ramón Torres Ortega, por darnos la oportunidad y el apoyo en ser investigadores en esta línea de estudio, la cual nos pareció interesante. Gracias por compartir su tiempo y conocimientos en las asesorías brindadas en el proceso de este proyecto. Le agradecemos al cuerpo docente del programa de ingeniería civil de nuestra Alma Mater por brindarnos durante estos años la mejor formación académica y profesional, por formarnos como ingenieros integrales y competentes.

Por último, gracias a cada una de esas personas que hicieron parte de nuestro proceso de crecimiento como personas y profesionales, gracias por esas conversaciones que nos motivaron a perseverar, por esos momentos que nos marcaron la vida y por esas enseñanzas brindadas.

*“El éxito en la vida no se mide por lo que logras,
sino por los obstáculos que superas”.*

- Autor Desconocido



TABLA CONTENIDO

RESUMEN	7
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
1. ADITIVOS RETARDANTES	13
1.1. EFECTOS DEL ADITIVO RETARDANTE EN LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO	13
1.2. EFECTOS DEL ADITIVO RETARDANTE EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	20
2. AGREGADOS	25
2.1. EFECTOS DE LOS AGREGADOS SILÍCEOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO	26
3. CONCLUSIONES	36
3.1. MATRIZ DE CONCLUSIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la dosificación de retardante sobre la pérdida de trabajabilidad basada en el asentamiento.	16
Figura 2. Tiempos de fraguado inicial y final de los morteros con 0,2; 0,4; 0,6 y 0,8% de aditivo retardante tomado de los 5 lotes estudiados.....	18
Figura 3. Resistencia a la compresión del concreto con diferentes dosificaciones de retardante.....	21
Figura 4. Comportamiento a la compresión del mortero sin aditivo a diferentes días de curado.	22
Figura 5. Comportamiento a la compresión de los morteros con diferentes contenidos de aditivo retardante: (a) 0,2%, (b) 0,4%, (c) 0,6% y (d) 0,8% a diferentes días de curado 1 día, 3 días, 7 días y a los 28 días	23



LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Medidas realizadas en las mezclas de concreto durante las pruebas de campo. .</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 2. Resistencia del Concreto.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Descripción de agregado grueso.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4. Resultado promedio obtenido en las mezclas de concreto.</i>	<i>35</i>



RESUMEN

Esta monografía se realizó con el fin de analizar la influencia que tiene la variación en la dosificación de los aditivos retardantes en concreto hidráulico fabricado con agregados silíceos de diferentes tamaños máximos nominales. Para llegar a esto se hizo una revisión y crítica de antecedentes internacionales, nacionales y locales; sobre cómo los aditivos retardantes y los agregados silíceos afectan el comportamiento de la matriz de hormigón teniendo en cuenta los parámetros de trabajabilidad y resistencia a la compresión. De los autores referenciados se concluyó que, los aditivos retardantes mejoran la trabajabilidad, ya que los asentamientos, así como los tiempos de fraguado (iniciales y finales) fueron mayores a medida que se aumentó la dosificación.

La resistencia a la compresión disminuye a edad temprana (7 días) con el uso de aditivos retardantes, pero, a los 28 días esto puede cambiar puesto que en algunos casos la resistencia aumenta. De acuerdo a la bibliografía estudiada, las dosificaciones donde se dio dicho aumento fueron diferentes en cada caso teniendo en cuenta la variedad en los materiales y diseños de mezcla de cada estudio, por lo que se deduce la influencia de los agregados en la dosificación de aditivos retardantes y posteriormente en la resistencia final del concreto. De hecho, a menor tamaño de un mismo agregado se obtuvieron concretos con mayor resistencia, así mismo, agregados con superficie rugosa y mayor número de caras fracturadas contribuyeron en dicha mejoría.



Como los resultados sobre la relación entre la dosificación de aditivos retardantes y la resistencia final del concreto fueron variables, se recomienda al igual que en las fichas técnicas de la mayoría de aditivos retardantes comerciales, realizar ensayos específicos teniendo en cuenta las condiciones climáticas así como las características físicas y mecánicas de los materiales, donde los porcentajes de aditivos varíen por lo menos 0,1 % para tener mayor seguridad a la hora de seleccionar un diseño de mezcla que permita mejorar los comportamientos en estado fresco y endurecido del concreto hidráulico con agregados silíceos ya sea preparado en obra o premezclado.

ABSTRACT

This monograph was carried out in order to analyze the influence of the variation in the dosage of retardant ad in hydraulic concrete manufactured with siliceous aggregates of different maximum nominal sizes. To achieve this, a review and critique of international, national and local antecedents was made; on how retardant additives and siliceous aggregates control the behavior of the concrete matrix taking into account the parameters of workability and resistance to compression. From the referenced authors, it was concluded that retardant additives improve workability, since the settlements, as well as the setting times (initial and final) were greater as the dosage was increased.

The resistance to decrease decreases at an early age (7 days) with the use of retardant additives, but, at 28 days this may change since in some cases the resistance increases. According to the bibliography studied, the dosages where said increase occurred were different in each case, taking into account the variety in the materials and mixture designs of each study, so the influence of the aggregates in the dosage of additives is deduced. retarders and later in the final strength of the concrete. In fact, the smaller the size of the same aggregate, concretes with greater resistance were obtained, likewise, aggregates with a rough surface and a greater number of fractured faces contributed to said improvement.

As the results on the relationship between the dosage of retarding additives and the final strength of concrete were variable, it is recommended, as in the technical sheets of most commercial retardant additives, to carry out specific tests taking into account the climatic conditions as well as the physical and mechanical characteristics of the materials, where the percentages of additives vary by at least 0.1% to have greater security when selecting a mix design that allows to improve the behavior in fresh state and support of hydraulic concrete with siliceous aggregates either prepared on site or pre-mixed.



INTRODUCCIÓN

El concreto es un material que ha sido utilizado desde la antigüedad con el fin de levantar edificaciones para el uso humano. Este es definido como una mezcla de un material aglutinante (cemento), unos materiales de relleno (arena y grava) y agua que se endurece formando un cuerpo sólido compacto capaz de soportar altos esfuerzos de compresión (Niño, 2010). El autor expone que, al seleccionar las cantidades relativas de los materiales anteriormente mencionados para producir la mezcla, se logra obtener una versatilidad en cuanto a que en estado fresco se pueda manejar en las formas que se deseen obtener, y en estado endurecido sea un material que adquiera propiedades de resistencia y durabilidad; razones por las cuales es una opción preferente ante construcciones de madera, mampostería o acero.

Autores como Estrada y Páez en su investigación en el 2014, estipularon que las cantidades relativas de los componentes del hormigón tienen unos rangos de aceptación para que se logre la resistencia deseada. Ellos mencionan que en promedio entre el 25 al 40% la pasta de cemento y agua constituyen el volumen total del concreto. El volumen absoluto de cemento está comprendido normalmente entre el 7 al 15%, el agua del 14 al 21% y el agregado está alrededor del 60 al 80% del volumen total de la mezcla (Morales, 2017). Por lo anterior es importante seleccionar adecuadamente y dosificar la cantidad de los materiales debido a que cada componente juega un papel importante en la matriz, los cuales se ven afectados por el diseño de la estructura, el tipo de construcción, las condiciones climáticas y las tecnologías usadas para su preparación, colocación y transporte, influyendo en el resultado final de la resistencia y durabilidad.

En muchas regiones del mundo prevalece el clima cálido. El promedio de la temperatura en estas áreas está entre los 40-50°C. Por lo que han surgido varios retos relacionados con la producción del concreto bajo estas condiciones. Las altas temperaturas, altas velocidades del viento, baja humedad relativa y la radiación solar directa inciden en el comportamiento del concreto en estado fresco (Rizzuto et al., 2020). Como consecuencia de esto, se recurre al uso de aditivos retardantes los cuales se aprovechan esencialmente en la colocación del concreto en periodos de calor, la consecuencia acelerante debido a las altas temperaturas, cuando se desea eliminar el efecto de las reanudaciones de trabajo y para el transporte de la mezcla a largas distancias (Rivera, 2006). En Colombia, la región Caribe es una zona que se caracteriza por presentar climatología de temperaturas altas y debido a la importancia que tienen los aditivos retardantes en este tipo de zonas, la investigación fue realizada en el departamento de Bolívar en el municipio de Cartagena, ubicado al norte de Colombia.

Cuando se hace una mezcla de concreto con aditivos es necesario acudir a la ficha técnica del producto la cual establece el porcentaje a usar respecto al cemento. Esto establece unas proporciones aceptables o típicas, pero se recomienda hacer pruebas específicas para determinar la dosificación adecuada, debido que se han demostrado en investigaciones la importancia que tiene la granulometría de los agregados en el uso de aditivos y posteriormente en el comportamiento mecánico del concreto.

Los agregados son uno de los parámetros claves que influyen en las propiedades del concreto. Por ejemplo, el intercambio de agua que ocurre entre el agregado y la pasta de cemento se ve afectada por el nivel de humedad que existe en el agregado, incluido el potencial del agregado para absorber o proporcionar agua a la mezcla (Matar & Barhoun, 2020). Lo anterior se ve reflejado a través de una investigación realizada por Huincho Salvatierra sobre la influencia de la granulometría del agregado y del aditivo superplastificante en la resistencia del hormigón que han demostrado obtener un porcentaje diferente al recomendado por la ficha técnica para lograr una mejor resistencia y trabajabilidad (Huincho, 2011), lo cual da entender que el agregado juega un papel importante en la dosificación de aditivo en la mezcla.



El objetivo subyacente de este documento es analizar la incidencia de las variaciones de los aditivos retardantes en concreto hidráulico, respecto a los diferentes tamaños máximos nominales de los agregados silíceos, mediante la revisión de artículos e informes de pruebas mecánicas a la compresión en el concreto endurecido y medidas de asentamientos al concreto fresco para evaluar la sostenibilidad (del asentamiento) al transcurrir el tiempo. Para lograr este análisis se evaluó el asentamiento en el concreto fresco con respecto al tiempo y la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido sin aditivo en contraste a diferentes dosificaciones del aditivo retardante, determinando así el comportamiento de la mezcla con diferentes tamaños nominales del agregado grueso silíceos con respecto a la variación en la dosificación del aditivo.

Al realizar esta monografía se compiló información que puede ser una referencia relevante para futuros proyectos a nivel local ya que las investigaciones realizadas son limitadas y han tenido como objeto de estudio otro tipo de aditivos (plastificantes y superplastificantes). Adicionalmente, el impacto profesional que genera va encaminado principalmente a los ingenieros civiles locales o que trabajen en condiciones climáticas similares a las de este estudio. También en zonas donde por cuestiones de facilidad y factibilidad económica se requiera transporte de concreto y permitir que este llegue en las mejores condiciones para ser trabajado. Finalmente, este estudio será utilizado junto a otras investigaciones similares que se encuentran en desarrollo, con el fin de realizar un proyecto científico que recopile el comportamiento de los diferentes aditivos de uso común en Cartagena junto con todos los tipos de agregados y tamaños de los mismos, presentes en la ciudad y las zonas aledañas.



1. ADITIVOS RETARDANTES

Eventualmente por la necesidad de modificar las propiedades del concreto para cumplir con los requerimientos dados por las diferentes condiciones de construcción en las obras civiles, en 1870 se empezaron a utilizar compuestos que aceleran o retardan la hidratación de la mezcla (SIKA, 2014). Estos optaron por el nombre de aditivos, los cuales tienen la función de mejorar o mantener ciertas propiedades del concreto en los tiempos de fraguado.

Existen una gran diversidad de aditivos en el mercado, pero según Salahaldeen Alsadey los productores de concreto usan los aditivos superplastificantes y retardantes con más frecuencia debido a la disponibilidad de productos y fabricantes (Salahaldeen, 2013). Sin embargo, se piensa que esto ocurre por la funcionalidad que aportan estos a las empresas concreteras por cuestiones trabajabilidad en estado fresco del concreto.

1.1. EFECTOS DEL ADITIVO RETARDANTE EN LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO

La trabajabilidad es aquella propiedad en estado fresco del concreto la cual establece su capacidad de ser manipulado, transportado, colocado y consolidado apropiadamente, con un mínimo de trabajo y máxima homogeneidad, sin que suceda segregación al ser terminado (Rivva, 2010). La manejabilidad se ve afectada principalmente por el contenido de aire, contenido de agua de mezclado, propiedades de los agregados gruesos y finos, la relación que hay entre la pasta y agregados y las condiciones climáticas (Niño, 2010).



La manejabilidad del hormigón se mide según las indicaciones que da la norma NTC 396 “Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto”. En este método se coloca una muestra de concreto fresco en un molde tronco cónico y se compacta con una varilla. El molde se levanta con el fin que se asiente el concreto. El asentamiento corresponde a la diferencia entre la posición inicial y la desplazada de la superficie superior del concreto. Las mediciones deben ser tomadas en el centro de la cara superior. (ICONTEC, 2018).

Los aditivos retardantes se utilizan frecuentemente para prolongar la propiedad anteriormente mencionada, según la NTC 1299 (ICONTEC, 2008), a estos los clasifican como tipo B, su función principal es retardar el fraguado del concreto, esta sustancia reduce la velocidad de reacción inicial entre el cemento y el agua, y, por ende, sucede dicho retardo.

Los aditivos retardantes se pueden clasificar dependiendo de sus componentes básicos en inorgánicos y orgánicos. Los aditivos inorgánicos están basados en boratos, fosfatos, silicatos de flúor y compuestos químicos a base de zinc (Von Daake & Stephan, 2017). Los aditivos orgánicos, según los autores Cheung et al. contiene como activos comunes las sales de ácido lignosulfónicos y ácidos carboxílicos hidroxilados y carbohidratos como sacarosa, glucosa, polímeros de glucosa y gluconato de sodio (Cheung, Jeknavorian, Roberts, & Silva, 2011).

Aunque estos aditivos se usan para extender el tiempo de fraguado del concreto, también son ventajosos para acortar la pérdida de asentamiento y ampliar la trabajabilidad, especialmente antes de la colocación en ambientes con altas temperaturas (SIKA, 2014). Estos aditivos se aprovechan esencialmente en la colocación del concreto en periodos de calor, la consecuencia acelerante debido a las altas temperaturas, cuando se desea eliminar el efecto de las reanudaciones de trabajo y para el transporte de la mezcla a largas distancias (Rivera, 2006).



En la conferencia internacional sobre innovaciones en ingeniería y tecnología (Bangkok 2013), Salahaldein Alsadey presentó el artículo titulado “Efectos de los aditivos retardantes y superplastificantes en las propiedades del concreto”, buscó determinar las propiedades, efectos y dosis óptima de los aditivos retardante y superplastificante en el concreto convencional. En este estudio se usó como punto de referencia una muestra de hormigón convencional con resistencia a la compresión de 30 Mpa a los 28 días, para la mezcla se utilizó como aglutinante cemento portland ordinario, como agregado grueso granito de 20mm y como agregado fino arena de mar. En los otros especímenes se prepararon cuatro mezclas adicionales, usando dosis de aditivo Liboment-FF como superplastificante (ASTM C-494 Tipo F y BS 5075 Parte 3), y Libocrete- VZ como retardante (ASTM C 494 Tipo A + B + D y BS 5075 Parte I) en el orden de 600, 1200, 1800, y 2500 ml / 100 Kg de cemento. Estos fueron sometidos a la prueba de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días y el ensayo slump en estado fresco (Salahaldein, 2013).

Cabe resaltar que la terminología usada en las tablas y figuras fue la siguiente:

Mc = Mezcla control, común o sin aditivos.

MR = Mezcla con aditivo retardante (1, 2 y 3)

MS = Mezcla con aditivo superplastificante (1, 2 y 3)

Los efectos del aditivo retardante en la prueba de slump mostrados en la figura 1, se pudo ver que el asentamiento se reduce con el tiempo. Esto es normal debido a la hidratación continua la cual produce hidrato de silicato y llenan los poros entre las partículas de cemento y agregado, dando como resultado que el fraguado del hormigón redujo la fluidez del mismo, por ende, el asentamiento también se vio afectado de la misma manera. El aditivo frenó el proceso de hidratación, dejando más agua para la trabajabilidad y dio tiempo suficiente para que la mezcla fuera transportado, colocado, compactado y terminado.

También se pudo ver que el aumento en la dosificación del aditivo desacelera la velocidad del fraguado del hormigón ya que este ayuda a retener el estado de fresco del concreto por más tiempo. Sin embargo, altas dosificaciones tienden a una alta pérdida de asentamiento, lo cual no es deseado. Por lo cual buscaron obtener una dosificación óptima donde no afecten las propiedades principales de la mezcla de concreto.

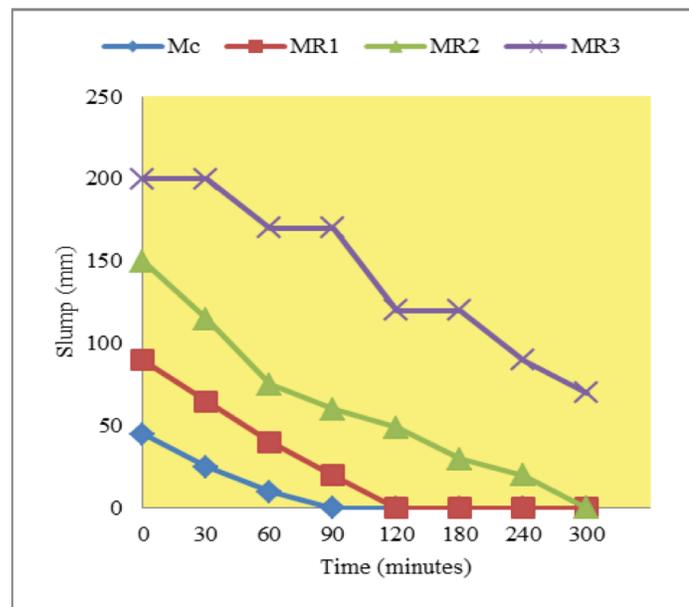


Figura 1. “Efecto de la dosificación de retardante sobre la pérdida de trabajabilidad basada en el asentamiento”. *Extraído de Salahaldeen (2013).*

Las limitaciones encontradas fueron que los rangos usados en las dosificaciones eran grandes, se manejaron 3 dosificaciones las cuales estaban en intervalos de 0.6%. Adicional que las conclusiones eran necesariamente específicas de ese estudio y no se podían comparar con otros informes ya que el aditivo no era netamente de un tipo si una mezcla entre Tipo A, B y D. Por lo cual es ideal que se evaluaran las dosificaciones del aditivo en rango mas pequeños para comprender mejor el comportamiento en la mezcla.



En otro estudio realizado por Bazid Khan en el 2004 sobre los efectos de un aditivo retardante (ASTM C 494 tipo D) en los tiempos de las pastas de cemento (Tipo A, B y C) en clima cálido reveló que, para cada uno de los tres tipos de cemento sin aditivo, a altas temperaturas y baja humedad relativa, los tiempos iniciales y finales de fraguado en las pastas se aceleran. Lo anterior se debe a que en climas cálidos el agua que está en la superficie de la mezcla de concreto se evapora generando rápido decrecimiento del asentamiento entre otros problemas dificultando los tiempos de operación.

Al adicionar el aditivo retardante causó que los tiempos de fraguado se extendieran para los tres tipos de cementos, esto ocurrió porque la tasa de hidratación disminuye. En consecuencia, la cantidad necesaria de productos de hidratación que dan rigidez a la pasta requirió más tiempo, por lo tanto, la mezcla permaneció en estado plástico prolongadamente logrando tener una mejor trabajabilidad (Khan & Muhammad, 2004).

Las limitantes de este estudio fueron el uso de cementos específicos de la zona, ya que los convencionales no eran favorables. Hubo diferentes parámetros que variaron como por ejemplo la temperatura del agua de curado y humedad relativa, el tipo de cemento, la relación agua/cemento. Se desconoció el tipo y tamaño de agregado grueso que utilizaron.

Una investigación realizada a nivel nacional por Montoya et al. también nos confirmó que los aditivos retardantes mejoran la trabajabilidad aumentando el tiempo de fraguado, en este estudio se utilizó cemento portland gris tipo III para la realización de morteros y concretos. Las dosificaciones utilizadas del aditivo retardante para los morteros fueron de 0,2, 0,4, 0,6 y 0,8 p/p del cemento. Cabe aclarar que todos los morteros se realizaron con la misma relación agua/cemento. Mientras que en el concreto las pruebas solo se utilizó una dosificación del 0,4 % del aditivo tomado de tres grupos. Para evaluar el desempeño de las propiedades de las muestras realizaron la prueba de asentamiento a los 15, 30, 45 y 60 minutos de acuerdo con la norma ASTM C143-90 y pruebas de compresión a los 1, 3, 7 y 28 días (Montoya, Cadavid, & Gómez, 2009).

Los resultados desarrollados al cemento sin aditivo revelaron que 74 minutos fue el tiempo de fraguado inicial, mientras que el tiempo de fraguado final fue de 171 minutos.

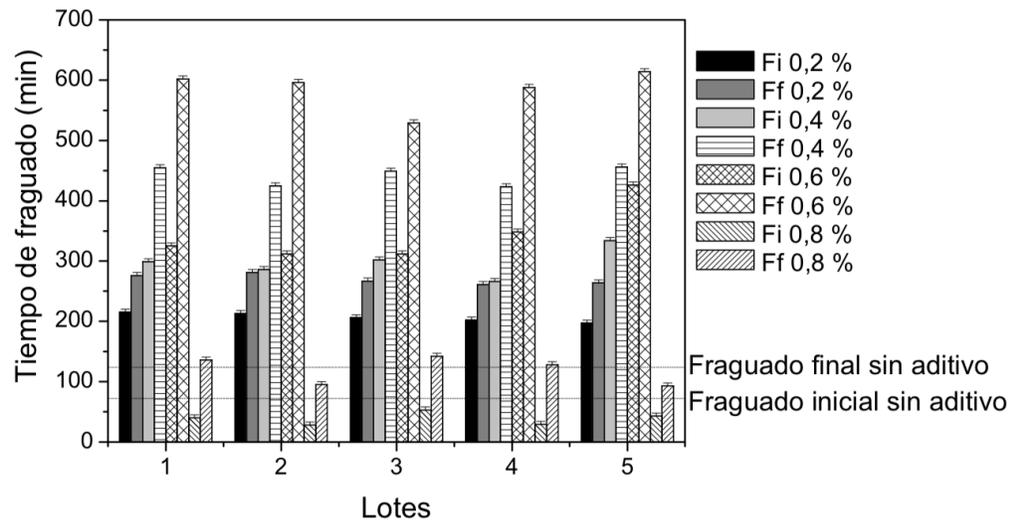


Figura 2. “Tiempos de fraguado inicial y final de los morteros con 0,2; 0,4; 0,6 y 0,8% de aditivo retardante tomado de los 5 lotes estudiados”. *Extraído de Montoya et al. (2009).*

La adición del 0,4 % de aditivo retardante aumentaron los tiempos de fraguado inicial (Fi) y final (Ff) en los morteros, figura 2, con respecto a la dosificación del 0,2 %. El fenómeno se invirtió ocurriendo una aceleración del fraguado tanto inicial como final al usar adición del 0,8 % de aditivo retardante.

Con respecto al hormigón se pueden ver los resultados de asentamiento y temperatura obtenidos en las mezclas en la tabla 1 usando una dosificación de 0,4 % del aditivo retardante. Según los autores “El asentamiento disminuyó de forma muy similar en las tres mezclas de concreto, desde un asentamiento inicial alrededor de 12 cm hasta uno alrededor de 7 cm transcurridos 60 minutos de preparadas las mezclas”.

Tabla 1. “Medidas realizadas en las mezclas de concreto durante las pruebas de campo”.

VARIABLES MEDIDAS	CONCRETO CON ADITIVO DEL LOTE 1	CONCRETO CON ADITIVO DEL LOTE 2	CONCRETO CON ADITIVO DEL LOTE 4
Asentamiento inicial (cm)	12,6	12,0	11,8
15' Asentamiento (cm)	11,5	11,0	11,1
30' Asentamiento (cm)	8,3	8,5	8,2
45' Asentamiento (cm)	7,6	7,5	7,1
60' Asentamiento (cm)	7,4	7,5	7,0
Temperatura ambiente (°C)	27,0	28,0	29,0
Temperatura inicial del concreto (°C)	24,0	26,0	28,0
Temperatura del concreto a los 45 min (°C)	26,0	27,0	29,0

Extraído de Montoya et al. (2009).

En Perú Aponte en su estudio “Influencia de un aditivo retardante de fraguado en el comportamiento mecánico de concreto $f'c=250$ kg/cm² en la ciudad de Jaén”, el asentamiento de la mezcla con aditivo Z RETAR tuvo un aumento del 14.29% con respecto a la muestra patrón. Ellos deducen que, a mayores porcentajes del aditivo, el asentamiento aumentará, pero puede que estén equivocados o los materiales y sus proporciones influyen también en las propiedades del concreto, ya que en las investigaciones anteriores demostraron que sucede lo inverso. Los tiempos iniciales y finales de fraguado también aumentaron corroborando que el aditivo es ideal para obtener este tipo de resultados (Aponte, 2017).

Como limitante se tiene que el agregado utilizado fue mal gradado y no cumplía con las especificaciones técnicas, por lo cual se recomienda tener en cuenta una investigación con un material que si cumpla las condiciones para ver si el comportamiento cambia y determinar si el tamaño máximo nominal del agregado es un factor relevante en las dosificaciones del aditivo. Adicional que la dosificación dependía de la temperatura del lugar, ya que el aditivo que fue utilizado su ficha técnica dependía de la temperatura. Por lo anterior sería interesante tomar como variable la temperatura y si la dosificación para cada tamaño máximo nominal sería similar para cada condición climática.



1.2. EFECTOS DEL ADITIVO RETARDANTE EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

Otra de las propiedades del concreto más estudiadas para el uso de aditivos es la resistencia a la compresión. “La resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad” (Rivva, 2010).

El método utilizado para evaluar esta propiedad es el ensayo de resistencia el cual consiste en aplicar a los cilindros moldeados o núcleos una carga axial de compresión a una velocidad que se halla dentro de un rango fijado hasta que acontezca la falla. La resistencia a la compresión de una muestra se calcula dividiendo la carga máxima lograda durante el análisis por la sección transversal de área de la muestra (ICONTEC, 2010).

Al uso de retardadores, en general, una de las consecuencias es una cierta alguna reducción en la resistencia, principalmente en los primeros días (1 a 3 días) (Rivera, 2006). Lo anterior se ve reflejado en la figura 3, como lo muestra lo estudiado por Salahaldeen Alsadey; los efectos en la prueba de compresión a edad temprana (7 días después de su fundición) la adición de retardadores redujo la resistencia significativamente, y llega a un menor cuando la dosis aumenta. Esto pasa ya que la adición de retardante al hormigón retrasó la reacción de C3S y C3A. La situación varía sólo después de los 7 días, donde la inclusión de retardador mejoró ligeramente resistencia a la compresión a edad más avanzada (Salahaldeen, 2013). Por lo cual, sugiere que se debe tener en cuenta pruebas sobre la influencia que tienen los aditivos retardantes en los demás materiales que se utilizan en la mezcla.

Aponte determinó en su estudio usando el aditivo Z RETAR, la resistencia a la compresión del concreto disminuyó un 6.05% a los 7 días con respecto a la muestra base, a los 14 días aumentó la resistencia, pero aun siguió por debajo de la muestra base y por último a los 28 días aumentó la resistencia superando el concreto patrón en un 4.85% (Aponte, 2017).

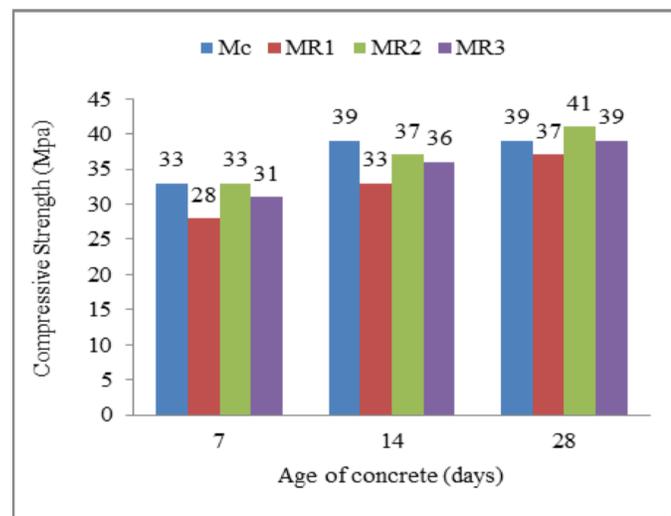


Figura 3. “Resistencia a la compresión del concreto con diferentes dosificaciones de retardante”. *Extraído de Salahaldeen (2013).*

Otras investigaciones demuestran lo contrario, por ejemplo, el artículo titulado “ Properties of concrete modified with mineral additives” realizado en Lituania, donde el uso de los aditivos minerales aumentó en un 2,6% la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días de curado (Nagrockienè, Girskas, & Skripkiūnas, 2017).

En la tesis llamada “Variación de la resistencia a compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² con aditivo acelerante al 2% y retardante al 0.5%, para diferentes edades” en el 2019 en sus resultados obtuvieron que al utilizar el aditivo retardante tuvieron una variación mayor al 10% en las edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días, confirmando que el uso del aditivo retardante a una dosificación del 0.5% aumenta la resistencia de la mezcla (Gonzales, 2019).

En el caso de Montoya et al., con el paso de los días en la etapa inicial, la resistencia de los morteros aumentó, como por ejemplo el mortero con 0,4% de aditivo, los resultados fueron similares a la del mortero sin aditivo al primer día (figura 4) pero para el resto de los tiempos (figura 5) la resistencia se hizo mayor. La muestra con la dosis del 0,8% de aditivo, se aprecia que ganó resistencia, pero con valores inferiores a los obtenidos con 0,4 y 0,6% (Montoya et al., 2009). La explicación según los autores Lamond J. y Pielert J. la sobredosis de aditivos retardantes puede producir excesivo contenido de aire y por ende la resistencia se reduce, como ocurrió en los ensayos de Montoya et al. al usar 0,8% del aditivo.

Las cantidades de los materiales empleados para los ensayos de compresión en el concreto fueron para obtener un concreto de 21 Mpa, pero con el uso del aditivo a 0,4% del peso del cemento resultó más o menos una resistencia de 28,5 Mpa, mayor a la planeada. La limitación de esta investigación fue la no variación del aditivo para el caso del concreto y aunque no corroboró que la mezcla desarrolla una reducción en su resistencia a edad temprana con respecto a una mezcla normal sin aditivo, si demostró que al final aumenta la resistencia a la compresión.

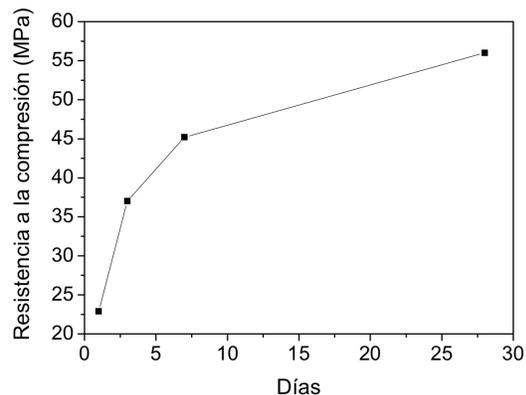


Figura 4. “Comportamiento a la compresión del mortero sin aditivo a diferentes días de curado”. *Extraído de Montoya et al. (2009).*

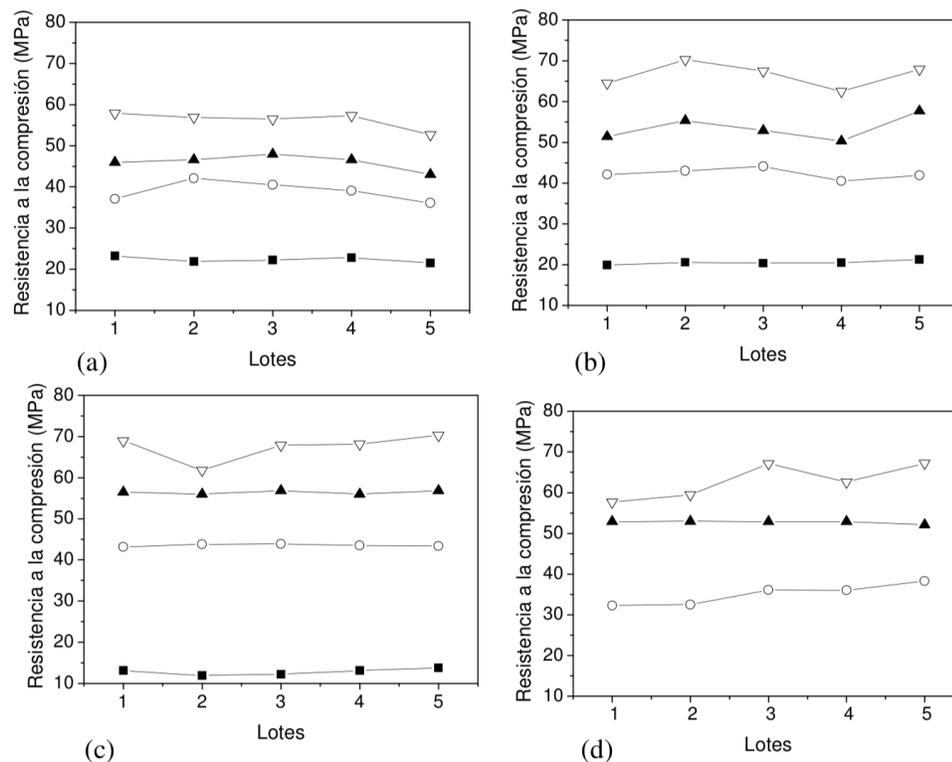


Figura 5. “Comportamiento a la compresión de los morteros con diferentes contenidos de aditivo retardante: (a) 0,2%, (b) 0,4%, (c) 0,6% y (d) 0,8% a diferentes días de curado 1 día, 3 días, 7 días y a los 28 días”. *Extraído de Montoya et al. (2009).*

A nivel local como antecedente con respecto al estudio de aditivos retardantes se tiene una investigación realizada por Corrales y De la Ossa en el 2013 titulada “Estudio comparativo de la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con cementos tipo I y tipo II, modificados con aditivos acelerantes y retardantes” en la cual su objetivo fue comparar la resistencia a la compresión inicial y final de los concretos de 4000 psi realizados con cementos del tipo I y tipo III, alterados con aditivos acelerantes y retardantes. Se utilizó una relación A/C de 0.40, dosificación de los aditivos de 2 % del peso del cemento, las proporciones en peso cemento: arena: triturado, fue de 1:2.07:2.07, y las proporciones en volumen fueron aproximadamente 1:1.60:1.75 para el diseño de mezcla (Corrales & De la Ossa, 2013).



De los resultados obtenidos, los autores concluyeron que aun cuando el cemento tipo III y el tipo I a pesar que tienen cualidades físicas similares, su composición química es diferente, la finura en el cemento tipo III incidió a que alcanzara una mayor resistencia a edades tempranas ya que esta es mayor que la del tipo I. En las mezclas realizadas con cemento tipo I se evidencio una resistencia a la compresión decreciente independientemente de la adición de aditivos, de lo cual se concluyó que no fue ideal la relación agua/cemento utilizada en el diseño, debido a que se mantuvo como constante en las tres muestras de concreto. Por tanto, se recomendaron variar las dosificaciones de los aditivos manteniendo la misma relación agua/cemento.

Otra investigación a nivel local que estudian los efectos de los aditivos en las propiedades del concreto son la de los investigadores Céspedes y Díaz, donde el objetivo principal del estudio era “determinar el efecto del uso de 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”. Concluyendo que el comportamiento óptimo lo presentó el diseño de mezcla para 310 Kg de cemento, el cual a los 28 días presentó una resistencia a la compresión superior al determinado por la respectiva muestra patrón, según el comportamiento de manejabilidad, resistencia a la compresión y economía el diseño óptimo fue aquel en el que se evidenció una reducción del 30% de agua para una cantidad por m³ de 285 Kg de cemento (Céspedes & Díaz, 2007).

Aunque esta última investigación sólo tuvo en cuenta a los aditivos superplastificantes, nos damos cuenta que a nivel local si se está estudiando la relación entre el aditivo y las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, obteniendo como resultado el mejoramiento de dichas propiedades en comparación a la mezcla sin el uso de aditivos. Por lo cual sí es importante conocer el comportamiento y la influencia que tienen los aditivos en general en el concreto.



2. AGREGADOS

El uso de agregados en el concreto tiene como objetivo reducir los costos en la producción de la mezcla (relleno adecuado para la mezcla, ya que reduce el contenido de pasta de cemento por metro cúbico), ayudar a controlar los cambios volumétricos (cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado, de curado y secado de la mezcla de concreto) y aportar a la resistencia final del material (Silva, 2015).

La Norma Técnica Colombiana NTC 174: “Concretos. Especificaciones de los agregados para concretos”, establece los requisitos de gradación y calidad para los agregados finos y gruesos (excepto los agregados livianos y pesados), para uso en concreto.

Según la NTC 174, los agregados se pueden clasificar de diferentes tipos (Origen, color, tamaño de partícula, modo de fragmentación, peso específico y reciclados). Para efectos de esta investigación se tiene en cuenta 2 tipos de clasificación, según su origen y tamaño de partícula.

Por el tamaño de los agregados, estos se clasifican en **agregados finos** donde el material pasa el 100% por el tamiz 3/8” y **agregados gruesos** donde el material es retenido al 100% en el tamiz N.4 o superior (ICONTEC, 2000).

Por su origen, estos se clasifican en **agregados ígneos**, son todos los agregados provenientes de rocas ígneas, generalmente, este tipo de rocas son conocidas también como originales, endógenas o magmáticas.

Agregados sedimentarios, son los agregados provenientes de rocas sedimentarias, las cuales son las de mayor abundancia en la superficie terrestre. Este tipo de rocas está formado por fragmentos de rocas ígneas, metamórficas u otras sedimentarias. Se pueden originar por descomposición y desintegración o por precipitación o deposición química.



Agregados metamórficos, son todos los agregados provenientes de rocas metamórficas, que a su vez provienen de ígneas y sedimentarias, las cuales experimentan grandes presiones y altas temperaturas generadas en los mismos metamorfismos de contacto o metamorfismo regional o dinámico (Silva, 2015).

2.1. EFECTOS DE LOS AGREGADOS SILÍCEOS EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

Para la presente investigación se tomó como referencia los efectos que tiene los agregados gruesos (tipo pétreo) en las propiedades del concreto, pero se han encontrado pocos estudios relacionados a estos, por lo cual se investigó por su componente mineral principal, el cual es el sílice, tanto como agregado fino y grueso. Se considera que los agregados gruesos son importantes en el diseño de mezcla ya que es un material que tiene una participación entre el 65% y el 70% del total de la mezcla de concreto (Silva, 2015). Por ende, es indispensable conocer cómo estos pueden influir en las propiedades de la mezcla y pueden afectar de manera directa o indirecta a otros materiales como la dosificación del aditivo.

Los autores del estudio denominado “Efecto de la sustitución parcial y total de la arena de río silícea por arena triturada de piedra caliza en la durabilidad de los morteros expuestos a soluciones químicas” sobre materiales de construcción realizado en la ciudad de Laghouat (Argelia), tuvieron como objetivo principal analizar los efectos producidos en la durabilidad de un mortero expuesto a 3 condiciones ambientales (aire libre, cal y ácido clorhídrico) cuando se reemplaza arena de río de origen silíceo (AS) por arena caliza (AC) proveniente de canteras, debido a que en había una extracción masiva de las arenas de río en la zona del estudio que ocasionó problemas ambientales, por lo que se vieron en la necesidad de buscar otras fuentes de materiales (Bederina, Makhloufi, Bounoua, Bouziani, & Quéneudec, 2013).



Dentro de las características mecánicas de los materiales utilizados se encontró que son similares teniendo en cuenta factores como la densidad, compacidad, módulo de finura y porosidad los cuales varían máximo en un 2%, la diferencia radica en el equivalente de arena el cual es mayor para la AS y el coeficiente de absorción que es mayor en la AC, además, cabe resaltar que la forma del agregado silíceo fue redondeada mientras que en el agregado calizo fue angular y ambos materiales cumplieron con las normas locales para la construcción de morteros y hormigones.

Para la parte experimental se fabricaron morteros solo con arena silícea, luego se fue sustituyendo gradualmente la arena silícea por arena caliza en el orden del 25%, 50%, 75% y 100%. Además se usó cemento tipo II y el aditivo Sika viscocrete 3045 en las proporciones suministradas por la ficha técnica (2-2,5% del peso del cemento) así como una relación agua cemento de 0,5 (Bederina et al., 2013).

Al terminar la parte experimental los autores llegaron a las siguientes conclusiones:

En cuanto a la plasticidad de la mezcla se determinó que si se aumenta el porcentaje de arena caliza así mismo debe aumentar el porcentaje de aditivo plastificante, debido a factores como la forma de la partícula de arena y el porcentaje de absorción de agua que es mayor en arena caliza.

Respecto a la resistencia a la compresión se determinó que la arena caliza aumenta la resistencia y el módulo de elasticidad en todos los casos y en todas las condiciones ambientales expuestas, además se ve menos afectada por el HCl en comparación con la arena de origen silíceo.



En resumen, el anterior artículo nos dio un indicio de que el mineral que compone el agregado influye en la trabajabilidad, la resistencia a la compresión (NF EN 196-1) y en el porcentaje de aditivo (el agregado silíceo necesita menos aditivo para producir la misma fluidez en comparación al calizo). Cabe destacar que no se especificó el método por el cual estimaron la trabajabilidad o el tiempo de fraguado, los cuales son el objetivo de usar un aditivo plastificante y teniendo en cuenta su uso, pudo haber sido de gran utilidad los porcentajes con los que se obtuvieron los mejores resultados al menos en la condición normal (al aire libre) y en un ambiente agresivo (en presencia de HCL).

En la región del caribe colombiano se cuenta con gran variedad de agregados y haciendo uso de los resultados del estudio anterior donde el mineral silíceo influye en las propiedades del mortero, sería bueno complementar el estudio en hormigón, variando el tamaño del agregado grueso y estudiar en qué afecta este nuevo parámetro en las propiedades del hormigón, adicional a eso se puede usar aditivo retardante para mejorar la trabajabilidad y el tiempo de fraguado.

Otra investigación realizada por Kim et al. hablan sobre hormigón de alta resistencia; de allí resaltan la importancia de materiales como el cemento y algunos materiales cementantes suplementarios como el humo de sílice que ayudan a formar nuevos geles de silicato de calcio haciendo más compacto al hormigón. Adicional a esto, resaltan la importancia de los agregados, ya que componen la mayor parte del volumen de hormigón, por lo que consideran importante su estudio.



Para los ensayos de laboratorio se utilizó cemento portland común (ASTM C150), humo de sílice para reemplazar 10% del cemento, una relación agua cemento de 0,4, aditivo superplastificante y 3 tipos de rocas de origen silíceo (cuarcita, basalto y granito) los cuales tenían características similares, a diferencia del basalto que presentó un menor desgaste (17%) y su porcentaje de sílice fue del 48% en relación con las otras rocas que tenían un porcentaje mayor al 75%. Se realizaron muestras cilíndricas y prismáticas con los materiales mencionados anteriormente la mitad de ellas con humo de sílice y el resto sin él, posteriormente se realizaron pruebas de resistencia a la compresión con una máquina universal siguiendo la norma ASTM C-39, además de pruebas de velocidad ultrasónica para determinar la calidad interna de las muestras, pruebas de penetración de cloruros, carbonatación y análisis SEM (microscopía electrónica de barrido) (Kim, Qudoos, Jakhrani, Lee, & Kim, 2019).

Al finalizar los ensayos los autores llegaron a las siguientes conclusiones:

Los concretos realizados con cuarcita y granito fueron más resistentes a la compresión, los cloruros, la carbonatación y el congelamiento. este efecto se le atribuye a la forma menos redondeada y textura más rugosa de las rocas mencionadas anteriormente en comparación con el basalto. Así mismo el humo de sílice mejoró la resistencia a lo compresión y a los ambientes adversos en todos los casos.

Sobre el anterior artículo cabe aclarar que su limitación principal fue que no tuvieron en cuenta la interacción química de los agregados y los compuestos del cemento. Respecto a su contenido, las normas y procedimientos usados fueron claros, sus variables principales a analizar fueron la influencia del humo de sílice y los agregados gruesos en las propiedades del hormigón; aunque se estableció que la diferencia en resistencia a la compresión estuvo dada por la forma y la textura del agregado, habría que analizar la influencia del tamaño en la resistencia, así como en la trabajabilidad de la mezcla, la cual no fue analizada en el artículo.

Un estudio titulado “El efecto de la mineralogía del agregado grueso en las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia”, realizado en el país de Omán, al igual la investigación anterior, los autores buscaban encontrar la influencia de los agregados en las propiedades del concreto, los ensayos fueron bastante parecidos puesto que usaron, humo de sílice y aditivo superplastificante, la diferencia estuvo marcada en los tamaños de agregados, puesto que de 5 tipos de agregados utilizados se tomaron 2 tamaños para cada uno (20mm y 10mm) (Al-Oraimi, Taha, & Hassan, 2006). Al someter las muestras a pruebas de compresión y flexión se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2. “Resistencia del Concreto”.

Fuente agregada	Tamaño (mm)	Resistencia a la compresión (MPa), (CV%)	Resistencia a la flexión (MPa), (CV%)	Resistencia a la división (MPa), (CV%)
Muscat	10	82,3 (3,2)	11,4 (2,8)	6,7 (3,6)
	20	74,5 (3,1)	10,7 (2,9)	6,2 (1,9)
Bidbid	10	83,6 (1,9)	11,6 (3,3)	6,8 (2,9)
	20	74,1 (2,4)	10,1 (2,6)	6,0 (2,6)
Sur	10	85,6 (3,5)	11,9 (3,1)	7,0 (2,6)
	20	77,5 (3,7)	10,2 (2,6)	5,9 (3,2)
Nizwa	10	84 (2,9)	11,6 (1,9)	6,9 (2,5)
	20	76,7 (3,2)	10,5 (2,2)	6,1 (3,2)
Sohar	10	81,3 (4,2)	11,3 (2,7)	6,6 (1,9)
	20	72,5 (3,6)	10,0 (2,7)	5,8 (2,4)

Extraído de Al-Oraimi et al. (2006).

Como se puede observar en la tabla 2, el agregado que mostró la mejor resistencia a la compresión, fue el denominado “sur” con un valor de 85,6 Mpa, características que atribuyen a su alto contenido de piedra caliza (64%) además de su forma angular. En contraparte el agregado que mostró menor resistencia a la compresión fue el denominado “sohar” con una resistencia de 72,5 Mpa que le atribuyen a su contenido del 48% de una roca metamórfica llamada serpentinita la cual es de origen silíceo. Por lo tanto, los autores concluyen que el mineral de los agregados es un factor influyente en la resistencia, además el tamaño también influye puesto que en todos los casos a menor tamaño se obtuvo mayor resistencia.

En el estudio “Influencia del tipo de agregado en la conversión y resistencia en concreto de cemento de aluminato de calcio” se destacaron las ventajas y propiedades del cemento de aluminato de calcio o “CAC” (altas resistencias iniciales a la compresión resisten altas temperaturas, buena resistencia al desgaste y se ven menos afectados por los cloruros y sulfuros). Las investigaciones anteriores sobre este tipo de cemento habían sido enfocadas hacia los morteros, por lo que se tenía poco conocimiento de la influencia de los agregados en los concretos fabricados con CAC, a excepción de autores como “cussino y negro en 1980” y “lamour en 2001” quienes encontraron que los hormigones con piedra caliza ganaron resistencia en un periodo de 5 años a diferencia de los que contenían piedra silícea que perdieron resistencia; de allí que los autores justifican la importancia de su estudio, debido a que no se tenía información reciente o actualizada al respecto (Adams & Ideker, 2017).

Para la parte experimental seleccionaron una gran variedad de agregados gruesos y finos destacando su porcentaje de absorción de agua, su gravedad específica, origen mineral, forma y textura como se muestra en la tabla 3.

Se realizaron mezclas con un contenido de cemento de 440 kg por cada m³ y una relación constante agua/cemento de 0.40 teniendo en cuenta la humedad natural de los agregados, además, la cantidad de agregado se ajustó según sus características para obtener el mismo volumen de mezcla en todos los casos.

Al finalizar la preparación de las mezclas, se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, análisis SEM para verificar la porosidad y estado de hidratación del cemento, posteriormente los autores presentaron el siguiente análisis y conclusiones:

Tabla 3. “Descripción de agregado grueso”.

Nombre agregado	Capacidad de absorción (%)	Gs	Descripción mineralógica	Forma y textura de partículas
S_1_Grueso	2,58	2,44	Silíceo	Liso, redondeado
S_2_Coarse	1,71	2,66	Silíceo	Liso, redondeado
S_3_Coarse	1,31	2,56	Silíceo	Liso, redondeado
S_4_Coarse	0,73	2,62	Silíceo	Liso, redondeado
S_5_Grueso	1,55	2,55	Silíceo	Liso, redondeado
S_6_Grueso	0,83	2,72	Silíceo	Liso, redondeado
CL_1_Grueso	2,73	2,49	Caliza de carbonato	Grueso, angular
CL_2_Coarse	0,67	2,68	Caliza de carbonato	Grueso, angular
SL_1_Grueso	0,96	2,64	Caliza silíceo	Grueso, angular

Extraído de Adams et al. (2006).

El CAC produce altas resistencias iniciales en el primer día, luego sucede un proceso químico denominado conversión, donde el componente principal del CAC conocido como aluminato monocálcico o “CA” sufre transformaciones con el aumento o cambio de temperatura, cambios que aumentan la porosidad y hacen perder resistencia al concreto. En el caso de los hormigones con agregados silíceos perdieron en promedio un 48% de su resistencia debido a la conversión y su valor mínimo se presentó al tercer día (2 días después de que la muestra fue sumergida en agua a 50°C). por otra parte, los hormigones con agregados calizos experimentaron una pérdida por conversión del 26% y su resistencia mínima se dio entre los 14 y 28 días. Adicionalmente, el análisis SEM evidenció que la porosidad después de la conversión fue mayor en los agregados silíceos que en los calizos.

Por lo anterior los autores concluyen que la mineralogía puede ser un factor influyente en los concretos fabricados con CAC, además, valores del pH demasiado bajos en las mezclas con agregados silíceos posiblemente sea el causante del aumento de porosidad después de la conversión y la pérdida de resistencia en comparación con los agregados calizos, por lo que los autores recomendaron análisis de pH en los agregados antes y después de la conversión, por último, en los análisis SEM de los agregados silíceos se evidenciaron zonas deficientes las cuales probablemente redujeron la resistencia.

A nivel nacional un estudio realizado en el año 2010 denominado “Caracterización morfológica de concreto mediante análisis de imágenes” determinó la influencia de la forma del agregado en las propiedades del concreto (objetivo del estudio), sobre todo en la trabajabilidad. Características como el índice de aplanamiento, índice de alargamiento, porcentaje de caras fracturadas y textura fueron analizadas en 2 tipos de agregados, dando como resultado que los agregados con un mayor alargamiento presentan menor asentamiento, esta característica no fue muy influyente en la resistencia a la compresión. Por último, se comprobó que los agregados con mayor peso específico y menos porcentaje de abrasión tienen mejor resistencia a la compresión (León & Ramírez, 2010).



En contraste con los estudios anteriores, un artículo titulado “Influencia del tamaño de agregado grueso natural, mineralogía y contenido de agua en la permeabilidad del concreto estructural” en el cual se utilizaron 4 tipos de agregados (basalto, granito, agregado calcáreo y mármol) de la ciudad de Lisboa (Portugal) con los que produjeron hormigones entre 30 y 37 Mpa con diferentes tamaños máximos nominales basados en la norma portuguesa LNEC. Se prepararon 3 tipos de mezclas para cada tipo de agregado, los cuales fueron considerados relativamente secos ya que se seleccionaron en verano, por tal motivo los autores buscando obtener la misma trabajabilidad optaron por agregar en 2 tipos de mezcla el 70% del agua correspondiente a la saturación de los agregados durante los primeros minutos y en el otro tipo de mezcla agregaron el agua correspondiente al 100% de saturación de agregados. Los autores afirman que estas adiciones de agua no afectaron la relación agua cemento porque el agua sería absorbida por los agregados, pero en el caso del mármol saturado hubo que agregar agua adicional durante la mezcla para igualar el asentamiento de las otras mezclas (Gonilho Pereira, Castro-Gomes, & Pereira de Oliveira, 2009). En la tabla 4, se presentan los resultados obtenidos a la compresión del concreto:

Al analizar los resultados expuestos los autores concluyeron que no hay suficiente diferencia en los resultados de resistencia a la compresión para decir que el tipo, tamaño y condiciones de humedad y saturación de los agregados gruesos son influyentes en concretos de resistencias 30/37 Mpa, a pesar de que a menor tamaño se obtuvo un poco más de resistencia. Además, resaltaron la importancia del tamaño en la durabilidad del concreto, puesto que a mayor tamaño (sin importar el mineral) la permeabilidad del aire y la absorción de agua al vacío aumentó.

Tabla 4. “Resultado promedio obtenido en las mezclas de concreto”.

Resultados obtenidos para mezclas de concreto				
½” / ¾” / ¾” saturado				
	Basalto	Granito	Calcáreo	Mármol
Resistencia a la compresión (MPa)	33/33/33	35/27/31	33/29/32	33/31/30
Coefficiente de absorción (kg/m²h^{0,5})	2.09 / 1.75 / 1.65	1.78 / 2.11 / 1.89	2.32 / 2.18 / 2.06	2.01 / 1.70 / 1.69
Coefficiente de capilaridad (g/cm²min^{0,5})	2.72 / 2.25 / 2.15	2.30 / 2.72 / 2.44	3.00 / 2.81 / 2.67	2.58 / 2.20 / 2.20
Absorción de agua al vacío (%)	15/15/13	15/15/13	18/17/14	15/14/13
Permeabilidad al aire (* 10⁻¹⁶m²)	2.2 / 2.0 / 1.7	2.0 / 1.5 / 1.7	2.5 / 2.4 / 1.6	2.2 / 1.9 / 1.5

Extraído de Gonilho Pereira et al., (2009)

Sobre estas conclusiones opinamos que el agua adicional en cada tipo de mezcla fue influyente en la relación agua cemento y los resultados obtenidos en la resistencia, puesto que si se buscaba determinar la influencia del mineral debieron mantener las mismas condiciones en todas las mezclas, no adicionar agua para mantener un asentamiento igual en todas las mezclas.



3. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta cada una de las variables analizadas en los artículos científicos y tesis expuestas por diferentes autores a nivel nacional e internacional se realizan las siguientes conclusiones:

Tanto aditivos retardantes como súper plastificantes cumplen con su función de mejorar la trabajabilidad en el concreto, aunque, no se tiene certeza del tiempo en que la mezcla permanece en estado fluido (teniendo en cuenta que las mezclas con asentamiento menor de 2” son indeseables por razones de trabajabilidad) dado que en cada estudio los tiempos en los que se realizaron pruebas de asentamiento variaron.

Los asentamientos se ven influenciados también por la relación agua/cemento, además, los agregados silíceos tienen mayores asentamientos que los agregados calizos, también, la forma y textura del agregado son factores determinantes, puesto que agregados redondeados y lisos tienen a producir concretos más fluidos. Por lo que el uso de aditivos retardantes mejora el asentamiento, aunque se deben hacer estudios complementarios que permitan determinar la dosificación para cada tamaño máximo nominal, el tiempo que la mezcla permanece en buenas condiciones de trabajabilidad .

Respecto a la resistencia a la compresión, el uso de aditivos retardantes provoca una pequeña pérdida de resistencia en los primeros 7 días, esto necesariamente no se cumple a los 28 días, cuyo valor más alto puede darse cuando las dosificaciones se encuentran entre 0,4% y 0,6% con relación al peso del cemento. Se recomienda no exceder la dosis de aditivos retardantes en 0.6% puesto que sucede el fenómeno contrario, el concreto perdería mucha resistencia.



Por último, en la mayoría de los artículos citados, se estudiaron una sola variable (sea el mineral, el tamaño o el aditivo) y su influencia en la resistencia y la trabajabilidad del concreto. La ficha técnica de los aditivos sugiere unas dosificaciones, pero a su vez recomienda estudios específicos para determinar la cantidad de aditivo que dé como resultado un rendimiento óptimo. En nuestra opinión los estudios a futuro se deben realizar mediante diferentes diseños de mezclas, teniendo en cuenta la variación de los tamaños máximos nominales de agregados sobre todo de origen silíceo (de los cuales se encontró poca información actualizada) con diferentes dosificaciones del orden de 0.1% de aditivos retardantes para así determinar cuáles características de los agregados y aditivos presentan mejores condiciones en estado fresco y endurecido del concreto para aplicarlo de forma óptima en los diseños de mezclas que cumplan las características descritas en esta monografía.



3.1. MATRIZ DE CONCLUSIONES

	TIPO DE AGREGADOS	TAMAÑO DE AGREGADOS
	<ul style="list-style-type: none"> - Los agregados calizos tienden a ganar mayor resistencia a la compresión que los agregados silíceos. - Los agregados silíceos son más fluidos o presentan mayores asentamientos respecto a los agregados calizos si la relación agua/cemento es la misma. 	<ul style="list-style-type: none"> - A menor tamaño máximo nominal del agregado se obtuvo una mayor resistencia a la compresión. - Los agregados de mayor tamaño presentaron asentamientos mayores.
ADITIVOS	Como los agregados silíceos presentan mayores asentamientos en comparación a otros agregados, al usar un aditivo retardante este puede aumentar los indicadores de asentamiento debido a la poca absorción del agua que tiene el agregado sílice. Lo que indica que, si se quiere obtener una misma trabajabilidad usando aditivos y tenemos 2 tipos de agregados, el agregado silíceo necesita menos dosis.	Además del tamaño y los minerales de los agregados de los cuales ya se resaltó su influencia en la resistencia, factores como la densidad y la gravedad específica de los agregados también son influyentes, puesto que agregados más densos tienden a producir concretos más resistentes. Por último, se recomienda no exceder la dosis de aditivos retardantes en 0.6% del peso del cemento puesto que el concreto perdería mucha resistencia.
<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la trabajabilidad en el concreto. - Provoca una pequeña pérdida de resistencia en los primeros 7 días. 		



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, M. P., & Ideker, J. H. (2017). Influence of aggregate type on conversion and strength in calcium aluminate cement concrete. *Cement and Concrete Research*, 100, 284–296. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.07.007>
- Al-Oraimi, S. K., Taha, R., & Hassan, H. F. (2006). The effect of the mineralogy of coarse aggregate on the mechanical properties of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, 20(7), 499–503. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.12.005>
- Aponte, E. (2017). Influencia de un aditivo retardante de fragua en el comportamiento mecánico de concreto $f^c=250$ Kg/cm² en la ciudad de Jaen (Universidad Nacional de Cajamarca). Recuperado de [http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2987/Tesis completa Ronald Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2987/Tesis%20completa%20Ronald%20Romero.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ASOCEM. (2018). *Panorama mundial de la industria del cemento*. 8. Recuperado de [http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Vision General de la Industria del Cemento y sus Principales Actores.pdf](http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Vision%20General%20de%20la%20Industria%20del%20Cemento%20y%20sus%20Principales%20Actores.pdf)
- Bederina, M., Makhloufi, Z., Bounoua, A., Bouziani, T., & Quéneudec, M. (2013). Effect of partial and total replacement of siliceous river sand with limestone crushed sand on the durability of mortars exposed to chemical solutions. *Construction and Building Materials*, 47, 146–158. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.037>
- 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.
- Cheung, J., Jeknavorian, A., Roberts, L., & Silva, D. (2011, diciembre 1). Impact of admixtures on the hydration kinetics of Portland cement. *Cement and Concrete Research*, Vol. 41, pp. 1289–1309. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.005>
- 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* (Universidad de Cartagena). Recuperado de <http://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/537>
- Gonilho Pereira, C., Castro-Gomes, J., & Pereira de Oliveira, L. (2009, febrero 1). Influence of natural coarse aggregate size, mineralogy and water content on the permeability of structural concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, pp. 602–608. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.04.009>
- Gonzales, I. (2019). Variación de la resistencia a compresión del concreto $f'c=210$ kg/cm² con aditivo acelerante al 2% y retardante al 0.5%, para diferentes edades (Universidad Privada del Norte). Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14760>
- Huincho, E. (2011). *Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsíllice y nanosíllice con cemento Pórtland tipo I* (Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/420>
- ICONTEC. (2000). CONCRETOS. ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO. *Norma técnica colombiana NTC 174*, 20. Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC3903.pdf>
- ICONTEC. (2008). *Norma Técnica Colombiana NTC 1299* (ICONTEC, Ed.). Recuperado de <https://tienda.icontec.org/wp-content/uploads/pdfs/NTC1299.pdf>
- ICONTEC. (2010). Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto. En *Norma técnica colombiana NTC 673*.
- ICONTEC. (2018). Concretos. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. En ICONTEC (Ed.), *Norma técnica colombiana NTC 396* (Segunda). Recuperado de <https://tienda.icontec.org/gp-concretos-metodo-de-ensayo-para-determinar-el-asentamiento-del-concreto-ntc396-2018.html>
- Khan, B., & Muhammad, U. (2004). Effect of a retarding admixture on the setting time of cement pastes in hot weather. *Journal of King Abdulaziz University-Engineering Sciences*, 15(1), 63–79. <https://doi.org/10.4197/eng.15-1.5>
- Kim, S. S., Qudoos, A., Jakhrani, S. H., Lee, J. B., & Kim, H. G. (2019). Influence of coarse aggregates and Silica Fume on the mechanical properties, durability, and microstructure of concrete. *Materials*, 12(20), 3324.

<https://doi.org/10.3390/ma12203324>

- León, M. P., & Ramírez, F. (2010). Morphological characterization of concrete aggregates by means of image analysis. *Revista Ingenieria de Construccion*, 25(2), 215–240.
<https://doi.org/10.4067/S0718-50732010000200003>
- Matar, P., & Barhoun, J. (2020). Effects of waterproofing admixture on the compressive strength and permeability of recycled aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*, 32, 101521. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101521>
- Montoya, Y., Cadavid, A., & Gómez, M. (2009). Comportamiento Mecánico y de fraguado de morteros de cemento pórtland fris tipo III con aditivos. *Revista EIA*, (11), 39–49.
Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149212825003.pdf>
- Morales, D. (2017). *Influencia del tamaño máximo nominal de 1/2" Y 1" del agregado grueso del rio Amojú en el esfuerzo a la compresión del concreto para $f'c = 250$ Kg/cm²* (Universidad Nacional de Cajamarca). Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1099>
- Nagrockienė, D., Girskas, G., & Skripkiūnas, G. (2017). Properties of concrete modified with mineral additives. *Construction and Building Materials*, 135, 37–42.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.215>
- Niño, J. (2010). *Tecnología del Concreto* (Tercera; ASOCRETO, Ed.). Recuperado de <https://www.scribd.com/doc/234779446/Tecnologia-Del-Concreto-Tomo-1>
- Osorio, J. D. (2010). Historia del cemento y del concreto. Recuperado el 24 de julio de 2020, de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/historia-del-concreto-y-del-cemento>
- Rivera, G. (2006). Aditivos para mortero y concreto. En *Concreto Simple* (pp. 231–255).
- Rivva, E. (2010). *Diseño de Mezclas*. Lima.
- Rizzuto, J. P., Kamal, M., Elsayad, H., Bashandy, A., Etman, Z., Aboel Roos, M. N., & Shaaban, I. G. (2020). Effect of self-curing admixture on concrete properties in hot climate Conditions. *Construction and Building Materials*, 261, 119933.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119933>
- Salahaldein, A. (2013). Effects of Super Plasticizing and Retarding Admixtures on



Properties of Concrete. *International Conference on Innovations in Engineering and Technology (ICIET'2013)*, December 25-26, Bangkok (Th, 271–274.

<https://doi.org/10.15242/IE.E1213607>

SIKA. (2014). *Brochure aditivos para concreto*. 28. Recuperado de

<https://col.sika.com/dms/getdocument.get/269d0f31-fb62-3538-bcca-0b37aad65e17/BROCHURE ADITIVOS PARA CONCRETO.pdf>

Silva, O. (2015). Tipos de agregados y su influencia en el diseño. Recuperado el 17 de diciembre de 2019, de Argos 360 en concreto website:

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>

Von Daake, H., & Stephan, D. (2017). Adsorption kinetics of retarding admixtures on cement with time controlled addition. *Cement and Concrete Research*, 102, 119–126.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.09.006>